

STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT (SEA) OVER HET AFVALPLAN VAN NIRAS

HOOFDRAPPORT

Opdrachtgever: NIRAS

Documentnummer: 5249-506-068

Versie: 06

Datum: 2/06/2010

DOCUMENTINFORMATIE

Titel	Strategic Environmental Assessment (SEA) over het Afvalplan van NIRAS
Subtitel	Hoofdrapport
Titel kort	SEA Afvalplan NIRAS
Opdrachtgever	NIRAS
Documentnummer	5249-506-068

DOCUMENTGESCHIEDENIS (BOVENSTE RIJ IS HUIDIGE VERSIE)

Versie	Datum	Opmerkingen
06	2/06/2010	Definitieve versie
05	18/04/2010	Tussentijdse versie
04	19/03/2010	Effectbeschrijving en –beoordeling en bijlagen nagelezen door NIRAS
03	5/03/2010	Effectbeschrijving en –beoordeling toegevoegd
02	16/02/2010	Algemene delen nagelezen door NIRAS
01	22/01/2010	

DOCUMENTVERANTWOORDELIJKHEID

Auteur(s)	Nele Aerts, Michèle Bauwens, Iris Catteeuw, Michiel Dockx, Elisabeth Kuijken, Chris Neuteleers, Jo Rega, Hildegard Vandenhove, Erna Van Echelpoel, Katelijne Verhaegen, Wouter Verheyen, Johan Versieren, Ewald Wauters	Datum 2/06/2010
Document screener(s)	Koen Couderé	Datum 2/06/2010

BESTANDSINFORMATIE

Bestandsnaam	C:\DOCUMENTS AND SETTINGS\EKUMY DOCUMENTS\PROJECTEN\80-5249 SEA AFVALPLAN NIRAS\506 - SEA\5249-506-068-06 SEA AFVALPLAN.DOCX
Aanmaakdatum	28/04/2010
Laatste bewaring	07/06/2010
Afdrukdatum	07/06/2010

INHOUD

0	Voorwoord	xvii
1.	Context van de SEA	1
1.1	Opdracht van NIRAS en juridische basis van het Afvalplan.....	1
1.2	Waarom een Strategic Environmental Assessment (SEA) voor het Afvalplan?.....	2
1.3	Procedure.....	2
2.	Inhoud en doelstellingen van het Afvalplan	5
2.1	Voor welke categorieën van radioactief afval is het Afvalplan van toepassing?.....	5
2.2	Welke principes hanteert NIRAS voor het beheer van radioactief afval?.....	8
2.3	De vier dimensies voor het beheer van radioactief afval op lange termijn.....	10
2.4	Inhoud van het Afvalplan.....	12
3.	Links met bestaande wet- en regelgeving, beleid en doelstellingen inzake milieubescherming	15
4.	Links met andere plannen en programma's	29
5.	Methodologie	31
5.1	Het afwegingskader.....	31
5.1.1	Een brede visie op de als relevant te beschouwen effecten.....	31
5.1.2	Verschillende afwegingskaders en beheeropties voor korte en lange termijn.....	31
5.2	Het proces.....	33
5.2.1	De SEA als eerste stap in een getrappt proces van milieueffectenbeoordeling.....	33
5.2.2	Een proactieve maatschappelijke consultatie op initiatief van NIRAS.....	35
5.3	De werkwijze.....	36
5.3.1	Radiologische impacts bij een impactbeoordeling op strategisch niveau.....	36
5.3.2	Geen ruimtelijke afbakening.....	37
5.3.3	Uitvoerbaarheid van de bestudeerde beheeropties.....	39
5.3.4	Robuustheid.....	39
5.3.5	Beoordeling van de beheeropties aan de hand van duidelijke criteria.....	41
5.3.6	Een brede internationale kennisbasis.....	41
5.3.7	Het belang van cumulatieve effecten.....	42
5.3.8	Grensoverschrijdende effecten.....	42
6.	Bestaande situatie	45
6.1	Geologie.....	45
6.1.1	De Paleozoïsche sokkel.....	47

6.1.1.1	De gesteenten uit het Cambrium, Ordovicium en Siluur.....	47
6.1.1.2	De gesteenten uit het Devoon en het Carboon.....	48
6.1.2	De deklagen.....	48
6.2	Landschap.....	50
6.3	Bodemgebruik en vegetatie.....	53
6.4	Bodemkwaliteit.....	57
6.5	Water.....	59
6.6	Lucht.....	61
6.7	Geluid.....	61
6.8	Gezondheid.....	63
6.8.1	Inleidende beschouwingen en definities.....	63
6.8.1.1	Het begrip gezondheid.....	63
6.8.1.2	Globale benadering, actoren en receptoren.....	64
6.8.1.3	Het begrip blootstelling.....	64
6.8.1.4	Het begrip hinder.....	65
6.8.1.5	Gezondheidseffecten.....	66
6.8.1.6	Het begrip risico.....	68
6.8.2	De receptoren.....	69
6.8.3	De actoren.....	69
6.8.3.1	Huidige blootstelling aan de meest relevante traditionele milieurisicofactoren.....	69
6.8.3.2	Huidige blootstelling aan ioniserende straling.....	73
6.9	Sociaal-organisatorische aspecten.....	75
6.9.1	Oppervlakte en bevolking.....	75
6.9.2	Bodemgebruik.....	77
6.9.3	Transportnetwerk.....	78
6.10	Beveiliging en safeguards.....	81
6.10.1	Beveiliging.....	81
6.10.2	Safeguards.....	83
7.	Beheeropties.....	87
7.1	Verworpen beheeropties.....	87
7.1.1	Zeeberging.....	87
7.1.2	Berging in de zeebodem.....	87
7.1.3	Berging in de ruimte.....	88
7.1.4	Berging in een ijskap.....	88
7.1.5	Berging in een oceanische subductiezone.....	88
7.1.6	Oppervlakteberging.....	88
7.1.7	Berging via directe injectie.....	89
7.1.8	Berging door fusie van de gastformatie.....	89

7.2	Bestudeerde beheeropties.....	90
7.2.1	Beheeropties die definitief kunnen worden	90
7.2.1.1	Actief beheer	90
7.2.1.2	Passief beheer.....	93
7.2.2	Niet-definitieve beheeropties.....	109
7.2.2.1	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	110
7.2.2.2	Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	112
7.2.3	De status quo-optie	121
7.3	Strategische keuzes over het langetermijnbeheer in andere landen	125
8.	Overzicht van de aspecten in de beoordeling	127
8.1	Korte termijn.....	127
8.2	Lange termijn	128
9.	Effectbeschrijving en –beoordeling	131
9.1	Impact op de natuur	131
9.1.1	Fysische effecten.....	131
9.1.1.1	Methodiek.....	131
9.1.1.2	Beschrijving van de effecten voor de korte termijn.....	134
9.1.1.3	Beoordeling van de effecten voor de korte termijn.....	139
9.1.1.4	Beschrijving en beoordeling van de effecten voor de lange termijn	141
9.1.2	Radiologische effecten	141
9.1.2.1	Methodiek.....	141
9.1.2.2	Beschrijving van de effecten voor de korte termijn.....	144
9.1.2.3	Beoordeling van de effecten voor de korte termijn.....	147
9.1.2.4	Beschrijving van de effecten voor de lange termijn.....	148
9.1.2.5	Beoordeling van de effecten voor de lange termijn	150
9.1.3	Effecten van toxische chemische componenten in het radioactief afval en in de kunstmatige barrières.....	150
9.1.3.1	Methodiek.....	151
9.1.3.2	Beschrijving van de effecten voor de korte termijn.....	152
9.1.3.3	Beoordeling van de effecten voor de korte termijn.....	152
9.1.3.4	Beschrijving van de effecten voor de lange termijn.....	152
9.1.3.5	Beoordeling van de effecten voor de lange termijn	153
9.2	Impact op landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie	153
9.2.1	Inleiding.....	153
9.2.2	Methodiek voor de korte termijn	155
9.2.3	Beschrijving van de effecten voor de korte termijn.....	156
9.2.4	Beoordeling van de effecten voor de korte termijn.....	157
9.2.5	Methodiek voor de lange termijn	159

9.2.6	Beschrijving van de effecten voor de lange termijn.....	159
9.2.7	Beoordeling van de effecten voor de lange termijn.....	161
9.3	Impact op grondstoffen.....	162
9.3.1	Bodem.....	162
9.3.1.1	Inleiding.....	162
9.3.1.2	Methodiek voor de korte termijn.....	164
9.3.1.3	Beschrijving van de effecten voor de korte termijn.....	169
9.3.1.4	Beoordeling van de effecten voor de korte termijn.....	173
9.3.1.5	Methodiek voor de lange termijn.....	174
9.3.1.6	Beschrijving van de effecten voor de lange termijn.....	175
9.3.1.7	Beoordeling van de effecten voor de lange termijn.....	179
9.3.2	Water.....	179
9.3.2.1	Inleiding.....	179
9.3.2.2	Methodiek voor de korte termijn.....	181
9.3.2.3	Beschrijving van de effecten voor de korte termijn.....	184
9.3.2.4	Beoordeling van de effecten voor de korte termijn.....	185
9.3.2.5	Methodiek voor de lange termijn.....	188
9.3.2.6	Beschrijving van de effecten voor de lange termijn.....	188
9.3.2.7	Beoordeling van de effecten voor de lange termijn.....	188
9.4	Impact op de menselijke gezondheid.....	189
9.4.1	Lucht.....	189
9.4.1.1	Methodiek.....	189
9.4.1.2	Beschrijving van de effecten.....	190
9.4.1.3	Beoordeling van de effecten.....	200
9.4.2	Geluid.....	201
9.4.2.1	Methodiek.....	201
9.4.2.2	Beschrijving van de effecten.....	205
9.4.2.3	Beoordeling van de effecten.....	214
9.4.3	Radiologische effecten.....	217
9.4.3.1	Methodiek.....	217
9.4.3.2	Beschrijving van de effecten voor de korte termijn.....	221
9.4.3.3	Beoordeling van de effecten voor de korte termijn.....	222
9.4.3.4	Beschrijving van de effecten voor de lange termijn.....	224
9.4.3.5	Beoordeling van de effecten voor de lange termijn.....	230
9.4.4	Integratie van de effecten op de menselijke gezondheid.....	232
9.4.4.1	Methodiek.....	232
9.4.4.2	Beschrijving van de effecten voor de korte termijn.....	234
9.4.4.3	Beoordeling van de effecten voor de korte termijn.....	236
9.4.4.4	Beschrijving van de effecten voor de lange termijn.....	237
9.4.4.5	Beoordeling van de effecten voor de lange termijn.....	239
9.5	Sociale aspecten.....	240
9.5.1	Methodiek.....	240

9.5.1.1	Afbakening van het werkveld	240
9.5.1.2	Mogelijk significante effecten	241
9.5.2	Beschrijving van de effecten	242
9.5.2.1	Effecten die gelijkaardig zijn ongeacht de beheeroptie	242
9.5.2.2	Eeuwigdurende opslag	244
9.5.2.3	Geologische berging.....	244
9.5.2.4	Berging in diepe boorgaten.....	246
9.5.2.5	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	247
9.5.2.6	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	248
9.5.2.7	Status quo-optie	248
9.5.3	Beoordeling van de effecten	249
9.6	Financieel-economische aspecten.....	252
9.6.1	Methodiek.....	252
9.6.1.1	Afbakening van de kosteninschatting	253
9.6.1.2	Factoren die de kosteninschatting beïnvloeden.....	253
9.6.1.3	Onzekerheid bij de kosteninschatting.....	254
9.6.1.4	Kostendekking en financiering	254
9.6.2	Beschrijving van de financieel-economische aspecten	256
9.6.2.1	Eeuwigdurende opslag	256
9.6.2.2	Geologische berging.....	256
9.6.2.3	Berging in diepe boorgaten.....	257
9.6.2.4	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	258
9.6.2.5	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	259
9.6.2.6	Status quo-optie	259
9.6.3	Beoordeling van de financieel-economische aspecten	259
9.7	Ethische aspecten	261
9.7.1	Methodiek.....	261
9.7.1.1	Inleiding.....	261
9.7.1.2	Afbakening van de ethische dimensie	262
9.7.1.3	Ethische principes en waarden ter beoordeling van de beheeropties.....	265
9.7.2	De ethische principes van het NEA van de OESO.....	271
9.7.2.1	Ethische principes.....	271
9.7.2.2	Ethische onderbouwing voor de te verkiezen beheeroptie	272
9.7.2.3	De visie van NEA op terugneembaarheid.....	273
9.7.3	De ethische principes van het IAEA	275
9.7.3.1	De veiligheidsprincipes van het IAEA.....	275
9.7.3.2	Intra- en intergenerationele billijkheid door publieke participatie	276
9.7.3.3	De visie van het IAEA op terugneembaarheid	276

9.7.4	Beschrijving van de ethische aspecten	277
9.7.4.1	Ethische aspecten die gelijkaardig zijn voor alle beheeropties	278
9.7.4.2	Eeuwigdurende opslag	279
9.7.4.3	Geologische berging.....	281
9.7.4.4	Berging in diepe boorgaten.....	282
9.7.4.5	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	283
9.7.4.6	Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	284
9.7.4.7	Status quo-optie	284
9.7.5	Beoordeling van de ethische aspecten.....	285
9.8	Beveiliging en safeguards.....	288
9.8.1	Methodiek.....	288
9.8.2	Aannames	289
9.8.3	Beschrijving voor de korte termijn	289
9.8.3.1	Transport en post-conditionering.....	289
9.8.3.2	Eeuwigdurende opslag	291
9.8.3.3	Geologische berging.....	292
9.8.3.4	Berging in diepe boorgaten.....	294
9.8.3.5	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	295
9.8.3.6	Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	296
9.8.3.7	Status quo-optie	296
9.8.4	Beoordeling voor de korte termijn	297
9.8.5	Beschrijving voor de lange termijn	298
9.8.5.1	Actief beheer	298
9.8.5.2	Passief beheer.....	298
9.8.6	Beoordeling voor de lange termijn.....	299
10.	Robuustheid van de beheeropties	301
10.1	Beschrijving van de robuustheid voor de korte termijn	301
10.1.1	Eeuwigdurende opslag	302
10.1.2	Geologische berging.....	302
10.1.3	Berging in diepe boorgaten.....	303
10.1.4	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	304
10.1.5	Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën.....	306
10.1.6	Status quo-optie	306
10.2	Beoordeling van de robuustheid voor de korte termijn.....	308
10.3	Robuustheid voor de korte termijn en niet-radiologische effecten.....	313
10.4	Beschrijving van de robuustheid voor de lange termijn.....	313

10.4.1	Actief beheer	314
10.4.2	Passief beheer	315
10.5	Beoordeling van de robuustheid voor de lange termijn	319
10.6	Robuustheid voor de lange termijn en niet-radiologische effecten	322
11.	Voorstel voor mitigerende maatregelen.....	323
11.1	Natuur.....	323
11.2	Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie	325
11.3	Grondstoffen	325
11.3.1	Bodem.....	325
11.3.2	Water	325
11.4	Menselijke gezondheid	326
11.4.1	Lucht	326
11.4.2	Geluid.....	327
11.4.3	Radiologische effecten	327
11.5	Sociale aspecten	328
11.6	Beveiliging en safeguards.....	330
12.	Voorstel voor monitoringsmaatregelen	331
12.1	Natuur.....	331
12.2	Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie	332
12.3	Grondstoffen	332
12.3.1	Bodem.....	332
12.3.2	Water	332
12.4	Menselijke gezondheid	332
12.4.1	Lucht	332
12.4.2	Geluid.....	332
12.4.3	Radiologische effecten	333
12.5	Sociale aspecten	334
12.6	Beveiliging en safeguards.....	334
13.	Leemten in de kennis.....	335
13.1	Algemeen.....	335
13.2	Natuur.....	335
13.3	Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie	336
13.4	Grondstoffen	336
13.5	Menselijke gezondheid	336
13.5.1	Lucht	336
13.5.2	Geluid.....	337

13.5.3	Radiologische effecten	337
13.6	Sociale aspecten	337
13.7	Beveiliging en safeguards.....	338
14.	Besluit.....	339
	Referenties	343
Bijlage A	Antwoorden op vragen en bekommernissen die voortkomen uit de maatschappelijke consultatie.....	A-1
Bijlage B	Strategische keuzes over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in andere landen.....	B-1
B.1	Inleiding	B-1
B.2	Overzicht van strategische keuzes over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval	B-2
B.3	Canada	B-3
B.3.1	Stand van zaken.....	B-3
B.3.2	Besluitvormingsproces.....	B-4
B.4	Duitsland.....	B-8
B.4.1	Stand van zaken.....	B-8
B.4.2	Besluitvormingsproces.....	B-8
B.5	Finland.....	B-10
B.5.1	Stand van zaken.....	B-10
B.5.2	Besluitvormingsproces.....	B-10
B.6	Frankrijk.....	B-11
B.6.1	Stand van zaken.....	B-11
B.6.2	Besluitvormingsproces.....	B-12
B.7	Japan.....	B-14
B.7.1	Stand van zaken.....	B-14
B.7.2	Besluitvormingsproces.....	B-14
B.8	Nederland	B-15
B.8.1	Stand van zaken.....	B-15
B.8.2	Besluitvormingsproces.....	B-15
B.9	Spanje	B-17
B.9.1	Stand van zaken.....	B-17
B.9.2	Besluitvormingsproces.....	B-17
B.10	Verenigde Staten	B-18
B.10.1	Stand van zaken.....	B-18
B.10.2	Besluitvormingsproces.....	B-19
B.11	Verenigd Koninkrijk	B-21

B.11.1	Stand van zaken.....	B-21
B.11.2	Besluitvormingsproces.....	B-21
B.12	Zweden.....	B-25
B.12.1	Stand van zaken.....	B-25
B.12.2	Besluitvormingsproces.....	B-26
B.13	Zwitserland.....	B-30
B.13.1	Stand van zaken.....	B-30
B.13.2	Besluitvormingsproces.....	B-31
B.14	Overzicht van het besluitvormingsproces in de besproken landen.....	B-32
Bijlage C	Maatschappelijke robuustheid.....	C-1
C.1	Inleiding.....	C-1
C.2	Conceptualisering van maatschappelijke robuustheid.....	C-1
C.2.1	Conceptualisering van maatschappelijke robuustheid in het algemeen.....	C-2
C.2.2	Conceptualisering van maatschappelijke robuustheid in de context van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.....	C-2
C.2.3	Operationalisering van maatschappelijke robuustheid in het kader van de SEA over het Afvalplan van NIRAS.....	C-3
C.2.3.1	Flexibiliteit.....	C-4
C.2.3.2	Autonomie.....	C-6
C.2.3.3	Veiligheid.....	C-7
C.2.4	Maatschappelijke robuustheid als meerdimensionaal concept.....	C-8
C.3	Beschrijving van maatschappelijke ontwikkelingen.....	C-10
C.3.1	Wetenschappelijke, innovatieve en technologische ontwikkelingen.....	C-10
C.3.2	Natuurlijke ontwikkelingen.....	C-11
C.3.3	Ruimtelijke ontwikkelingen.....	C-11
C.3.4	Cultureel-maatschappelijke ontwikkelingen.....	C-11
C.3.5	Politiek-institutionele ontwikkelingen.....	C-12
C.3.6	Macro-economische ontwikkelingen.....	C-12
C.3.7	Demografische ontwikkelingen.....	C-12
C.4	Toekomstbeelden.....	C-13
C.4.1	Opbouw van de toekomstbeelden.....	C-13
C.4.2	Korte termijn: het jaar 2100.....	C-14
C.4.2.1	Scenario 1: Business As Usual (BAU).....	C-15
C.4.2.2	Scenario 2: maatschappelijke chaos.....	C-16
C.4.2.3	Scenario 3: dictatuur.....	C-17
C.4.3	Lange termijn: het jaar 3000.....	C-17
C.4.3.1	Scenario 1: een nieuw gezicht voor de aarde.....	C-18
C.4.3.2	Scenario 2: back to basics.....	C-19
C.4.3.3	Scenario 3: de mens – versie 3.0.....	C-19

C.5	Toetsing van de maatschappelijke robuustheid aan de toekomstbeelden.....	C-20
C.6	Conclusies	C-30
C.7	Sleutelbegrippen	C-30
Bijlage D	Onderzoek naar de mogelijkheden voor een gedeelde oplossing voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.....	D-1
D.1	Inleiding	D-1
D.2	Het concept gedeelde berging.....	D-2
D.3	Historisch overzicht van het onderzoek naar gedeelde berging.....	D-3
D.4	Resultaten van SAPIERR I en SAPIERR II	D-4
D.4.1	Voor- en nadelen van gedeelde berging.....	D-5
D.4.2	Veiligheids- en beveiligingsaspecten.....	D-6
D.4.3	Rechtsbasis en juridische en financiële aansprakelijkheid.....	D-6
D.4.4	Economische aspecten.....	D-7
D.4.5	Publieke en politieke aspecten.....	D-7
D.4.6	Verdere strategie en plannen.....	D-8
D.5	Visie van het IAEA.....	D-9
D.6	Visie van de Europese Commissie	D-10
D.7	Visie van EDRAM.....	D-10

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1:	Procedure federale SEA.....	3
Figuur 2:	Schematische indeling van het geconditioneerde radioactief afval	6
Figuur 3:	De vier dimensies van het langetermijnbeheer van radioactief afval.....	11
Figuur 4:	Verskil tussen de te bestuderen beheeropties voor korte en lange termijn.....	33
Figuur 5:	Getrapte aanpak voor de beoordeling van de milieueffecten van een optie voor het beheer op lange termijn van afval van categorieën B en C.....	34
Figuur 6:	Geologische kaart van België	45
Figuur 7:	Fasen in de geologische geschiedenis van België	46
Figuur 8:	De paleozoïsche sokkel (gesteenten uit het Cambrium, het Ordovicium en het Siluur en gesteenten uit het Devoon en het Carboon) in België.....	47
Figuur 9:	Voorkomen van Perm-Jura-afzettingen in België – pre-Krijt	49
Figuur 10:	Vereenvoudigde geologische kaart van België.....	50
Figuur 11:	Doorsnede van de Belgische ondergrond van noord naar zuid.....	52
Figuur 12:	De Belgische landbouwstreken.....	55
Figuur 13:	Bodemgebruiksk kaart voor Vlaanderen	56
Figuur 14:	Bodemgebruiksk kaart voor Wallonië	56
Figuur 15:	Verontreinigde bodems in Vlaanderen (2006)	57
Figuur 16:	Verontreiniging van oude industriële sites in Wallonië (2008).....	58
Figuur 17:	Bodemafdichting in Vlaanderen (2006)	59
Figuur 18:	Geluid als hinderbron	62
Figuur 19:	Gerapporteerde geluidshinder voor verschillende hinderbronnen.....	63
Figuur 20:	Bevolkingsdichtheid per gemeente (1 januari 2008).....	77
Figuur 21:	Het Belgische wegennet.....	79
Figuur 22:	De Belgische waterwegen	80
Figuur 23:	Het Belgische spoorwegennet	81
Figuur 24:	Illustratie van het tijdsverloop op hoofdlijnen voor de beheeroptie “eeuwigdurende opslag” in België.....	91
Figuur 25:	Schematische voorstelling van eeuwigdurende opslag	92

Figuur 26: De referentie-bergingsarchitectuur voor geologische berging.....	94
Figuur 27: Referentieconcept voor de monoliet voor afval van categorie B	94
Figuur 28: Referentieconcept voor de supercontainer voor afval van categorie C	95
Figuur 29: Referentieconcept voor de sluiting van een volgeladen bergingsgalerij	95
Figuur 30: Referentieconcept voor de sluiting van een bergingsinstallatie.....	96
Figuur 31: Illustratie van het tijdsverloop op hoofdlijnen voor de beheeroptie "geologische berging" in België, op basis van de hypothese van berging in een weinig verharde kleiformatie.....	97
Figuur 32: De verbreiding van de Boomse Klei in de Belgische ondergrond.....	101
Figuur 33: De verbreiding van de Ieperiaanklei in de Belgische ondergrond	102
Figuur 34: Illustratie van het ruimtegebruik van een bergingsinstallatie aan de oppervlakte	104
Figuur 35: Concept voor berging in diepe boorgaten	105
Figuur 36: Illustratie van het tijdsverloop op hoofdlijnen voor de beheeroptie "berging in diepe boorgaten" in België	106
Figuur 37: Grondwaterstroming op grote diepte.....	108
Figuur 38: Schematische voorstelling van langdurige opslag	110
Figuur 39: Illustratie van de evolutie van de radiotoxiciteit van bestraalde splijtstof	115
Figuur 40: Illustratie van de evolutie van de warmteafgifte van bestraalde splijtstof.....	116
Figuur 41: Geavanceerde splijtstofcyclus met lichtwaterreactoren (LWR) en ADS	119
Figuur 42: Geavanceerde splijtstofcyclus met snelle reactoren.....	119
Figuur 43: Schematische voorstelling van de status quo-optie	122
Figuur 44: Illustratie van het tijdsverloop op hoofdlijnen voor de status quo-optie.....	123
Figuur 45: Gebouw B136 (Dessel) voor de opslag van afval van categorieën B en C.....	124
Figuur 46: Doelstelling, aspecten en deelaspecten die bij de effectanalyse voor de korte termijn in beschouwing genomen worden	127
Figuur 47: Doelstelling, aspecten en deelaspecten die bij de effectanalyse voor de lange termijn in beschouwing genomen worden	129
Figuur 48: Kunstmatige hemelluminantie (1998-2000) als percentage van de natuurlijke hemelluminantie	138
Figuur 49: Stralingsgevoeligheid van organismen.....	142
Figuur 50: Landschapsfactoren.....	155

Figuur 51:	Verloop van de verticale verplaatsing boven een geologische berging in de Boomse klei (voor verglaasd radioactief afval in een supercontainer na een koelingsperiode van 50 jaar en voor een galerijafstand van 50 meter).....	160
Figuur 52:	De dolmen van Wéris	161
Figuur 53:	Bodemassociatiekaart van België.....	163
Figuur 54:	Maximale temperaturen rond de berging van verglaasd afval.....	177
Figuur 55:	Evolutie van de warmteafgifte voor de beschouwde splijtstofcycli	179
Figuur 56:	De effecten van geluid op de menselijke gezondheid.....	202
Figuur 57:	Afname van het geluidsdrukniveau bij toename van de afstand	207
Figuur 58:	Effectieve jaardosis in verschillende situaties en jaarlijkse dosislimieten voor handelingen en interventies zoals gedefinieerd in Publicatie 60 van de ICRP (202)	218
Figuur 59:	Routes voor blootstelling van de mens aan de radiologische impact van fluxen die in het leefmilieu kunnen terechtkomen.....	219
Figuur 60:	Vergelijking van de berekende doses voor geologische berging van radioactief afval in België (SAFIR 2), Finland (RNT-2008), Frankrijk (DOSSIER 2005), Duitsland (ENDLAGERUNG), Zweden (SR-CAN) en Zwitserland (NAGRA).....	225
Figuur 61:	Radiotoxiciteitsflux uit de gastformatie van een geologische berging in weinig verharde klei. De “reference value” komt overeen met de flux afkomstig van de jaarlijkse bemesting van de Vlaamse landbouwgronden	226
Figuur 62:	Evolutie van de radiotoxiciteit voor de hierboven beschreven splijtstofcycli	228
Figuur 63:	Evolutie van de berekende totale dosis voor splijtstofcyclus A1 voor geologische berging in klei.....	229
Figuur 64:	Evolutie van de berekende totale dosis voor de beschouwde splijtstofcycli voor geologische berging in klei	230
Figuur 65:	Verband tussen ingrepen en sociale impacts.....	240
Figuur 66:	Overzicht van de belangrijkste ethische theorieën	264
Figuur 67:	Schematische voorstelling van terugneembaarheid in de verschillende fasen van geologische berging	275
Figuur 68:	Robuustheid en milieueffecten.....	C-4
Figuur 69:	Maatschappelijke robuustheid als meerdimensionaal concept.....	C-9
Figuur 70:	Scenario's voor de korte termijn.....	C-15
Figuur 71:	Scenario's voor de lange termijn.....	C-18
Figuur 72:	Opties voor een gedeeld beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.....	D-3
Figuur 73:	Schematisch overzicht van het werkprogramma van SAPIERR I.....	D-5

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1:	Contactgegevens van NIRAS	1
Tabel 2:	Overzicht van regelgeving over bescherming tegen ioniserende straling.....	16
Tabel 3:	Overzicht van regelgeving die bijdraagt tot het realiseren van milieudoelstellingen.....	19
Tabel 4:	Indicatieve inventaris die rekening houdt met 50 jaar exploitatie van Doel 1 en 2 en Tihange 1.....	29
Tabel 5:	Kenmerken van de typeomgevingen.....	38
Tabel 6:	Radiotoxiciteit en chemische toxiciteit van een aantal elementen.....	68
Tabel 7:	Verloren gegane levensjaren in Vlaanderen ten gevolge van milieufactoren	72
Tabel 8:	Bijdrage in % per Sv effectieve dosis voor stochastische gezondheidseffecten bij lage doses en lage dosisdebieten, ongeacht de bron.....	75
Tabel 9:	Bevolking van België	76
Tabel 10:	Bodemgebruik (in km ²).....	78
Tabel 11:	Schattingen van de afdruk van een geologische bergingsinstallatie (in km ²).....	103
Tabel 12:	Milieueffectthema's uit de Wet van 13 februari 2006 en (deel)aspecten bestudeerd in deze SEA	128
Tabel 13:	Toetsingskader voor de beoordeling van de effecten op fauna en flora voor de korte termijn	133
Tabel 14:	Scoretabel voor effecten op fauna en flora voor de korte termijn	134
Tabel 15:	Beoordeling van de fysische effecten op fauna en flora voor de korte termijn.....	140
Tabel 16:	Significantiekader voor de radiologische effecten op fauna en flora.....	144
Tabel 17:	Significantiekader voor chemische impact op fauna en flora	152
Tabel 18:	Scoretabel voor effecten op landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie voor de korte termijn	156
Tabel 19:	Beoordeling van de effecten op landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie voor de korte termijn.....	158
Tabel 20:	Beoordeling van de effecten op landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie voor de lange termijn.....	162
Tabel 21:	Toetsingskader voor de effecten op de bodem voor de korte termijn.....	166
Tabel 22:	Scoretabel voor fysische bodemverstoring.....	167
Tabel 23:	Scoretabel voor bodemverontreiniging.....	168
Tabel 24:	Scoretabel voor grondverzet.....	169

Tabel 25:	Inschatting van de bodemverstoring en het ruimtebeslag per beheeroptie (in ha).....	171
Tabel 26:	Inschatting van het grondverzet per beheeroptie (in m ³)	173
Tabel 27:	Beoordeling van de effecten op de bodem voor de korte termijn	174
Tabel 28:	Toetsingskader thermische effecten op de bodem	175
Tabel 29:	Scoretabel thermische effecten op de bodem	175
Tabel 30:	Beoordeling van de effecten op de bodem voor de lange termijn	179
Tabel 31:	Toetsingskader voor de effecten op het watersysteem voor de korte termijn	181
Tabel 32:	Scoretabel voor het effect op grondwaterstand en -stromingen	182
Tabel 33:	Scoretabel impact op vorming hydraulisch contact tussen aquifers	183
Tabel 34:	Scoretabel voor verdroging en piekafvoer door verharding.....	184
Tabel 35:	Beoordeling van de effecten op het watersysteem voor de korte termijn	187
Tabel 36:	Beoordeling van de effecten op het watersysteem voor de lange termijn.....	188
Tabel 37:	Scoretabel voor de effecten op de lucht.....	189
Tabel 38:	Overzicht van de geschatte hoeveelheden en het aantal transporten per beheeroptie	193
Tabel 39:	Beoordeling van de effecten op de lucht voor de korte termijn.....	201
Tabel 40:	Significantiekader voor de effecten op geluid.....	204
Tabel 41:	Scoretabel voor de effecten op geluid.....	204
Tabel 42:	Maximaal toelaatbaar aantal vervoersbewegingen per uur op de aan- en afvoerroutes in functie van het doorsneden gebied (VLAREM II, bijlage 2.2.1) en de afstand tot de aan- en afvoerroute	207
Tabel 43:	Beoordeling van de effecten op geluid voor de korte termijn	215
Tabel 44:	Beoordeling van de radiologische effecten op de mens voor de korte termijn.....	223
Tabel 45:	Beoordeling van de radiologische effecten op de mens voor de lange termijn	231
Tabel 46:	Criteria voor de radiologische effecten op de menselijke gezondheid.....	233
Tabel 47:	Scoretabel voor de radiologische effecten op de menselijke gezondheid	234
Tabel 48:	Beoordeling van de radiologische effecten op de menselijke gezondheid voor de korte termijn	237
Tabel 49:	Beoordeling van de radiologische effecten op de menselijke gezondheid voor de lange termijn	239
Tabel 50:	Beoordeling van de sociale aspecten.....	250

Tabel 51:	Beoordeling van de financieel-economische aspecten	260
Tabel 52:	Beschrijving van terugneembaarheid in de verschillende fasen van geologische berging	274
Tabel 53:	Beoordeling van de ethische aspecten	286
Tabel 54:	Beoordeling van het aspect beveiliging en safeguards voor de korte termijn	297
Tabel 55:	Beoordeling van het aspect beveiliging en safeguards voor de lange termijn.....	299
Tabel 56:	Beoordeling van de robuustheid voor de korte termijn.....	309
Tabel 57:	Beoordeling van de robuustheid voor de lange termijn.....	320
Tabel 58:	Vragen en bekommernissen uit de maatschappelijke consultatie en verwijzing naar elementen van antwoord	A-2
Tabel 59:	Overzicht van de strategische keuzes over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in de Europese landen met een actief nucleair programma en in de Verenigde Staten, Canada en Japan	B-3
Tabel 60:	Overzicht van het besluitvormingsproces in 11 representatieve landen	B-33
Tabel 61:	Beoordeling van de maatschappelijke robuustheid voor de korte termijn.....	C-22
Tabel 62:	Beoordeling van de maatschappelijke robuustheid voor de lange termijn	C-27

0 VOORWOORD

Voor u ligt de Strategic Environmental Assessment (SEA) over het Afvalplan van NIRAS, dat een voorstel doet over het beheer op lange termijn van hoogradioactief en/of langlevend afval in België.

Volgens de Wet van 13 februari 2006 moet het Afvalplan het voorwerp uitmaken van een milieueffectenrapportage. Deze SEA beschrijft en beoordeelt de effecten van het Afvalplan op het milieu in brede zin en is aldus een antwoord op deze verplichting.

Leeswijzer

In **hoofdstuk 1** kan men lezen waarom de SEA opgesteld wordt en hoe de procedure verloopt.

Hoofdstuk 2 beschrijft de doelstellingen en de inhoud van het Afvalplan en geeft aan op welk radioactief afval het van toepassing is.

In **hoofdstuk 3** vindt men een lijst van relevante wet- en regelgeving met betrekking tot bescherming tegen ioniserende straling en het realiseren van milieudoelstellingen.

In **hoofdstuk 4** wordt de mogelijke invloed van andere plannen en programma's op het Afvalplan besproken.

Het langetermijnbeheer van radioactief afval is een atypisch onderwerp in de milieueffectenrapportage. **Hoofdstuk 5** beschrijft de methodologische bijzonderheden die hieruit voortvloeien.

Hoofdstuk 6 geeft een overzicht van de bestaande situatie, die als basis dient voor de beschrijving en de beoordeling van de milieueffecten.

In **hoofdstuk 7** worden de verschillende mogelijke beheeropties voor hoogradioactief en/of langlevend afval beschreven.

Hoofdstuk 8 geeft een overzicht van de aspecten die meegenomen worden in de beoordeling en kadert deze binnen de centrale doelstelling van duurzame bescherming.

In **hoofdstuk 9** worden de effecten van de verschillende beheeropties beschreven en beoordeeld. Het betreft de effecten op het milieu cf. de Wet van 13 februari 2006, maar ook de sociale, economische en ethische aspecten en het aspect beveiliging en safeguards komen aan bod.

Hoofdstuk 10 bevat een beoordeling van de robuustheid van de beheeropties, d.w.z. van de mate waarin ze bestand zijn tegen allerlei veranderingen op korte en lange termijn.

In **hoofdstuk 11** worden milderende maatregelen voorgesteld, die de negatieve milieueffecten kunnen beperken.

In **hoofdstuk 12** worden voorstellen gedaan m.b.t. monitoring.

Hoofdstuk 13 geeft een overzicht van de leemten in de kennis die een invloed hebben op de effectbeoordeling.

Tenslotte worden in **hoofdstuk 14** conclusies getrokken uit de SEA.

Na een uitgebreide lijst met **referenties** volgen nog een aantal bijlagen.

In **Bijlage A** vindt men het antwoord op een aantal vragen en bekommernissen die tijdens de maatschappelijke consultatie in het voorjaar van 2009 naar voren gekomen zijn.

Bijlage B geeft een overzicht van de strategische keuzes van andere landen met betrekking tot het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.

In **Bijlage C** wordt het concept maatschappelijke robuustheid uitgewerkt en wordt de maatschappelijke robuustheid van de verschillende beheeropties beoordeeld aan de hand van enkele toekomstbeelden voor de korte termijn en de lange termijn.

In **Bijlage D** wordt de mogelijkheid van gedeeld (d.w.z. multinational) beheer van radioactief afval onderzocht.

Tenslotte is van deze SEA een **niet-technische samenvatting** voor het brede publiek opgesteld, die een apart document vormt.

Noot

De oorspronkelijke versies van de SEA en van de niet-technische samenvatting werden in het Nederlands geschreven. Deze documenten zijn beschikbaar in het Nederlands, het Frans en het Duits.

1. CONTEXT VAN DE SEA

1.1 Opdracht van NIRAS en juridische basis van het Afvalplan

NIRAS is de Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen en is de initiatiefnemer van het Afvalplan. De contactgegevens van NIRAS worden samengevat in Tabel 1.

Tabel 1: Contactgegevens van NIRAS

Naam	Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen (NIRAS)
Contactpersoon	Philippe Lalieux, Directeur Beheer op lange termijn
Adres	Kunstlaan 14, B-1210 Brussel
Telefoon	+32 (0)2 212 10 82
Email	p.lalieux@nirond.be
Fax	+32 (0)2 218 51 65
Websites	http://www.nirond.be en http://www.niras-afvalplan.be

NIRAS werd opgericht in 1980; haar werking is geregeld via het Koninklijk Besluit van 30 maart 1981 (Belgisch Staatsblad 05/05/1981) "houdende bepaling van de opdrachten en de werkingsmodaliteiten van NIRAS", zoals gewijzigd en aangevuld door diverse Koninklijke Besluiten. De hoofdtak van NIRAS is het beheren op korte, middellange en lange termijn van het radioactief afval en de overtollige verrijkte splijtstoffen in België.

De werking van NIRAS wordt geregeld door de nationale en supranationale wet- en regelgeving, verdragen en afspraken. Deze worden niet-limitatief opgesomd in hoofdstuk 4 van het Ontwerpplan.

NIRAS is wettelijk verplicht om een algemeen programma te hebben voor het langetermijnbeheer van het radioactief afval dat ze overneemt (artikel 2, § 3, 1. c) van het Koninklijk Besluit van 30 maart 1981) (1). NIRAS werd in 2004 tevens door haar voorgdij belast met de voorbereiding en het aangaan van een maatschappelijke dialoog op elk niveau, en met de evaluatie van alle mogelijke strategieën op het vlak van langetermijnbeheer van afval van categorieën B en C, zodat een beslissing kan worden genomen omtrent de uit te voeren beheeroplossing (2).

Daarom nam NIRAS het initiatief om in één enkel document, Afvalplan (3) genaamd, alle nodige elementen samen te brengen zodat de federale regering met kennis van zaken een principebeslissing kan nemen over het langetermijnbeheer van afval van categorieën B en C. Een dergelijke principebeslissing is geen beslissing tot onmiddellijke uitvoering van een specifieke oplossing op een bepaalde site, maar wel de eerste stap van een geleidelijk en flexibel besluitvormingsproces. Ze heeft een voorwaardelijk karakter. Ze moet tijdens het besluitvormingsproces immers bevestigd worden door verschillende opeenvolgende beslissingen, als bevestiging dat ze kan worden uitgevoerd volgens de vereisten van veiligheid, uitvoerbaarheid en maatschappelijke aanvaardbaarheid.

1.2 Waaron een Strategic Environmental Assessment (SEA) voor het Afvalplan?

In het toepassingsgebied van de Wet van 13 februari 2006 (4) wordt gesteld dat een milieueffectenbeoordeling met inspraak van het publiek vereist is voor *“het algemeen programma voor het beheer op lange termijn van het radioactief afval, voorzien in artikel 2, § 3, van het Koninklijk Besluit van 30 maart 1981 houdende bepaling van de opdrachten en de werkingsmodaliteiten van de openbare instelling voor het beheer van radioactief afval en splijtstoffen, zoals gewijzigd”* (artikel 6 §1, eerste punt).

Het Afvalplan van NIRAS (en in het bijzonder het Ontwerpplan), dat de huidige invulling is van het algemeen programma voor het beheer op lange termijn van het radioactief afval, valt bijgevolg onder de plicht tot milieueffectrapportage op het niveau van plannen en programma's.

Zoals eerder aangegeven benoemen we in voorliggend document deze milieueffectrapportage met de (internationaal gebruikte) term “Strategic Environmental Assessment” (SEA), omwille van de strategische aard van het Ontwerpplan.

De Europese Richtlijn 2001/42/EG (5), waarvan de Wet van 13 februari 2006 de omzetting in Belgisch recht vormt, geeft het belang van de milieueffectenbeoordeling en publieke inspraak voor plannen en programma's aan, als ze stelt dat *“de milieueffectenbeoordeling ... een belangrijk instrument (is) voor de integratie van milieuoverwegingen in de voorbereiding (...) van bepaalde plannen (...), omdat zij garandeert dat reeds tijdens de voorbereiding (...) van die plannen (...) met de milieueffecten van de uitvoering daarvan rekening wordt gehouden”*.

De SEA houdt rekening met de impact van het Ontwerpplan op het milieu. Het Afvalplan van NIRAS zal vervolgens aangepast en aangevuld worden op basis van de bevindingen van de SEA vooraleer het voorgelegd wordt aan de Regering.

De SEA zorgt voor een integratie van de milieuoverwegingen, zoals gevraagd door de Europese richtlijn, door een beoordeling te maken van de milieueffecten, in de brede zin van het woord, van de verschillende opties die NIRAS in overweging neemt voor het langetermijnbeheer van radioactief afval van categorieën B en C.

1.3 Procedure

Het Ontwerpplan en het bijbehorende Strategic Environmental Assessment (SEA) staan in interactie met elkaar en volgen dus een geïntegreerd procesverloop.

In een eerste fase werd een voorlopig document, het “Afvalplan in ontwikkeling” (6), opgesteld. Dit document werd ter beschikking gesteld van het publiek naar aanleiding van de maatschappelijke consultaties die NIRAS proactief in het voorjaar van 2009 organiseerde om vóór de officiële raadpleging de bekommernissen en vragen die leven bij het publiek inzake het beheer op lange termijn van het afval van categorieën B en C te kennen (zie paragraaf 5.2.2). Er is rekening gehouden met de resultaten van de maatschappelijke consultatie bij het opstellen van het Ontwerpregister en het Ontwerpplan, die aan het Adviescomité voorgelegd werden.

Na ontvangst van het advies van het Comité op het Ontwerpregister (januari 2010) werd de SEA opgesteld. Vanaf juni 2010 worden de SEA en het Ontwerpplan het voorwerp van een officiële raadpleging zoals voorzien door de Wet van 13 februari 2006 in Hoofdstuk V.

Daarbij zal NIRAS het advies vragen van de bevolking in het algemeen, het Adviescomité, de Federale Raad voor Duurzame Ontwikkeling, de gewestregeringen en alle andere instanties die NIRAS relevant acht (met name het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle, FANC).

Het Ontwerpplan wordt aangepast en verfijnd op basis van deze adviezen en van de belangrijke inzichten en aandachtspunten van de SEA. Het definitieve Afvalplan en de SEA zullen dan in het najaar van 2010 voorgelegd worden aan de Regering.

De federale procedure voor een SEA wordt in de onderstaande figuur weergegeven.

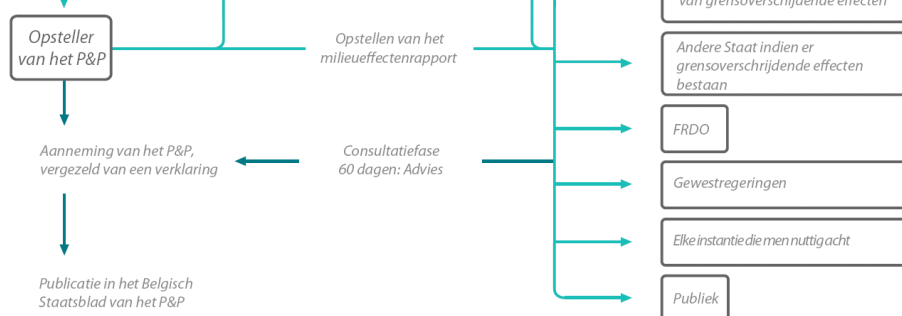
Omzetting op federaal niveau van de Richtlijn 2001/42/EG
Procedure "SEA"

Wanneer een strategische milieueffectbeoordeling vereist is voor een plan of programma

2e Fase



3e Fase



Figuur 1: Procedure federale SEA

2. INHOUD EN DOELSTELLINGEN VAN HET AFVALPLAN

2.1 Voor welke categorieën van radioactief afval is het Afvalplan van toepassing?

Radioactief afval is afkomstig uit diverse sectoren. Ongeveer 80% qua volume komt voort uit bedrijven die betrokken zijn bij de productie van elektriciteit uit kernenergie: in de eerste plaats de kerncentrales¹, maar ook fabrieken voor de productie van kernbrandstof, installaties voor verwerking en conditionering van radioactief afval en onderzoeksinstellingen. Ook in de geneeskunde worden radioactieve stoffen gebruikt, o.a. voor diagnoses. In de voedingsindustrie worden bepaalde voedingsmiddelen gesteriliseerd door bestraling. Een andere industriële toepassing is de doorlichting van lasnaden om defecten op te sporen. Tenslotte leidt ook de ontmanteling van niet meer gebruikte nucleaire installaties tot de productie van radioactief afval (7), (8).

In haar inventaris van radioactieve afvalstoffen houdt NIRAS rekening met het afval gegenereerd tijdens de werking en ontmanteling van de bestaande nucleaire installaties (commerciële kerncentrales, onderzoeksreactoren, fabrieken voor productie van kernbrandstof, behandelings- en conditioneringinstallaties, installaties voor de productie van isotopen, ...) en met het afval afkomstig van medische, industriële en onderzoekstoepassingen, en dit voor de historische, huidige en te voorziene activiteiten.

Voor het geconditioneerd radioactief afval (d.w.z. het afval dat geïmmobiliseerd is in bv. cement, glas of bitumen) wordt een onderscheid gemaakt tussen de categorieën A, B en C. De indeling gebeurt volgens activiteit en halveringstijd. De activiteit is verbonden met het risico op gezondheidsschade door radioactieve straling. De halveringstijd van een radionuclide is de tijd waarin de helft van de aanwezige radioactieve kernen gedesintegreerd zijn.

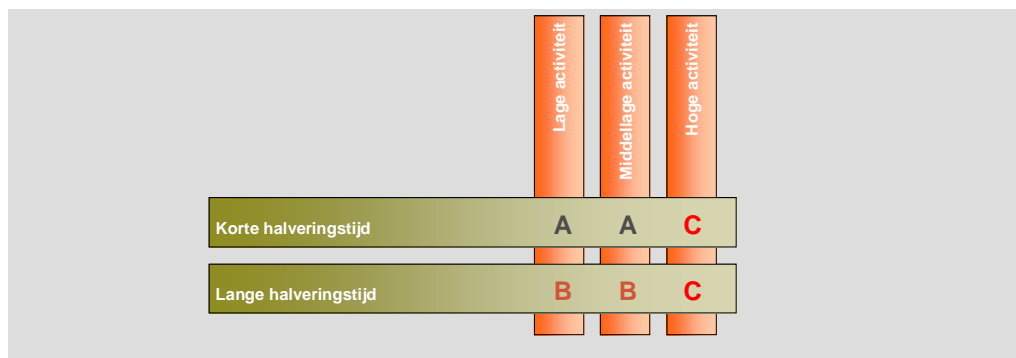
Categorie A afval omvat geconditioneerd laag- en middelactief afval met korte levensduur (halveringstijd in de grootte-orde van 30 jaar) en wordt hier niet verder besproken. In 1998 heeft de Regering gekozen voor een definitieve maar flexibele en omkeerbare oplossing. In 2006 werd beslist dat deze oplossing de vorm zal krijgen van een oppervlakteberging op het grondgebied van de gemeente Dessel. NIRAS werkt deze oplossing momenteel verder uit in het kader van een geïntegreerd project, waarbij het lokale draagvlak en het creëren van toegevoegde waarde onlosmakelijk met de technische oplossing verbonden zijn.

Categorie B afval omvat geconditioneerd laag- en middelactief afval dat besmet is met alfastralers met lange levensduur (halveringstijd van meer dan 30 jaar) in concentraties die te hoog zijn om in categorie A ingedeeld te worden, maar dat te weinig warmte afgeeft om deel uit te maken van categorie C.

Categorie C afval omvat geconditioneerd hoogradioactief afval dat grote hoeveelheden bèta- en gammastralers met korte en lange levensduur bevat, alsook grote hoeveelheden alfastralers met lange levensduur (halveringstijd van meer dan 30 jaar). Door zijn hoge activiteit geeft dit afval veel warmte af.

¹ Zeven commerciële kerncentrales: **Doel 1** (412 MWe, 1974), **Doel 2** (454 MWe, 1975), **Doel 3** (1056 MWe, 1982), **Doel 4** (1041 MWe, 1985), **Tihange 1** (1009 MWe, 1975), **Tihange 2** (1055 MWe, 1983), **Tihange 3** (1065 MWe, 1985).

De indeling van het geconditioneerde radioactief afval in 3 categorieën wordt in Figuur 2 schematisch weergegeven.



Figuur 2: Schematische indeling van het geconditioneerde radioactief afval

Voor hoogradioactief en/of langlevend afval (d.w.z. afval van categorieën B en C) is een afscherming gedurende honderdduizenden jaren nodig om mens en milieu te beschermen. Daarom worden deze beide categorieën samen bekeken in het zoeken naar een langetermijnbeheersysteem. Dit is in overeenstemming met internationale aanbevelingen.

In België bevindt het langetermijnbeheer van het afval van categorie B en C zich op dit moment nog in het stadium van vergevorderd onderzoek en ontwikkeling; de regering heeft nog geen beslissing genomen over hoe het langetermijnbeheer moet gebeuren. In afwachting daarvan wordt het afval in kwestie voorlopig veilig opgeslagen.

Volumes

In overeenstemming met de Wet van 31 januari 2003 over de kernuitstap (9) en met de Resolutie van de Kamer van 22 december 1993 over opwerking (10) worden de volumes van het afval van de categorieën A, B en C ingeschat met de gegevens die op dit ogenblik voorhanden zijn, in functie van 40 jaar exploitatie van de 7 commerciële reactoren, en al dan niet met toepassing van opwerking van de bestraalde splijtstof (11), (12). Een eventuele opheffing van het moratorium op opwerking van de bestraalde splijtstof heeft een belangrijke impact op het beheer op lange termijn van afval van categorie C, aangezien dit het volume drastisch wijzigt.

- Afval van categorie A: 69.900 m³
- Afval van categorie B:
 - Met opwerking: 11.100 m³
 - Zonder opwerking: 10.430 m³
- Afval van categorie C:
 - Met opwerking: 600 m³
 - Zonder opwerking: 4.500 m³

Het effect op de hoeveelheden afval van de eventuele implementatie van de recente beslissing om de oudste reactoren (Doel 1 en 2 en Tihange 1) 10 jaar langer in exploitatie te houden, wordt verder toegelicht in hoofdstuk 4, dat de invloed van andere relevante plannen en programma's op het Ontwerpplan behandelt.

Bestraalde splijtstof en ulciem afval

Indien de bestaande Belgische kernreactoren gedurende 40 jaar elektriciteit zullen produceren, zal in totaal ongeveer 5400 ton splijtstof bestraald zijn. Er is echter overwogen om de drie oudste reactoren 10 jaar langer open te houden.

Voordat het moratorium op opwerking (10) in 1993 in België van kracht werd, werd 672 ton van de splijtstof bestraald in de Belgische kerncentrales naar COGEMA (nu AREVA NC) te La Hague (Frankrijk) gestuurd voor opwerking. Hierbij werd ongeveer 6,3 ton plutonium gerecupereerd. Dit plutonium werd grotendeels gebruikt voor de productie van 66 tHM (tons of heavy metal) MOX-splijtstof (mengsel van plutonium- en uraniumoxide), die eveneens bestraald is in Belgische kernreactoren (Doel 3 en Tihange 2). Een deel van het plutonium van de opwerking werd gebruikt in het Europese kweekreactorproject (12).

De opwerking van 632 ton bestraalde splijtstof heeft geleid tot de productie van 387 vaten met verglaasd hoogradioactief afval en 528 vaten met gecompacteerd afval. Dit laatste bestaat voornamelijk uit gecompacteerde hulzen en constructie-elementen van splijtstofbundels en bevat ook een kleine hoeveelheid technologisch afval afkomstig van de opwerkingsinstallatie. Ook werden bij de opwerking enkele tientallen vaten verglaasd middelactief afval geproduceerd; deze moeten nog terugkeren naar België. De 387 vaten met verglaasd hoogradioactief afval zijn momenteel opgeslagen in gebouw 136 bij Belgoprocess te Dessel. Ook de 528 vaten met gecompacteerd afval zullen in hetzelfde gebouw opgeslagen worden.

In het scenario dat in de toekomst geen opwerking meer zal gebeuren, en indien de Belgische kerncentrales gedurende 40 jaar elektriciteit zullen opwekken, worden de volgende hoeveelheden geproduceerd:

- 528 vaten van 180 liter met gecompacteerd afval van opwerking (categorie B)
- 62 vaten van 180 liter met verglaasd middelactief afval van opwerking (categorie B)
- 387 vaten van 180 liter met verglaasd hoogradioactief afval van opwerking (categorie C)
- 66 tHM bestraalde MOX-splijtstof
- Ongeveer 4650 tHM bestraalde uraniumoxide-splijtstof

De eerste drie stromen moeten als ulciem afval beschouwd worden, samen met al het overige radioactief afval van categorieën A en B dat momenteel geproduceerd wordt of geproduceerd zal worden gedurende de exploitatie van de commerciële kernreactoren en gedurende hun ontmantelling. Ulcium afval wordt gedefinieerd als afval waarvoor valorisatie of vermindering van het gevaarlijke karakter in de huidige technische en economische omstandigheden niet mogelijk is, of waarvoor het niet redelijk lijkt om aan te nemen dat dit in de toekomst wel mogelijk zal zijn. Hoewel het hoogradioactief verglaasd afval kleine hoeveelheden neptunium, americium en curium bevat (actiniden die mogelijk in de toekomst in generatie IV-reactoren gerecycleerd kunnen worden, zie paragraaf 7.2.2.2), wordt in geen enkel land overwogen om dit type afval in de toekomst opnieuw te behandelen om deze elementen uit het afval te verwijderen. Dit is om economische redenen en om redenen van stralingsbescherming niet te verantwoorden.

De grote volumes historisch afval van categorie B, o.a. het afval afkomstig van de vroegere opwerkingsfabriek van Eurochemic te Dessel, zijn eveneens te beschouwen als ulciem afval.

UMTRAP

Een ander dossier dat een invloed kan hebben op de hoeveelheden afval is de opslagplaats voor UMTRAP (Uranium Mill Tailings Remedial Action Programme) bij Umicore in Olen. De opslagplaats bevat restanten van de productie van radium en grond die uitgegraven is bij de ontmanteling van de radiumfabriek in de jaren '80. De nodige maatregelen voor de bescherming van mens en milieu zijn getroffen. De vergunning uit de productieperiode werd omgezet in een vergunning voor de opslag van radioactief afval. Een studie moet aantonen dat de opslagplaats als bergingsinstallatie aanvaard kan worden.

Umicore opteert er momenteel voor om dit afval zelf actief te beheren (13). Mocht er in de toekomst toch beslist worden om het over te dragen aan NIRAS, dan betekent dit een toename van de hoeveelheid afval van categorie B met ongeveer 10.000 m³ (d.w.z. ongeveer een verdubbeling).

Verschuivingen tussen categorie A en categorie B

De exploitatievergunning voor de oppervlaktebergingsinstallatie voor afval van categorie A te Dessel dient nog afgeleverd te worden. Deze zal criteria bevatten waaraan het afval moet voldoen om toegelaten te worden tot de installatie. Afval dat nu als categorie A geclassificeerd wordt, kan bijgevolg, na de toetsing aan deze criteria, verschuiven naar categorie B of omgekeerd.

2.2 Welke principes hanteert NIRAS voor het beheer van radioactief afval?

Bij het beheer van radioactief afval volgt NIRAS een aantal leidende principes, die ook de basis vormen voor het Afvalplan. Deze zijn, naast de geldende federale wetgeving en EU-regelgeving rond Strategic Environmental Assessment (SEA), bepalend voor de manier waarop de SEA voor het Afvalplan opgevat wordt. Hieronder worden de principes kort besproken. Deze worden verder toegelicht in het Ontwerpplan.

In de eerste plaats zijn de beginselen die vastgelegd zijn in de **Verklaring van Rio de Janeiro** inzake milieu en ontwikkeling sturend (14). Deze 27 beginselen leggen onder meer de nadruk op het belang van milieubescherming als voorwaarde voor duurzame ontwikkeling, op intergenerationele billijkheid, op deelname van de burgers, op het belang van een voorzorgsbenadering, op het voorkomen van milieu-impact over nationale grenzen heen, en op inzet van het instrument milieueffectrapportage voor het beoordelen van activiteiten die een nadelige invloed op het milieu kunnen hebben.

In de **principes van het beheer van radioactief afval** van het IAEA (International Atomic Energy Agency) (15) vinden we uitgangspunten terug die sterk verwant zijn aan wat reeds in de Verklaring van Rio aan bod kwam. Zo stellen deze principes dat het milieu en de menselijke gezondheid beschermd moeten worden, over de nationale grenzen heen, niet alleen voor de huidige maar ook voor de toekomstige generaties. In het geval van radioactief afval is dit laatste aspect natuurlijk van uitzonderlijk belang, gezien de zeer lange tijd dat het afval nog schadelijk kan zijn; de principes van het beheer van radioactief afval benadrukken dan ook de noodzaak om de veiligheid van de installaties gedurende de volledige duur van het beheer te garanderen. De negen principes van het IAEA worden hieronder opgesomd²:

² Bron: "Werken vanuit principes". Document ter voorbereiding van de Dialogen van NIRAS (2009). Niet-officiële vertaling op basis van de oorspronkelijke IAEA-tekst.

1. Radioactief afval moet zo beheerd worden dat een aanvaardbaar niveau van bescherming van de menselijke gezondheid verzekerd wordt.
2. Radioactief afval moet zo beheerd worden dat een aanvaardbaar niveau van bescherming van het leefmilieu geboden wordt.
3. Radioactief afval moet zo beheerd worden dat rekening gehouden wordt met de effecten op de menselijke gezondheid en op het leefmilieu voorbij de nationale grenzen.
4. Radioactief afval moet zo beheerd worden dat de voorspelde impact op de gezondheid van volgende generaties niet groter zal zijn dan het relevante niveau van impact dat vandaag als aanvaardbaar beschouwd wordt.
5. Radioactief afval moet zo beheerd worden dat er geen overmatige lasten op de volgende generaties gelegd worden.
6. Radioactief afval moet beheerd worden binnen een aangepast nationaal wettelijk kader, waarin de verantwoordelijkheden duidelijk toegekend zijn en waarin voorzien wordt in onafhankelijke regulerende functies.
7. Het voortbrengen van radioactief afval zal tot een haalbaar minimum beperkt worden.
8. De onderlinge afhankelijkheid van alle stappen van de productie en het beheer van radioactief afval moet afdoende in rekening gebracht worden.
9. De veiligheid van de installaties voor het beheer van radioactief afval moet gedurende de volledige duur van het beheer afdoende verzekerd worden.

De **veiligheidsprincipes** (16) van het IAEA hernemen het beginsel dat “*alle mensen en het leefmilieu, vandaag en in de toekomst, beschermd moeten worden tegen stralingsrisico's*”. Verder gaan de veiligheidsprincipes in op de verschillende verantwoordelijkheden met betrekking tot het garanderen van die veiligheid en op de noodzaak van een maatschappelijk gunstige kosten-batenverhouding tussen enerzijds het risico van blootstelling aan ioniserende straling van een installatie en anderzijds het voordeel dat die installatie verschaft. De bescherming tegen risico's van blootstelling aan ioniserende straling heeft als doel om ervoor te zorgen dat geen enkel mens een onaanvaardbaar risico loopt.

De **principes van stralingsbescherming** van de International Commission on Radiological Protection (ICRP) (17), (18) hernemen onder meer het principe dat blootstelling van mensen aan ioniserende straling zo laag moet zijn als redelijkerwijze haalbaar is, rekening houdende met economische en sociale factoren (optimalisatie- of ALARA-principe – As Low As Reasonably Achievable considering socio-economic factors), dat situaties waaraan een risico van ioniserende straling verbonden is maatschappelijk gezien meer voordelen dan nadelen moeten bieden, en dat blootstellingen beperkt moeten worden (dosislimieten en – beperkingen).

De **principes van intra- en intergenerationele billijkheid** kunnen gezien worden als een bevestiging van principes die reeds eerder aan bod kwamen. Intragenerationele billijkheid houdt verband met de billijke verdeling van voor- en nadelen binnen een generatie. Concreet voor het beheer van radioactief afval heeft dit principe betrekking op de lasten die een bepaalde groep burgers binnen onze maatschappij vandaag draagt of zou dragen als gevolg van de beheeroptie die gekozen wordt. Het principe van intergenerationele billijkheid stelt hetzelfde, maar dan voor de toekomstige generaties: ook deze mogen geen disproportioneel deel van de lasten te dragen krijgen, en mogen als gevolg hiervan niet in hun ontwikkeling benadeeld worden.

De benadering “concentratie en insluiting” wordt internationaal beschouwd als de aangewezen benadering voor het beheer van radioactief afval van de categorieën A, B en C, in tegenstelling tot de benadering “verdunding en verspreiding” (15), (19).

Er zijn twee verschillende manieren zijn om radioactief afval te beheren op een wijze die de hoger aangehaalde principes respecteert. Bij **actief beheer** steunen de veiligheid en de bescherming van mens en milieu voortdurend op menselijke acties. Bij **passief beheer** worden de veiligheid en de bescherming van mens en milieu verzekerd zonder dat tussenkomst van de mens nodig is (19).

Tenslotte wordt er gestreefd naar **goed financieel beheer**, d.w.z. naar een kosteneffectieve veilige oplossing die gefinancierd wordt door de veroorzaker van het afval.

2.3 De vier dimensies voor het beheer van radioactief afval op lange termijn

Bij de verschijning van het SAFIR 2-rapport (7), (20), dat de verworven wetenschappelijke en technische kennis inzake het langetermijnbeheer van afval van categorieën B en C in België bundelde, en dankzij haar ervaring m.b.t. de participatie van lokale gemeenschappen in het kader van het bergingsproject voor afval van categorie A, wees NIRAS al op de beperkingen van een benadering die hoofdzakelijk steunt op de begrippen wetenschappelijke risico-evaluatie en preventie wanneer beslissingen genomen moeten worden in een situatie met tal van onzekere factoren (21). In dergelijke situaties, zoals het langetermijnbeheer van afval van categorieën B en C, krijgt de besluitvorming, die uiteraard op stevige wetenschappelijke argumenten moet berusten, ook een maatschappelijke dimensie. Naast de technische en wetenschappelijke dimensie moet het besluitvormingsproces dus ook rekening houden met de waarden die burgers nastreven.

De notie van duurzame ontwikkeling

Aangezien de term “duurzaam” tot verwarring kan leiden, is het nuttig deze te herdefiniëren in het kader van de specifieke situatie waarin hij gebruikt wordt (22).

Het begrip “duurzame ontwikkeling” verscheen voor het eerst in (en maakt de kern uit van) het rapport “Our Common Future”, ook het Brundtlandrapport genoemd (23). Dit rapport werd in 1987 door de Wereldcommissie voor Milieu en Ontwikkeling van de Verenigde Naties gepubliceerd en legt een eenduidig verband tussen economische groei, milieuproblemen, armoede en ontwikkeling. Duurzame ontwikkeling wordt hier opgevat als een ontwikkeling die tegemoetkomt aan de noden van vandaag zonder het vermogen van de toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in het gedrang te brengen. Duurzame ontwikkeling draait dus om een bewustwording van de verplichtingen van de huidige generatie ten aanzien van de volgende generaties. De begrippen duurzame ontwikkeling en intra- en intergenerationele billijkheid werden daarna overgenomen in de principes uiteengezet in de Verklaring over Milieu en Ontwikkeling van de Verenigde Naties (Rio de Janeiro, 1992) (14). De manier waarop deze waarden en principes verklaard en toegepast kunnen worden, zal meer in detail toegelicht worden bij de bespreking van de ethische aspecten (zie paragraaf 9.7.1.3).

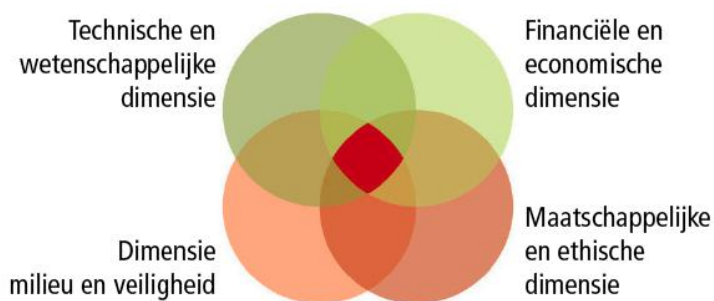
Onder de principes en noties die vaak worden geassocieerd met duurzame ontwikkeling vinden we met name het voorzorgsbeginsel, de visie op lange termijn, het principe “de vervuiler betaalt”, de wens om geen onaanvaardbare lasten door te geven aan andere bevolkingsgroepen (in het bijzonder de minst bevoordeelde) of aan toekomstige generaties, en de maatschappelijke verantwoordelijkheid (22).

België is de weg van duurzame ontwikkeling ingeslagen door de goedkeuring van de Wet van 5 mei 1997 betreffende de coördinatie van het federale beleid inzake duurzame ontwikkeling (24).

NIRAS is voorstander van geïntegreerde oplossingen voor het langetermijnbeheer van afval van categorieën B en C, m.a.w. oplossingen die de bescherming van mens en milieu waarborgen, waarbij technische, economische en maatschappelijke aspecten tegelijk en op evenwichtige wijze in aanmerking genomen worden en in overleg met alle belanghebbende partijen uitgewerkt zijn. Deze oplossingen worden “duurzaam” genoemd, in die zin dat ze rekening houden met de drie dimensies eigen aan duurzame ontwikkeling — milieu, mens en welvaart (die niet alleen een economisch voordeel, maar ook maatschappelijk welzijn omvat) (25) — en met de technische en wetenschappelijke dimensie. Deze laatste is “transversaal” ten aanzien van de andere dimensies: ze legt immers de onmisbare grondslag voor het uitwerken van beheeropties en de evaluatie van hun economische, maatschappelijke en milieugevolgen, maar ook voor de betrouwbaarheid van die evaluatie.

De technische en wetenschappelijke vooruitgang wordt erkend als één van de fundamenten van duurzame ontwikkeling in het algemeen (22) en van de milieuaspecten in het bijzonder, zoals aangegeven in het programma Agenda 21 “A Blueprint for Sustainable Development” dat goedgekeurd werd door de Conferentie van de Verenigde Naties over Milieu en Ontwikkeling in Rio de Janeiro (1992). Hoofdstuk 22 van “Agenda 21” herbevestigt het primordiale belang van een veilig en ecologisch rationeel beheer van radioactief afval (26).

Om de notie van duurzame ontwikkeling zo veel mogelijk te concretiseren, opteert NIRAS in haar Afvalplan en in de bijbehorende SEA derhalve voor een evaluatie van de overwogen beheeropties op basis van vier dimensies.



Figuur 3: De vier dimensies van het langetermijnbeheer van radioactief afval

De economische en financiële dimensie en de maatschappelijke dimensie, die in het bijzonder verwijzen naar de noodzaak om de financiering van het afvalbeheer te garanderen zonder buitensporige lasten door te geven aan de toekomstige generaties, maken eveneens integraal deel uit van het basisprincipe van optimalisering van de bescherming van mens en milieu tegen ioniserende straling (ook ALARA-principe genoemd — As Low As Reasonably Achievable of zo laag als redelijkerwijs mogelijk), dat voorschrijft dat de waarschijnlijkheid van blootstelling, het aantal blootgestelde personen en de grootte van hun individuele doses zo laag mogelijk gehouden moeten worden, rekening houdend met economische en maatschappelijke factoren. Dit omvat derhalve ook een economische en een maatschappelijke component (18).

Dat het absoluut noodzakelijk is om deze vier dimensies in aanmerking te nemen en in te bouwen bij de evaluatie van de opties die worden overwogen voor het beheer van afval van categorieën B en C werd duidelijk aangegeven door alle deelnemers aan de maatschappelijke consultatie die door NIRAS voorafgaand aan de uitwerking van het Afvalplan en het SEA-ontwerpregister werd georganiseerd (27).

NIRAS is zich evenwel bewust van het feit dat een benadering aan de hand van duurzame ontwikkeling het kader van het beheer van radioactief afval overstijgt, vermits deze bijvoorbeeld een veel globaler beeld vereist van de impact van de overwogen beheeropties op de instandhouding van de natuurlijke rijkdommen.

Duurzame ontwikkeling en het voorzorgsbeginsel

De Verklaring van Rio linkt het concept van duurzame ontwikkeling aan het voorzorgsbeginsel (Beginsel 15), dat een verband legt tussen enerzijds situaties waarin risico's genomen worden bij grote onzekerheid en anderzijds de wetenschappelijke en technische dimensie [niet-officiële vertaling van NIRAS]: *“Teneinde het milieu te beschermen zullen staten naar hun vermogen op grote schaal de voorzorgsbenadering moeten toepassen. Daar waar ernstige of onomkeerbare schade dreigt, dient het ontbreken van volledige wetenschappelijke zekerheid niet als argument gebruikt te worden voor het uitstellen van kosteneffectieve maatregelen om milieuaantasting te voorkomen.”* In de betekenis van actiebeginsel zou het voorzorgsbeginsel vertaald kunnen worden als *“doe er in geval van twijfel alles aan om zo goed mogelijk te handelen”* (28). Wat deze interpretatie concreet inhoudt, wordt verder toegelicht bij de beschrijving van de ethische principes en waarden die de basis vormen van de beoordeling van de beheeropties (zie paragraaf 9.7.1.3).

In het kader van het Afvalplan en de SEA worden door NIRAS de risico's geëvalueerd en worden wetenschappelijke en maatschappelijke onzekerheden opgespoord die verbonden zijn met de bestudeerde opties voor het beheer van radioactief afval van categorieën B en C. Vervolgens wordt aan de Regering die oplossing ter goedkeuring voorgelegd die het meest aangewezen lijkt om de schade te voorkomen die dit afval aan mens en milieu kan berokkenen. NIRAS zal herhaaldelijk de risico's en onzekerheden beoordelen die verbonden zijn aan de oplossing die gekozen zal worden naarmate ze ontwikkeld wordt. In het kader van het ontwikkelingsproces van het Afvalplan en SEA worden verscheidene initiatieven voor maatschappelijke consultatie op touw gezet.

De criteria voor de beoordeling van de beheeropties worden afgeleid uit de dimensie milieu en veiligheid, de financiële en economische dimensie en de maatschappelijke en ethische dimensie. De vierde dimensie (wetenschap en technologie) vormt een noodzakelijke informatiebasis om de beoordeling voor elk van de criteria te kunnen uitvoeren. Beheeropties waarvan de eigenschappen het best beantwoorden aan deze criteria zullen het best in staat zijn de centrale doelstelling te behalen, en zijn dus te verkiezen boven andere mogelijke beheeropties.

2.4 Inhoud van het Afvalplan

In het Afvalplan (3) worden allereerst de context en de draagwijdte beschreven: de opdracht van NIRAS, het toepassingsgebied van het beheersysteem voor radioactief afval, de organisatie en de financiering van dit beheersysteem en de noodzaak om op institutioneel niveau een beleidskeuze te maken inzake het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.

Vervolgens wordt er dieper ingegaan op de verschillende opties voor het langetermijnbeheer. Het onderzoek naar de voorwaarden voor implementatie wordt samengevat. Ook de besluitvormings- en maatschappelijke aspecten komen aan bod. De door NIRAS aangewezen oplossing – geologische berging op Belgisch grondgebied in weinig verharde klei, en dit zodra mogelijk – wordt beschreven, inclusief het besluitvormingsproces dat NIRAS voorstelt om stapsgewijs tot de uitvoering van deze oplossing te komen.

Het Afvalplan vestigt verder de aandacht op enkele openstaande vragen die de noodzaak van een principebeslissing inzake het langetermijnbeheer niet in vraag stellen, maar waarvan het antwoord niet onder de bevoegdheid van NIRAS valt. Er wordt een mogelijk verband gelegd met andere federale plannen, programma's of beleidslijnen.

Tenslotte wordt de federale regering gevraagd om een principebeslissing te nemen rond het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval, en dit op basis van het voorstel van NIRAS.



3. LINKS MET BESTAANDE WET- EN REGELGEVING, BELEID EN DOELSTELLINGEN INZAKE MILIEUBESCHERMING

Hierna wordt een overzicht gegeven van relevante wet- en regelgeving. Het gaat enerzijds om regelgeving over bescherming tegen ioniserende straling, en anderzijds over regelgeving die bijdraagt tot het realiseren van doelstellingen inzake milieubescherming.

Tabel 2: Overzicht van regelgeving over bescherming tegen ioniserende straling

Regelgevende tekst	Beschrijving
Beveiliging en safeguards	
03/04/2005 Verdrag betreffende de bestrijding van nucleair terrorisme	Internationaal verdrag betreffende bestrijding van nucleair terrorisme dat samenwerking tussen lidstaten mogelijk maakt.
03/03/1980 Verdrag inzake de fysieke bescherming van nucleair materiaal	Internationaal verdrag dat beveiliging van nucleair materiaal tijdens gebruik, opslag en vervoer (internationaal en nationaal) volgens vastgelegde veiligheidsniveaus reguleert.
01/07/1968 Verdrag inzake de niet-verspreiding van kernwapens	Internationaal verdrag inzake niet-verspreiding van kernwapens.
20/12/1957 Verdrag inzake de instelling van een veiligheidscontrole op het gebied van kernenergie	Internationaal verdrag inzake externe controles op installaties die splijtstoffen gebruiken.
Ontmanteling van kerncentrales	
11/04/2003 Wet betreffende de voorzieningen aangelegd voor de ontmanteling van de kerncentrales en voor het beheer van splijtstoffen bestraald in deze kerncentrales	Omschrijft mechanismen verbonden met de voorzieningen voor de ontmanteling van de kerncentrales en voor het beheer van splijtstoffen bestraald in deze kerncentrales en bijdragen in kosten.
31/01/2003 Wet houdende de geleidelijke uitstap uit kernenergie voor industriële elektriciteitsproductie	Beginselen van geleidelijke uitstap uit de industriële elektriciteitsproductie door kernenergie en verbod van nieuwe kerncentrales.
Bescherming van mens en milieu	
05/09/1997 Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval	
02/08/2002 Wet houdende instemming met het Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval, gedaan te Wenen op 5 september 1997	Deze wet bekrachtigt het Belgische engagement om de normen en de aanbevelingen van het IAEA in het Gezamenlijk Verdrag na te leven.
20/09/1994 Verdrag inzake nucleaire veiligheid	Internationaal verdrag dat gebruik van kernenergie op veilige en milieuverantwoorde manier reguleert: veiligheid als topprioriteit in alle installaties met kernenergie, stralingsbescherming van bewoners en werknemers, voorbereiding op ongevallen.
17/10/2003 Interventierichtwaarden voor radiologische noodsituaties	Vaststelling door het FANC van principes en richtwaarden bij radiologische interventies.

Regelgevende tekst	Beschrijving
08/06/2000 Aanbeveling 2000/473/Euratom inzake de toepassing van artikel 36 van het Euratom-Verdrag betreffende de controle van de omgevingsradioactiviteit ter beoordeling van de blootstelling van de bevolking	Aanbevelingen van Euratom inzake meetnetten, meetparameters en meetstrategieën om controle uit te oefenen op de inachtneming van de basisnormen, alsook procedures voor rapportage aan de Commissie.
D 96/29/Euratom - basisnormen voor de bescherming van de gezondheid der bevolking en der werkers tegen de aan ioniserende straling verbonden gevaren	
15/04/1994 Wet betreffende de bescherming van de bevolking en van het leefmilieu tegen de uit ioniserende stralingen voortvloeiende gevaren en betreffende het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle	Beschrijft de oprichting & samenstelling van FANC en vergunningen en heffingen voor exploitatie en bouw van nucleaire installaties.
20/07/2001 Koninklijk besluit houdende algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van de ioniserende stralingen	ARBIS omvat de indeling van inrichtingen waarin nucleaire handelingen worden uitgevoerd, vergunningsvoorwaarden, vrijstellingsniveaus ter bescherming van werknemers en bevolking...
09/07/2009 Besluit van het FANC tot vaststelling van vrijstellingsniveaus ter aanvulling van tabel A van bijlage IA van het algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van de ioniserende stralingen	Vrijstellingsniveaus per nuclide, als aanvulling bij tabel A van bijlage IA van ARBIS.
22/09/1992 OSPAR-Verdrag	Internationaal verdrag dat bescherming van het mariene milieu in het noordoostelijke deel van de Atlantische Oceaan door verbod op dumpen van afval in zee en door bescherming tegen verontreiniging van het land.
D 89/618/Euratom - Informatie van de bevolking over de bij stralingsgevaar toepasselijke maatregelen ter bescherming van de gezondheid en over de alsdan te volgen gedragslijn	Maatregelen en procedures ter informatie van de bevolking in geval van stralingsgevaar opgesteld door Euratom.
29/12/1972 Verdrag van Londen	Internationaal verdrag dat het voorkomen van verontreiniging van de zee ten gevolge van het storten van afval en andere stoffen beoogt: het omvat een algemeen verbod op het storten van afval in zee.
22/06/1960 Internationale overeenkomst betreffende de beveiliging arbeiders tegen ioniserende stralen	Beveiligingsmaatregelen voor arbeiders die tijdens de arbeid aan ioniserende stralingen worden blootgesteld
15/01/1965 Wet houdende goedkeuring van het Verdrag (nr. 115) betreffende de beveiliging van arbeiders tegen ioniserende stralen, aangenomen op 22 juni 1960, te Genève, door de Internationale Arbeidsconferentie, tijdens haar vierenveertigste zitting	
25/04/1997 Koninklijk besluit betreffende de bescherming van de werknemers tegen de risico's voortvloeiende uit ioniserende straling	Omvat verplichtingen voor werkgevers en exploitanten van installaties waar werknemers blootgesteld kunnen worden aan ioniserende stralingen en legt de taken van de arbeidsgeneeskundige diensten vast

Regelgevende tekst	Beschrijving
29/03/1958 Wet betreffende de bescherming van de bevolking tegen de uit ioniserende stralingen voortvloeiende gevaren	
Langetermijnbeheer van radioactief afval	
ICRP (2007), The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Publication 103). Ann. ICRP 37 (2-4).	
18/11/2002 Koninklijk besluit houdende regeling van de erkenning van uitrustingen bestemd voor de opslag, verwerking en conditionering van radioactief afval	Regelt de erkenningen van uitrustingen voor opslag van radioactief afval, het instellen van een kwaliteitssysteem en de regelmatige en occasionele inspecties van de installaties
ICRP (1998), Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste (Publication 81). Ann. ICRP 28 (4).	
IAEA (1996), International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA Safety series N° 115.	
12/12/1997 Programma houdende diverse bepalingen, hoofdstuk 3 inzake de inventaris van het nucleair passief	
90/03/1981 Koninklijk Besluit houdende bepaling van de opdrachten en de werkingsmodaliteiten van NIRAS	
08/08/1980 Wet betreffende de budgettaire voorstellen 1979-1980, artikel 179 §2	

Tabel 3: Overzicht van regelgeving die bijdraagt tot het realiseren van milieudoelstellingen

Regelgevende tekst	Beschrijving
Algemeen	
Verdrag van Aarhus (25/06/98)	Verdrag dat de toegang voor het publiek tot milieuginformatie, inspraak bij het besluitvormingsproces en toegang tot de rechter voor milieuaangelegenheden regelt.
Verdrag van Espoo (25/02/91)	Verdrag dat milieueffectenrapportage in grensoverschrijdend verband regelt.
Richtlijn 2001/42/EG	Richtlijn die plicht tot opstellen van milieueffectenbeoordeling voorschrijft voor bepaalde plannen en projecten.
IPPC Richtlijn (2008/1/EG)	Richtlijn die de geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging door bepaalde industriële activiteiten regelt.
Vlaams Gewest: Besluit van de Vlaamse Regering van 6 februari 1991 houdende vaststelling van het Vlaams Reglement betreffende de milieuvergunning (VLAREM)	VLAREM I behandelt de milieuvergunningsplicht en omvat een lijst van hinderlijke inrichtingen. In VLAREM II zijn de milieuvoorwaarden, gekoppeld aan de vergunning tot exploitatie van een hinderlijke inrichting opgenomen.
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Ordonnantie van 22 april 1999 tot vaststelling van de lijst der ingedeelde inrichtingen van klasse 1A (B. S. 5 augustus 1999) + Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 4 maart 1999 tot vaststelling van de lijst der ingedeelde inrichtingen van klasse 1B, 1C, 2 en 3 (B. S. 7 augustus 1999)	Alle installaties, uitrustingen en activiteiten die gevaar, hinder of ongemak kunnen veroorzaken ten opzichte van het leefmilieu en/of de gezondheid en de veiligheid van personen zijn 'hinderlijke inrichtingen', waarvoor een aangifte of vergunning o.b.v. de ordonnantie vereist is. Een ingedeelde inrichting behoort tot een klasse afhankelijk van het risico dat ze inhoudt voor gevaar, hinder of ongemak voor de mensen en het milieu. De klassen zijn gerangschikt in dalende volgorde van mogelijke milieu-impact: 1A, 1B, 2 en 3.
Waals Gewest: Decreet van 11 maart 1999 betreffende de milieuvergunning (B. S. 8 juni 1999) + Besluit van de Waalse Regering van 4 juli 2002 betreffende de procedure en diverse maatregelen voor de uitvoering van het decreet van 11 maart 1999 betreffende de milieuvergunning (B. S. 21 september 2002)	De milieuvergunning is een vergunning die het effect van de exploitatie op het milieu onderzoekt. Er bestaan drie categorieën, gebaseerd op de invloed van de exploitatieactiviteiten op het milieu: klasse 1 (de vergunning heeft betrekking op activiteiten die potentieel de meeste vervuiling met zich meebrengen), klasse 2 (de vergunning groepeerde de activiteiten die niet in klasse 1 en 3 zijn ondergebracht), klasse 3 (de milieuverklaring, voor installaties en activiteiten die geen belangrijke invloed hebben op mens en milieu).
Gewestplannen	Het gewestplan is de retranscriptie van de stedenbouwkundige realiteit van het gewest in de vorm van een kaart. De terreinen zijn gegroepeerd in gebieden op basis van hun aard en de activiteiten die er worden uitgevoerd. Naast die gegevens, kan je er ook juridische informatie vinden zoals het feit of er al dan niet een recht van voorkoop ten voordele van de overheid aanwezig is.
Vlaams Gewest: Gewestplan	Het Vlaams gewestplan is een kaart waarop alle percelen van het Vlaamse grondgebied vermeld zijn, vergezeld van legenda op basis van hun stedenbouwkundige bestemming.

Regelgevende tekst	Beschrijving
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Gewestelijk Bestemmingsplan (GBP) (Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering tot goedkeuring van het gewestelijk bestemmingsplan van 3 mei 2001)	Sinds het op 29 juni 2001 van kracht werd, is het GBP het referentiekader voor alles wat de komende jaren met ruimtelijke ordening te maken heeft in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Het GBP vormt de top in de hiërarchie van de verordenende plannen. Elke stedenbouwkundige vergunning die wordt afgegeven moet in overeenstemming zijn met dit GBP.
Waals Gewest: "Plans de secteur"	Er zijn in Wallonië 23 gewestplannen ("plans de secteur"). De gewestplannen zijn kaarten waarop alle percelen van het Waalse grondgebied vermeld staan, vergezeld van legenda op basis van hun stedenbouwkundige bestemming.
Ruimtelijke uitvoeringsplannen	De ruimtelijke uitvoeringsplannen bestaat op 3 niveaus: gewestelijk, provinciaal en gemeentelijk. Indien een goedgekeurd ruimtelijk structuurplan voorhanden is, vervangt het RUP het (betreffende deel van het) gewestplan. Ruimtelijke uitvoeringsplannen werken de algemene afspraken van het structuurplan juridisch verder uit. Ruimtelijke uitvoeringsplannen komen in de plaats van plannen van aanleg en gewestplannen. Gewestelijke RUP's zijn bedoeld om wijzigingen van kleinere omvang aan het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen aan te brengen in afwachting tot de tien jaren verstreken zijn voor de opmaak van een nieuw structuurplan.
Vlaams Gewest: Vlaamse Decreet op de Ruimtelijke Ordening (DRO, 18 mei 1999) - sinds 1 september 2009: Vlaamse Codex Ruimtelijke Ordening (i.e. een coördinatie van het (gewijzigde) DRO)	De Codex is de juridische basis voor de ruimtelijke ordening en stedenbouw in het Vlaams Gewest, en bevat o.a. bepalingen inzake het ruimtelijk plannings-, vergunnings- en handhavingsbeleid.
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Brussels Wetboek Ruimtelijke Ordening (BWRO) van 9 april 2004 (B. S. 26 mei 2004)	Het BWRO vormt de juridische basis voor de ruimtelijke ordening en de stedenbouw in Brussel, en vaardigt vooral regels en voorwaarden uit voor het verkrijgen van een stedenbouwkundige vergunning en voor de antwoordtermijnen van overheidsinstanties met betrekking tot de aanvragen. Het bepaalt o.a. ook de werken die onderworpen zijn aan een stedenbouwkundige vergunning, voorafgaand advies van een afgevaardigde ambtenaar of de bijstand van een architect.
Waals Gewest: Waals Decreet Ruimtelijke Ordening, Stedenbouwkunde en Patrimonium (Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine, CWATUP) (B. S. 19 mei 1984)	Het CWATUP vaardigt o.a. regels en voorwaarden uit voor de stedenbouwkundige vergunningen en voor de antwoordtermijnen van overheidsinstanties.
Ruimtelijke structuurplannen	Een ruimtelijk structuurplan is een beleidsdocument dat het kader aangeeft voor de gewenste ruimtelijke structuur. Het geeft een langetermijnvisie op de ruimtelijke ontwikkeling van het gebied in kwestie. Het is erop gericht samenhang te brengen in de voorbereiding, de vaststelling en de uitvoering van beslissingen die de ruimtelijke ordening aanbelangen.

Regelgevende tekst	Beschrijving
Vlaams Gewest: Ruimtelijk structuurplan Vlaanderen (RSV)	Er worden ruimtelijke structuurplannen op de volgende niveaus opgemaakt: Vlaams Gewest, provincie en de gemeente. Het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen is een wetenschappelijk onderbouwde visie over hoe we in Vlaanderen met onze schaarse ruimte moeten omgaan om een zo groot mogelijke ruimtelijke kwaliteit te krijgen. Het is sinds 1997 van kracht als kader voor het ruimtelijk beleid. Het structuurplan stelt dat we de resterende open ruimte maximaal moeten beschermen en de steden herwaarderen zodat zij aangename plekken worden om te leven. Deze visie wordt volgens vier invalshoeken uitgewerkt: voor de stedelijke gebieden, het buitengebied, de economische gebieden en de lijninfrastructuur.
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Brussels Gewestelijk Ontwikkelingsplan (GewOP)	Het GewOP is een strategisch oriënteringsplan dat de ontwikkelingsdoelstellingen en -prioriteiten van het gewest bepaalt. Het heeft een indicatieve waarde. Het handelt over al de materies waarvoor het gewest bevoegd is of die aan zijn ontwikkeling bijdragen: huisvesting, economie, werkgelegenheid, mobiliteit, milieu, veiligheid, onderzoek, erfgoed, toerisme, handel, cultuur, sociaal beleid. Ook de gemeenten kunnen hun eigen ontwikkelingsplan (GemOP's) opstellen.
Waals Gewest: Gewestelijk Ruimtelijk Ontwikkelingsplan (GROP) - Schéma de Développement de l'Espace régional d'Aménagement (SDER)	Het gewestelijk ruimtelijk ontwikkelingsplan dient om de ruimtelijke ordening van het Waalse grondgebied vorm te geven. Het is immers een algemeen, aanpasbaar en conceptueel document aan de hand waarvan de gewestplannen worden herzien en dat als leidraad dient bij de beslissingen inzake woonvormen, leefomgeving, verkeer, bedrijfsgronden, natuurbehoud enz. Als bepalend voor de toekomst van het grondgebied is dit document levensnoodzakelijk. Op lokaal niveau worden er in Wallonië gemeentelijke ruimtelijke structuurschema's ("schémas de structure communales") gemaakt, die te beschouwen zijn als tegenhanger van de gemeentelijke ruimtelijke structuurplannen in Vlaanderen.
Gewestelijke Milieubeleidsplannen	Milieubeleidsplannen zijn in principe niet juridisch bindend. Veelal hebben ze voor de overheid of bedrijven enkel een richtinggevende waarde. Op deze vrij algemene regel zijn er toch belangrijke uitzonderingen, waar bepalingen van bepaalde plannen bindende waarde kunnen hebben.
Vlaams Gewest: Vlaams milieubeleidsplan 2003-2007, verlengd tot 2010	Het MINA-plan 3 bepaalt de hoofdlijnen van het milieubeleid dat door het Vlaams Gewest en door provincies en gemeenten in aangelegenheden van gewestelijk belang moet worden gevoerd. Het plan moet vooral de doeltreffendheid, de efficiëntie en de interne samenhang van het milieubeleid bevorderen.
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: /	In Brussel worden diverse plannen opgesteld: plannen om de luchtverontreiniging te bestrijden en om energie te besparen, plannen om afval te voorkomen en te beheren, plannen ter bestrijding van het stadslawaai, plannen om groene ruimten aan te leggen en het water te beheren, etc.

Regelgevende tekst	Beschrijving
<p>Waals Gewest: "Plan d'environnement pour le Développement Durable" (PEDD) (Milieuplan voor Duurzame Ontwikkeling)</p>	<p>Wallonië voert hiermee een eigen beleid voor natuurbehoud en bescherming van de biodiversiteit. Om een coherent beleid te voeren zijn het PEDD en andere beleidsinstrumenten van het Waals Gewest op elkaar afgestemd. Zij dragen hoofdzakelijk bij tot het "Plan régional d'Aménagement du Territoire" (PRAT) (gewestelijk plan voor ruimtelijke ordening), dat werd ingevoerd door de CWATUP en het "Plan de Mobilité" (mobiliteitsplan). In het "Plan régional d'Aménagement du Territoire" en het "Plan de Mobilité" vindt men het aspect duurzame ontwikkeling terug op regionaal vlak.</p>
<p>Mobiliteitsplannen</p>	
<p>Vlaams Gewest: Vlaams mobiliteitsplan</p>	<p>Het Vlaams Mobiliteitsplan bepaalt het Vlaamse mobiliteitsbeleid voor de komende jaren. Het plan tracht de bereikbaarheid van steden en dorpen te garanderen, iedereen gelijkwaardige toegang tot mobiliteit te geven, de verkeersveiligheid te vergroten, een leefbare mobiliteit te realiseren en de milieuvervuiling terug te dringen.</p>
<p>Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Gewestelijk Vervoersplan (IRIS-plan)</p>	<p>Een strategisch document voor 2015-2020. Concreet vormt het plan het mobiliteitsluit van het Gewestelijk Ontwikkelingsplan (GewOP) op basis van ambitieuze keuzen ingebed in een logica van duurzame ontwikkeling. Het beschrijft in detail een reeks doelstellingen en acties die ondernomen moeten worden op alle mobiliteitsvlakken, van ruimtelijke ordening tot milieu, van parkeermogelijkheden tot persoonlijke veiligheid, mobiliteit van bedrijven en de leefkwaliteit van de bewoners. Dit plan is nu geactualiseerd aan de hand van het ontwerp van een nieuw gewestelijk plan voor 2015-2020 of het "IRIS2-plan". IRIS 2 is een update en ligt in de lijn van de filosofie van het IRIS-plan van 1998. Maar het oorspronkelijke plan kreeg in zijn geactualiseerde versie wel een nieuw elan.</p>
<p>Waals Gewest: "Plan de Mobilité"</p>	<p>Er is de intentie om een Waals plan voor een duurzame mobiliteit ("Plan Wallon pour une mobilité durable" of "Powamodu") in te voeren.</p>
<p>Bodem</p>	
<p>Vlaams Gewest: Decreet van 27 oktober 2006 betreffende de bodemsanering en de bodembescherming (B. S. 22 april 2008) + VLAREBO: Vlaams reglement van 14 december 2007 betreffende de bodemsanering en de bodembescherming (B. S. 20 februari 2007)</p>	<p>Het Vlaams Bodemdecreet en het VLAREBO voorzien in regelgeving omtrent bodemverontreiniging en –sanering (identificatie, register van verontreinigde gronden, regeling nieuwe en historisch bodemverontreiniging en grondoverdracht). Het VLAREBO bevat ook regels inzake grondverzet.</p>
<p>Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Ordonnantie van 5 maart 2009 betreffende het beheer en de sanering van verontreinigde bodems (B. S. 10 maart 2009)</p>	<p>De Bodemordonnantie heeft tot doel de verontreinigingsrisico's voor mens en milieu te beperken en terug te brengen tot een aanvaardbaar niveau.</p>
<p>Waals Gewest: Decreet van 5 december 2008 betreffende het bodembeheer (B. S. 18 februari 2009)</p>	<p>Het Waals Bodemdecreet somt onder andere op wanneer er een wettelijke verplichting tot het uitvoeren van een bodemonderzoek geldt (overdracht van het terrein, aanvraag van een milieuvergunning, stopzetting van een gevaarlijke activiteit, enz.), wie verantwoordelijk is voor de uitvoering van dit onderzoek (veroorzaker van een verontreiniging, exploitant, eigenaar) en ook de verschillende onderzoeksniveaus die doorlopen moeten worden (oriënterend bodemonderzoek, beschrijvend bodemonderzoek en saneringsplan).</p>

Regelgevende tekst	Beschrijving
Vlaams Gewest: Decreet van 4 april 2003 betreffende de oppervlaktedelfstoffen (B. S. 25 augustus 2003) en uitvoeringsbesluiten (Vlaams Reglement Oppervlaktedelfstoffen, VLAREOP)	Dit decreet betreffende het beleid inzake het beheer van oppervlaktedelfstoffen heeft als basisdoelstelling om, ten behoeve van de huidige en toekomstige generaties, op een duurzame wijze te voorzien in de behoefte aan oppervlaktedelfstoffen. De basisdoelstelling wordt nader geconcretiseerd door o.a. het ontginnen op een wijze dat er een maximale wederzijdse versterking ontstaat tussen de economische componenten, de sociale componenten en de milieuc componenten. Ook het Algemeen oppervlaktedelfstoffenplan kadert in deze basisdoelstelling, en is één van de instrumenten om deze doelstelling te realiseren.
Vlaams Gewest: algemeen oppervlaktedelfstoffenplan	Het algemeen oppervlaktedelfstoffenplan bevat alle aspecten die de bijzondere oppervlaktedelfstoffenplannen overschrijden en noodzakelijk zijn in het licht van de basisdoelstelling van het Oppervlaktedelfstoffendecreet om op een duurzame wijze te voorzien in de behoefte aan (primaire) oppervlaktedelfstoffen (klei, leem, zand, ...) ten behoeve van de huidige en de toekomstige generaties.
Vlaams Gewest: bijzondere oppervlaktedelfstoffenplannen	Daar een aantal elementen zoals ontginningswijze en -diepte, economische waarde en toepassingsgebied van de delfstof, geologisch voorkomen e.d. grondig kunnen verschillen van delfstoftype tot delfstoftype wordt de oppervlaktedelfstoffenplanning georganiseerd aan de hand van een verzameling oppervlaktedelfstoffenplannen. De bijzondere oppervlaktedelfstoffenplannen behandelen een samenhangend oppervlaktedelfstoffengebied waar in hoofdzaak één welbepaalde oppervlaktedelfstof besproken wordt.
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: /	
Waals Gewest: Decreet van 7 juli 1988 op de mijnen (B. S. 27 januari 1989) + Decreet van 27 oktober 1988 over de groeven (B. S. 8 juni 1989)	Het Waals mijnendecreet voorziet o.a. in een vergunningsplicht, in onteigeningsprocedures etc. Het Waals decreet over de groeven bepaalt o.a. dat groeven slechts geëxploiteerd mogen worden mits vergunning, dat er onder bepaalde voorwaarden een recht tot bezetting en ontginning van andermans grond bestaat, etc.
Water	
Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG)	De Europese kaderrichtlijn water stelt als doel een aanvaardbare oppervlakte- en grondwatertoestand te verkrijgen tegen 2015. Doelstellingen worden bereikt via stroomgebiedbeheerplannen en maatregelenprogramma's.
Vlaams Gewest: Vlaams decreet van 18 juli 2003 betreffende het integraal waterbeleid (B. S. 14 november 2003) en uitvoeringsbesluiten	Dit decreet zet de Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG) om in de rechtsorde van het Vlaams Gewest. Er wordt gestreefd naar het gecoördineerd en geïntegreerd ontwikkelen, beheren en herstellen van het watersysteem zodat het voldoet aan de kwaliteitsdoelstellingen voor het ecosysteem en aan het huidige multifunctioneel gebruik. Het waterbeheer wordt per (deel)bekken georganiseerd. Elk project moet aan de watertoets onderworpen worden.
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Ordonnantie van 20 oktober 2006 tot opstelling van een kader voor het waterbeleid (B. S. 3 november 2006)	Deze ordonnantie zet de Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG) om in de rechtsorde van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

Regelgevende tekst	Beschrijving
Waals Gewest: Decreet van 27 mei 2004 betreffende Boek II van het Milieuwetboek, dat het Waterwetboek inhoudt (B. S. 23 september 2004) en uitvoeringsbesluiten	Door dit decreet werd de Kaderrichtlijn Water omgezet in het Waals Gewest.
Overstromingsrichtlijn - Richtlijn 2007/60/EG	
Vlaams Gewest: Decreet van 24 januari 1984 houdende maatregelen inzake grondwaterbeheer (B. S. 5 juni 1984) en uitvoeringsbesluiten	Regelt de bescherming van grondwater tegen verontreiniging, de reglementering betreffende grondwaterwinning en de objectieve aansprakelijkheid voor de grondwatertafeldaling.
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Wet van 26 maart 1971 op de bescherming van het grondwater (B. S. 1 mei 1971) + Koninklijk Besluit van 21 april 1976 tot reglementering van het gebruik van grondwater (B. S. 25 juni 1976)	Regelt de bescherming van grondwater en het gebruik van grondwater.
Waals Gewest: Decreet van 30 april 1990 op de bescherming en de exploitatie van het grondwater en het tot drinkwater verwerkbaar water	Regelt de bescherming en de exploitatie van grondwater en van tot drinkwater verwerkbaar water
Wet van 28 december 1967 betreffende de onbevaarbare waterlopen (B. S. 15 februari 1968) en uitvoeringsbesluiten	Regelt het beheer en de werken aan de onbevaarbare waterlopen
Lucht	
Kaderrichtlijn en dochterrichtlijnen inzake luchtkwaliteit	Vormt de basis voor het luchtbeleid binnen de Europese Unie.
NEC-richtlijn (2001/81/EG) inzake emissieplafonds	Legt reductiedoelstellingen voor verzuring, eutrofiëring (vermesting) en vorming van ozon vast
Geluid	
Richtlijn 2002/49/EG van het Europees Parlement en de Raad van 25 juni 2002 inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai	In het kader van de strijd tegen geluidshinder stelt de Europese Unie een gemeenschappelijke aanpak vast met het oog op het vermijden, voorkomen of verminderen van de schadelijke effecten van blootstelling aan omgevingslawaai. Deze aanpak is gebaseerd op de cartografische bepaling overeenkomstig gemeenschappelijke methoden van de blootstelling aan omgevingslawaai, op de voorlichting van het publiek en op de tenuitvoerlegging van actieplannen op lokaal niveau. Deze richtlijn moet eveneens de grondslagen leggen voor het ontwikkelen van gemeenschappelijke maatregelen om het lawaai van de belangrijkste bronnen te verminderen.
Vlaanderen: Besluit van de Vlaamse Regering van 22 juli 2005 inzake de evaluatie en de beheersing van het omgevingslawaai en tot wijziging van het besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende de algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne (B. S. 31 augustus 2005)	Methodiek voor de evaluatie van hinder veroorzaakt door schadelijk of ongewenst geluid

Regelgevende tekst	Beschrijving
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: (Kader-)ordonnantie van 17 juli 1997 betreffende de strijd tegen geluidshinder in een stedelijke omgeving (B. S. 23 oktober 1997) + Preventie en bestrijding van geluidshinder en trillingen in een stedelijke omgeving in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (Plan 2008-2013)	De ordonnantie dient ter bestrijding van de geluidshinder in een stedelijke omgeving. Deze ordonnantie bepaalde o.a. dat de regering een programma voor de bestrijding van de geluidshinder moet goedkeuren en uitvoeren. Het plan - reeds een derde versie - vormt een akte van de regering die, zonder de ordonnantie uit het oog te verliezen, de strategie, de prioriteiten en de acties beschrijft die ze gespreid over de komende vijf jaren zal ondernemen. Het plan is bindend voor alle administratieve entiteiten die afhankelijk zijn van het Gewest.
Waals Gewest: Decreet van 1 april 1993 tot wijziging van de wet van 18 juli 1973 betreffende de bestrijding van geluidshinder, waarbij de Minister tot wiens bevoegdheden leefmilieu behoort, gemachtigd is om de provincies en gemeenten een toelage toe te kennen met het oog op de aankoop van geluidmeters en ijkingsbronnen (B. S. 1 mei 1993)	Deze wet en haar uitvoeringsbesluiten vormen de wettelijke basis voor de geluidsbestrijding in Wallonië.
Menselijke gezondheid	
Nationaal actieplan voor milieu en gezondheid (NEHAP)	Dit actieplan dient als referentiekader voor het denkwerk rond het nemen van beslissingen over milieu en gezondheid
Algemeen Reglement voor de Arbeidsbescherming (ARAB)	Het ARAB is de samenbundeling van alle reglementaire en algemene bepalingen betreffende de gezondheid en veiligheid van werknemers die reeds vóór 1946 bestonden en de besluiten die sindsdien zijn uitgevaardigd.
Codex Welzijn op het werk (ARAB)	Om de vlotte integratie van de Europese richtlijnen mogelijk te maken, wordt het ARAB sinds 1993 geleidelijk geherstructureerd in de Codex over welzijn op het werk. Nieuwe besluiten over veiligheid, gezondheid en welzijn op het werk worden opgenomen in deze Codex.
Fauna en flora	
Habitatrichtlijn (92/43/EEG) en Vogelrichtlijn (79/409/EEG)	Behandelt de afbakening van Speciale Beschermingszones (SBZ) inzake het behoud van de vogelstand en de natuurlijke habitats en wilde flora en fauna
Vlaanderen: Decreet van 21 oktober 1997 betreffende het natuurbehoud en het natuurlijk milieu (B. S. 10 januari 1998) en uitvoeringsbesluiten	Regelt de bescherming, ontwikkeling, beheer en herstel van de natuur en de natuurlijke milieus. Van groot belang is de afbakening van de VEN- en IVON-gebieden
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Ordonnantie van 27 april 1995 betreffende het behoud en de bescherming van de natuur (B. S. 7 juli 1995) en uitvoeringsbesluiten	Deze ordonnantie beoogt het behoud van de aard, de verscheidenheid, het biologische nut en het ongeschonden karakter van het natuurlijke milieu d.m.v. maatregelen ter bescherming van de flora, de wilde fauna en de ecosystemen, de bodem, de ondergrond en het water, en door de regeling van de visvangst.

Regelgevende tekst	Beschrijving
<p>Waals Gewest: Wet van 12 juli 1973 op het natuurbehoud (B. S. 11 september 1973), gewijzigd door verschillende Waalse decreten, o.a. het Waals decreet van 11 april 1984 waarbij de wet van 12 juli 1973 op het natuurbehoud wordt aangevuld met bepalingen eigen aan het Waalse Gewest (B. S. 17 april 1985)</p>	<p>De Wet op het natuurbehoud is nog steeds van toepassing in Wallonië. De wet omvat drie groepen beschermingsmaatregelen, nl. voor planten- en diersoorten, voor natuurlijke milieus en voor bossen en landelijke ruimte. Bedoeling is de aard, de verscheidenheid en het ongeschonden karakter van het natuurlijk milieu te behouden door middel van maatregelen tot bescherming van de flora en de fauna, hun gemeenschappen en groeiplaatsen, evenals van de bodem, de ondergrond, het water en de lucht. Deze wet vormde in België de eerste globaal uitgewerkte natuurbehoudswetgeving, evenwel met een defensief karakter en een beperkte reikwijdte inzake gebiedsgericht natuurbeleid.</p>
<p>Regelgeving over bossen</p>	
<p>Vlaams Gewest: Bosdecreet van 13 juni 1990 (B. S. 28 september 1990)</p>	<p>Decreet dat het verstandig en duurzaam gebruik en beheer van de Vlaamse bossen regelt. Zo bepaalt het o.a. de ontbossing en de compensatieregeling.</p>
<p>Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Ordonnantie van 30 maart 1995 betreffende het bezoeken van de bossen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (B. S. 23 juni 1995)</p>	<p>De ordonnantie is de wettelijke basis voor het beheer en de bescherming van openbare bossen, en neemt de vroegere regels van de Boswet van 1854 over (die legt regels vast voor openbare bossen en wouden en is nog steeds van toepassing in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest). In het Brussels Gewest geldt dus nog steeds de Boswet van 1854 voor openbare bossen (m.u.v. Titel XI). Voor privébossen is wel nog altijd de Wet van 28 december 1831 op de bescherming van aan particulieren toebehorende wouden en bossen (B. S. 30 december 1831) van toepassing.</p>
<p>Waals Gewest: Decreet van 15 juli 2008 betreffende het Boswetboek (B. S. 12 september 2008) en uitvoeringsbesluiten</p>	<p>In het Waals Gewest geldt nog steeds het Boswetboek van 19 december 1854 (B. S. 22 december 1854) en tal van uitvoeringsbesluiten daarbij.</p>
<p>Verdrag van Ramsar (1971)</p>	<p>Het Verdrag van Ramsar was de eerste aanzet om de vogels in waterrijke gebieden ("wetlands") van internationale betekenis te beschermen. De Conventie verplicht de regeringen de gebieden te beschermen en het belang van de natuur in de gebieden zwaarder te laten wegen dan menselijke belangen. Wetlands zijn volgens de Ramsar-conventie alle waterrijke gebieden en kleine eilanden, met uitzondering van de zee beneden de 6 meter dieptelijn. De gebieden moeten van duidelijke internationale betekenis zijn waarbij het gaat om ecologische, zoölogische, botanische, limnologische of hydrologische aspecten.</p>
<p>Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie</p>	
<p>Conventie van Granada (1985)</p>	<p>Op de ministerconferentie van de Raad van Europa, gehouden in Granada, op 3 oktober 1985, werd een overeenkomst bereikt inzake het behoud van het architectonische erfgoed van Europa. De conventie erkent dat het architectonische erfgoed een onvervangbare weergave is van de rijkdom en verscheidenheid van het culturele erfgoed van Europa, getuigt van de onschatbare waarde van ons verleden en het gemeenschappelijke erfgoed is van alle Europeanen.</p>
<p>Wet van 7 augustus 1931 op het behoud van monumenten en landschappen (BS 5 september 1931), gewijzigd door een aantal decreten</p>	<p>Regelt de bescherming van monumenten, stads- en dorpsgezichten en landschappen en de instandhouding, het herstel en het beheer van beschermd landschappen.</p>

Regelgevende tekst	Beschrijving
Vlaams Gewest: Decreet van 3 maart 1976 tot bescherming van monumenten en stads- en dorpsgezichten (B. S. 22 april 1976)	Regelt de bescherming van monumenten, stads- en dorpsgezichten en landschappen en de instandhouding, het herstel en het beheer van beschermd landschappen
Vlaams Decreet van 16 april 1996 betreffende de landschapszorg (B. S. 21 mei 1996)	Dit decreet regelt de bescherming van de in het Vlaamse Gewest gelegen landschappen, de instandhouding, het herstel en het beheer van beschermd landschappen, ankerplaatsen en erfgoedlandschappen en stelt maatregelen vast voor de bevordering van de algemene landschapszorg.
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Brussels Wetboek van Ruimtelijke Ordening (BWRO)	Landschappen nemen een belangrijke plaats in binnen het onroerend erfgoed. Het gaat hier om "levend" erfgoed dat een specifieke zorg vereist in functie van haar evolutie. De Directie Monumenten en Landschappen neemt maatregelen tot bescherming, conservering en restauratie van landschappen, bomen, parken en tuinen. Zij stelt een inventaris op van merkwaardige bomen in de openbare ruimte of op privédomein.
Waals Gewest: Waals Decreet Ruimtelijke Ordening, Stedenbouwkunde en Patrimonium (CWATUP)	In het CWATUP is het Boek III (art. 185 tot 252 en Boek IV, art. 450 (partim) en 477 tot 529) gewijd aan monumenten, landschappen en opgravingen. Sinds 27 november 1997 is het begrip "landschap" opgenomen in het CWATUP, en moet ermee rekening worden gehouden in de ruimtelijke ordening (bv. bij de opmaak van plannen).
Verdrag van Malta (1992)	Het Verdrag van Malta beoogt het cultureel erfgoed dat zich in de bodem bevindt beter te beschermen. Het gaat om archeologische resten als nederzettingen, grafvelden, en gebruiksvoorwerpen. Uitgangspunt van het verdrag is dat het archeologische erfgoed integrale bescherming nodig heeft en krijgt. Om het bodemarchief beter te beschermen en onzekerheden tijdens de bouw van bijvoorbeeld nieuwe wijken te beperken, wordt voorgesteld om steeds vooraf onderzoek te laten uitvoeren naar de mogelijke aanwezigheid van archeologische waarden.
Vlaams gewest: Decreet 30 juni 1993 houdende de bescherming van het archeologisch patrimonium (B. S. 15 september 1993)	Regelt de bescherming, het behoud, de instandhouding, het herstel en het beheer van het archeologisch patrimonium
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Brussels Wetboek van Ruimtelijke Ordening (BWRO)	De wettelijke bepalingen inzake het behoud van het onroerende erfgoed in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest zijn opgenomen in het Brussels Wetboek voor Ruimtelijke Ordening (BWRO), Titel V, dat van kracht werd op 5 juni 2004, en in diverse toepassingsbesluiten. Het BWRO werd recent gewijzigd door de ordonnantie van 14 mei 2009 (in voege getreden op 1 januari 2010).
Waals Gewest: Waals Decreet Ruimtelijke Ordening, Stedenbouwkunde en Patrimonium (CWATUP)	In het CWATUP is het 'Boek III' (art. 185 tot 252 en Boek IV, art. 450 (partim) en 477 tot 529) gewijd aan monumenten, landschappen en opgravingen.
Klimaat	

Regelgevende tekst	Beschrijving
Kyoto protocol	De Europese implementatie van het Kyoto protocol voorziet in een reductie van de broeikasgasemissies in België met 7,5% tegen 2012 t.o.v. het referentiejaar 1990. Deze reductiedoelstelling werd uitgesplitst in een reductie met 5,2% voor het Vlaams Gewest, een reductie met 7,2% voor het Waals Gewest en een stijging met 3,475% voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Daarnaast engageerde de Federale overheid zich tot een reductie met 4,8 Mton CO ₂ -equivalenten.
Vlaams Gewest: Vlaams klimaatbeleidsplan	Omvat maatregelen die een surplus aan emissiereductie betekenen ten opzichte van het huidige beleid en heeft betrekking op alle broeikasgassen uit het Kyotoprotocol
Brussels Hoofdstedelijk Gewest: Plan voor de structurele verbetering van de luchtkwaliteit en de strijd tegen de opwarming van het klimaat (2002 - 2010)	Dit plan vormt een beslissing van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering die melding maakt van de strategie, de prioriteiten en de acties waarvan zij in die 10 jaar werk zal maken, zelfs al zijn herzieningen mogelijk. Het Plan is dwingend voor alle administratieve eenheden die afhangen van het Gewest.
Waals Gewest: "Plan d'action de la Région Wallonne en matière de changements climatiques" (18 juli 2001)	Dit is een actieplan van de regering van het Waals Gewest tegen klimaatverandering.

4. LINKS MET ANDERE PLANNEN EN PROGRAMMA'S

Volgens Bijlage II van de Wet van 13 februari 2006 moet de SEA onder meer een schets bevatten van het verband van het Afvalplan van NIRAS met andere relevante plannen en programma's.

Voor wat betreft bestaande plannen en programma's opgesomd in de bovenvermelde Wet is het voornaamste zo niet het enige verband, op dit moment van de principebeslissing, dat met het plan of programma inzake de productiemiddelen en de bevoorrading voor elektriciteit, voorzien in artikel 3, § 1, van de Wet van 29 april 1999 betreffende de organisatie van de elektriciteitsmarkt. Voor dit plan is overigens ook een strategische milieueffectenbeoordeling volgens de Wet van 13 februari 2006 opgemaakt (29), (30).

Nauw verwant met de productiemiddelen voor de bevoorrading van elektriciteit is de beslissing van de ministerraad van 12 oktober 2009 om de exploitatieduur van de drie oudste kerncentrales van het Belgische nucleaire park (Doel 1, Doel 2 en Tihange 1) met tien jaar te verlengen. Deze beslissing zou nog omgezet moeten worden omgezet in een juridische tekst. Tot dan blijft de Wet van 31 januari 2003 op de kernuitstap van toepassing.

De beslissing van de ministerraad volgt op de overhandiging, op 30 september 2009, van het eindrapport van de groep GEMIX over de ideale energiemix voor België, waarin verschillende voorstellen worden geformuleerd m.b.t. de voortzetting van kernenergie in België (8). Overeenkomstig de bepalingen van het Koninklijk Besluit van 28 november 2008 (31) diende deze groep van nationale en internationale experts aan de Regering één of meer scenario's voor te stellen voor een ideale energiemix die voldoet aan de vereisten op het vlak van bevoorradingszekerheid, competitiviteit en bescherming van het leefmilieu en het klimaat. Ook een kosten-batenanalyse van het scenario (of de scenario's) werd gevraagd.

Voor het geval dat de beslissing om de exploitatieduur van de drie oudste centrales met tien jaar te verlengen gehandhaafd blijft, heeft NIRAS louter ter informatie een eerste evaluatie gemaakt van de impact van deze beslissing op de te beheren hoeveelheden radioactief afval (zie Tabel 4) (11). Het is immers aan de betrokken producenten, in casu Electrabel en Synatom, om haar zo spoedig mogelijk hun eigen productievoorzichten te bezorgen.

Tabel 4: Indicatieve inventaris die rekening houdt met 50 jaar exploitatie van Doel 1 en 2 en Tihange 1

Categorie	Volume (m ³)
A	70.900
B&C, met hervatting van opwerking	11.900
B&C, met stopzetting van opwerking	15.400

Indien de reactoren Doel 1 en 2 en Tihange 1 tien jaar langer in exploitatie blijven, wordt het totale volume afval van categorieën B en C geschat op 11.900 m³ met opwerking en 15.400 m³ zonder opwerking. De 40 jaar exploitatie van de andere commerciële centrales en alle andere producties zijn inbegrepen (8), (11).

De bijkomende afvalvolumes die voortvloeien uit de eventuele verlenging van de exploitatieduur van de drie oudste kerncentrales werden berekend aan de hand van de evenredigheidsregel (verhouding tussen het totale vermogen van de drie betrokken eenheden en het totale vermogen van het huidige nucleaire park). Ze houden enkel rekening met het exploitatieafval, dit is het afval afkomstig van de werking van de centrales. Er is immers geen enkele raming beschikbaar voor de mogelijk niet onbelangrijke afvalvolumes die geproduceerd zouden kunnen worden door de vernieuwing of vervanging van infrastructuur.

De eventuele verlenging van de exploitatieduur van de drie oudste kerncentrales trekt de noodzaak van een principebeslissing op het vlak van langetermijnbeheer van het afval van categorieën B en C niet in twijfel, wel integendeel. In zijn aanbevelingen heeft de GEMIX immers aangegeven dat *“al het nodige moet worden gedaan, rekening houdend met de technologische evolutie, om tot een definitieve oplossing te komen die vanuit maatschappelijk oogpunt aanvaardbaar is voor het beheer van radioactief afval van type B en C.”*

De eventuele verlenging van de exploitatieduur heeft bovendien geen enkele impact op het geheel van de in overweging genomen beheeropties en op de gevolgde algemene aanpak voor de evaluatie van de milieueffecten in de SEA.

In het Ontwerpplan wordt het verband gelegd tussen het langetermijnbeheer van radioactief afval van categorieën B en C en een reeks open vragen van strategische, regelgevende of beleidsmatige aard die invloed kunnen hebben op het beheer. Naast het reeds vermelde Belgische energiebeleid gaat het onder andere om het al dan niet opheffen van het moratorium op opwerking van bestraalde splijtstof, over het statuut van bestraalde splijtstof, en over de beslissing om al dan niet in te grijpen op de bestaande installaties voor de opslag van radioactief afval.

Tijdens de verdere stappen van de besluitvorming, die eventueel zullen leiden tot de keuze voor een site (of sites) waar installaties voor het langetermijnbeheer van radioactief afval van categorieën B en C gebouwd worden, kunnen verbanden (en eventueel conflicten) opduiken met o.a. gewestelijke plannen of programma's. Het gaat daarbij in de eerste plaats om plannen die het ruimtegebruik in de gewesten regelen, zoals Gewestplannen in het Waals Gewest en Ruimtelijke Uitvoeringsplannen in het Vlaams Gewest. In dit vroege stadium van de besluitvorming is het echter niet zinvol om hier dieper op in te gaan.

5. METHODOLOGIE

5.1 Het afwegingskader

5.1.1 Een brede visie op de als relevant te beschouwen effecten

Aangezien de SEA rekening houdt met de vier dimensies die de opmaak van het Afvalplan sturen (zie paragraaf 2.3), beperkt de SEA zich niet tot de studie van de effecten op het milieu *sensu stricto*. Concreet betekent dit dat naast de klassieke milieuthema's (in het bijzonder deze omschreven in punt 6 van Bijlage II van de Wet van 13 februari 2006) ook economische, maatschappelijke en ethische thema's aan bod komen. Bovendien moet bij de beoordeling van de aan deze thema's gerelateerde effecten de kwaliteit van de wetenschappelijke en technische basis van de beheeropties mee in overweging genomen worden. Ook de mate waarin de opties "robuust" zijn ten aanzien van niet te voorziene toekomstige evoluties (zie paragraaf 5.3.4) is een aandachtspunt.

In hoofdstuk 8 wordt verder ingegaan op de wijze waarop de bovenstaande thema's vertaald worden naar criteria die de beoordeling van de verschillende beheeropties mogelijk maken.

5.1.2 Verschillende afwegingskaders en beheeropties voor korte en lange termijn

Het Afvalplan en de SEA worden gekenmerkt door een uitzonderlijk lange tijdshorizon. Het duurt immers tienduizenden jaren (of veel meer) eer de radioactiviteit van het te beheren afval verminderd is. Al die tijd moet de beheeroptie in staat zijn om de veiligheid van mens en milieu te waarborgen. Dit gegeven stelt bijzondere eisen aan de manier waarop de effectbeoordeling in de SEA uitgevoerd wordt. De aard en de omvang van de effecten van de beheeropties zullen immers evolueren met de tijd.

In de praktijk wordt in deze SEA een aparte analyse uitgevoerd voor de korte termijn en de lange termijn. Bij elk tijdsbestek horen aparte aandachtspunten, beoordelingscriteria en werkwijzen.

Met de **korte termijn** bedoelen we een periode van ongeveer 100 jaar volgend op de principebeslissing. Tijdens deze periode vindt de voorbereiding, bouw, exploitatie en eventuele sluiting en/of ontmanteling van de installaties voor het langetermijnbeheer van radioactief afval plaats. Deze periode is dus een operationele periode waarin een reeks handelingen plaatsvinden die een effect (radiologisch zowel als niet-radiologisch) op de omgeving kunnen hebben. Dit geldt ook als er geen principebeslissing genomen zou worden (de zogenaamde status quo-optie) of als men ervoor zou kiezen om de beslissing voor onbepaalde tijd uit te stellen. Ook in die gevallen zijn immers een aantal acties nodig, al was het maar om de op dit moment bestaande bescherming voor een langere tijd te bestendigen.

Omdat deze fase gekenmerkt wordt door talrijke en diverse activiteiten waarvan de milieupact op hoofdlijnen gekend is of te kennen valt, is het zinvol om voor deze fase een beoordeling van de "klassieke" milieueffecten uit te voeren. Deze effecten kunnen gelijkgesteld worden aan deze die aangehaald worden in Bijlage II, punt 6, van de Wet van 13 februari 2006 namelijk de effecten op "*biodiversiteit, bevolking, gezondheid van de mens, fauna, flora, bodem, water, lucht, klimaatfactoren, materiële goederen, cultureel erfgoed, met inbegrip van architectonisch en archeologisch erfgoed, landschap.*"

Door de onzekerheid over de locatie van implementatie en over de technische uitwerking van de beheeropties zal de beoordeling van de effecten op de korte termijn in deze fase (de

strategische milieueffectenbeoordeling) in essentie een kwalitatieve beschrijving zijn, gebaseerd op een expertenoordeel (zie paragraaf 5.3.6). Dit oordeel zal aan de beleidsmakers toelaten om zich een correct beeld te vormen van de voor- en nadelen van elk van de beheeropties over de eerste honderd jaar, maar zal geen exacte begroting van de effecten inhouden. In de volgende fasen van de “getrapte aanpak” (zie paragraaf 5.2.1), als de technische uitwerking en de mogelijke locatie(s) met meer precisie bekend zijn, zal het wel mogelijk zijn om hier uitspraken over te doen.

Met de **lange termijn** doelen we op de periode die begint na de korte termijn (d.w.z. na 100 jaar) en die tienduizenden tot zelfs honderdduizenden jaren duurt. Hoewel we voor deze periode in onze regio nog wel kunnen uitgaan van geologische stabiliteit zijn vooral uitspraken met betrekking tot de te verwachten maatschappelijke evoluties zinloos. Ook bepaalde natuurlijke evoluties (bv. op niveau van de biosfeer) zijn zeer moeilijk te voorzien.

Een beoordeling van de effecten volgens de structuur van Bijlage II, punt 6, van de Wet van 13 februari 2006 is voor de lange termijn dan ook niet zinvol. Er zijn gewoon te veel onzekerheden, zowel met betrekking tot de omstandigheden die een impact kunnen genereren als met betrekking tot de menselijke en natuurlijke receptoren die de impact kunnen ondergaan. Er wordt voor de lange termijn dan ook niet zozeer gekeken naar de impacts zelf, maar naar de waarschijnlijkheid dat deze impacts zich voordoen. Waar nodig wordt er een differentiatie gemaakt in de tijd. In geval van geologische berging worden er bijvoorbeeld na ongeveer 1000 jaar thermische effecten op de gastformatie verwacht; deze worden afzonderlijk beschreven.

Het beoordelingskader is dus verschillend voor de korte en de lange termijn. Voor de korte termijn houden we onder meer rekening met de impactdomeinen beschreven in Bijlage II van de Wet van 13 februari 2006, en we proberen de aard van die impacts zo volledig mogelijk te omschrijven. Voor de lange termijn is het beoordelingskader beknopter en kijken we vooral naar de waarschijnlijkheid dat de effecten zich voordoen.

Er is nog een ander fundamenteel verschil tussen de korte en de lange termijn, dat te maken heeft met de voorspelbaarheid van het toekomstige beslissingstraject.

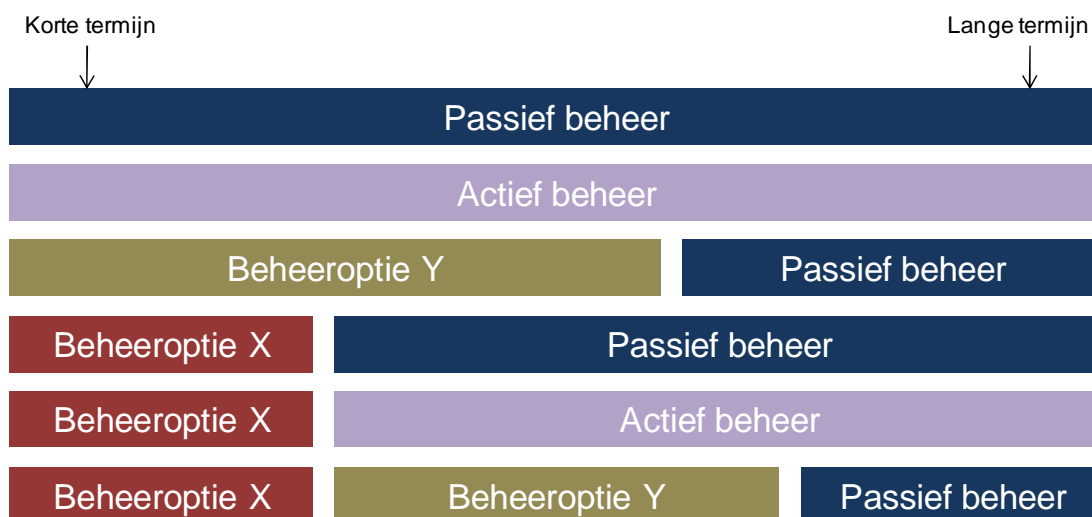
Voor de korte termijn is het mogelijk om de verschillende beheeropties op gelijke voet te beoordelen. We kennen immers op hoofdlijnen de aard, het beslissingstraject en de planning van de te nemen acties in de komende eeuw voor elk van de beheeropties, inclusief in het geval dat de principebeslissing zou neerkomen op het vooruitschuiven van de beslissing met enkele decennia. Voor de korte termijn is het dus nog mogelijk om zich min of meer een beeld te vormen van de natuurlijke autonome ontwikkelingen (d.w.z. de ontwikkelingen die zich ook zullen voordoen als het Afvalplan niet uitgevoerd wordt) en om de effecten hiervan mee te nemen bij de beoordeling. Dit is minder evident voor de maatschappelijke evoluties, maar toch kunnen ook hier redelijke aannames gemaakt worden.

Voor de lange termijn is het beslissingstraject echter onbekend. Bijna zeker is echter wel het gegeven dat verschillende beslissingen zullen genomen worden (of niet genomen worden, wat op hetzelfde neerkomt) die de verschillende nu voorgestelde opties zullen wijzigen, verbeteren of ongedaan maken, met alle positieve of negatieve gevolgen van dien. Dit betekent dat het voor de lange termijn geen zin heeft om zich vast te klampen aan de duidelijk omliggende beheeropties zoals we ze op dit moment kunnen definiëren. De evaluatie voor de lange termijn beperkt zich dus tot een conceptuele vergelijking van de opties “passief beheer” en “actief beheer” (zie paragraaf 2.2 voor een definitie van deze begrippen).

De te beoordelen beheeropties zullen bijgevolg verschillend zijn voor de korte en de lange termijn. Voor de korte termijn bekijken we een aantal duidelijk omschreven beheeropties.

Voor de lange termijn herleidt de keuze zich tot de principiële keuze tussen actief beheer en passief beheer.

Figuur 4 geeft zes voorbeelden van mogelijke beheertrajecten en geeft aan dat op lange termijn de fundamentele keuze deze tussen actief en passief beheer is. De beheeropties X en Y zijn mogelijke voorlopige beheeropties in afwachting van een optie voor actief of passief beheer op lange termijn.



Figuur 4: Verschil tussen de te bestuderen beheeropties voor korte en lange termijn

5.2 Het proces

5.2.1 De SEA als eerste stap in een getrappt proces van milieueffectenbeoordeling

Het Afvalplan is een strategisch document, en de bijhorende milieueffectenbeoordeling (de SEA) heeft dan ook een hoog strategisch gehalte. Concreet wil dit zeggen dat het Afvalplan en de SEA focussen op fundamentele verschillen tussen mogelijke beheeropties, zonder deze opties technisch in detail uit te werken of een uitspraak te doen over de plaats of plaatsen waar deze opties geïmplementeerd zullen worden. De mate waarin de opties technisch uitgewerkt zijn, heeft uiteraard gevolgen voor het detailniveau waarmee de milieueffecten beschreven kunnen worden.

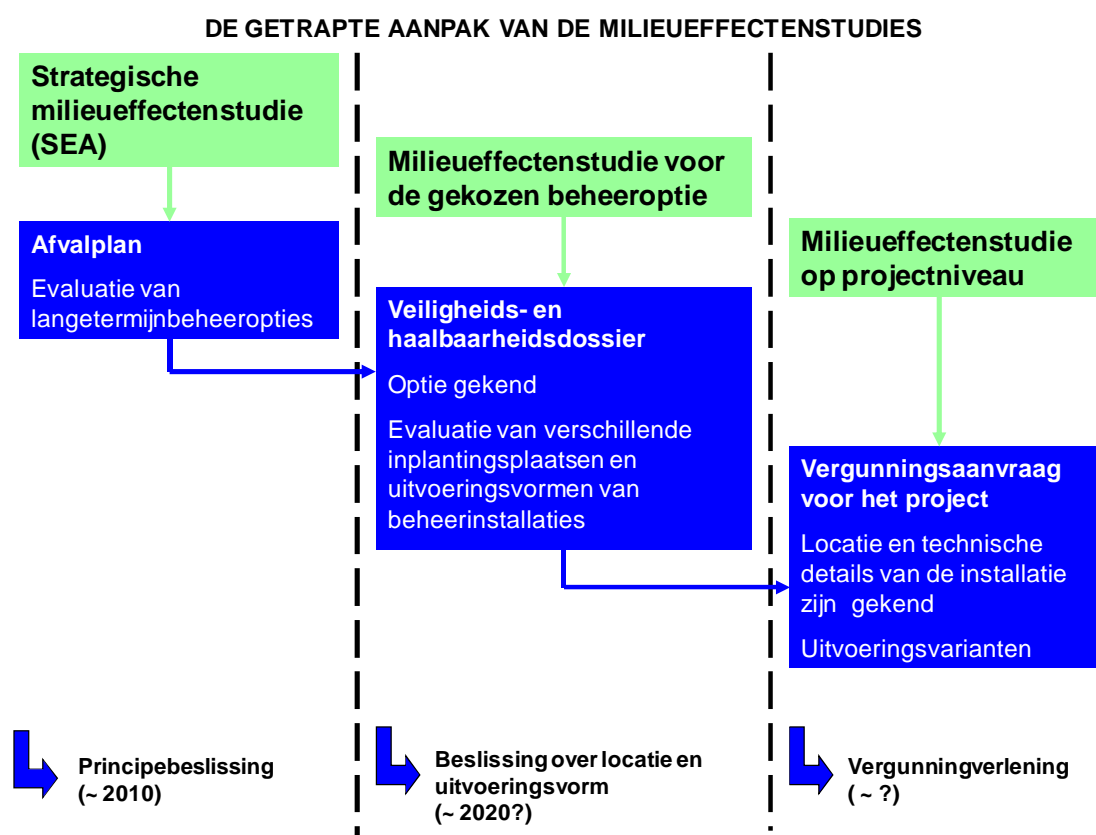
Om die reden moet de milieueffectenbeoordeling gezien worden als een proces in verschillende stappen, waarvan deze SEA de eerste vormt. We benoemen de manier waarop dit proces vorm krijgt met de term “getrapte aanpak”.

Het basisprincipe van de getrapte aanpak is eenvoudig: de milieueffectenbeoordeling gebeurt in verschillende achtereenvolgende fasen, waarbij in elke fase de beoordeling qua detailniveau niet verder gaat dan wat mogelijk en verdedigbaar is gezien de mate van detail waarin het plan zelf uitgewerkt is en de beslissing die het plan moet ondersteunen. Dit betekent dus dat sommige onderdelen of niveaus van de beoordeling doorgeschoven worden naar latere (meer projectgerichte, minder strategische) stappen in de totstandkoming van een duurzame oplossing voor het beheer van radioactief afval van categorieën B en C. Dit betekent geenszins dat de beoordeling niet volledig of niet nauwkeurig zou zijn: als alle fasen afgewerkt zijn, zijn het plan en zijn materialisatie immers in detail beoordeeld.

Een dergelijke getrapte aanpak in een SEA wordt specifiek toegelaten door Artikel 11 van de Wet van 13 februari 2006, dat stelt "(...) Wanneer het plan of programma deel uitmaakt van een hiërarchisch geheel mag, met het oog op het vermijden van een herhaling van de Milieueffectenbeoordeling, in het milieueffectenrapport rekening worden gehouden met het feit dat de effectenbeoordeling op een ander niveau van het hiërarchisch geheel zal worden uitgevoerd."

Bovendien stelt Bijlage II van dezelfde Wet dat het milieueffectenrapport (in dit geval de SEA) de gevraagde gegevens slechts hoeft te bevatten "rekening houdend met de huidige kennis en evaluatiemethoden, met de inhoud en precisiegraad van het plan of programma, met het stadium dat bereikt is in de besluitvormingsprocedure en met het feit dat sommige aspecten misschien betere in andere fasen van de procedure worden geëvalueerd om herhaling van de beoordeling te vermijden."

Figuur 5 verduidelijkt het principe van de getrapte aanpak.



Figuur 5: Getrapte aanpak voor de beoordeling van de milieueffecten van een optie voor het beheer op lange termijn van afval van categorieën B en C

In het voorliggende SEA-proces ligt, zoals eerder gesteld, de nadruk op de ondersteuning van de principebeslissing. Projectspecifieke impacts, keuze van locaties en gedetailleerde technische ontwerpen zijn in dit SEA-proces dus nog niet aan de orde, maar komen wel aan bod in latere stappen van de getrapte aanpak.

In deze volgende stappen zal de gekozen beheeroptie meer in detail uitgewerkt moeten worden en is een afweging aan de orde met betrekking tot locatie- en/of uitvoeringsvarianten. In deze afweging zullen naast veiligheids- en haalbaarheidsaspecten

ook milieuoverwegingen meegenomen worden (geïntegreerde “safety and feasibility case”). Daarbij zullen allicht o.a. de effecten op de korte termijn uitgebreider beschreven en beoordeeld kunnen worden, waar mogelijk in kwantitatieve termen.

In een laatste stap, eens de locatie en de technische details van de gekozen beheeroptie gekend zijn, moet een project-MER de keuze tussen eventuele uitvoeringsvarianten ondersteunen en onderbouwing bieden voor de vergunningverlening (o.a. nucleaire en milieuvergunningen).

Ook na de verlening van een oprichtings- en exploitatievergunning zullen de radiologische en niet-radiologische milieu-impacts verder beoordeeld worden, bijvoorbeeld op het moment van de herziening van de vergunningen en tijdens het regelmatig opvolgen en controleren van de installaties.

5.2.2 Een proactieve maatschappelijke consultatie op initiatief van NIRAS

Omdat NIRAS het nut en het belang erkent van een tijdige inbreng vanuit de verschillende geledingen van de maatschappij bij het nemen van de beslissing, organiseerde ze in het voorjaar van 2009 op eigen initiatief een maatschappelijke consultatie voorafgaand aan het opstellen van het Ontwerpplan en de SEA. Deze consultatie had als doel om de bevolking op de hoogte te brengen van het feit dat NIRAS een Afvalplan wenst op te maken en om het Ontwerpregister en het Ontwerpplan mee vorm te geven op basis van de ideeën, vragen en bekommernissen van het publiek over het beheer op lange termijn van hoogradioactief en/of langlevend afval.

Als input voor de maatschappelijke consultatie werden een aantal documenten en presentaties ter beschikking gesteld die de relevante achtergrondinformatie samenvatten. Individuele burgers konden via de specifieke website van NIRAS (<http://www.niras-afvalplan.be>) deze documenten raadplegen en hun mening geven.

In het kader van de maatschappelijke consultatie werd er een interdisciplinaire conferentie georganiseerd, bestemd voor vakdeskundigen en wetenschappers uit diverse disciplines, alsook acht dialogen, waaraan maatschappelijke groeperingen en geïnteresseerde burgers konden deelnemen. Gedurende de consultatie hebben de deelnemers de mogelijkheid gehad om hun vragen en bekommernissen over het beheer op lange termijn van hoogradioactief en/of langlevend afval uit te spreken. Een synthese van deze vragen en bekommernissen die gesteld werden is in Bijlage A weergegeven. Het volledige rapport van de consultatie (27) is beschikbaar op de website van NIRAS.

De resultaten van de maatschappelijke consultatie werden mee in overweging genomen bij de opmaak van het Ontwerpregister en het Ontwerpplan. In de SEA wordt bij de beoordeling van de verschillende beheeropties in de mate van het mogelijke rekening gehouden met de vragen en bekommernissen die in de loop van de dialogen aan bod gekomen zijn. In Bijlage A wordt een verband gelegd tussen deze vragen en de passages in de SEA die er een antwoord op verschaffen.

Bijkomend heeft NIRAS aan de Koning Boudewijnstichting de organisatie van een onafhankelijk participatief proces toevertrouwd (dat de vorm aanneemt van een Publieksforum), met als thema het besluitvormingsproces met betrekking tot het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. De samenstelling van de groep deelnemers weerspiegelt de diversiteit van de huidige Belgische samenleving. Dit Publieksforum vond einde 2009 / begin 2010 plaats, en de resultaten ervan werden meegenomen in de opmaak van het Ontwerpplan en het Afvalplan (32).

Zowel de maatschappelijke consultatie als het Publieksforum werden door onafhankelijke comités gestuurd en beoordeeld.

5.3 De werkwijze

5.3.1 Radiologische impacts bij een impactbeoordeling op strategisch niveau

De SEA heeft betrekking op een plan voor het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Het ligt dan ook voor de hand dat, naast de “klassieke” impacts, ook de radiologische impacts meegenomen zullen worden.

De radiologische impacts waarmee in de SEA rekening gehouden wordt, zijn de volgende:

- Voor de korte termijn, die voor de meeste beheeropties samenvalt met de operationele fase (transport van het radioactief afval, (her)conditionering van het afval, bouw van de installaties, exploitatie en eventuele sluiting en/of ontmanteling) wordt er rekening gehouden met de radiologische impacts op de mens en de natuur die te wijten zijn aan deze verschillende opeenvolgende activiteiten.
- Voor de lange termijn wordt er rekening gehouden met de radiologische effecten die uitgaan van het geborgen of opgeslagen radioactief afval, zowel onder “normale” omstandigheden als in geval van versturende of accidentele gebeurtenissen. We brengen hierbij zowel de effecten op de mens als de effecten op natuur in rekening.

Het is uitdrukkelijk niet de bedoeling dat in het kader van de SEA specifieke dosisberekeningen zullen gebeuren voor mens of natuur. De strategische aard van de studie, de generieke beschrijving van de beheeropties en de onzekerheid over de locatie of locaties waar de beheeroptie vorm zou krijgen, impliceren dat dosisberekeningen in dit kader haalbaar noch wenselijk zijn. De resulterende gegevens zouden hoe dan ook zeer moeilijk te interpreteren zijn in termen van een beleidsbeslissing, en er zou grote onzekerheid bestaan over de werkelijke betekenis van de verschillen tussen de beheeropties.

Dit betekent echter niet dat er voorbijgegaan zal worden aan bestaande kennis en inzichten. Er bestaat inderdaad een zeer uitgebreide kennisbasis met betrekking tot de radiologische effecten van de behandeling, het transport, de opslag en de berging van radioactief afval. Daarnaast zijn er in andere landen reeds veiligheidsdossiers opgemaakt voor specifieke projecten, al dan niet sitegebonden, die zich in een vergevorderde fase bevinden. In België bestaat er op dit moment een belangrijke kennisbasis rond het langetermijnbeheer van afval van categorieën B en C (zie bv. (7)). Deze kennisbasis zal uiteraard gebruikt worden om het expertenoordeel te onderbouwen en te stofferen. Waar cijfergegevens bestaan in de literatuur zullen ze gebruikt, geduid en geïnterpreteerd worden. Kwantitatieve uitspraken zullen gedaan worden als dit met voldoende nauwkeurigheid en betrouwbaarheid kan gebeuren, en dit in gelijke mate voor elk van de beheeropties.

Naast deze kwantitatieve informatie zal de robuustheid van de beheeropties een belangrijk evaluatie-element vormen. De mate waarin niet volledig te voorziene evoluties een negatieve invloed kunnen uitoefenen op de elementen die de veiligheid op lange termijn ondersteunen, dient meegenomen te worden in de kwalitatieve evaluatie van de radiologische impacts van de beheeropties. In paragraaf 5.3.4 wordt het concept robuustheid verder uitgewerkt.

Uiteraard zullen dosisberekeningen wel gebeuren in het kader van latere beoordelingen, als de principebeslissing zich vertaalt in een concreet (locatiegebonden) project (zie paragraaf 5.2.1). In dat stadium zullen relevante indicatoren gehanteerd worden die toelaten om de radiologische impact van de installatie op mens en milieu op te volgen en te beoordelen.

Voor de huidige SEA zal onder meer rekening gehouden worden met de relevante leidraden op het vlak van de algemene veiligheidsprincipes en veiligheidsstrategie voor het beheer op lange termijn van radioactief afval die het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC) momenteel opstelt.

5.3.2 Geen ruimtelijke afbakening

Het feit dat deze SEA betrekking heeft op een principebeslissing brengt met zich mee dat er geen scherpe ruimtelijke afbakening van het plangebied of effectgebied gegeven kan worden. Een eventuele beslissing over de locatie is op dit moment immers nog niet aan de orde. Enkele beheeropties stellen indirect wel eisen aan de locatie; zo impliceert geologische berging de aanwezigheid van een geschikte geologische laag (meer over de beheeropties en hun beperkingen vindt men in hoofdstuk 7). Dit leidt echter in geen enkel geval tot precieze uitspraken over waar die optie geïmplementeerd zou moeten worden in het kader van het Afvalplan.

Met uitzondering van de status quo-optie kunnen de beheeropties zowel in een nationaal als in een gedeeld (d.w.z. multinationalaal) kader beschouwd worden. Een nationale optie wordt per definitie gerealiseerd in België. Een gedeelde beheeroptie kan zowel in België als in het buitenland gerealiseerd worden, rekening houdend met het principe van de wederkerigheid.

Het ontbreken van een ruimtelijke afbakening heeft voornamelijk gevolgen voor de beoordeling voor de korte termijn; voor de lange termijn houden we immers enkel rekening met de waarschijnlijkheid dat er zich bepaalde onaanvaardbare effecten zouden voordoen, zonder dit te verbinden aan een bepaalde locatie.

Er zijn verschillende manieren denkbaar om met het ontbreken van een ruimtelijke afbakening om te gaan bij de beoordeling van de impacts, waaronder het gebruik van typeomgevingen en het gebruik van niet-locatiegebonden criteria.

De onzekerheid over de ontvangende omgeving kan opgevangen worden door te werken met **typeomgevingen** (19). Deze dienen uiteraard reeds zo goed mogelijk aangepast te zijn aan de ruimtelijke vereisten verbonden aan een bepaalde beheeroptie. Ook eerder uitgevoerde veiligheidsevaluaties kunnen informatie leveren, bv. over de minimale afstand tot een woonzone zodanig dat het (radiologische) risico aanvaardbaar blijft. Dit kan dan verder aangevuld worden met aannames die de omgeving in een dergelijke mate van detail typeren dat een voldoende basis gelegd wordt voor de beschrijving en beoordeling van de effecten. Er dient evenwel over gewaakt te worden dat de typeomgeving voldoende generiek blijft, zodat gevolgtrekkingen een brede relevantie behouden. Voor de radiologische impacts kan de typeomgeving gelijkgesteld worden aan de referentie-biosfeer zoals bv. gedefinieerd in de IAEA-aanbevelingen (33).

In deze SEA definiëren we vier typeomgevingen: stedelijk gebied, landbouwgebied, natuurgebied en industriegebied. Hieronder worden deze typeomgevingen kort beschreven; in Tabel 5 worden de belangrijkste kenmerken samengevat.

- Stedelijk gebied wordt gekenmerkt door een hoge bevolkingsdichtheid en een hoge graad aan lucht- en geluidsemissies door transport en bewoning. De natuurlijke fauna en flora is nagenoeg afwezig. De waterhuishouding is verstoord: het hemelwater kan niet infiltreren in de sterk verharde bodem en stroomt af naar

beken en rivieren. Daardoor stijgt het debiet en vergroot de kans op overstromingen. De vervuiling in het afstromende hemelwater komt in het oppervlaktewater terecht.

- Landbouw is het geheel van economische activiteiten waarbij het natuurlijk milieu aangepast wordt ten behoeve van de productie van planten en dieren voor menselijk gebruik. Dit heeft een invloed op de fauna en flora, die enerzijds uit landbouwgewassen en vee bestaat en anderzijds uit specifieke biotische gemeenschappen. Bodem en water zijn verstoord door landbouwpraktijken (irrigatie, verontreiniging met bestrijdingsmiddelen, ...). De veeteelt is verantwoordelijk voor een belangrijk deel van de uitstoot van broeikasgassen (methaan). De bevolkingsdichtheid en de intensiteit van de geluidsemissies zijn laag.
- Natuurgebied heeft opvallende eigenschappen met betrekking tot fauna en flora en landschappelijke kenmerken (bv. grote uitgestrektheid, grote biodiversiteit). Bodem en water zijn (relatief) natuurlijk en onverstoord. De bevolkingsdichtheid en de intensiteit van lucht- en geluidsemissies zijn laag in verhouding tot de stedelijke gebieden.
- Industriegebied is als dusdanig aangeduid in gewestplannen of ruimtelijke uitvoeringsplannen. Daardoor is het dunbevolkt. De intensiteit van lucht- en geluidsemissies is hoog door industriële activiteiten en transport. Het risico op bodem- en waterverontreiniging is verhoogd. Fauna en flora zijn afwezig of sterk verstoord.

Tabel 5: Kenmerken van de typeomgevingen

	Stedelijk gebied	Landbouwgebied	Natuurgebied	Industriegebied
Bevolkingsdichtheid	Hoog: > 295 / km ²	Laag: < 295 / km ²	Laag: < 295 / km ²	Laag: < 295 / km ²
Emissies naar lucht	Hoge intensiteit	Hoge intensiteit bij veeteelt	Lage intensiteit	Hoge intensiteit
Geluidsemissies	Hoge intensiteit	Lage intensiteit	Lage intensiteit	Hoge intensiteit
Bodem en water	Verstoord	Beïnvloed door landbouw	Natuurlijk	Verstoord
Fauna en flora	Verstoord	Specifiek: landbouwgewassen, vee	Natuurlijk	Verstoord

Een andere oplossing om met de onzekerheid over de omgeving om te gaan is het gebruik van **niet-locatiegebonden criteria**. Zo kan men voor de effectgroep lucht de emissies van de installatie beschouwen (d.w.z. uitgestoten hoeveelheid van pollutanten) in plaats van de immissie (d.w.z. de resulterende concentratie in het ontvangende milieu). Vooral voor de lange termijn zijn niet-locatiegebonden criteria aangewezen omdat de onzekerheid over (de evolutie van) de omgeving zeer groot is. Een overzicht van de criteria voor de korte en de lange termijn vindt men in hoofdstuk 8.

Als complementaire benadering voor de evaluatie van de onzekerheden verbonden met de afwezigheid van een ruimtelijke afbakening wordt in de SEA ook een eerste beoordeling van de voorwaarden voor de uitvoerbaarheid van de beheeropties uitgevoerd (zie paragraaf 5.3.3).

5.3.3 Uitvoerbaarheid van de bestudeerde beheeropties

De beheeropties worden beoordeeld op basis van de factoren die bepalend zijn voor de keuze van een site waar de installaties voor het beheer op lange termijn van afval van categorieën B en C gevestigd zouden kunnen worden. De (rand)voorwaarden die hiermee samenhangen, kunnen verschillen per beheeroptie: zo zullen er vanuit wetenschappelijk en technisch oogpunt meer beperkingen zijn voor een site waar geologische berging geïmplementeerd wordt dan voor een site waar een installatie voor opslag komt.

Het gebrek aan precieze gegevens over het ontwerp van de installaties voor de verschillende beheeropties zal opgevangen worden door te werken met **typeconcepten**. Zo'n typeconcept bestaat uit een beschrijving op hoofdlijnen van de ingrepen, constructies (gebouwen, installaties, ...) en andere eigenschappen die specifiek zijn voor een bepaalde beheeroptie, rekening houdend met de eisen en beperkingen verbonden aan de realisatie van die beheeroptie in een Belgische context.

De typeconcepten voor de verschillende beheeropties worden beschreven in paragraaf 7.2. In (34), (35) en (36) vindt men meer details over de voorwaarden voor implementatie in België.

5.3.4 Robuustheid

De onmogelijk precies te voorziene evoluties op lange termijn brengen een hoge mate van **onzekerheid** met zich mee. Bij de analyses in de SEA moet er rekening gehouden worden met deze onzekerheden. Een te groot vertrouwen in de huidige zekerheden, maatschappelijke structuren en technologische kennis kan ertoe leiden dat toekomstige generaties geconfronteerd worden met gebeurtenissen en impacts waartegen ze niet gewapend zijn.

Onzekerheid is een gegeven, en de mate waarin de verschillende beheeropties blootgesteld worden aan de onzekerheid verbonden met veranderingen is telkens dezelfde. Wat echter verschilt, is de mate waarin die onzekere veranderingen gevolgen hebben voor de goede werking van de beheeroptie zelf en voor de te verwachten impacts (niet in het minst de radiologische). De mate waarin een beheeroptie minder of meer beïnvloed wordt door (de onzekerheid van) veranderingen duiden we hier aan met de term **robuustheid**. De robuustheid is dus een intrinsieke eigenschap van de beheeroptie.

De hierboven genoemde veranderingen kunnen van uiteenlopende aard zijn:

- Natuurlijke evoluties
- Veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit van de beheeroptie
- Externe niet-natuurlijke gebeurtenissen
- Maatschappelijke evoluties

Ook al zijn de aard en de omvang van de toekomstige veranderingen onbekend (en dat geldt zeker voor de maatschappelijke evoluties), dan nog is het mogelijk om een uitspraak te doen over de mate waarin de verschillende beheeropties in veranderde omstandigheden nog kunnen voldoen aan de beoordelingscriteria (zie hoofdstuk 8). Oplossingen die hier het best toe in staat zijn, zijn het meest robuust.

De evaluatie van de robuustheid van de beheeropties kan deels steunen op een internationale kennisbasis. In veiligheidsevaluaties worden immers steeds een aantal mogelijke evolutiescenario's bekeken die een invloed kunnen hebben op de beheeroptie. In het SAFIR 2-rapport (7) worden de evolutiescenario's voor een geologische

bergingsinstallatie opgesteld aan de hand van mogelijk relevante kenmerken, gebeurtenissen en processen (Features, Events and Processes of FEPs). Het normale-evolutiescenario gaat uit van een geleidelijke en progressieve degradatie van het insluitingsvermogen van het bergingssysteem als gevolg van natuurlijke processen. Daarnaast worden ook een aantal uiteenlopende gewijzigde-evolutiescenario's beschouwd:

- Natuurlijke evoluties:
 - Klimaatopwarming als gevolg van het broeikaseffect
 - Activering van een tektonische breuk door het gastgesteente en de bergingsinstallatie
 - Ernstige glaciatie: vorming van een ijskap boven de bergingsinstallatie en aantasting van het gastgesteente en de kunstmatige barrières door erosie
- Veranderingen in de bergingsinstallatie zelf:
 - Slechte afdichting van de hoofdgalerijen en de toegangsschacht, met migratie van de radionucliden als gevolg
 - Voortijdig defect van een kunstmatige barrière (d.w.z. de conditioneringsmatrix of de verpakking van het afval)
 - Gasvorming in de bergingsgalerijen en ontstaan van een preferentiële migratieweg voor radionucliden door de gasdruk
- Externe niet-natuurlijke gebeurtenissen:
 - Boring van een waterwinningsput in de watervoerende laag onder de gastformatie in de onmiddellijke omgeving van de bergingsinstallatie; gebruik van het opgepompte water voor irrigatie en als drinkwater
 - Exploratieboring dwars door de bergingsinstallatie

Merk op dat deze evolutiescenario's ontwikkeld zijn voor geologische berging. Voor andere beheeropties kunnen andere evoluties relevanter zijn. Voor opslaginstallaties aan de oppervlakte wordt bijvoorbeeld ook de invloed bestudeerd van een overstroming, een explosie of lozing in de omgeving, een windhoos en een neerstortend vliegtuig (37).

Een systematische bespreking van de robuustheid ten aanzien van maatschappelijke evoluties vinden we echter niet terug in de literatuur over veiligheidsevaluaties. Het IAEA (38) en het NEA van de OESO (39) verwijzen wel naar de relevantie van maatschappelijke veranderingen voor het beheer van radioactief afval, maar koppelen er geen duidelijk omschreven evolutiescenario's aan. Daarom werken we voor de SEA over het Afvalplan zelf het begrip maatschappelijke robuustheid uit. In Bijlage C beschrijven we de verschillende aspecten van maatschappelijke robuustheid, we ontwikkelen enkele evolutiescenario's voor de korte en de lange termijn en we gaan na hoe deze evoluties de verschillende beheeropties kunnen beïnvloeden.

Een evaluatie van de robuustheid van de beheeropties – uitgaande van natuurlijke evoluties, interne veranderingen, externe niet-natuurlijke gebeurtenissen en maatschappelijke evoluties – vindt men in hoofdstuk 10.

De robuustheid van een bepaalde beheeroptie onder wijzigende omstandigheden is rechtstreeks gerelateerd aan de **betrouwbaarheid** van de beoordeling van de te verwachten effecten die in de SEA gemaakt wordt. Als alle andere variabelen constant zijn, zal de betrouwbaarheid van die beoordeling vooral afhangen van de mate waarin de beheeroptie robuust is. Een voorafgaande evaluatie van de robuustheid van de beheeropties is dus een

essentieel onderdeel van de SEA: ze laat toe om de betrouwbaarheid van de effectbeoordeling in te schatten.

5.3.5 Beoordeling van de beheeropties aan de hand van duidelijke criteria

De beschrijving en de beoordeling van de effecten gebeuren aan de hand van criteria. Een criterium is een meetbare en reproduceerbare uitdrukking voor een bepaalde impact. Goede criteria voldoen aan enkele voorwaarden:

- Ze worden door de verschillende betrokken partijen aanvaard als relevant in de specifieke context van hun gebruik. Er wordt in dit SEA-proces dus gekozen voor criteria die zinvol zijn op het niveau van een principebeslissing. Criteria die naar verwachting geen invloed zullen hebben op de principebeslissing worden geweerd, maar kunnen eventueel in een latere fase van de getrapte aanpak wel meegenomen worden. Bij het nagaan van de relevantie wordt steeds de afbakening van de effectbeschrijving en –beoordeling in deze SEA voor ogen gehouden, met name het feit dat er een verschil is tussen de korte en de lange termijn (zie paragraaf 5.1.2) en dat de locatie niet gekend is (zie paragraaf 5.3.2).
- Ze zijn meetbaar, d.w.z. per beheeroptie kunnen er gegevens van kwalitatieve of kwantitatieve aard ingevuld worden. In het voorliggende geval gaat het voornamelijk om kwalitatieve gegevens, onder andere omdat de locatie en de technische uitvoering van de beheeropties in deze strategische fase nog niet aan de orde zijn. Kwantitatieve gegevens zullen aan belang winnen naarmate het besluitvormingsproces vordert en naarmate de milieueffectrapportage verschuift naar de volgende stappen in de getrapte aanpak.
- Ze zijn eenvoudig te interpreteren. Deze voorwaarde is extra belangrijk gezien de strategische aard van deze SEA.

In hoofdstuk 8 wordt een overzicht gegeven van de criteria voor de effectbeoordeling op korte en lange termijn.

5.3.6 Een brede internationale kennisbasis

Aangezien deze SEA zich op een strategisch niveau bevindt en vertrekt van beheeropties waarvan de details nog in latere fasen uitgewerkt moeten worden, wordt er geen poging gedaan om de grootte van de impacts te berekenen of in te schatten aan de hand van modellen. Elke poging daartoe zou een vals gevoel van nauwkeurigheid geven, een nauwkeurigheid die op dit moment niet voor alle opties kan gehaald worden, en die in wezen ook niet nodig is om een principebeslissing te kunnen nemen.

De beschrijving en de beoordeling van de effecten is dan ook gebaseerd op een expertenoordeel. Het expertenoordeel steunt op en wordt onderbouwd door de zeer uitgebreide kennisbasis over de beheeropties die gedurende de voorbije decennia op internationaal niveau opgebouwd is. Hierbij moet opgemerkt worden dat op internationaal niveau veruit de meeste aandacht naar geologische berging is gegaan. De overige beheeropties hebben niettemin het voorwerp uitgemaakt van hetzij verkennende onderzoeksprogramma's, hetzij strategische afwegingen ten opzichte van geologische berging (zie hoofdstuk 7).

Door een jarenlange intense samenwerking op internationaal niveau (in de schoot van onder andere het IAEA, de Europese Unie en de OESO) en door multilaterale contacten met beheerinstanties voor radioactief afval in tal van andere landen heeft NIRAS (en via NIRAS ook de deskundigen die de SEA uitvoeren) toegang tot deze kennisbasis, die zich overigens voor een groot deel in het publieke domein bevindt.

Aan de hand van deze studies en van analogieën met vergelijkbare eerder of elders bestudeerde plannen of met reeds bestaande gelijkaardige installaties is het mogelijk om een wetenschappelijk gefundeerd expertenoordeel uit te spreken, zonder in deze fase reeds te moeten overgaan tot het uitvoeren van specifieke modelberekeningen, waarvan de bruikbaarheid, gezien de strategische aard van de te nemen beslissing, terecht in vraag gesteld zou kunnen worden. Voor zover de analogieën relevant cijfermateriaal leveren, zal dit uiteraard wel gebruikt worden.

Merk op dat het expertenoordeel de impacts van de verschillende beheeropties vergelijkt, maar niet resulteert in een globale voorkeursrangschikking of in een uitspraak over de keuze voor een bepaalde voorkeursoptie. Die uitspraak gebeurt wel in het Afvalplan, ter voorbereiding van de principebeslissing die door de Regering genomen zal worden.

5.3.7 Het belang van cumulatieve effecten

Met de term cumulatieve effecten wordt de gecombineerde impact van het bestudeerde plan, programma of project en andere activiteiten bedoeld (40). Het bestuderen van de cumulatieve effecten komt het resultaat van de milieueffectrapportage ten goede: de bredere scope en meer geïntegreerde aanpak laten toe om vroeg in het besluitvormingsproces overwegingen i.v.m. milieu en duurzame ontwikkeling mee te nemen. In het kader van de studie van cumulatieve effecten is het niet de bedoeling om alle mogelijke cumulatieve effecten te beschrijven, maar om zich te richten op deze die het meest relevant zijn voor mens en milieu.

Een analyse van de cumulatieve effecten is zeker relevant in de effectbeoordeling voor de korte termijn. Een belangrijke vraag is bijvoorbeeld hoe de omwonenden beïnvloed zullen worden door het geheel van ingrepen in de opeenvolgende fasen van het beheer: terreinonderzoeken, bouw van de installatie, exploitatie en (afhankelijk van de gekozen beheeroptie) sluiting en/of ontmanteling. Aangezien de “korte” termijn reeds vrij lang duurt (ongeveer 100 jaar), moet er rekening gehouden moeten worden met aanzienlijke onzekerheden.

Andere belangrijke cumulatieve effecten zijn verbonden met een gecentraliseerd beheer van radioactief afval in België. De meeste van de activiteiten in verband met het beheer op korte termijn van afval van categorieën A, B en C en de toekomstige bergingsinstallatie voor afval van categorie A zijn gecentraliseerd op de sites van Mol en Dessel (in het noordoosten van België). Wanneer een optie voor gecentraliseerd beheer in uitvoering gebracht wordt, zal de radiologische impact van de nieuwe installatie een cumulatief effect hebben gegeven de reeds bestaande installaties. De huidige regelgeving op het vlak van stralingsbescherming (41) houdt rekening met de cumulatieve effecten van gecentraliseerd beheer; zo is bijvoorbeeld de toegelaten dosis afkomstig van een specifieke installatie slechts een fractie van de totale reglementaire dosislimiet voor de bevolking.

Aangezien er vooral gewerkt wordt met kwalitatieve beoordelingen (er zullen bijvoorbeeld geen dosisberekeningen gebeuren) zal de beoordeling van cumulatieve effecten ook kwalitatief zijn.

5.3.8 Grensoverschrijdende effecten

Het Afvalplan en de SEA worden opgesteld met als doel een gefundeerde strategische beslissing te kunnen nemen. Er worden nog geen zones (of sites) aangeduid waar één of ander langetermijnbeheersysteem geïmplementeerd kan worden. De evaluatie van de mogelijke beheeropties wordt uitgevoerd op een kwalitatieve wijze en op een generiek niveau zonder locatiespecifiek te zijn.

Daarom kunnen in deze fase geen grensoverschrijdende effecten bestudeerd worden. Dit wordt mede gemotiveerd door artikels 6, 1. iv en 13, 1. iv van het Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval (42), dat goedgekeurd werd in de Wet van 2 augustus 2002 (43).

Artikel 6, 1. iv en 13, 1. iv stellen duidelijk dat m.b.t. de keuze van de vestigingsplaats van geplande installaties voor het veilig beheer van bestraalde splijtstof of van radioactief afval, de Verdragsluitende Partijen elkaar raadplegen, voor zover zij gevolgen van die installaties zouden kunnen ondervinden, en desgewenst algemene gegevens over de installatie verstrekken aan die Verdragsluitende Partijen om hen in staat te stellen om zelf eventuele effecten van de installatie op hun eigen grondgebied te evalueren vanuit het oogpunt van veiligheid.

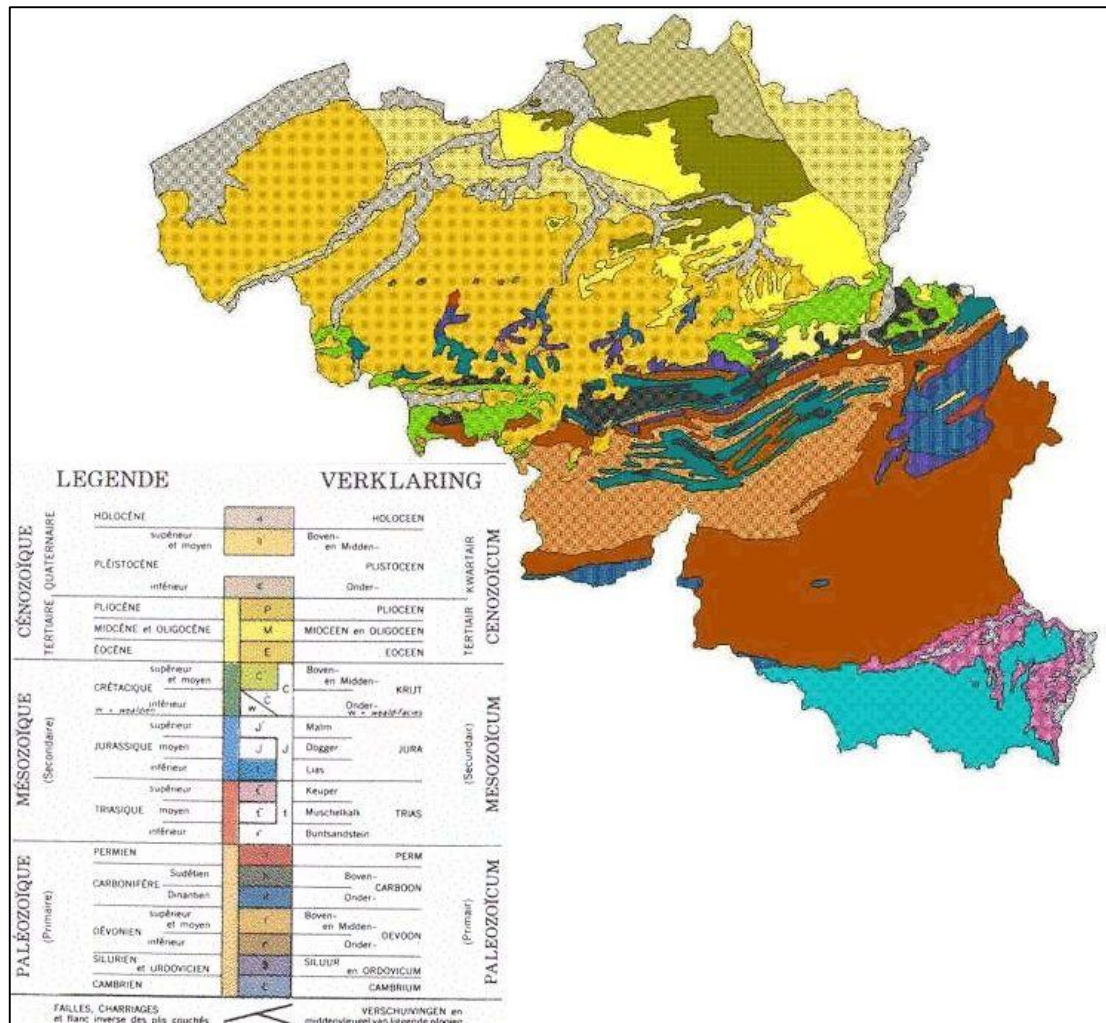
Toch zal NIRAS de Europese lidstaten proactief informeren m.b.t. het opstellen van een SEA in het kader van de opmaak van het Afvalplan. Op basis van de uitgedrukte interesse kan vervolgens een meer gerichte informatie-uitwisseling georganiseerd worden. Met eventuele opmerkingen van de lidstaten zal rekening gehouden worden.



6. BESTAANDE SITUATIE

6.1 Geologie

Aangezien in deze SEA geen specifieke locaties beschouwd worden, zal hierna een summier overzicht van de geologie van heel België gegeven worden. Een vereenvoudigde geologische kaart wordt weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Geologische kaart van België

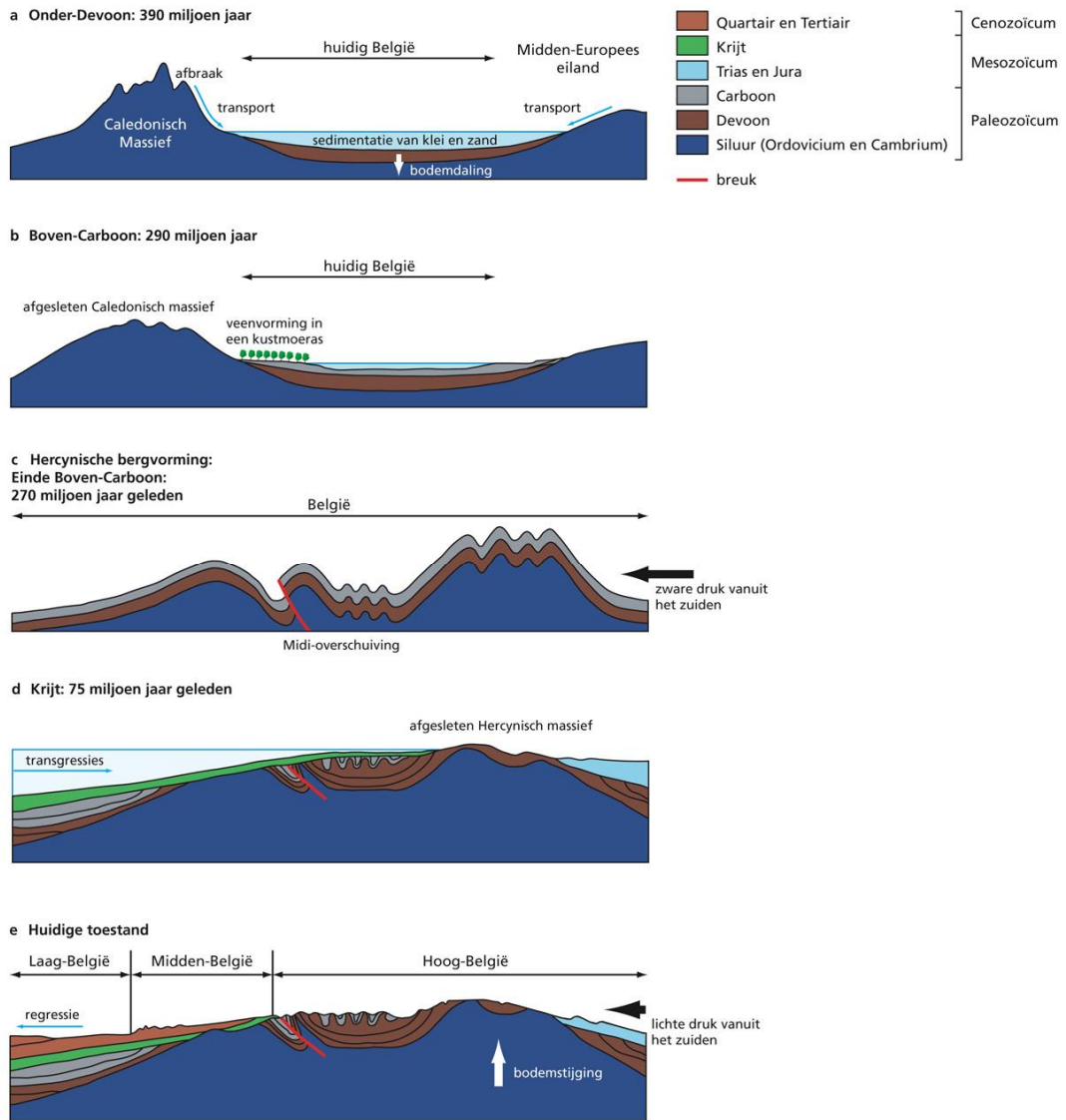
Bron: Belgische Geologische Dienst

De stratigrafie is de wetenschap die de opeenvolging van afzettingen bestudeert, die over het algemeen in lagen (of strata) voorkomen. Ze laat toe om een relatieve chronologie op te stellen. Stratigrafisch kan men de geologische formaties in België opsplitsen in twee grote groepen:

- De formaties van de Paleozoïsche sokkel, waaronder men enerzijds de massieven uit het Cambrium, het Ordovicium en het Siluur rekent en anderzijds de recentere gesteenten uit het Devoon en het Carboon. Deze formaties zijn voornamelijk ontsloten in het zuiden van België.

- De formaties die de deklagen vormen. Deze worden vooral aangetroffen in het noorden van België.

De onderstaande figuur geeft een overzicht van de belangrijkste fasen in de geologische geschiedenis van België.



Figuur 7: Fasen in de geologische geschiedenis van België

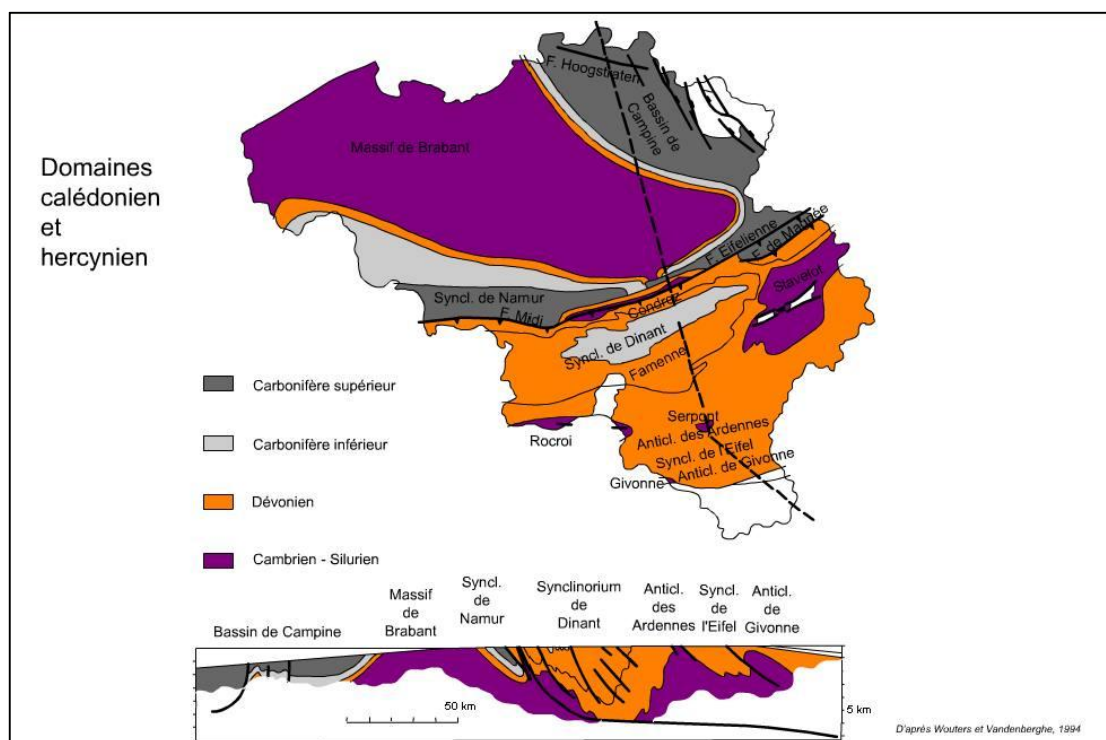
De hierna volgende beschrijving van de verschillende geologische formaties en hun voorkomen in België is grotendeels gebaseerd op de werken van Vandenberghe en Laga (44) en Wouters en Vandenberghe (45).

6.1.1 De Paleozoïsche sokkel

6.1.1.1 De gesteenten uit het Cambrium, Ordovicium en Siluur

De gesteenten uit het Cambrium, Ordovicium en Siluur zijn tijdens de tektonische fasen verbonden met de gebergtevorming in het Paleozoïcum geplooid, gebroken en opgetild. Ze komen in België voor als massieven die verspreid zijn tussen de recentere paleozoïsche gesteenten (vooral uit het Devoon en het Carboon).

Verscheidene massieven uit het Cambrium en het Ordovicium dagzomen in de Ardennen (Figuur 8): de Massieven van Rocroi en Givonne, het kleine Massief van Serpont en het Massief van Stavelot of Venn Massif dat doorloopt in Duitsland. De Condroz, die bestaat uit iets recentere gesteenten (Ordovicium en Siluur), dagzoomt langs de Sambre en de Maas in de provincie Namen.



Figuur 8: De paleozoïsche sokkel (gesteenten uit het Cambrium, het Ordovicium en het Siluur en gesteenten uit het Devoon en het Carboon) in België

De paleozoïsche sokkel die in het noorden en het centrum van België aanwezig is, wordt het Massief van Brabant genoemd. Het bestaat uit gesteenten uit het Cambrium tot het Siluur en dagzoomt enkel ten zuiden van Brussel (valleien van de Zenne, de Dender en de Gete) en in de omgeving van Jodoigne (Figuur 6). Het Massief van Brabant is in het algemeen bedekt door enkele tientallen tot honderden meters van veel jongere sedimenten. De meest voorkomende gesteenten zijn zandige sedimenten van detritische oorsprong die vaak door turbidietenstromen in zee afgezet werden (bv. fylladen, kwartsofylladen en kwartsieten). In de kleine massieven van de Ardennen vinden we dezelfde lithologische variaties terug.

De massieven van Rocroi, Givonne en Stavelot zijn in het verleden geëxploiteerd omwille van de uitzonderlijke kwaliteit van de leesteen die erin voorkomt. Ook in het Massief van Brabant zijn er enkele kleine leisteengroeven.

De kristallijne sokkel die zich onder deze massieven bevindt, is nog maar weinig door diepteboringen onderzocht. Hij is dus zo goed als onbekend in België. Een geofysische studie heeft echter kunnen aantonen dat de kristallijne sokkel seismisch transparant is (d.w.z. afwezigheid van gelaagdheid).

6.1.1.2 De gesteenten uit het Devoon en het Carboon

Na de vorming en structurering van de massieven uit het Cambrium, het Ordovicium en het Siluur zijn deze geleidelijk overspoeld door de zee in het Devoon en het Carboon. De afzettingen uit het Onder-Devoon beperken zich tot het zuidelijk deel van België, meer bepaald het Bekken van Dinant en de Ardennen. Het is een vrij monotone opeenvolging van zandige sedimenten van detritische oorsprong, met van basis naar top een opeenvolging van conglomeraten, zandstenen en schiefers (waarvan het afbraakmateriaal afkomstig is van de erosie van de massieven toen deze boven de zeespiegel lagen). Vervolgens heeft de sedimentatie zich uitgebreid naar het noorden gedurende het volledige Midden-Devoon, totdat ze in het Givetiaan het Bekken van de Kempen bereikt heeft. Terzelfdertijd was de sedimentatie ten zuiden van het Massief van Brabant van het type carbonaatplatform. Deze situatie heeft zich voortgezet tijdens het Frasniaan (kalksteenriffen). Het Famenniaan wordt opnieuw gekenmerkt door een terrigene sedimentatie van afbraakmateriaal (psammieten en schiefers).

Het Onder-Carboon (Figuur 8) wordt gekenmerkt door een opeenvolging van transgressieve / regressieve cycli en de afzetting van carbonaatgesteenten. Lokaal komen tussen de kalksteenlagen van het Bekken van Mons zoutafzettingen voor.

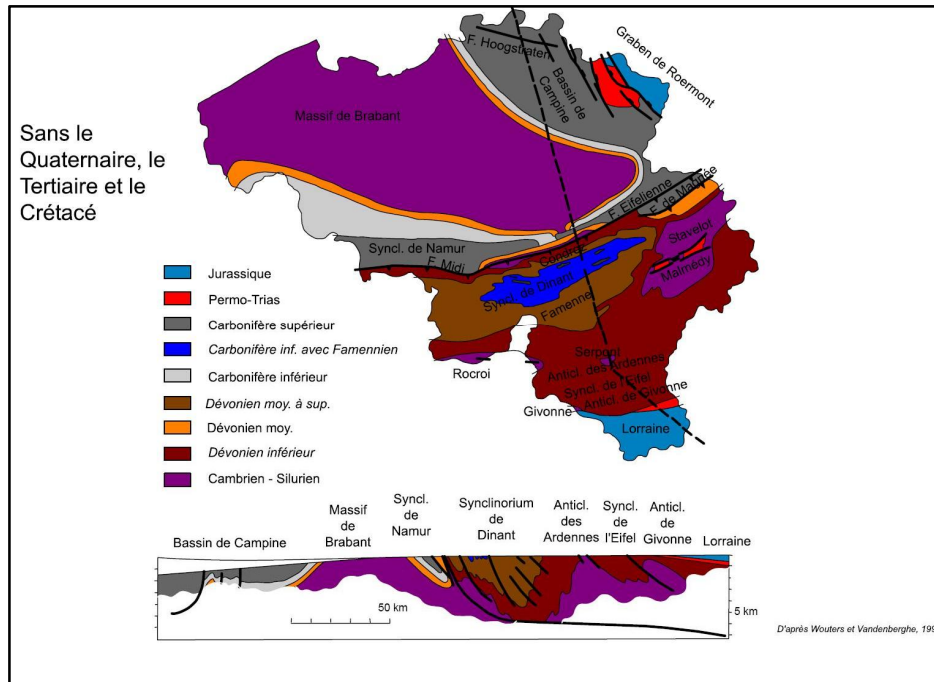
Het Boven-Carboon is gekend voor zijn steenkoollagen. De oudste schiefers zijn nog van mariene oorsprong. Maar door toenemende opheffing van het gebied verschijnen ondiepe continentale facies met de ontwikkeling van dikke veenafzettingen. Doordat de gebergtevorming van zuid naar noord verloopt, zullen eerst in het Bekken van Namen steenkoollagen gevormd worden en pas later (tijdens het Westphaliaan) in het Bekken van de Kempen. Vanaf dan domineren deltaïsche afzettingen (schiefers, zandstenen en steenkool) in België.

Het grootste deel van de geologische formaties uit het Devoon en het Carboon in België zijn beïnvloed door de Variscische orogenese (zie Figuur 8).

6.1.2 De deklagen

De deklagen omvatten gesteenten van het Laat-Paleozoïcum (Perm) en het Mesozoïcum (Trias, Jura en Krijt), maar bestaat hoofdzakelijk uit sedimenten van tertiaire ouderdom.

Perm- en Jurasedimenten komen voor in het noordoostelijke deel van het Bekken van de Kempen (kalkschiefers in de Roerdalslenk). In Lotharingen treft men nog **lagen van Trias- en Jura-ouderdom** aan (conglomeraten, zandstenen, schiefers, mergels en kalksteen). In de Slenk van Malmédy bleven **Permconglomeraten** bewaard (Figuur 9).

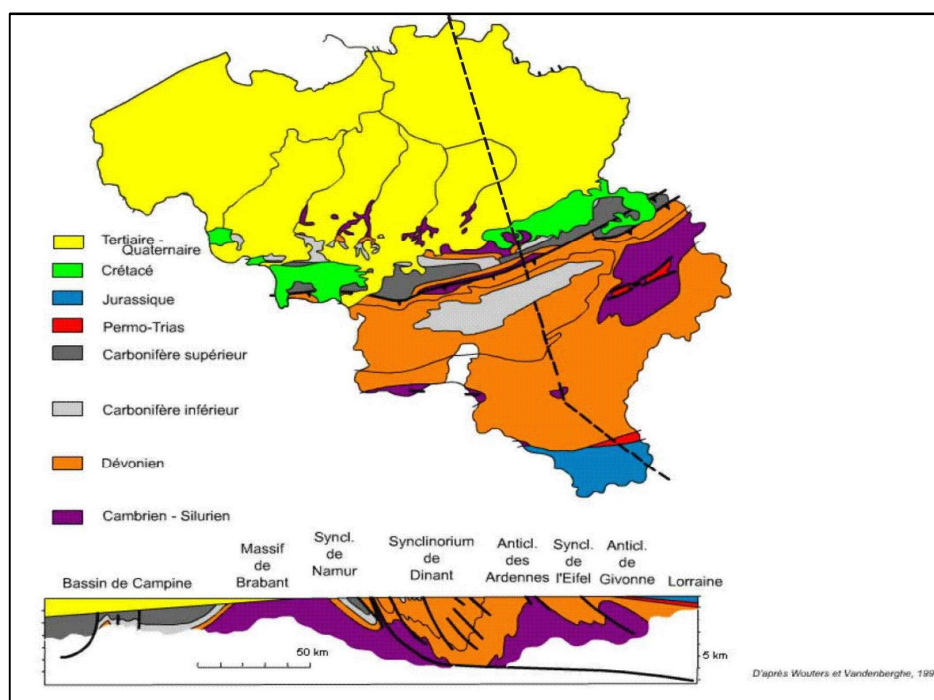


Figuur 9: Voorkomen van Perm-Jura-afzettingen in België – pre-Krijt

De afzettingen uit het **Krijt** komen voor in een groot deel van Vlaanderen, maar dagzomen praktisch nergens. Enkel op een zeer beperkt aantal plaatsen in het zuidoosten van het Demerbekken, in de Dijlevallei, in de Jekervallei, in de Voerstreek en in het Bekken van Mons zijn Krijtafzettingen ontsloten (Figuur 10).

De **Tertiaire afzettingen** komen zo goed als overal voor in Vlaanderen (Figuur 10). Ze worden enkel door de Quartaire afzettingen bedekt en dagzomen op verschillende plaatsen.

Het Tertiair wordt onderverdeeld in het Paleogeen en het Neogeen. Tot het Paleogeen behoort onder andere de Ieperiaanklei. Het Neogeen komt voornamelijk voor in het noorden van Vlaanderen en bestaat uit zandlagen die een aanzienlijke dikte kunnen bereiken (tot 100 m) en de meest uitgestrekte aquifer van Vlaanderen vormen. De Boomse Klei vormt de waterdoorlatende basis van dit omvangrijke zandpakket.



Figuur 10: Vereenvoudigde geologische kaart van België

De **Quartaire afzettingen**, die praktisch overal de oppervlakesedimenten vormen, zijn hoofdzakelijk van continentale oorsprong. Enkel in de nabijheid van de kust treft men mariene afzettingen aan. De Quartaire deklaag is meestal slechts enkele meters dik, maar lokaal bereikt zij een dikte van 30 à 40 meter. Ze bestaat uit een afwisseling van zand, leem en klei, en plaatselijk ook grind en veen.

Gezien het belang van de tertiaire en quartaire lagen voor de landschapontwikkeling, vooral in Vlaanderen, wordt in de paragraaf over het landschap (paragraaf 6.2) verder ingegaan op de geologische geschiedenis van deze lagen.

6.2 Landschap

De geologische geschiedenis van de tertiaire en quartaire afzettingen in België helpt om de ontwikkeling van het huidige landschap te begrijpen.

In de mariene regressieperiode die volgde op de afzetting van de Boomse Klei in het Oligoceen kwam heel België droog te liggen. Er werden dus in die tijd geen nieuwe sedimenten afgezet, integendeel, door erosie werden de vroeger afgezette sedimenten deels afgebroken. Tijdens het Laat-Mioceen (10 tot 5 miljoen jaar geleden) werd Vlaanderen voor de laatste keer volledig door de zee overspoeld. Tenslotte trok de zee zich volledig terug, o.m. door de continue opheffing van het Massief van Brabant.

Het Quartair begon ongeveer 1,6 miljoen jaar geleden en duurt nog steeds voort. Deze periode heeft een aantal koude perioden gekend, ijstijden genoemd. We bevinden ons nu

tussen twee ijstijden in. Aan het begin van het Quartair lag nog slechts het noordelijke deel van de provincie Antwerpen onder de zee. Het water was er echter ondiep en het gebied moet vergelijkbaar geweest zijn met de huidige omgeving van de Waddeneilanden in Nederland. Er werd enkel zeer fijn materiaal afgezet zoals fijne zanden, maar plaatselijk ook een kleilaag.

Ongeveer 600.000 jaar geleden viel er in Limburg een heel ander type afzetting waar te nemen: sedimentatie door rivieren op het land zelf. Toen de Europese bergtoppen nog wat hoger waren dan nu kregen de Maas en de Rijn ontzaglijke hoeveelheden afbraakmateriaal van de erosie van deze gebergten te vervoeren. Deze rivieren mondden toen niet afzonderlijk in zee uit, maar vloeiden ergens in Belgisch Limburg samen. Nabij hun monding gingen ze trager stromen, waardoor ze vanaf Maastricht noordwaarts dikke pakketten grof zand en grind afzetten. De totale dikte bedroeg soms wel 20 m. Dit grind heeft weerstand geboden aan de erosie, zodat we dit nu als het Kempisch plateau in het reliëf zien uitsteken.

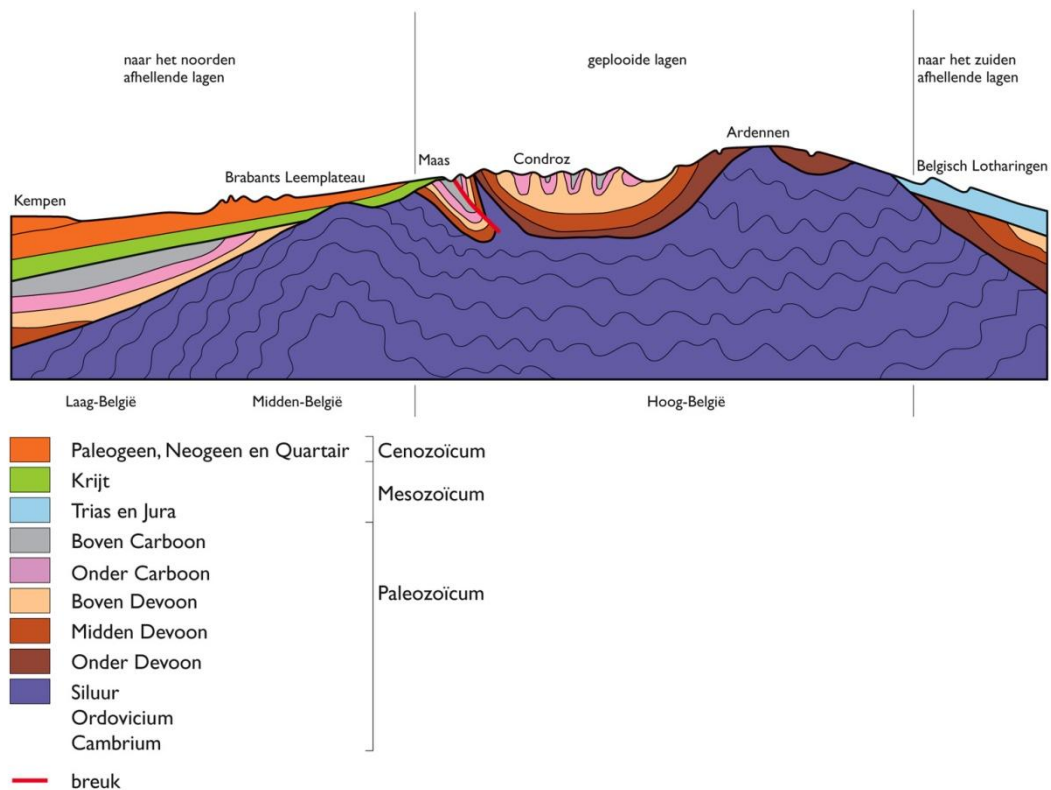
Tijdens de ijstijden nam het volume van de ijskappen aan de polen en van de gletsjers zeer sterk toe. Zo was heel Scandinavië onder een dikke ijslaag bedolven. Tijdens de voorlaatste ijstijd, een goede 200.000 jaar geleden, reikte het ijs zelfs tot in de buurt van Amsterdam. Al dat water, opgeslagen als ijs, werd echter aan de oceaan onttrokken. Hierdoor daalde de zeespiegel drastisch (tot 130 m lager dan nu). Het Kanaal en het grootste deel van de Noordzee kwamen daardoor droog te liggen, wat leidde tot een aanzienlijke erosie van het substraat. Het moderne rivierstelsel van Vlaanderen, dat toen in grote lijnen reeds bestond, schuurde zijn valleien diep in. Alle rivieren waterden in westelijke richting af. De Beneden-Schelde, vanaf Rupelmonde, bestond toen nog niet.

Aldus ontstond een groot langwerpig dal met een oost-westelijke hoofdas: de "Vlaamse Vallei". Deze was toen 10 tot 20 km breed, met een sterke verbreding tot 40 km ten noordwesten van Gent. Aan het einde van deze ijstijd, 100.000 jaar geleden, smolten de ijskappen en steeg het peil van de zee opnieuw. De zee drong toen een heel eind de Vlaamse Vallei binnen, tot aan de mondingen van Dender en Zenne en tot bijna in Mechelen. Vervolgens werd de vallei ten dele met zand en enkele dunne kleilaagjes (maximale dikte 30 m) opgevuld.

Nadat de zee zich weer uit de Vlaamse Vallei had teruggetrokken hervatte de erosie en werd het reliëf genivelleerd. Rivierdalen werden weer opgevuld met materiaal uit de tussenliggende gebieden. Op sommige plaatsen werd dit materiaal in de vorm van puinkegels in de vallei neergestort. De rivieren, die zwaar beladen waren met afbraakdeeltjes, verstopten hun eigen beddingen, totdat zowat 10.000 jaar geleden het water via de Beneden-Schelde een nieuwe uitweg naar zee vond.

Ook de wind heeft de geologische evolutie van Vlaanderen beïnvloed. Omwille van de sterk uitgebreide ijskappen heerste in Noord-Europa een permanent gebied van hoge druk. De daaruit resulterende sterke noordwestenwinden hadden vrij spel op het tijdens de ijstijden droogliggende kale Noordzeegebied. Zij konden daardoor grote massa's fijn zand transporteren naar Vlaanderen, waar de oudste gronden onder soms 2 meter dikke zandlagen bedekt zijn. Nog fijnere deeltjes konden nog verder weggeblazen worden. Deze vinden we nu in de zuidelijke delen van Vlaanderen als leem terug. Tot aan het begin van onze tijdrekening had de zee nog vrij spel in de huidige Polderstreek. Het moet er als een waddengebied hebben uitgezien, dat langzaam met zand en klei werd opgevuld.

Het resultaat van al deze opeenvolgende gebeurtenissen wordt goed geïllustreerd in de onderstaande doorsnede.



Figuur 11: Doorsnede van de Belgische ondergrond van noord naar zuid

In noordoostelijke richting neemt het aantal nog aanwezige lagen en de dikte van die lagen toe. De Boomse klei, die ten zuiden van Antwerpen dagzoomt, is meer naar het noordoosten begraven onder dikke, meer recente lagen.

Ten zuiden van het massief van Brabant is de geologische structuur veel complexer. Hier dagzomen veel oudere geologische lagen. Van noord naar zuid hebben we eerst het massief (een massieve anticline) van Brabant. Verder naar het zuid hebben we het bekken (een massieve syncline) van Namen, het massief van Dave (heel erg samengedrukt ter hoogte van Dave zodat er bijna geen sprake meer is van een massief), het bekken van Dinant (met daarin de Condroz en de Fagne-Famenne) en tenslotte het massief van de Ardenne (de feitelijke "Ardennen").

Ten zuiden van de Ardennen beginnen weer aflopende, recente zeebodems (Lotharingen of, in het Frans, het Pays de Gaume). Dit laatste maakt deel uit van het uitgestrekte bekken van Parijs. De Ardennen lopen in het oosten door naar de Duitse Eifel (geologisch zijn deze hetzelfde) en in het westen naar Artesië in Noord-Frankrijk en naar Zuid-Engeland (waarbij de grondlagen die in de Ardennen aan de oppervlakte liggen steeds dieper komen te liggen). In geologisch recente tijden is de zee door deze laatste anticline doorgebroken met als gevolg het Noordzeekanaal. De witte krijtrotsen van Dover in Engeland en Cap-Gris-Nez in Frankrijk zijn daar mooie getuigen van (deze zijn namelijk identiek en behoren tot dezelfde laag).

De oudste menselijke sporen in Vlaanderen dateren uit de oude steentijd (Midden-Paleolithicum, 250.000 tot 35.000 jaar geleden). Tot de Romeinse tijd was de

landschappelijke impact van de mens beperkt. De bevolkingsaan groei en de technische vooruitgang sinds de Middeleeuwen zorgden ervoor dat er nu van het “natuurlijke” landschap nog weinig overblijft. Het landschap is permanent in verandering en kan beschouwd worden als een systeem met heel veel verschillende lagen, die in meer of mindere mate werden bewaard. Het landschap zoals wij het kennen is in Vlaanderen zelden ouder dan 1000 à 2000 jaar. De jongste landbouwlandschappen zijn de poldergebieden die pas aan het begin van de 20ste eeuw werden aangelegd (bv. Prosper- en Hedwigepolder ten noorden van Antwerpen).

Hoewel de ondergrond in Wallonië merkelijk ouder is, blijft er behalve het reliëf en de rivieren weinig over van het natuurlijke landschap. Van de oorspronkelijke natuurlijke bossen blijft nauwelijks iets over ten gevolge van ontbossing ten behoeve van landbouw en ontginningen in de middeleeuwen. Zo ontstonden grote oppervlakten veen, akkers en weilanden. Ook de industrialisering (mijnbouw, bosbouw, industrie) zorgde voor grootschalige landschappelijke veranderingen. Sinds het midden van de 19de eeuw verdubbelde de bosoppervlakte, vooral door de aanleg van productiebossen (naaldhout).

Vergeleken met het dieperliggende substraat ondergaat het landschap zoals wij het kennen dus razendsnelle veranderingen.

6.3 Bodemgebruik en vegetatie

De vegetatie die op een bepaalde plaats voorkomt, wordt in hoofdzaak bepaald door de abiotische parameters van het systeem. Een beschrijving van dit systeem is dus noodzakelijk voor de beschrijving van de voorkomende vegetatie. Het abiotische milieu kan vereenvoudigd worden tot de ondergrond. Aangezien België een complex geologisch verleden heeft (zie paragrafen 6.1 en 6.2), komt er op deze relatief kleine oppervlakte een grote diversiteit aan bodemtypes voor. Een gevolg hiervan, is dat ook de vegetatie sterk verschilt van streek tot streek. De onderstaande korte inleiding over de ondergrond in België schetst een ruw beeld over de natuur in België.

De Polderstreek omvat de **polders** en de aangrenzende **kustduinen**. Naargelang hun geografische ligging wordt er onderscheid gemaakt tussen de Zee- en de Scheldepolders. Ongeveer de helft van de polders wordt gebruikt als weiland, vooral in de komgebieden. Op de hogere gronden treft men hoofdzakelijk akkerland aan, waardoor het onderscheid tussen kreekrug en komgrond duidelijk tot uiting komt.

In het noorden van België worden de **zandstreek** en de **Kemp** en gekenmerkt door niveo-eolische, zandige afzettingen uit de ijstijden. Vegetaties die typisch zijn voor de armere zandbodems zijn naaldbossen met vooral Grove den, de verschillende soorten heide, stuifduinvegetaties, ...

In het midden van België ligt de **leemstreek**, met een pakket quartaire leem in de ondergrond. Leemgronden behoren tot de meest productieve gronden. De meeste van deze bodems bevinden zich dan ook onder landbouw, op enkele bosmassieven na (Zoniënwoud, Meerdaalbos, ...). Hier komen naast uitgestrekte landbouwgronden bijgevolg meer loofbossen voor en vegetatietypes die aangepast zijn aan de rijkere leembodems. Weilanden treft men meestal aan op de natste varianten. De **zandleemstreek** vormt de overgang tussen het zandige noorden en de leemstreek en heeft kenmerken van beide streken.

Het **noordelijke deel van Hoog-België** behelst het gebied tussen de Samber- en Maasglauf en het Ardens Plateau. Het reliëf is er veel meer uitgesproken en gevarieerd dan in de

leemstreek en is sterk versneden door het rivierennet. Met uitzondering van de Samber- en Maasgleuf, een deel van het Land van Herve en de **Fagne** en **Famenne**, is het landschap sterk golvend tot heuvelachtig, soms vrij vlak op de plateaus. De Famenne bestaat uit een heel grote depressie. De slecht gedraineerde gronden liggen meestal onder weiland, de ondiepe stenige bodems onder bos en de diepere goed gedraineerde gronden onder akkerbouw.

De **Ardennen** vormt een uitgestrekt golvend plateau, sterk ingesneden door de rivieren. Het reliëf hangt nauw samen met de lithologie van het gesteente. De hoog gelegen delen van het landschap bestaan steeds uit moeilijk verweerbare zandsteenformaties, terwijl de depressies meestal uitgeschuurd zijn in zuivere schiefer of leisteen. Kalksteenafzettingen komen niet voor in de eigenlijke Ardennen. Meest opvallend voor wat betreft het bodemgebruik in de Ardennen is de zeer grote verbreiding van bos, vooral op de natte hoogplateaus en de steile wanden van de valleien. De veengebieden en de omgevende zeer natte stenige leemgronden liggen nog gedeeltelijke braak. De natuurlijke bosvegetatie is gekenmerkt door de overgang (rond 450 m hoogte) van het gemengde eikenbos naar het gemengde beukenbos. Dit natuurlijke bosbestand werd echter aanzienlijk gewijzigd door de mens door de massale aanplant van fijnspar. Op de plateau-gronden met gunstige drainering en relatief diepe gronden werd het bos ontgonnen voor akkerbouw. Het noordoosten van de Ardennen ligt nagenoeg uitsluitend onder weiland.

Belgisch Lotharingen wordt gekenmerkt door een sterk wisselende bodemgesteldheid, te wijten aan de geologische structuur van de ondergrond. Lagen van verschillende ouderdom met verschillende samenstelling hellen zacht naar het zuiden, zodat ze dagzomen in west-oostelijk verlopende stroken van cuesta's (asymmetrische heuvelruggen met de steile helling naar het noorden gericht en de zachte helling naar het zuiden). Het bodemgebruik is heel gevarieerd. Weiland treft men aan op natte weinig doorlatende bodems zoals mergels, kleien, natte leemgronden en alluviale gronden. Akkerland is typisch voor de drogere leemgronden, zandleemgronden, lemige zandgronden en lemige kleigronden, deze laatste respectievelijk met kalkzandsteen- en kalksteensubstraat. Bos komt vooral voor op de steile hellingen (cuestafronten) of op de droge zand- of kalksteengronden. De natuurlijke bosvegetatie bestaat uit beukenbestanden, soms gedegradeerd tot een eiken-berkenbos op de droge zandgronden (46).

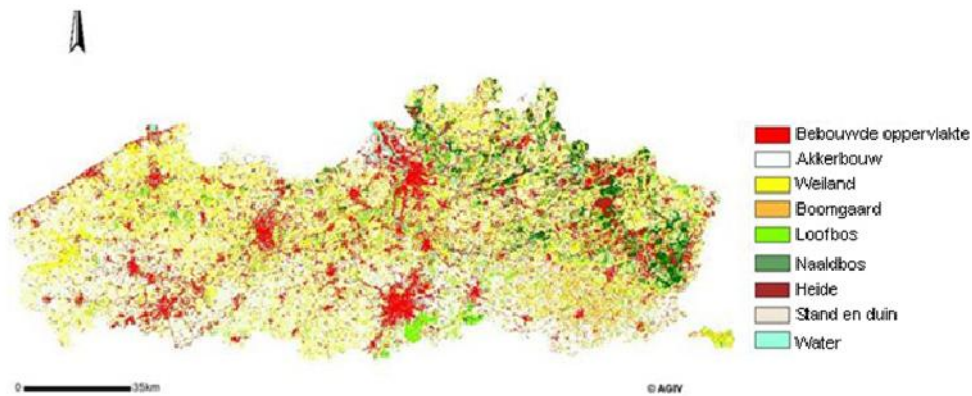
De Belgische landbouwstreken



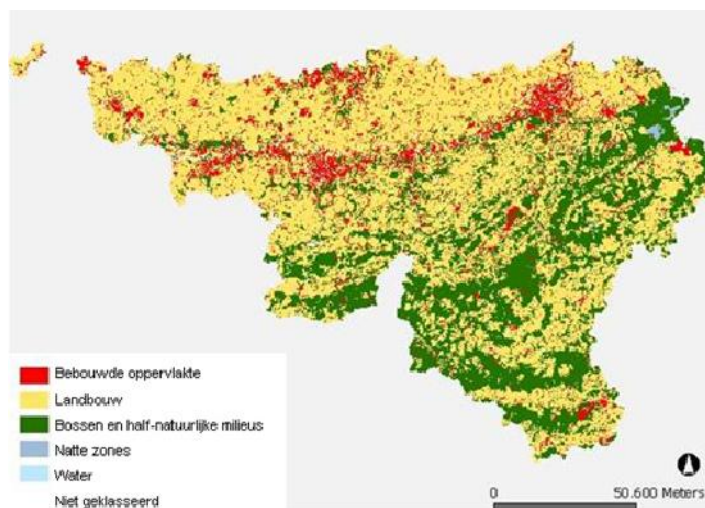
Figuur 12: De Belgische landbouwstreken

Naast de bodem is de mens een tweede bepalende factor voor de voorkomende natuur. In België komen (bijna) geen volledig natuurlijke systemen meer voor. Overal is de natuur bewerkt en ontgonnen door de mens. Een groot deel van de natuur die wij kennen in België (en bij uitbreiding in heel West-Europa) komt voort uit traditionele landgebruiksystemen. Zo is de heide ontstaan door het plaggen en kennen de natte, bloemenrijke graslanden hun oorsprong in hun jaarlijkse maaibeurt. Deze halfnatuurlijke systemen hebben in het midden van de vorige eeuw plaats gemaakt voor meer intensieve landbouwsystemen. Door bemesting en drainage konden toen ook de voor de natuur belangrijke marginale gronden in exploitatie genomen worden. Door deze intensivering is veel natuur verloren gegaan. De halfnatuurlijke ecosystemen, zoals heide en nat hooiland, bestaan vandaag alleen nog in natuurreservaten en danken hun voortbestaan aan het natuurbeheer.

De natuur in België wordt hierna geïllustreerd aan de hand van de bodemgebruiksk kaart (Figuur 13 en Figuur 14) en enkele samenvattende cijfers. In 2000 was er in België ongeveer 693.000 ha bos, wat overeenkomt met een bosindex van 22,7%. Daarvan komt 146.000 ha voor in Vlaanderen (bosindex 11%), 1700 ha in Brussel en 545.000 ha in Wallonië (bosindex 32,4%). Een groot deel van het Vlaamse bos is terug te vinden in de Kempen. Het bestaat voornamelijk uit naaldbomen. De oppervlakte bos in Vlaanderen is sterk versnipperd en blijft steeds dalen, ook in de laatste jaren. Op de bodemgebruiksk kaart van Wallonië is te zien dat de boscomplexen veel groter zijn dan in Vlaanderen. Hier is de bosoppervlakte tevens gestegen in het laatste decennium.



Figuur 13: Bodemgebruikskartaar voor Vlaanderen



Figuur 14: Bodemgebruikskartaar voor Wallonië

De natuurreservaten worden in België op gewestelijk niveau afgebakend. Het behoud van de biodiversiteit is echter een grensoverschrijdende bekommernis. Heel wat internationale verdragen stellen de bescherming van de natuur en de biodiversiteit centraal. In de Europese unie vormen de Vogelrichtlijn (79/409/EEG) en Habitatrichtlijn (92/43/EEG) de hoekstenen van het Europese natuurbeleid. In deze Europese richtlijnen worden afspraken gemaakt over de bescherming van de natuur die voor alle lidstaten gelden. Europa wenst een Europees netwerk van gebieden (het zogenaamde Natura 2000-netwerk) te realiseren waar de bescherming van de meest kwetsbare dier- en plantensoorten en hun leefgebieden centraal staat.

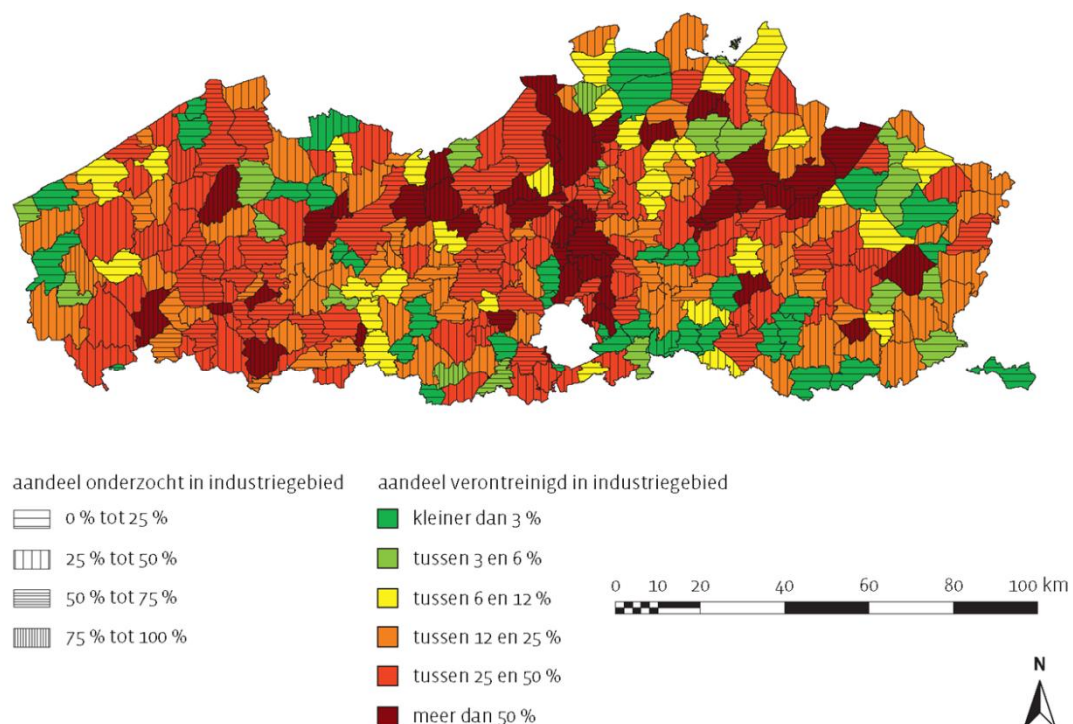
In Vlaanderen zijn 38 gebieden voor de Habitatrichtlijn en 24 gebieden voor de Vogelrichtlijn afgebakend, samen goed voor meer dan 165.000 ha beschermde gebieden. In Wallonië zijn er 240 Natura 2000-gebieden afgebakend, wat overeenstemt met 221.000 ha. In het Brussels hoofdstedelijk gewest liggen 3 habitatrichtlijngebieden met een totale oppervlakte van ongeveer 2300 ha.

6.4 Bodemkwaliteit

De bodems en het bodemgebruik in België werden reeds beschreven in paragraaf 6.3. Hierna wordt een korte bespreking gegeven van de bodemkwaliteit.

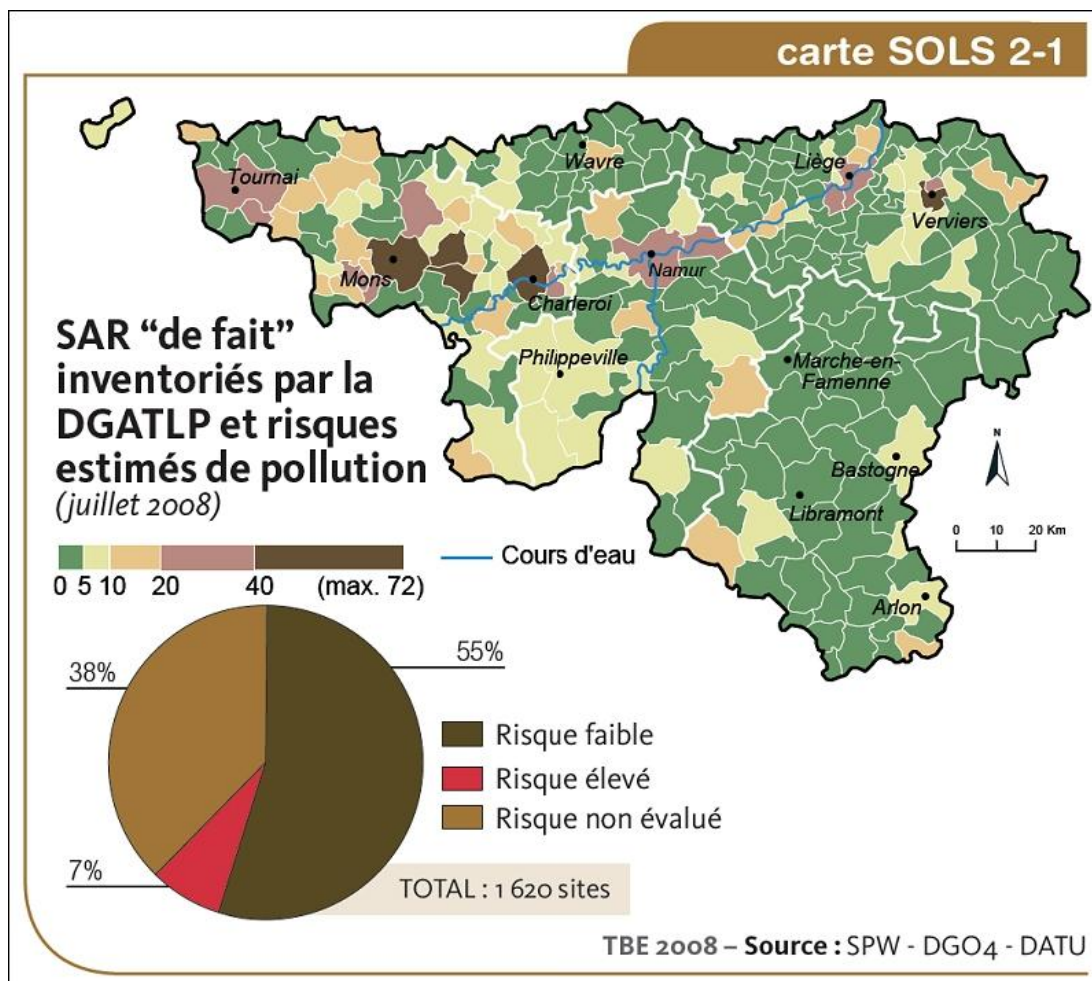
De bodem wordt aangetast door verschillende menselijke activiteiten: land- en bosbouw, industrie, toerisme, uitbreiding van verstedelijking, ... De aantasting kan veroorzaakt worden door verontreiniging, maar ook door bv. erosie of verdichting.

De onderstaande kaart (uit (47)) geeft een indicatie van het voorkomen van verontreinigde bodems in Vlaanderen. De industriële kerngebieden zijn duidelijk te herkennen.



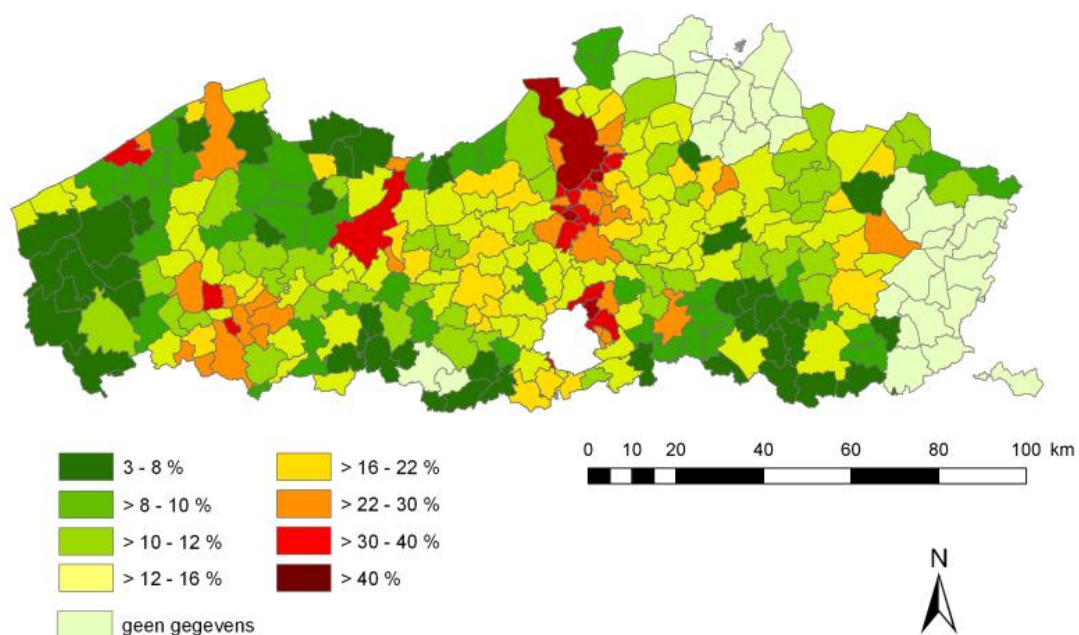
Figuur 15: Verontreinigde bodems in Vlaanderen (2006)

Ook Wallonië heeft te kampen met verontreinigde bodems. Bij wijze van illustratie vindt men hierna een kaart (uit (48)) van "sites à réaménager", sites die in het verleden meestal een economische activiteit gekend hebben en waar de bodem vaak vervuild is.



Figuur 16: Verontreiniging van oude industriële sites in Wallonië (2008)

Verdichting van de bodem is een gevolg van toenemende verharding (bebouwing of verharde oppervlakte zoals wegen e.d.). Hemelwater dat op verharde oppervlakken valt, kan niet infiltreren en stroomt af naar het oppervlaktewater. De grondwatervoorraad wordt dus minder aangevuld en de bodem verdroogt. De verhoogde toevoer naar het oppervlaktewater kan leiden tot wateroverlast. De onderstaande kaart (uit (47)) toont het aandeel verharde oppervlakte per gemeente in Vlaanderen.



Figuur 17: Bodemafdeling in Vlaanderen (2006)

6.5 Water

De oppervlakte ingenomen door water in België bedraagt 3462 km² of 11% van de totale oppervlakte.

Vlaanderen maakt deel uit van twee internationale stroomgebiedsdistricten: het internationale stroomgebiedsdistrict van de Schelde (88,2% van de oppervlakte van Vlaanderen) en het internationale stroomgebiedsdistrict van de Maas (11,8% van de oppervlakte van Vlaanderen). De lage waterbeschikbaarheid in Vlaanderen (841 m³ per inwoner per jaar) is voornamelijk het gevolg van de hoge bevolkingsdichtheid, waardoor er veel water nodig is om aan de basisbehoefte te kunnen voldoen. Het totale watergebruik in Vlaanderen (exclusief koelwater) vertoonde in de periode 1991-2003 globaal gezien een duidelijke dalende trend van iets minder dan 850 miljoen m³ per jaar naar ongeveer 725 miljoen m³ per jaar (47).

De Waalse zoetwatervoorraden bedragen ongeveer 13 miljard m³ per jaar. Neerslag vormt de belangrijkste bron van zoet water. Het volume water dat infiltreert naar het grondwater varieert ook per regio. Een groot deel van het water stroomt af naar rivieren en waterlopen, maar ongeveer 80 miljoen m³ zal evaporeren of verbruikt worden door industrie of als drinkwater (ook in Brussel en Vlaanderen). Van het geëxploiteerde grondwater wordt 81,5% gebruikt voor de productie van drinkwater, 8,4% voor industriële toepassingen en 8,1% voor mijnbouw (2006) (48).

Menselijke activiteiten veroorzaken een verstoring van de watercyclus, met een verminderde waterkwaliteit en –kwantiteit als gevolg. Deze verstoringen grijpen op verschillende manieren in op de watercyclus en zijn in 3 groepen in te delen (49):

- oorzaken die de infiltratie van hemelwater verminderen of verhinderen, waardoor het sneller oppervlakkig afstroomt:

- uitbreiden van verharde oppervlakte (bebouwing, wegenis, riolen)
- gewijzigde landbouwexploitatie, waardoor de bodem minder water opneemt en hemelwater sneller oppervlakkig afstroomt
- verdwijnen van kleine landschapselementen (microreliëf, randbegroeiing rond percelen en langs wegen, grachten, ...)
- oorzaken die de berging van oppervlaktewater verminderen:
 - sneller afvoeren van oppervlaktewater door waterbeheersingswerken zoals inbuizen, rechttrekken en uitdiepen van grachten en waterlopen
 - verdwijnen van natuurlijke overstromingsgebieden door ophoging en inname voor andere doeleinden
 - oppervlaktewaterwinning ten behoeve van landbouw, industrie en openbare drinkwatervoorziening
- oorzaken die de berging van grondwater verminderen en de kwel doen afnemen:
 - grondwaterwinning ten behoeve van landbouw, industrie en openbare drinkwatervoorziening
 - drainage
 - bemaling ten behoeve van infrastructuurwerken, wegeaanleg, bouwwerken, mijnbouw, grind- en zandwinningen
 - bemaling om (vervuild) grondwater af te voeren
 - wegzijging bij het doorbreken van relatief ondoorlatende lagen bij uitvoering van infrastructuurwerken
 - ontgrondingen

Volgens het OESO-rapport ter evaluatie van het Belgische milieubeleid van 2007 (50) steeg het aandeel van de bevolking dat op een afvalwaterzuiveringsinstallatie aangesloten is in de laatste tien jaar van 26 tot 46%, dankzij de gezamenlijke inspanningen van de drie Belgische regio's. De concentratie aan milieuverontreinigende stoffen is bijgevolg gedaald in heel wat oppervlaktewateren en het aquatisch leven is rijker geworden. De industriële lozingen in het water namen verder af. De reductiedoelstellingen die vastgelegd werden door de Internationale Conferentie over de Bescherming van de Noordzee werden bereikt voor 25 van de 37 stoffen.

Ondanks deze inspanningen heeft België echter nog steeds te kampen met grote uitdagingen op het vlak van waterverontreiniging. Vooreerst blijft de zeer intensieve landbouw in sommige delen van België een heel schadelijke impact hebben op de waterreserves van het land (met indicatoren die aantonen dat de dichtheid van de veestapel en het gebruik van pesticiden en stikstofhoudende meststoffen tot de hoogste in de OESO behoren). In een groot en toenemend aantal van de grondwaterlagen zijn hoge concentraties nitraten en pesticiden terug te vinden. Ten tweede blijft de kwaliteit van het water in heel wat stromen en rivieren, in het bijzonder in de meer dichtbevolkte delen van het land, nog steeds ver onder het niveau van wat onder de EU-Kaderrichtlijn Water (2000/60/EC) vereist is tegen 2015. Ten derde heeft België, ondanks zijn inspanningen, de deadlines van de Europese Richtlijn inzake de behandeling van stedelijk afvalwater (91/271/EEG) nog niet gehaald.

6.6 Lucht

Angezien de locatie waar de beheeroptie gerealiseerd zal worden nog niet gekend is, kan de luchtkwaliteit ter hoogte van deze locatie niet in detail beschreven worden.

Omwille van de aard van de voorziene activiteiten kan echter aangenomen worden dat deze niet zullen gerealiseerd worden in gebieden met aanzienlijke bewoning of industriële activiteiten. In die zin kan gesteld worden dat de luchtkwaliteit ter hoogte van de beheersite overeen zal komen met de luchtkwaliteit op zogenaamde achtergrondlocaties. Dit is in feite een "worst case" aanname. In grote lijnen kunnen volgende jaargemiddelde concentratieniveaus vooropgesteld worden:

- SO₂: 3 à 6 µg/m³
- NO₂: 15 à 25 µg/m³
- PM₁₀: 20 à 30 µg/m³ (deze concentratie is sterk afhankelijk van de meteorologie en de al of niet verhoogde achtergrondconcentraties)
- PM_{2,5}: 15 à 20 µg/m³
- Stofdepositie: 50 à 100 mg/m² per dag

Dergelijke concentratieniveaus liggen aanzienlijk lager dan de huidige en reeds vastgelegde toekomstige grenswaarden. Er kan dan ook aangenomen worden dat een beperkte tot matige impact op de luchtkwaliteit nog niet zal leiden tot overschrijding van grenswaarden.

Ook ten aanzien van micropolluenten zoals PAK's, zware metalen en benzeen kan aangenomen worden dat er ter hoogte van de beheersite aan de doelstellingen voldaan zal zijn.

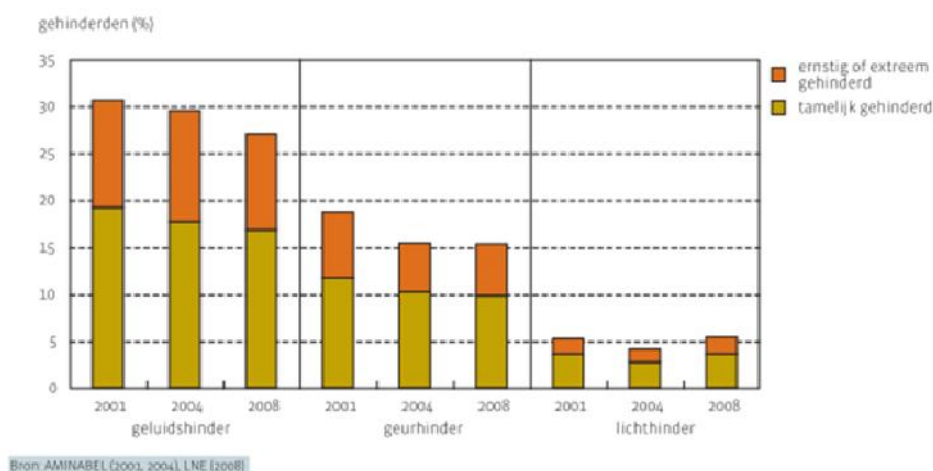
6.7 Geluid

De versturende geluidsbronnen bepalen samen met de natuurlijke geluiden en de gebiedseigen geluiden het geluidsklimaat op een bepaalde plaats. De mens is in staat om de verschillende componenten van elkaar te onderscheiden, te ervaren en te beoordelen. Het gebruik van geluidsproducerende bronnen (voertuigen, machines e.d.) is sinds de jaren '80 en waarschijnlijk reeds sinds de industriële revolutie sterk toegenomen. Kenmerkend voor het waargenomen geluid van afzonderlijke geluidsbronnen is de hoeveelheid geluidsemisatie (geluidsvermogeniveau) dat ze uitsturen.

De verspreiding van geluid hangt af van de weersomstandigheden en van obstakels die zich in het geluidspad bevinden, en daardoor ook van de hoogte waarop de geluidsbron zich bevindt. Overdracht van geluid is in de praktijk beperkt tot afstanden van hooguit enkele kilometers. Zo beschouwd is geluid een lokaal milieuprobleem. De reglementering werd dan ook in die zin opgebouwd (bv. VLAREM II (51) in Vlaanderen voor als hinderlijk ingedeelde inrichtingen of de richtwaarden voor wegverkeersgeluid met het oog op het nemen van maatregelen).

Hoewel een afzonderlijke geluidsbron (bv. een bedrijf) enkel verstoring veroorzaakt in haar onmiddellijke omgeving, verstoren alle bronnen samen (bv. het wegverkeer) bijna het volledige grondgebied van België. Het aantal geluidsbronnen is zo groot en gevarieerd dat in België bijna altijd geluid van menselijke activiteit te horen is. Daarom is blootstelling aan geluid ook een nationaal probleem. In het Vlaamse MIRA-T rapport van 2008 (52) wordt aangegeven dat lawaai met 10,2% ernstig of extreem gehinderden de belangrijkste bron van

hinder blijft. Dit werd vastgesteld op basis van de driejaarlijkse enquête (SLO2, schriftelijk leefomgevingsonderzoek) in opdracht van de Vlaamse Overheid.



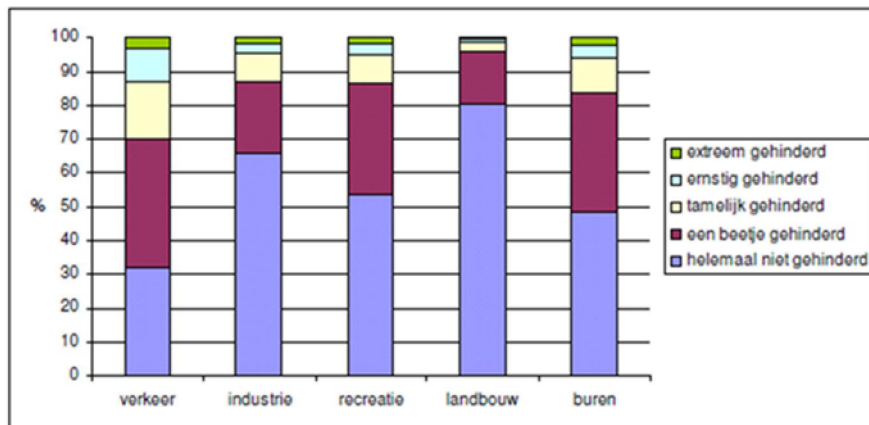
Figuur 18: Geluid als hinderbron

Geluidsbronnen in de woonomgeving kunnen worden opgedeeld in 3 categorieën:

- Reguliere bronnen: transport (vooral wegverkeer) en stationaire bronnen (vooral industriële bedrijven). Voor transport (weg, spoor, luchthaven van Zaventem) is de geluidsbelasting in België in kaart gebracht met behulp van rekenmodellen (53).
- Incidentele bronnen: bijvoorbeeld bouw- en sloopwerkzaamheden of onderhoudswerkzaamheden. Door hun incidenteel karakter is hun geluidsbelasting moeilijk in kaart te brengen.
- Activiteiten in en om de woning: scala van activiteiten van buurtbewoners, zoals muziek maken en afspelen, klussen en tuinonderhoud. Door hun incidenteel karakter is hun geluidsbelasting moeilijk in kaart te brengen.

Vooraf verkeer en vervoer zorgen in de huidige leefomgeving voor een toenemende druk op het geluidsklimaat. Daarnaast zorgen economische activiteiten (industrie, handel en diensten) en luidruchtige recreatie voor een belangrijke geluidsproductie. Het samenwonen van een grote groep mensen op een relatief kleine oppervlakte zorgt op zich reeds voor een belangrijke hinder door burengeluid.

In Figuur 19 wordt de hinderbeleving van de bevolking ten aanzien van het type geluidsbron weergegeven (54).



Figuur 19: Gerapporteerde geluidshinder voor verschillende hinderbronnen

Door het stiller worden van individuele voertuigen en machines nemen de geluidsniveaus in de woonomgeving – en dus de verstoring – evenwel niet evenredig toe met de groei van de activiteiten. Verwacht wordt dat dit nog langere tijd het geval zal zijn.

Aangezien in deze SEA de locatie niet gekend is, kan geen duidelijke opgave van de geluidskwaliteit op de site opgenomen worden.

6.8 Gezondheid

6.8.1 Inleidende beschouwingen en definities

6.8.1.1 Het begrip gezondheid

De wereldgezondheidsorganisatie (WGO) omschrijft gezondheid als: “*de complete toestand van fysiek, mentaal en sociaal welbevinden, en niet enkel de afwezigheid van ziekte of ongemak*”. De gezondheid wordt dus gezien als een globaal concept dat verder gaat dan de afwezigheid van ziekte en kwalen. Het welzijn en de levenskwaliteit hangen af van een indrukwekkend aantal factoren, zowel psychologisch als sociaal of milieugebonden. De definitie is erg ruim en laat daarom geen objectieve en volledige kwantificatie toe, noch voor het heden, noch voor de toekomst. De menselijke gezondheid wordt inderdaad bepaald door een veelheid van factoren en parameters zoals erfelijke belasting, menselijke gedragpatronen (met name eet-, drink-, rook- en slaapgewoonten), sociale en economische leefomstandigheden, kwaliteit van de lokale en bovenlokale leefomgeving, activiteiten, veiligheidsproblematiek in de leefomgeving, kwaliteit van het leefmilieu in al zijn aspecten.

Het zou onmogelijk zijn – en het is evenmin de bedoeling – om in het kader van deze SEA een objectieve en zeer gedetailleerde evaluatie te maken van het al dan niet voorkomen van al deze gezondheidsbepalende factoren en parameters en op basis daarvan een zinvolle uitspraak te doen over de lokale gezondheidstoestand van de Belgische bevolking, hetzij in de bestaande situatie, hetzij in geval van de implementatie van een bepaalde optie voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. De gezondheidsbepalende factoren en parameters zijn vooreerst te talrijk. De inwerking (blootstellingsgraad) van alle hierboven

genoemde externe parameters, het aanvoelen en de rechtstreekse of onrechtstreekse gevolgen ervan zijn bovendien voor elk individu verschillend. Gegevens over de individuele gezondheidstoestand van de mensen zijn tenslotte confidentieel en dus evenmin beschikbaar. Hierna wordt dus een globale benadering van de potentiële gezondheidsrisico's voorgesteld en toegelicht.

6.8.1.2 Globale benadering, actoren en receptoren

Er wordt getracht om de invloeden op de menselijke gezondheid globaal te benaderen vanuit de karakterisering van de diverse milieucompartimenten in de bestaande situatie en in de toekomst. Het gaat hier met name om gegevens met betrekking tot de milieucompartimenten lucht, geluid en ioniserende straling. Dit zijn de rechtstreekse **actoren**.

Vervolgens worden zowel de effectieve als de potentiële blootstelling van menselijke populaties (de **receptoren**) aan de belangrijkste actoren bepaald en geëvalueerd, en dit voor de verschillende beheeropties.

Dit moet uiteindelijk toelaten om een genuanceerde uitspraak te doen over risicofactoren die de gezondheidstoestand mede bepalen of in de toekomst mede zullen bepalen, en niet over de gezondheidstoestand van de receptoren zelf.

Nadere gegevens over de gevolgde methodiek worden gegeven in paragraaf 9.4.4.1.

6.8.1.3 Het begrip blootstelling

De invloed van milieurisicofactoren op de gezondheid gebeurt via blootstelling. De mens kan op verschillende manieren blootgesteld worden aan externe risicofactoren:

- Door inademing of inhalatie, bv. van atmosferische pollutanten van uiteenlopende aard
- Door opname of ingestie, bv. voedsel waarin residuen voorkomen, inslikken van vloeistoffen in accidentele situaties of bij waterrecreatie
- Door huidcontact of dermaal contact, bv. bij manipulatie van gevaarlijke stoffen of vloeistoffen (al dan niet in arbeidsomstandigheden) of bij waterrecreatie
- Door fysische gewaarwording, bv. van geluidsemisies, trillingen of visuele prikkels
- Door blootstelling aan straling: hierbij is er meestal gedurende het tijdstip of de periode van blootstelling geen sprake van enige zintuiglijke beleving of gewaarwording, in de traditionele betekenis van het woord.

Wat de blootstelling aan ioniserende straling betreft, onderscheidt men twee categorieën. **Bestraling** treedt op wanneer de receptor zich in de nabijheid van een radioactieve bron bevindt. De bron van de straling kan ook van natuurlijke oorsprong zijn (kosmische straling, zie verder). Komt de receptor daadwerkelijk in contact met radioactief materiaal, dan kan eventueel **besmetting** optreden. Die besmetting kan uitwendig zijn (blootstelling door dermaal contact) of inwendig (door inhalatie of door ingestie).

Bij de beoordeling van de effecten op de menselijke gezondheid moet dus nagegaan worden in hoeverre er sprake zou kunnen zijn van reële of potentiële blootstelling, en dit voor de verschillende beheeropties. De blootstelling heeft de volgende componenten:

- De dosis of concentratie, d.w.z. de hoeveelheid of intensiteit van een bepaalde bron of actor
- De afstand tot de bron of actor

- De tijdsduur van de blootstelling

De **blootstelling aan chemische agentia** wordt meestal in de vorm van de massa-inhoud uitgedrukt:

- Als concentratie, bv. immissieconcentratie voor een bepaalde pollutant in de ingeademde lucht
- Als dosis, bv. per kg lichaamsgewicht of per cm² oppervlakte van de receptor

De blootstelling kan ook per tijdseenheid worden weergegeven (bijvoorbeeld: opname van een bepaalde concentratie over de tijdsspanne van een dag, of van een jaar). Bepaalde normen zoals de ADI (Acceptable Daily Intake) geven de maximaal aanvaardbare dosis weer als massa per tijdseenheid (mg per dag of mg per dag en per kg lichaamsgewicht).

De **blootstelling aan fysische agentia** geeft eerder de energie-inhoud dan de massa-inhoud weer (bv. geluidsemissies, lichtemissies). In het specifieke geval van ioniserende straling heeft de effectieve dosis als eenheid de (milli)Sievert (mSv). De dosis wordt ook dikwijls aangegeven per tijdseenheid en wordt dan het dosisdebiet genoemd (bv. in mSv/j). De collectieve dosis voor een bevolkingsgroep (groep receptoren) is de som van de doses voor alle leden van die groep. De eenheid hiervan is de manSievert (manSv). De dosis die men oploopt hangt af van de intensiteit en de karakteristieken van de stralingsbron, de soort straling en de duur van de blootstelling.

De dosis of concentratie waaraan een receptor blootgesteld wordt vanuit een bepaalde natuurlijke of niet natuurlijke bron is uiteraard ook afhankelijk van de afstand tussen bron en receptor en de eventuele natuurlijke of kunstmatige barrières tussen beide.

De bronsterkte, de afstand, de aanwezigheid van barrières en de tijdsduur van de blootstelling enerzijds, en de gevoeligheid van de receptor anderzijds bepalen samen of er verder sprake kan zijn van gezondheidseffecten.

Als er echter op geen enkel moment enige vorm van blootstelling van menselijke receptoren optreedt (omdat de bron weggenomen is, of omdat voldoende barrières gebouwd zijn, of een combinatie van beide), zal er in normale omstandigheden geen sprake zijn van reële gezondheidseffecten. In dat geval blijft er mogelijk nog wel een (potentieel, inherent) risico bestaan. Dat risico kan slechts onder bepaalde voorwaarden leiden tot reële effecten. Elk milieubeleid moet erop gericht zijn reële effecten te voorkomen (preventie).

6.8.1.4 Het begrip hinder

Traditionele milieurisicofactoren en hinder

In het geval van traditionele chemische of fysische (niet ioniserende) actoren is hinder vaak te associëren met de aanleg- of uitvoeringsfase van een project: het gaat meestal niet om activiteiten die de gezondheid op lange termijn beïnvloeden. Tijdelijk worden werkzaamheden als (ver)storend, vervelend of ronduit ergerlijk ervaren (bijvoorbeeld stofhinder, geluidshinder, trillingshinder, beweging van vrachtwagens en bulldozers, ...).

Bij aanlegwerkzaamheden zijn dergelijke invloeden niet steeds met objectieve maatstaven te kwantificeren vanwege de relatief korte termijn en het niet continue of niet volledig systematische karakter van de aanlegfase. Er zijn vaak te veel onzekerheidsfactoren om de invloed van de aanlegwerkzaamheden op een voldoende betrouwbare en dus enigszins zinvolle manier te kunnen beschrijven. Bijgevolg is het ook onmogelijk om daaruit met grote zekerheid af te leiden in welke mate er voor de receptoren gezondheidseffecten zullen optreden. Wat men wel kan doen, is de aanlegwerkzaamheden zo organiseren dat factoren

waarvan men uit ervaring weet dat ze aanleiding kunnen geven tot hinder ofwel volledig uit te sluiten, ofwel te beheersen (d.w.z. ze binnen bepaalde perken te houden), of alleszins een kader te voorzien van normen en aanbevelingen waaraan de aanlegactiviteiten moeten voldoen (bv. het gebruik van bepaalde lawaaiërende machines tijdens aanlegwerkzaamheden verbieden of verplichten dat machines aan bepaalde geluidsnormen voldoen). De invloed moet aan de bron zo laag mogelijk gehouden worden, volgens het ALARA-principe (As Low As Reasonably Achievable). Het beoordelen van de effecten voor de menselijke gezondheid kan er dan ook in bestaan om na te gaan of aan deze regels voldaan wordt en of de potentiële blootstelling van receptoren wel voldoende verhinderd wordt of kan worden.

Uiteraard kan er ook tijdens de exploitatiefase (d.w.z. nadat de aanlegwerkzaamheden beëindigd zijn) sprake zijn van blijvende of permanente hinder. Ook hier moeten invloeden vanuit de bron in de eerste plaats zo gering mogelijk zijn (ALARA). Het kwantificeren van de bronnen in de exploitatiefase is doorgaans iets gemakkelijker door de langere duur van deze fase. Langere en herhaalde observaties, waarbij metingen en bemonsteringen worden uitgevoerd, zijn in de exploitatiefase meestal wel mogelijk en ook gewenst. Voor zover de bronnen gekwantificeerd kunnen worden en er in de wetenschappelijke literatuur informatie voorhanden is over de dosis-responsrelatie tussen bepaalde hinderfactoren enerzijds en gezondheidsaspecten anderzijds, kan uit de meetgegevens rechtstreeks afgeleid worden welke gezondheidseffecten daaruit zouden kunnen voortkomen. Aangezien echter ook voor de exploitatiefase een preventieve benadering noodzakelijk is, kan een beoordeling van de situatie ten aanzien van de menselijke gezondheid eveneens gebeuren door na te gaan in hoeverre de blootstelling van receptoren van bij de aanvang wordt verhinderd.

Hinder kan aanleiding geven tot gezondheidseffecten, maar gezondheidseffecten kunnen ook optreden zonder dat er sprake is van hinder.

Ioniserende straling en hinder

Ioniserende straling is niet zintuiglijk waarneembaar, tenzij het om calamiteiten gaat (bv. ernstige ongevallen of oorlogssituaties). Daarom is het traditionele begrip "hinder" niet aan de orde. In het geval van traditionele milieufactoren heeft de waargenomen hinder in feite een signaalfunctie: er is een milieuprobleem (dat vervolgens opgelost kan of moet worden). In het geval van ioniserende straling zijn deze door de receptor zintuiglijk waarneembare signalen doorgaans niet aanwezig. Aangezien de gevolgen van ioniserende straling voor de gezondheid van de mens zeer ernstig kunnen zijn, zonder dat er iets gevoeld of waargenomen wordt, is enkel een volledig doorgedreven preventieve benadering, met technische uitrusting die voldoet aan het ALARA-principe, met geoptimaliseerde stralingscontrole- en beveiligingsapparatuur (in overeenstemming met de Beste Beschikbare Technieken en de geldende standaarden en normen) de enige mogelijke benadering. Deze benadering kan bovendien nog aangevuld worden met permanente monitoring van de eventuele blootstelling bij werknemers en in de omgeving.

Afhankelijk van de aard en de hoeveelheid van de ioniserende straling en de duur van de blootstelling zullen er al dan niet gezondheidseffecten optreden bij de receptoren.

6.8.1.5 Gezondheidseffecten

Traditionele, chemische en fysische actoren

Het zou onbegonnen werk zijn om alle mogelijke gezondheidseffecten op te sommen die het gevolg zijn van acute of chronische blootstelling aan de verschillende milieurisicofactoren die momenteel gekend zijn. Bepaalde van deze risicofactoren kregen tijdens de laatste decennia en ook vandaag nog verhoogde aandacht vanwege de ernst van de effecten die eraan

gekoppeld kunnen zijn bij langdurige blootstelling of vanwege de omvang van de populaties die erdoor getroffen worden of werden (bv. asbest, dioxines, fijn stof).

Duidelijke correlaties tussen het optreden van deze risicofactoren en gezondheidseffecten werd op ondubbelzinnige wijze aangetoond in wetenschappelijke studies.

Aan de hand van wetenschappelijk vastgestelde dosis-responsrelaties wordt aangegeven tot welke gezondheidseffecten de blootstelling aan een bepaalde dosis van een bepaalde stof (gehalte, concentratie, ...) aanleiding kan geven. De gezondheidseffecten zijn zeer uiteenlopend van aard en kunnen al dan niet ernstig zijn, afhankelijk van de graad van blootstelling.

Ioniserende straling

Ioniserende straling veroorzaakt DNA-schade. De ernst van het effect wordt bepaald door het type straling, de geabsorbeerde stralingsdosis en de gevoeligheid van het getroffen weefsel voor straling. Als de blootstelling boven een bepaalde drempelwaarde ligt, kan uiteindelijk een stralingsyndroom met soms dodelijke afloop ontstaan (55). De energieabsorptie veroorzaakt biologische schade die kan leiden tot weefselreacties, kanker en erfelijke afwijkingen, en eventueel tot de dood.

De gezondheidseffecten van ioniserende straling voor de mens worden onderverdeeld in vroege en late effecten. Zeer hoge kortstondige stralingsdoses (boven een drempelwaarde van de grootte-orde van 1 Gy) leiden tot onmiddellijke effecten, ook wel deterministische effecten genoemd. De ernst van deze effecten neemt toe met de dosis. Straling kan cellen beschadigen, met celdood of functieverlies tot gevolg. Wanneer de stralingsdosis hoog is en veel cellen aangetast zijn, zal er klinische weefselschade optreden ter hoogte van bijvoorbeeld de darmen en de bloedvormende weefsels. Grote weefselschade kan de patiënt fataal worden, maar ook meer subtiele effecten kunnen ontstaan (bv. in de ontwikkelende hersenen). Bij een dosis van 4 Gy worden het beenmerg en het gastro-intestinaal stelsel aangetast. Zonder medische behandeling leidt een dergelijke dosis binnen de 60 dagen tot de dood van de helft van de blootgestelden.

Ook beneden de drempelwaarden voor vroege effecten zijn gezondheidseffecten bij de mens waargenomen. Deze effecten, die pas jaren later tot uiting komen, worden stochastisch genoemd omdat de kans dat ze optreden (en niet de ernst ervan) afhankelijk is van de ontvangen dosis. Het staat vast dat acute blootstellingen van de orde van 0,2 Gy of hoger de kans op allerlei vormen van kanker verhogen. Naarmate de dosis en het dosisdebiet kleiner worden, neemt de kans op het optreden van een effect af tot op een punt dat het niet meer statistisch kan worden aangetoond. Mutaties veroorzaakt door straling in de voortplantingscellen zullen zich meestal niet uitdrukken in een ziekte bij de bestraalde persoon, maar kunnen overgedragen worden op het nageslacht.

Uit voorzorg neemt men in de stralingsbescherming aan dat elke dosis, hoe klein ook, een risico op kanker en erfelijke afwijkingen met zich meebrengt en dat deze kans evenredig is met de grootte van de dosis. Bij lage doses zullen de meeste cellen de bestraling overleven en is er geen weefselschade zichtbaar, maar het DNA van deze cellen kan aangetast zijn (mutaties). Dit kan na vele jaren leiden tot de ontwikkeling van kanker. Onder een (weliswaar niet steeds gekende) limiet kan er geen risico meer vastgesteld worden.

Gecombineerde effecten (dubbele toxiciteit)

Sommige zware metalen kunnen gezondheidseffecten veroorzaken doordat ze zowel ioniserend als chemisch-toxisch zijn. De radiotoxiciteit ervan kan hoger of lager zijn dan de chemische toxiciteit. Men gaat ervan uit dat de chemische toxiciteit verwaarloosbaar is t.o.v.

de radiotoxiciteit indien de chemische letale dosis groter is dan 100 keer de rALI (de radiologische "Annual Limit of Intake" via ingestie en inhalatie). Het opnemen van een hoeveelheid gelijk aan 100 keer de rALI leidt immers tot onmiddellijke of deterministische effecten, die vele malen ernstiger zijn dan de effecten gekoppeld aan de chemische toxiciteit van diezelfde stof. In Tabel 6 is bij wijze van illustratie een vergelijking gemaakt van de radiotoxiciteit en de chemische toxiciteit van enkele elementen (56).

Tabel 6: Radiotoxiciteit en chemische toxiciteit van een aantal elementen

Element	Specifieke activiteit in Bq/g	ALI in g	Chemische toxiciteitsgraad	Chemische letale dosis in g	Meest significant effect
¹²⁹ I	4,9×10 ⁶	0,04	Matig	300	Radiotoxisch
⁹³ Mo	3,3×10 ⁴	3000	Matig tot hoog	8,8	Chemisch
⁵⁹ Ni	1,6×10 ⁷	4	Hoog	1,8	Beide
²¹⁰ Pb	3,4×10 ³	6	Hoog	15	Beide
¹²⁶ Sn	4,8×10 ⁸	0,02	Gering	-	Radiotoxisch
²³⁴ U	2,1×10 ⁴	0,2	Hoog	23	Beide

Afhankelijk van de halveringstijd van een radionuclide, kan het chemische effect op lange termijn gaan overwegen op het radiotoxische effect.

6.8.1.6 Het begrip risico

Bij kwantitatieve risico-analyses wordt het begrip risico meestal gedefinieerd als de kans dat een gebeurtenis (ongeval, incident, ...) plaatsvindt, vermenigvuldigd met het gevolg van die gebeurtenis (schade), dus

$$\text{Risico} = \text{kans} \times \text{gevolg.}$$

Concreet kan men het risico definiëren als de mogelijke frequentie van optreden van de gebeurtenis, vermenigvuldigd met de omvang van de schade:

$$\text{Risico} = \text{frequentie} \times \text{omvang van de schade.}$$

Zo komt een risico van 10⁻⁶ op een dodelijk ongeval als gevolg van een bepaalde activiteit neer op 1 dode op 1.000.000 jaar.

Het risico kan uiteraard opgebouwd zijn uit meerdere termen. In het geval van ioniserende straling wordt de omvang van het risico bepaald door de som van alle uitwendige en inwendige stralingsbronnen waaraan een individu blootgesteld is en door de effectieve kans op blootstelling aan deze bronnen (57).

Risico's dienen uiteraard beheerst te worden. De mate waarin zij beheerst (moeten) worden, kan uitgedrukt worden in de vorm van een limietwaarde, zoals een niet te overschrijden drempelwaarde of een streef- of richtwaarde.

6.8.2 De receptoren

De receptoren zijn in principe alle individuen van de Belgische bevolking. In paragraaf 6.9.1 vindt men een korte beschrijving aan de hand van inwoneraantallen en bevolkingsdichtheden.

6.8.3 De actoren

6.8.3.1 Huidige blootstelling aan de meest relevante traditionele milieurisicofactoren

Het geven van een volledig en gedetailleerd overzicht met betrekking tot de actuele blootstelling van de Belgische bevolking aan de verschillende traditionele milieurisicofactoren zou onbegonnen werk zijn:

- De milieurisicofactoren zijn te talrijk
- Vaste én mobiele emissiebronnen zijn overal aanwezig maar variëren in sterkte (bv. gebouwenverwarming, industriële bronnen, landbouw en veeteelt, verkeer, ...)
- De effectieve blootstelling die daaruit resulteert, varieert naargelang de sterkte van de bronnen, de lokale aanwezigheid van de receptoren (bevolking), de klimatologische omstandigheden, de geografische context, enzovoort.

Momenteel wordt in België, net zoals elders in Europa, heel wat aandacht besteed aan milieuverontreiniging door fijn stof (PM_{10} en $PM_{2,5}$), zwavel- en stikstofoxiden (SO_x en NO_x), lood, benzeen en CO, aangezien deze milieufactoren verantwoordelijk zijn voor heel wat gezondheidseffecten (variërend in ernst) en/of een belangrijke rol spelen in het broeikaseffect. De aanwezigheid van andere zware metalen in omgevingslucht is vooral van lokaal belang.

Naast de traditionele chemische actoren is er ook in toenemende mate aandacht voor de geluidsbelasting, met name in de steden. Geluidshinder wordt vandaag erkend als één van de belangrijkste actoren die effecten op de menselijke gezondheid kunnen teweegbrengen.

Een beknopt overzicht van de huidige situatie voor enkele van de meest relevante milieufactoren volgt hierna.

Fijn stof

Fijn stof is een mengsel van deeltjes van uiteenlopende samenstelling en afmetingen in de lucht. De deeltjes worden ingedeeld in fracties op basis van hun grootte. PM_{10} , $PM_{2,5}$ en $PM_{0,1}$ zijn de fracties van de deeltjes met een aërodynamische diameter kleiner dan respectievelijk 10, 2,5 en 0,1 μm . Deze fracties worden beschouwd als enkele van de belangrijkste luchtverontreinigende stoffen die leiden tot nadelige gezondheidseffecten. Zowel het verhoogde voorkomen van luchtwegklachten, het aantal ziekenhuisopnames voor hart- en luchtwegklachten als vervroegde sterfte zijn in epidemiologische studies geassocieerd met deze fracties. De verbanden werden vastgesteld zowel bij kortstondige blootstelling (uren, dagen) aan hoge concentraties als bij langdurige blootstelling (jaren) aan lage concentraties. De kleinste deeltjes dringen het diepst door in de longen, waarna ze vrij gemakkelijk en snel in de bloedbaan terechtkomen. In dichtbevolkte gebieden (steden, drukke straten, ...) zijn de concentraties aan fijn stof veelal hoog. Uit onderzoek in de drie gewesten is gebleken dat het fijn stof hoofdzakelijk afkomstig is van drie verschillende bronnen:

- Een deel wordt door de mens zelf veroorzaakt
- Een ander deel is afkomstig van (vrij onbekende) natuurlijke bronnen

- Een laatste deel komt uit het buitenland

Momenteel ligt de concentratie aan **PM_{2,5}** volgens de metingen die in de Belgische meetposten uitgevoerd worden **tussen 20 en 40 µg/m³**. Het gaat hier om een grootte-orde, steunend op recente waarnemingen (door de VMM en het ISSEP).

Er kan verwacht worden dat de huidige niveaus van fijn stof in de omgevingslucht in de nabije toekomst zullen dalen als gevolg van een verscherpt beleid. Hierdoor zou ook de ziektelast (aantal “disability adjusted life years” of DALYs) moeten dalen. Hoe deze concentraties op langere termijn zullen evolueren is moeilijk te zeggen, gezien de problematiek van het fijn stof grensoverschrijdend is. Er dient opgemerkt dat de Europese PM₁₀-norm momenteel in 23 lidstaten van de EU overschreden wordt.

Zwavel- en stikstofoxiden

De impact van zwaveloxiden is tijdens de laatste decennia overal in België gedaald, hoofdzakelijk als gevolg van de geleidelijke overschakeling door belangrijke industriële bronnen naar zwavelarme brandstoffen. Ernstige overschrijdingen doen zich minder en minder voor of zelfs helemaal niet. Actuele concentraties (**SO₂**) voor het 24-uursgemiddelde liggen in België **tussen ca. 1 en 20 µg/m³** (orde van grootte).

Voor **NO_x** is het uurgemiddelde momenteel van de grootte-orde van **10 à 100 µg/m³**. Vooral het verkeer is verantwoordelijk voor de NO_x-concentratie in de lucht.

Ozon

Boven de drempelwaarde van 180 µg/m³ (maximale uurwaarde) veroorzaakt ozon ademhalingsstoornissen (vermindering van de respiratorische functies met 5%), oogirritaties en hoest bij gevoelige en kwetsbare personen. Boven 360 µg/m³ kan ozon zeer schadelijke effecten teweegbrengen voor de ademhaling. In de Europese Unie wordt ozon verantwoordelijk geacht voor de vroegtijdige dood van 20.000 personen (58).

De uurgemiddelde **ozon**concentraties liggen in België momenteel **tussen 30 en 100 µg/m³** (orde van grootte).

CO

CO is toxisch voor het organisme omdat de stof zich in het bloed vastzet op de hemoglobine, om daar de plaats in te nemen van de zuurstof. Deze reactie met hemoglobine is nog omkeerbaar, maar leidt tot verstoring van de cellulaire ademhaling door binding met cytochroom c-oxidase. Binding met myoglobine leidt tot disfunctie van hart- en skeletspieren. Acute blootstelling aan CO in hoge concentraties (bv. door onvoldoende verluchting bij verwarmingssystemen) kan leiden tot de dood. Chronische intoxicatie (blootstelling aan veel geringer concentraties zoals in de buitenlucht) kan aanleiding geven tot cardiovasculaire stoornissen.

Voor **CO** varieert de concentratie in lucht momenteel **tussen 0,2 en 0,3 µg/m³** (orde van grootte).

Zware metalen

De toxiciteitseffecten van de zware metalen zoals Pb, As, Cd, Hg, Zn, Ni, Ag, Cr, Cu, Al, Ba, Be, Co, Mo, ... zijn goed gekend en in de literatuur uitgebreid beschreven. De 4 eerstgenoemde (lood, arseen, cadmium en kwik) worden volgens de US Agency for Toxic Substances and Disease Registry beschouwd als de belangrijkste knelpunten in

stortplaatsen voor gevaarlijke afvalstoffen. Deze metalen zijn zeer toxisch en kunnen zelfs bij lage concentraties effecten veroorzaken. Zware metalen kunnen bioaccumuleren in vetweefsels, in belangrijke organen en/of in het beenderstelsel. Ze zijn neurotoxisch, nefrotoxisch, foetotoxisch en/of teratogeen in bepaalde blootstellingsdoses. Ze kunnen vele functies in het lichaam verstoren, met onder andere ernstige gevolgen voor het zenuwstelsel, de gedragingen en de reflexen.

Op enkele belangrijke aandachtsgebieden na (met name de omgeving van metallurgische bedrijven) worden op dit ogenblik **praktisch overal de officiële luchtkwaliteitsnormen voor zware metalen gehaald**. Er heeft in België een duidelijke evolutie plaatsgevonden. De concentraties lood, cadmium, arseen en nikkel vertonen een dalende trend in de periode 1985-2006, zowel in de aandachtsgebieden als elders. Vooral de vermindering van de industriële emissies, o.a. door gebruik van beste beschikbare technieken (BBT), is daarvoor verantwoordelijk. Daarbij was ook de invoering van loodvrije benzine (vanaf 1983) belangrijk. Er resten evenwel nog tal van historisch verontreinigde sites die in de komende jaren aan sanering toe zijn.

Benzeen

Benzeen is een bewezen humaan carcinogeen. Kankers waarvan vast staat dat ze potentiëel verband kunnen houden met blootstelling aan benzeen zijn de lymphoma's, leukemieën en wellicht ook multipole myeloma. De heersende blootstellingen aan benzeen in de lucht kunnen leiden tot de inductie van leukemieën en lymfomen. Het geschatte effect op het voorkomen van deze ziekten hangt in de eerste plaats af van de waarde die men wenst te hanteren voor het intrinsieke kankerverwekkende effect van benzeen en van de beschouwde blootstellingsintensiteit. Er is hierover geen consensus. Bij personen blootgesteld aan buitenlucht met 6,2 µg benzeen per m³ (een grootte-orde die frequent gemeten werd in de buitenlucht in de Vlaamse steden) veroorzaakt benzeen wellicht 184 dodelijke gevallen van leukemie per miljoen levenslang blootgestelde personen. Volgens sommige auteurs zal een dergelijke blootstelling echter helemaal geen gevallen van leukemie veroorzaken. Een min of meer realistische "worst case" berekening resulteert in 781 gevallen (niet alle dodelijk) van lymfoïde en hematologische kankers per miljoen personen.

Voor **benzeen** varieert de concentratie in lucht momenteel **tussen 0,5 en 10 µg/m³** (orde van grootte). Er dient vermeld dat het aantal meetstations voor benzeen niet zo groot is.

Geluid

De Commissie Geluid en Gezondheid van de Gezondheidsraad onderscheidt vijf categorieën van effecten waarvoor door epidemiologisch onderzoek een relatie aangetoond werd tussen blootstelling aan geluid en nadelige effecten op de gezondheid van bevolkingsgroepen:

- Geluid kan tot hinder leiden. De mate waarin geluid hinder veroorzaakt, is afhankelijk van de fysische kenmerken van het geluid, o.a. het geluidsniveau. De mate waarin hinder wordt ondervonden (d.w.z. de respons op de "dosis") is echter eveneens afhankelijk van niet-akoestische factoren (individuele gevoeligheid en/of overtuigingen van de receptor).
- Het geluid voortgebracht tijdens de nacht kan invloed hebben op de slaapkwaliteit. Slaapverstoring kan leiden tot de volgende gezondheidseffecten:
 - de kans op hartziekten neemt toe door beïnvloeding van de hartslag en de bloeddruk
 - verhoogde prikkelbaarheid en vermindering van prestatievermogens

- hormonale effecten door beïnvloeding van het adrenaline- en noradrenalinepeil
- Aan stress gerelateerde somatische effecten (o.a. hoge bloeddruk) beginnen op te treden na langdurige blootstelling (jaren) en waarden vanaf Lden = 70 dB(A).
- Functionele effecten hebben betrekking op een vermindering van cognitieve prestaties tijdens de blootstelling. Dergelijke effecten treden vooral op in arbeidssituaties met voortdurende blootstelling aan hoge geluidsniveaus.
- Gehoorschade treedt op bij langdurige geluidbelasting van LAEq-waarden over 24 uur die 75 dB(A) overstijgen. Mechanische gehoorschade kan optreden bij piekniveaus van 140 dB.

De oorzakelijke relatie van deze effecten met hoge geluidsbelasting in de woonomgeving zijn onderschreven door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) in de in 1999 uitgegeven "Guidelines for Community Noise" (59). In deze richtlijnen worden ook de negatieve effecten van geluid op activiteiten genoemd, zoals verstoring van communicatie.

Invloed van de traditionele milieufactoren op de gezondheid

Met betrekking tot de invloed op de menselijke gezondheid worden in MIRA-T de volgende gegevens verstrekt voor de situatie in Vlaanderen.

Tabel 7: Verloren gegane levensjaren in Vlaanderen ten gevolge van milieufactoren

	2002	2003	2004
Totaal	33.248	35.908	92.429
PM _{2,5} en PM ₁₀	22.300	25.518	68.473
Ozon	785	879	669
Geluid	6258	6258	19151
Kankerverwekkende stoffen (exclusief PM)	2032	2009	3155
Lood	1601	974	981
DALY per inwoner per jaar	0,006	0,006	0,015
DALY per inwoner per 70 jaar	0,41	0,44	1,1

In 2004 verloor een inwoner van Vlaanderen als gevolg van deze milieufactoren 0,015 gezonde levensjaren. Bij levenslange blootstelling aan de concentraties in 2004, kwam dit neer op een verlies van iets meer dan een gezond levensjaar.

Blootstelling aan PM₁₀ en PM_{2,5} was verantwoordelijk voor bijna driekwart van de verloren gezonde levensjaren (74%). De gezondheidseffecten die meegenomen werden, zijn vervroegde sterfte, algemene luchtwegklachten, bronchitis en astma.

Op de tweede plaats komt de blootstelling aan de milieufactor geluid, goed voor 21% van de verloren gezonde levensjaren. Voor geluid werden volgende gezondheidseffecten berekend: hinder, slaapverstoring, verhoogde bloeddruk en ischemische hartziekte.

De blootstelling aan kankerverwekkende stoffen kwam op de derde plaats (3,4% van de verloren gezonde levensjaren). De kankerverwekkende stoffen die hierbij beschouwd werden, zijn UV-licht, benzeen, PAK's (benzo(a)pyreen), arseen, nikkel en radon (de laatste vooral in de binnenlucht, zie paragraaf 6.8.3.2).

Voor Wallonië en Brussel zijn geen gelijkaardige gegevens gevonden, maar er kan aangenomen worden dat de gezondheidseffecten van dezelfde grootte-orde zijn.

6.8.3.2 Huidige blootstelling aan ioniserende straling

Iedereen wordt levenslang blootgesteld aan lage doses straling. Die blootstelling kan al dan niet gepland zijn. Mensen worden zowel uitwendig aan straling blootgesteld (kosmische straling, bodem en bouwmaterialen) als inwendig, na opname van radioactieve stoffen via voedsel (vooral ^{40}K) of ademhaling (vooral Rn). Wereldwijd wordt de gemiddelde individuele dosis van de menselijke receptor geschat op 2,4 mSv per jaar.

De ICRP deelt de blootstellingen in 3 groepen in (57):

- Geplande blootstelling omvat alle toepassingen van ioniserende straling, inclusief de ontmanteling van nucleaire installaties, het beheer van radioactief afval en de medische toepassingen.
- Blootstelling bij noodsituaties: het gaat om onverwachte situaties die zich voordoen tijdens geplande blootstellingen of bij kwaad opzet.
- Bestaande blootstelling: toestand die bestaat op het ogenblik dat er een beslissing overwogen wordt om deze blootstelling te verminderen. De bestaande blootstelling omvat de natuurlijke achtergrondstraling en historische besmettingen van de omgeving.

De gemiddelde effectieve dosis per persoon in België wordt geschat op 4,6 mSv per jaar, waarvan 2,4 mSv afkomstig is van natuurlijke bronnen. Door het FANC wordt een grootte-orde van 1×10^{-7} Sv/uur aangegeven als zijnde representatief voor de natuurlijke straling (d.w.z. kosmische straling en straling afkomstig van de bodem).

De jaarlijkse dosis ten gevolge van **kosmische straling** in België bedraagt ter hoogte van het maaiveld ongeveer 0,3 mSv. De kosmische straling neemt toe met de hoogte: ze verdubbelt ongeveer op 1500 meter hoogte (57). De gammastraling van de natuurlijke radionucliden zorgt voor een uitwendige blootstelling (vooral ^{40}K en vervalproducten van ^{232}Th en ^{226}Ra). De receptoren kunnen ook inwendig blootgesteld worden door opname (bv. via voedsel). Het gaat hier dan in ruime mate (50%) over ^{40}K .

De UNSCEAR schat de jaarlijkse dosis door **medische handelingen** in landen met een goed ontwikkelde medische zorg (zoals België) op 1,2 mSv. De gemiddelde jaarlijkse dosis voor medische behandelingen (radiologie) bedroeg in 2006 1,75 mSv per hoofd van de Belgische bevolking (60). Door de toename van radiologische behandelingen (met name CT-scans, met een effectieve dosis van 7,2 mSv) is er een lichte, maar toch duidelijk tendens tot verhoging van de blootstelling.

Werknemers in de nucleaire sector kunnen blootgesteld worden aan hogere doses dan het gemiddelde individu. De totale jaardosis voor de groep "receptie en opslag zone B" in de opslaggebouwen van Belgoprocess bedroeg ca. 5 mSv in 2009. Aan deze jaardosis werden personeelsleden blootgesteld die in de opslaggebouwen tewerkgesteld zijn voor o.a. het verplaatsen van vaten en de ontvangst van het afval (o.a. lossen van vrachtwagens). Medewerkers, die routinematig onderhoud uitvoeren in de opslaggebouwen, lopen een jaarlijkse dosis op die minder dan 0,5 mSv bedraagt. De collectieve jaardosis voor de

werknemers van de 4 reactoren van Doel bedroeg 2,4 manSv/GW gedurende de periode 1990-1994 (60).

De individuele jaardosis van de **lokale bevolking** door de industriële activiteiten met betrekking tot de splijtstofcyclus bedragen bij normale werking **1 µSv**. Het gaat hier dus om een blootstelling die 3 grootte-orde kleiner is dan de blootstelling aan de kosmische straling. De UNSCEAR schat de lokale en regionale impact van de uitbating van de verschillende nucleaire installaties op 0,9 manSv/GW/jaar. Wereldwijd is de impact groter (50 manSv/GW/jaar).

De UNSCEAR schat de **bijdrage van het beheer van het laag- en middelactief afval** afkomstig van de kerncentrales op respectievelijk 0,00005 en 0,5 manSv/GW/j.

De meeste data over gezondheidseffecten van ioniserende straling betreffen gevallen van acute blootstelling met deterministische effecten, waarbij ook late of langetermijneffecten optraden (zoals bijvoorbeeld bij de overlevenden van Hiroshima, Nagasaki en Tchernobyl). Het UNSCEAR publiceert elke 5 tot 10 jaar een overzicht van de wetenschappelijke kennis over de gezondheidseffecten van ioniserende straling. Uit de beschikbare gegevens komt een lineaire drempelloze dosis-effectrelatie naar voor in het dosisinterval van 0,1 tot 3 Sv. Voor leukemie wordt echter geen lineair maar een kwadratisch verband aangetoond. Het uitgevoerde onderzoek toonde een toename van het relatief risico voor kanker aan van 0,63 per Sv.

Nog volgens de gegevens van UNSCEAR en ICRP is het kankerrisico van een stralingsdosis van 1 Sv:

- 1% voor leukemie
- 11% voor vaste kankers

Na toepassing van enkele correctiefactoren leidt dit tot:

- 5,5% per Sv voor de bevolking (alle leeftijden in acht genomen)
- 4,1% per Sv voor volwassen werknemers

Voor wat erfelijke afwijkingen betreft is dit:

- 0,2% per Sv voor de bevolking (alle leeftijden in acht genomen)
- 0,1% per Sv voor volwassen werknemers

Over de gezondheidseffecten van chronische blootstelling is de wetenschappelijke literatuur veel beperkter. Eén van de redenen is dat het lichaam ook biologische herstelmechanismen in werking kan stellen, waarbij de inwendige doses verlaagd worden. Verder is het vastleggen van correlaties, en vooral het wetenschappelijk aantonen van ondubbelzinnige causale verbanden tussen oorzaken (cumulatieve blootstelling aan diverse actoren) en gevolgen (gezondheidseffecten bij de receptoren), een bijzonder moeilijke zaak waarvoor nog veel onderzoek nodig is. De menselijke gezondheid wordt immers niet uitsluitend bepaald door de (cumulatieve) blootstelling aan milieurisico's, maar ook door allerlei leefgewoontes, gedragingen, sociale en economische omstandigheden.

Uit voorzorg dient men dus aan te nemen dat elke dosis, hoe laag ook, een risico op kanker of erfelijke afwijkingen met zich kan meebrengen en dat deze kans evenredig is met de grootte van de dosis (lineair).

Door de ICRP en het IAEA zijn, uitgaande van de actuele stand van de wetenschap, risicoconcepten opgesteld. In Tabel 8 zijn deze samengevat.

Tabel 8: Bijdrage in % per Sv effectieve dosis voor stochastische gezondheidseffecten bij lage doses en lage dosisdebieten, ongeacht de bron

	Fatale kanker	Niet-fatale kanker	Erfelijke afwijkingen	Totale schade
Werknemers	4%	0,8%	0,8%	5,6%
Bevolking	5%	1,0%	1,3%	7,3%

Het TELERAD-meetnet van het FANC is een automatisch meetnet dat de radioactiviteit op het Belgische grondgebied van op afstand meet en waar de gegevens online gevolgd kunnen worden. Het bestaat uit 212 meetstations die voortdurend de radioactiviteit in de lucht en in het rivierwater evalueren. Deze meetstations zijn verspreid over het volledige Belgische grondgebied, in het bijzonder rond de nucleaire installaties van Tihange, Doel, Mol, Fleurus en Chooz (Frankrijk) en de agglomeraties in de nabije omgeving van deze installaties.

6.9 Sociaal-organisatorische aspecten

6.9.1 Oppervlakte en bevolking

België kent een oppervlakte van 30.528 km², waarvan 161 km² in het Brussels Gewest, 13.522 km² in Vlaanderen en 16.844 km² in Wallonië. Nagenoeg één vijfde (6.050 km² of 19,8%) van de oppervlakte van België is bebouwd. Er wordt bovendien in snel tempo bijgebouwd: in 2000 was 18,5% van de oppervlakte bebouwd, in 1990 was dat 16,3% en in 1980 slechts 14,2%. Het Brussels Gewest heeft het grootste aandeel bebouwde oppervlakte met 78,3%, tegen 26,2% in Vlaanderen en 14,1% in Wallonië. Woongebied in België beslaat in totaal ca. 2.500 km². De niet-bebouwde oppervlakte in ons land beslaat nagenoeg 24.478 km², waarvan ca. 17.269, km² landbouwgebied en 7.209 km² andere gronden (waaronder vennen, moerassen, woeste gronden, rotsen, stranden en duinen).

Op 1 januari 2010 telde de Belgische bevolking 10.807.396 inwoners, waarvan 1.072.063 in het Brussels Gewest, 6.230.774 in Vlaanderen en 3.504.559 in Wallonië. Volgens de vooruitzichten van het Federaal Planbureau zal de Belgische bevolking evolueren naar een totaal van ruim 12 miljoen inwoners in 2030 en ruim 12,6 miljoen inwoners in 2060 (zie Tabel 9) (61). Prognoses voor de lange termijn zijn niet beschikbaar.

Tabel 9: Bevolking van België

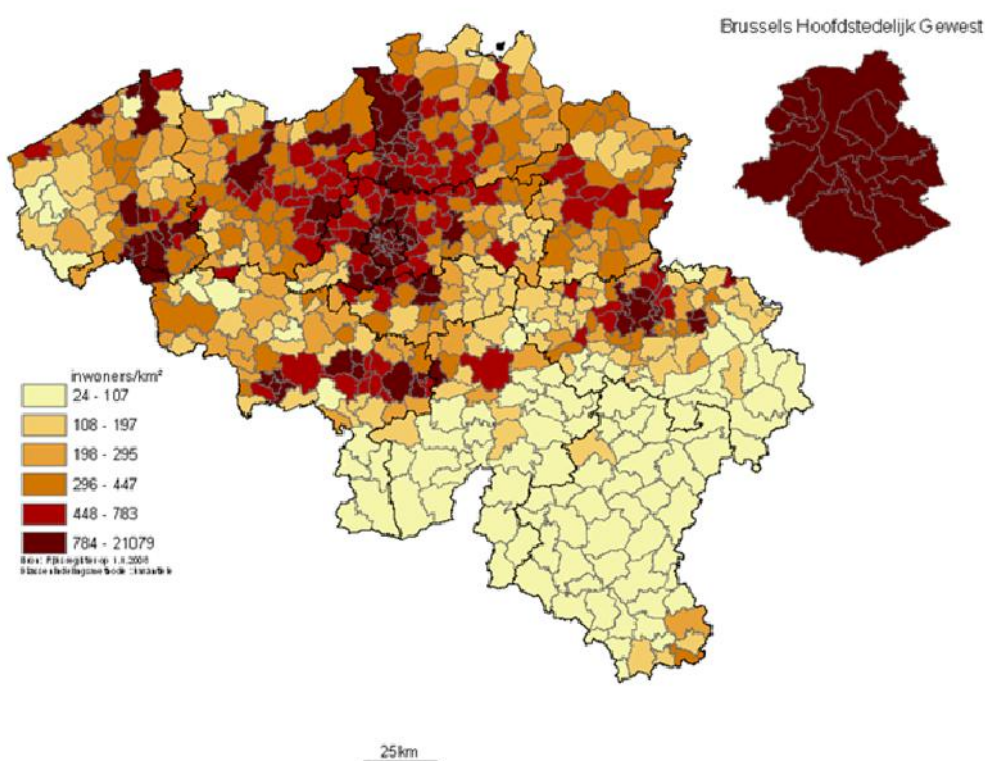
	Brussel			Vlaanderen			Wallonië			België		
	2010	2030	2060	2010	2030	2060	2010	2030	2060	2010	2030	2060
Bevolking op 1ste januari	1.072.063	1.255.791	1.327.652	6.230.774	6.784.502	7.010.539	3.504.559	3.941.781	4.324.570	10.807.396	11.982.074	12.662.761
Natuurlijk saldo	9.274	10.509	9.881	8.617	-2.316	-12.045	4.738	3.891	-1.519	22.629	12.084	-3.683
Geboorten	18.553	19.244	19.865	68.335	65.260	66.225	40.235	41.307	43.655	127.123	125.811	129.745
Sterfgevallen	9.279	8.735	9.984	59.718	67.576	78.270	35.497	37.416	45.174	104.494	113.727	133.428
Saldo interne migraties	-15.724	-16.822	-17.425	7.210	7.505	7.875	8.514	9.317	9.550	0	0	0
Interne immigraties	85.255	91.724	95.314	246.862	257.075	265.299	181.085	195.589	210.705	513.202	544.388	571.318
Interne emigraties	100.979	108.546	112.739	239.652	249.570	257.424	172.571	186.272	201.155	513.202	544.388	571.318
Saldo externe migraties	20.745	7.712	11.698	23.805	7.169	12.213	11.441	2.526	4.796	55.991	17.407	28.707
Externe immigraties	40.645	29.883	32.986	51.761	38.701	42.469	30.963	23.671	25.773	123.369	92.255	101.228
Externe emigraties	19.900	22.171	21.288	27.956	31.532	30.256	19.522	21.145	20.977	67.378	74.848	72.521
Aangroei van de bevolking	14.295	1.399	4.154	39.632	12.358	8.043	24.693	15.734	12.827	78.620	29.491	25.024
Statistische aanpassing	0	0	0	12	2	4	4	-6	-5	16	-4	-1
Bevolking op 31 december	1.086.358	1.257.190	1.331.806	6.270.418	6.796.862	7.018.586	3.529.256	3.957.509	4.337.392	10.886.032	12.011.561	12.687.784

Bron: <http://www.statbel.fgov.be>

België is één van de dichtsbevolkte regio's in Europa. Na Malta met 1.288 inwoners per km² komt eerst Nederland met 484 en daarna België met 348 inwoners per km². De gemiddelde bevolkingsdichtheid binnen de EU-27 is 115 inwoners per km².

De bevolkingsdichtheid is het hoogst in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest met meer dan 784 inwoners per km² (gemiddeld 6.512 inwoners per km²). In het Vlaams Gewest varieert de bevolkingsdichtheid plaatselijk sterk, zoals afgebeeld in Figuur 20. De gemiddelde bevolkingsdichtheid in Vlaanderen is 456 inwoners per km². In het Waals Gewest is de bevolkingsdichtheid op vele plaatsen minder dan 107 inwoners per km², behalve in de verstedelijkte gebieden. De gemiddelde bevolkingsdichtheid in Wallonië is 205 inwoners per km².

Bevolkingsdichtheid per gemeente op 1.1.2008



Figuur 20: Bevolkingsdichtheid per gemeente (1 januari 2008)

Bron: <http://www.statbel.fgov.be>

6.9.2 Bodemgebruik

Ten gevolge van de hoge bevolkingsdichtheid in België zijn grote delen van de oppervlakte bebouwd. De detailgegevens hiervan kunnen teruggevonden worden in Tabel 10.

Tabel 10: Bodemgebruik (in km²)

België		2009
1-7	Totale oppervlakte	30 527,93
1-6	Grondoppervlakte	30 277,93
	Niet bebouwd	
1	Totale landbouwgronden	17 269,07
1.1	Akkerland	ND
1.2	Permanente teeltgronden	ND
1.3	Permanente weiden en grasland	ND
1.4	Andere landbouwgronden, n.e.g. ⁽¹⁾	ND
2-4-5-6-7	Andere ⁽⁴⁾	7 208,59
	Bebouwd	
3	Bebouwde gronden en aanverwante terreinen ⁽²⁾	6 050,27
3.1	Woongebied	2 501,14
3.2	Nijverheidsgebouwen en -terreinen (andere dan 3.3. hieronder)	546,35
3.3	Steengroeven, putten, mijnen, enz.	37,51
3.4	Handelsgebouwen en -terreinen	149,03
3.5	Openbare gebouwen en terreinen behalve vervoer-, telecommunicatie- en technische voorzieningen	207,38
3.6	Terreinen voor gemengd gebruik	140,42
3.7	Terreinen voor vervoer en telecommunicatie ⁽³⁾	1 980,58
3.8	Terreinen voor technische voorzieningen	27,54
3.9	Recreatiegebied en andere open ruimte	460,32
	1) inbegrepen een beperkte oppervlakte bosgrond in de landbouwbedrijven en landbouwgrond die niet werd opgenomen in de landbouwteiling omdat er geen productie voor de verkoop plaats vindt.	
	2) behalve verspreide landbouwgebouwen.	
	3) inbegrepen een gedeelte van de waterlopen	
	4) vennen, heiden, moerassen, woeste gronden, rotsen, stranden en duinen	
	Bronnen: FOD ECONOMIE - ALGEMENE DIRECTIE STATISTIEK EN ECONOMISCHE INFORMATIE en FOD FINANCIËN (Kadaster)	
	Berekeningen: FOD ECONOMIE - ALGEMENE DIRECTIE STATISTIEK EN ECONOMISCHE INFORMATIE volgens de definities van OESO/Eurostat	

Bron: <http://www.statbel.fgov.be>

Het bodemgebruik in België wordt ook gevisualiseerd in Figuur 13 (Vlaanderen) en Figuur 14 (Wallonië).

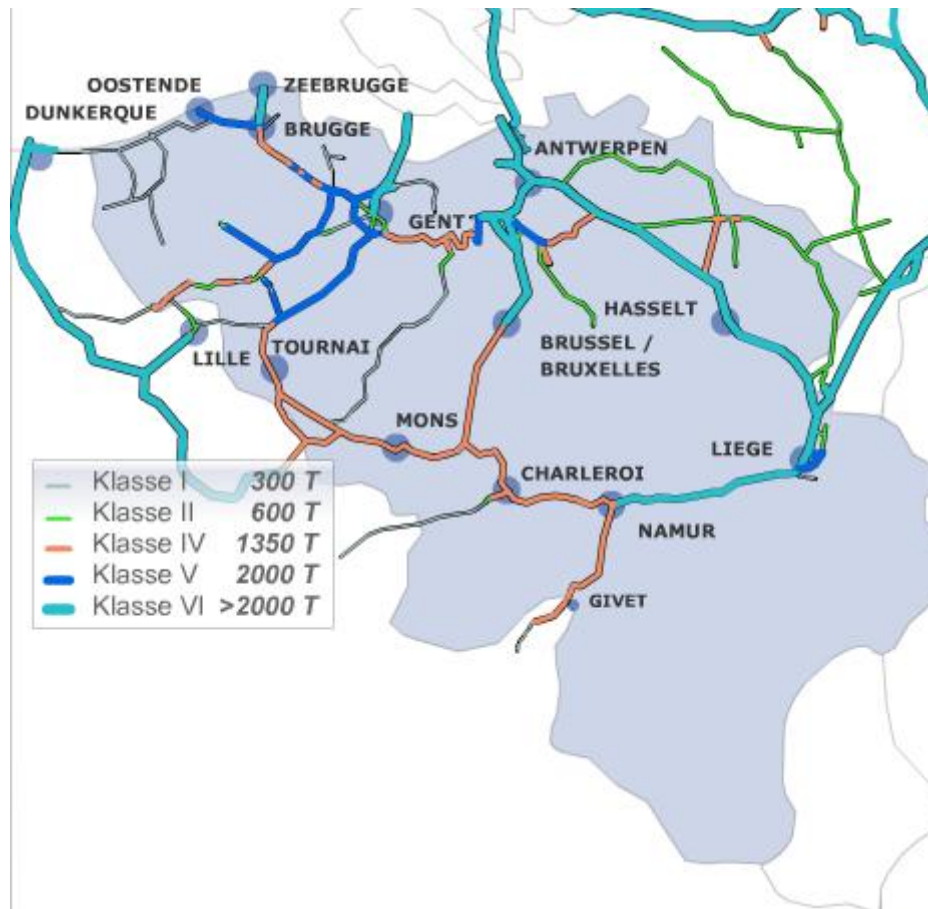
6.9.3 Transportnetwerk

Ten gevolge van de hoge bevolkingsdichtheid en verstedelijkingsgraad kent België ook een sterk verdicht transportnetwerk. In Figuur 21, Figuur 22 en Figuur 23 wordt achtereenvolgens het wegennet, het waterwegen-transportnetwerk en het spoorwegennet in beeld gebracht.



Figuur 21: Het Belgische wegennet

Bron: <http://www.viamichelin.com>



Figuur 22: De Belgische waterwegen

Bron: <http://www.binnenvaart.be>



Figuur 23: Het Belgische spoorwegennet

Bron: <http://www.hari.b-holding.be>

6.10 Beveiliging en safeguards

6.10.1 Beveiliging

Beveiliging heeft als doel om kwaadwillige handelingen met radioactief materiaal of tegen nucleaire installaties te voorkomen. Tot in de jaren '90 was non-proliferatie (zie paragraaf 6.10.2) de voornaamste bekommernis en richtte beveiliging zich bijgevolg vooral op het voorkomen van diefstal en verspreiding van nucleair materiaal dat in kernwapens gebruikt zou kunnen worden.

Beveiliging wordt beschouwd als een nationale aangelegenheid; toch hebben individuele landen mettertijd bindende internationale afspraken gemaakt. Na de publicatie van niet-bindende aanbevelingen door het IAEA in 1972 werd in 1980 het Verdrag inzake de fysieke bescherming van nucleair materiaal (62) aangenomen. Het stelt onder andere dat de staten de diefstal van nucleair materiaal en het veroorzaken van dood en vernieling met nucleair materiaal als strafbare feiten moeten opnemen in hun nationale wetgeving. Verder roept het op tot internationale gerechtelijke samenwerking in geval van een dergelijke inbreuk. België heeft het Verdrag in 1980 ondertekend; in 1991 is het in werking getreden.

De vereisten en aanbevelingen van het IAEA inzake fysieke bescherming, zoals vastgelegd in de "IAEA Information Circulars", zijn enkele keren herzien; de laatste revisie dateert van 1999. Bij die gelegenheid werd ook de titel aangepast: de aanbevelingen betreffen nu ook de bescherming van nucleaire installaties (63). Fysieke bescherming wordt er gedefinieerd als een geheel van administratieve en technische maatregelen, waaronder fysieke barrières, met de volgende doelstellingen:

- De mogelijkheden tot diefstal van nucleair materiaal of tot sabotage minimaliseren
- Bijdragen tot een snelle opsporing en recuperatie van vermist nucleair materiaal
- De radiologische gevolgen van sabotage minimaliseren

Een systeem van fysieke bescherming moet volgens het IAEA gebaseerd zijn op een evaluatie van de dreiging, rekening houdende met de aard van het nucleair materiaal en de locatie waar het zich bevindt. Het nucleair materiaal wordt in drie categorieën ingedeeld volgens het potentiële risico van gebruik in een kernbom. Bepalend hiervoor zijn o.a. het gehalte aan splijtbare isotopen van uranium en plutonium, de fysische en chemische vorm, de concentratie en de hoeveelheid. De bepalingen inzake fysieke bescherming hebben dus betrekking op specifieke materialen die bepaalde isotopen van uranium en plutonium bevatten, zoals bestraalde splijtstof (deze behoort in principe tot categorie II³). Een groot deel van het radioactief afval valt echter niet onder deze bepalingen.

Er worden een aantal eisen opgesomd voor de fysieke bescherming tegen diefstal van nucleair materiaal tijdens gebruik en opslag. Daarnaast doet het IAEA ook aanbevelingen voor fysieke bescherming tegen sabotage. Er wordt gewezen op de mogelijke radiologische gevolgen van sabotage. Maatregelen moeten in verhouding zijn tot het radiologische risico.

Voor het transport van nucleair materiaal worden aanbevelingen gedaan i.v.m. de keuze van de route en het transportmiddel, de beveiliging van het voertuig en de communicatie tussen de betrokken partijen (63).

De aanbevelingen van het IAEA leidden in 2005 tot een geamendeerde versie van het Verdrag voor de fysieke bescherming van nucleair materiaal, dat echter nog niet in werking getreden is (64).

Tijdens het voorbije decennium is het besef gegroeid dat kwaadwillige handelingen ook gebruik kunnen maken van radioactief materiaal dat niet noodzakelijk bruikbaar is voor de vervaardiging van kernwapens of gericht kunnen zijn tegen installaties waar dergelijk materiaal aanwezig is. Dit heeft geleid tot nieuwe afspraken in de internationale gemeenschap.

In 2004 werd er een gedragscode opgesteld voor de veiligheid en beveiliging van radioactieve bronnen (65). Deze niet-bindende aanbevelingen betreffen vooral radioactief materiaal dat gebruikt wordt in de geneeskunde, de industrie, het wetenschappelijk onderzoek e.d. Dergelijke radioactieve bronnen moeten aan het einde van hun gebruik al radioactief afval aangegeven worden. Veel landen, waaronder België, hebben zich er op politiek niveau toe verbonden om de gedragscode toe te passen.

³ Categorie II omvat de volgende types en hoeveelheden nucleair materiaal: 0,5 à 2 kg niet bestraald plutonium (uitgezonderd plutonium met meer dan 80% plutonium-238), 1 à 5 kg niet bestraald uranium-235 verrijkt tot minstens 20%, meer dan 10 kg niet bestraald uranium-235 verrijkt tot 10 à 20%, 0,5 à 2 kg niet bestraald uranium-233, en/of bestraalde splijtstof (63).

In 2005 werd de internationale conventie inzake de repressie van daden van nucleair terrorisme (66) aangenomen. Ze werd door België in 2005 ondertekend en in 2009 geratificeerd. De scope van dit verdrag is breed: het is van toepassing op al het radioactief materiaal dat aanzienlijke schade aan mens of milieu kan veroorzaken⁴. Hoogradioactief en/of langlevend afval valt dus binnen het toepassingsgebied van deze conventie.

Nucleair terrorisme veronderstelt de bedoeling om dood of vernieling te zaaien of om personen of instanties tot iets te dwingen. Er wordt een lijst gegeven van inbreuken, in het bijzonder het opzettelijke en onwettelijke bezit of gebruik van radioactief materiaal en het gebruik of de beschadiging van een nucleaire installatie op een zodanige manier dat er radioactief materiaal kan vrijkomen. De ondertekenende staten verbinden zich ertoe om deze inbreuken als strafbare feiten op te nemen in hun nationale wetgeving en gepast te sanctioneren. Er worden afspraken gemaakt over internationale informatie-uitwisseling en samenwerking.

In ons land is het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC) bevoegd voor de fysieke bescherming van kernmateriaal. Het staat in voor de erkenning van de beveiligingssystemen van nucleaire installaties en levert de veiligheidsattesten af voor toegang tot bepaalde installaties.

6.10.2 Safeguards

In de jaren '60 ontstond er in de internationale gemeenschap een bezorgdheid over de ontwikkeling van kernwapens door de toenmalige wereldmachten, de Verenigde Staten en de Sovjet-Unie. Er werd besloten tot het uitwerken van een wettelijk instrument om de proliferatie van kernwapens tegen te gaan. Dat werd het Non-proliferatieverdrag, dat in 1968 door de Verenigde Naties aangenomen werd en in 1970 in werking trad (67).

Het Non-proliferatieverdrag maakt een onderscheid tussen kernwapenstaten en niet-kernwapenstaten. De kernwapenstaten zijn de landen die voor 1 januari 1967 kernwapens in bezit hadden: de Verenigde Staten, de Sovjet-Unie, het Verenigd Koninkrijk, China en Frankrijk. De niet-kernwapenstaten, waartoe ook België behoort, hadden op dat moment geen kernwapens in bezit.

Door ondertekening van het Verdrag verbinden de kernwapenstaten zich ertoe om hun kernwapens of de controle erover niet over te dragen aan andere landen, en om niet-kernwapenstaten niet aan te moedigen om kernwapens te vervaardigen of te verwerven. De niet-kernwapenstaten beloven om geen kernwapens te vervaardigen en om niet te aanvaarden dat kernwapens of de beschikkingmacht erover aan hen overgedragen worden.

Bovendien verbinden de niet-kernwapenstaten zich ertoe om veiligheidscontroles of "safeguards"-inspecties door het IAEA toe te laten en hierover met het IAEA een overeenkomst af te sluiten: de "safeguards agreement" of veiligheidscontroleovereenkomst. Het doel van safeguards is om de internationale gemeenschap te garanderen dat nucleair materiaal enkel voor vreedzame doeleinden gebruikt wordt. De structuur en inhoud voor de safeguards agreement werd door het IAEA vastgesteld (68).

⁴ "Radioactive material means nuclear material and other radioactive substances which contain nuclides which undergo spontaneous disintegration (a process accompanied by emission of one or more types of ionizing radiation, such as alpha-, beta-, neutron particles and gamma rays) and which may, owing to their radiological or fissile properties, cause death, serious bodily injury or substantial damage to property or to the environment." ((66), artikel 1)

De landen van de Europese Gemeenschap voor Atoomenergie of Euratom (waaronder België) hadden zich door het Euratom-verdrag (69) reeds in 1957 verbonden tot safeguards. Deze werden vastgelegd in Verordening (Euratom) 3227/76, later vervangen door Verordening (Euratom) 302/2005 (70). In 1973 hebben de Euratom-landen een gezamenlijke safeguards agreement met het IAEA afgesloten (71).

Safeguards zijn vereist voor nucleair materiaal, d.w.z. al het “*source material*”⁵ en “*special fissionable material*”⁶ zoals gedefinieerd in het statuut van het IAEA. De safeguards eindigen echter als het IAEA oordeelt dat het nucleair materiaal niet meer bruikbaar is voor de productie van kernwapens⁷. De safeguards in de context van het Afvalplan van NIRAS zijn bijgevolg van belang voor de bestraalde splijtstof als deze als afval aangemeld zou worden, alsook voor bepaalde andere afvalstromen die splijtstoffen bevatten en waarvoor de safeguards door het IAEA niet als beëindigd beschouwd worden. Een “policy paper” van het IAEA uit 1997 bevestigt dat bestraalde splijtstof in een geologische bergingsinstallatie wel degelijk onderworpen is aan safeguards, ook nadat de installatie gesloten is (72).

De safeguards agreement stelt dat de staat een boekhouding voor nucleair materiaal moet opzetten, die bij de controles door het IAEA geverifieerd wordt. Verder moet er informatie verstrekt worden aan het IAEA over het nucleair materiaal en over nucleaire installaties. Ook inspecties ter plaatse worden voorzien. Daarbij kan het IAEA de boekhouding controleren, maar ook onafhankelijke metingen uitvoeren of uitrusting inspecteren (68).

Tijdens de jaren '90 werd er in Irak een niet-gedeclareerd kernwapenprogramma ontdekt en realiseerde de internationale gemeenschap zich dat de safeguards onvoldoende garanties boden. De nadruk lag immers op gedeclareerd nucleair materiaal en de inspecties waren vooral gericht op nucleaire installaties. Daarom werd er in 1997 een model voor een aanvullend protocol bij de safeguards agreement opgesteld (73). In 1998 hebben de dertien niet-kernwapenstaten van de Europese Unie (waaronder België) een aanvullend protocol bij de safeguards agreement van 1973 ondertekend. Voor België werd het aanvullend protocol in 2004 van kracht.

Het aanvullend protocol geeft het IAEA meer mogelijkheden om niet-gedeclareerd nucleair materiaal of niet-gedeclareerde nucleaire activiteiten op te sporen. Zo moeten de staten onder het aanvullend protocol informatie verstrekken over o.a. de volledige splijtstofcyclus, onderzoeksactiviteiten m.b.t. de splijtstofcyclus en in- of uitvoer van uitrusting van nucleaire installaties. Ook inspecties van de hiermee verbonden installaties door het IAEA moeten toegestaan worden (74).

⁵ “The term “source material” means uranium containing the mixture of isotopes occurring in nature; uranium depleted in the isotope 235; thorium; any of the foregoing in the form of metal, alloy, chemical compound, or concentrate; any other material containing one or more of the foregoing in such concentration as the Board of Governors shall from time to time determine; and such other material as the Board of Governors shall from time to time determine.” (Statuut IAEA, art. XX, 3)

⁶ “The term “special fissionable material” means plutonium-239; uranium-233; uranium enriched in the isotopes 235 or 233; any material containing one or more of the foregoing; and such other fissionable material as the Board of Governors shall from time to time determine; but the term “special fissionable material” does not include source material. The term “uranium enriched in the isotopes 235 or 233” means uranium containing the isotopes 235 or 233 or both in an amount such that the abundance ratio of the sum of these isotopes to the isotope 238 is greater than the ratio of the isotope 235 to the isotope 238 occurring in nature.” (Statuut IAEA, art. XX, 1-2)

⁷ “The [Safeguards] Agreement should provide that safeguards shall terminate on nuclear material subject to safeguards thereunder upon determination by the [International Atomic Energy] Agency that it has been consumed, or has been diluted in such a way that it is no longer usable for any nuclear activity relevant from the point of view of safeguards, or has become practicably irrecoverable.” ((68), paragraaf 11)

De safeguards-inspecties door het IAEA gebeuren jaarlijks en resulteren in een “safeguards statement”. Voor landen die (zoals België) zowel een safeguards agreement en een aanvullend protocol ondertekend hebben, beoordeelt het IAEA

- of er aanwijzingen zijn van ontvreemding van gedeclareerd nucleair materiaal voor niet-vreedzame doeleinden;
- of er aanwijzingen zijn van niet-gedeclareerd nucleair materiaal of niet-gedeclareerde nucleaire activiteiten.

De Euratom-safeguards verschillen voor ons land niet fundamenteel van de safeguards van het IAEA. De inspecties worden met een gemengd team (IAEA en Euratom) uitgevoerd. Het FANC begeleidt de safeguards-inspecties.



7. BEHEEROPTIES

De Wet van 13 februari 2006 stelt duidelijk dat de SEA niet alleen het plan zelf moet beoordelen, maar ook de redelijke alternatieven van dit plan. In dit hoofdstuk worden dan ook de alternatieve beheeropties voor hoogradioactief en/of langlevend afval (categorieën B en C) besproken, inclusief het nulalternatief of de status quo-optie.

7.1 Verworpen beheeropties

Hierna worden, omwille van de volledigheid, een aantal beheeropties beschreven die ofwel in strijd zijn met internationale verdragen of Belgische wetgeving, ofwel onvoldoende garantie van veiligheid op lange termijn bieden. Deze beheeropties worden om die redenen niet verder bestudeerd in het Afvalplan en de SEA. Over het niet geschikt of wenselijk zijn van deze beheeropties bestaat er overigens een brede internationale consensus. De bespreking steunt voornamelijk op documenten van NIREX (75), Dutton et al. (76) en LISTO (77).

7.1.1 Zeebergiging

Bij zeebergiging worden containers met radioactief afval vanuit een schip in volle zee losgelaten en zinken ze naar de zeebodem. Op grote diepte (enkele kilometers) kunnen ze imploderen onder de druk van de waterkolom, waarna hun radioactieve inhoud zich in zee verspreidt. België heeft tussen 1960 en 1982 laagactief afval (categorie A) in de Atlantische Oceaan gedumpt (78).

Zeebergiging is niet toegelaten door het wettelijk en beleidsmatig kader in België. België heeft immers het Verdrag van Londen uit 1972 ondertekend en geratificeerd (op 12 juni 1985). Het Verdrag, voluit de "Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter", is bedoeld om het mariene milieu te beschermen en verbiedt onder andere de zeebergiging van hoogradioactief afval. In 1983 werd een moratorium ingesteld voor het dumpen van laagactief afval, en in 1993 werd het moratorium door de partijen bij het Verdrag omgezet in een verbod op het storten in zee van om het even welk radioactief afval (79).

Daarnaast heeft België ook het OSPAR-verdrag uit 1992 geratificeerd. Dit verdrag heeft als doel om het mariene milieu in de noordoostelijke Atlantische Oceaan te beschermen en sluit het storten van radioactief afval in zee uit (80).

7.1.2 Berging in de zeebodem

Bij berging in de zeebodem wordt het afval geborgen in de sedimenten die de zeebodem bedekken. Dit kan gebeuren door het afval, in kogelvormige containers geplaatst, uit een schip los te laten, waardoor het zich vanzelf enkele meters diep in de sedimenten begraaft, of door het afval neer te laten in vooraf aangelegde boorgaten. Over berging in de zeebodem is heel wat onderzoek gebeurd, maar deze beheeroptie is niet in de praktijk verder ontwikkeld en wordt nu algemeen als onaanvaardbaar beschouwd (81).

Wettelijk en beleidsmatig wordt berging in de zeebodem beschouwd als even problematisch als de optie "zeebergiging". Deze beheeroptie is immers eveneens in strijd met het Verdrag van Londen (79) en het OSPAR-verdrag (80).

7.1.3 Berging in de ruimte

Berging in de ruimte houdt in dat men het radioactief afval door middel van een raket lanceert in de ruimte, zodat het in een hoge baan om de aarde terechtkomt of zelfs ontsnapt aan het zwaartekrachtsveld van de aarde. Deze beheeroptie werd vooral in de Verenigde Staten onderzocht in de jaren '70.

Berging in de ruimte is in strijd met het Ruimteverdrag uit 1967, voluit het "Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, Including the Moon and Other Celestial Bodies", geratificeerd door België op 30 maart 1973. Het Ruimteverdrag werd aangenomen omwille van bekommernissen m.b.t. de bewapeningswedloop, maar houdt ook in dat de Staten "harmful contamination" van hemellichamen moeten vermijden (82). Daarnaast worden de kosten en de risico's van berging in de ruimte algemeen onaanvaardbaar geacht.

7.1.4 Berging in een ijskap

Bij berging in een ijskap smelt het radioactief afval zich door warmteafgifte een weg naar beneden. Als het smeltwater opnieuw bevriest boven het afval, vormt zich een natuurlijke barrière.

Geschikte, voldoende dikke ijskappen zijn enkel te vinden in Groenland en Antarctica, maar Denemarken laat geen berging van radioactief afval in Groenland toe, zodat in de praktijk alleen Antarctica in aanmerking zou komen.

Het Antarctisch Verdrag uit 1959 verbiedt echter de berging van radioactief afval in Antarctica, vanuit de opvatting dat dergelijke kwetsbare natuurlijke gebieden gevrijwaard moeten worden (83). Aangezien België het Antarctisch Verdrag geratificeerd heeft, is berging in een ijskap in Antarctica voor ons land uitgesloten als beheeroptie. Bovendien stelt het Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en de veiligheid van het beheer van radioactief afval (42) in art. 27.2 duidelijk dat een Verdragsluitende Partij geen vergunning verleent voor de overbrenging van haar bestraalde splijtstof of radioactief afval voor opslag of berging naar een bestemming ten zuiden van 60 graden zuiderbreedte.

7.1.5 Berging in een oceanische subductiezone

Oceanische subductiezones zijn gebieden op de oceaانبodem waar één tektonische plaat onder een andere schuift. In deze variant op zeeberging of berging in de zeebodem wordt het radioactief afval op de dalende plaat van een oceanische subductiezone geplaatst, zodat het meegetrokken wordt in de diepte van de aardkorst. Er is over deze optie enig onderzoek gebeurd, maar ze is niet in de praktijk verder ontwikkeld en wordt nu algemeen als onaanvaardbaar beschouwd.

Wettelijk en beleidsmatig gezien verschilt deze beheeroptie niet van de beheeropties "zeeberging" of "berging in de zeebodem", zodat ze voor België niet in aanmerking komt.

7.1.6 Oppervlakteberging

Bij oppervlakteberging wordt het geconditioneerde radioactief afval definitief in een speciaal daartoe gebouwde installatie aan de oppervlakte of op enkele meters diepte geplaatst. Een dergelijke installatie bestaat typisch uit betonnen modules die afgeschermd zijn van regen en afstromend water (en, indien nodig, grondwater) door een waterdichte isolatie. Vergelijkbare systemen worden gebruikt voor de berging van laag- en middelactief kortlevend afval

(categorie A afval) (78). De Safety Guide "Classification of Radioactive Waste" (84) van het IAEA beschouwt oppervlakteberging niet als een voldoende veilige methode voor het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Hierover bestaat er een brede internationale consensus.

7.1.7 Berging via directe injectie

Berging via directe injectie is enkel toepasbaar op vloeibaar radioactief afval. De techniek houdt in dat men dit vloeibare afval niet immobiliseert, zoals doorgaans gebeurt, maar rechtstreeks injecteert in een geschikte gesteentelaag op grote diepte. De laag zelf moet poreus zijn om de vloeistof te kunnen opvangen, maar moet ook van de biosfeer afgesloten zijn door ondoordringbare lagen. Bovendien moet de stroomsnelheid van het grondwater in de poreuze laag zeer klein zijn.

Deze techniek werd reeds toegepast op twee sites in Rusland; zo'n 10 miljoen kubieke meter vloeibaar radioactief afval werd geïnjecteerd in poreuze zandsteen op ca. 400 meter diepte, afgedekt met een weinig doorlatende kleilaag. Ook in de VS werd in de jaren '70 slibvormig radioactief afval geborgen via directe injectie, maar dit werd stopgezet naar aanleiding van onzekerheden i.v.m. de migratie van de radionucliden. Ook de publieke bezorgdheid over de veiligheid van deze techniek speelde hierbij een rol (85).

Voor België is berging via directe injectie als beheeroptie uitgesloten op basis van het Koninklijk Besluit van 20 juli 2001 houdende algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van ioniserende stralingen (ARBIS) (41). Artikel 34.1 van het ARBIS stelt inderdaad dat de lozing van vloeibare radioactieve afvalstoffen in de bodem verboden is. Ook internationaal bestaat er een brede consensus dat berging via directe injectie de bescherming van mens en milieu niet voldoende garandeert.

7.1.8 Berging door fusie van de gastformatie

Berging door fusie van de gastformatie (of "rock melting") is enkel toepasbaar voor hoogradioactief afval dat veel warmte afgeeft. Ofwel wordt vloeibaar of slibvormig afval rechtstreeks in de ondergrond geïnjecteerd, ofwel wordt het geconditioneerde afval in een boorgat geplaatst. In beide gevallen smelt het gesteente rond het afval door de hitte, waardoor het afval onder invloed van de zwaartekracht nog verder naar beneden zakt. De container kan hierbij zwaar beschadigd raken. Wanneer het afval afgekoeld is, stolt het gesteente errond en vormt het een natuurlijke barrière.

Voor deze optie zou graniet het meest geschikt zijn als gastgesteente. Om graniet te kunnen doen smelten, moet het afval een temperatuur van meer dan 1200°C hebben. Slechts voor een kleine fractie van het afval is dit het geval; reeds geconditioneerd (verglaasd) afval bereikt doorgaans deze temperatuur niet.

De variant waarbij vloeibaar afval rechtstreeks geïnjecteerd wordt, is in elk geval in België uitgesloten op basis van het ARBIS (zie paragraaf 7.1.7). De variant waarbij het afval zich in een container bevindt, houdt voorsnog onoverkomelijke technische beperkingen in: er bestaat geen ontwerp van een container die tijdens de plaatsing de zeer hoge temperatuur van het afval kan weerstaan. Er bestaat ook op internationaal vlak geen kennisbasis over berging door fusie van de gastformatie, en in de landen van de EU en de OESO wordt deze beheeroptie niet als aanvaardbaar beschouwd.

7.2 Bestudeerde beheeropties

De beheeropties die in de SEA in detail zullen bestudeerd worden kunnen ingedeeld worden in de volgende categorieën:

- Beheeropties die definitief kunnen worden, hetzij actief, hetzij passief
- Niet-definitieve beheeropties
- De status quo-optie

Hierna worden deze beheeropties meer in detail besproken.

Met uitzondering van de status quo-optie kunnen deze beheeropties zowel in een nationaal als in een gedeeld (d.w.z. multinational) kader beschouwd worden. Een nationale optie wordt per definitie gerealiseerd in België. Een gedeelde beheeroptie kan zowel in België als in het buitenland gerealiseerd worden, rekening houdend met het principe van de wederkerigheid. Dit zou kunnen gebeuren in het kader van een beheerakkoord tussen verschillende landen.

7.2.1 Beheeropties die definitief kunnen worden

Voor het langetermijnbeheer van radioactief afval van categorieën B en C bestaan er verschillende opties die definitief kunnen worden. Er kunnen twee benaderingen onderscheiden worden: actief beheer en passief beheer.

Bij actief beheer steunt de veiligheid en de bescherming van mens en milieu voortdurend op menselijke acties. Dit betekent dat het afval “permanent” (in de praktijk: zolang bescherming nodig blijft) opgeslagen wordt in speciaal daartoe ontworpen installaties, met bijbehorende controlemechanismen en herconditionering van het afval indien nodig.

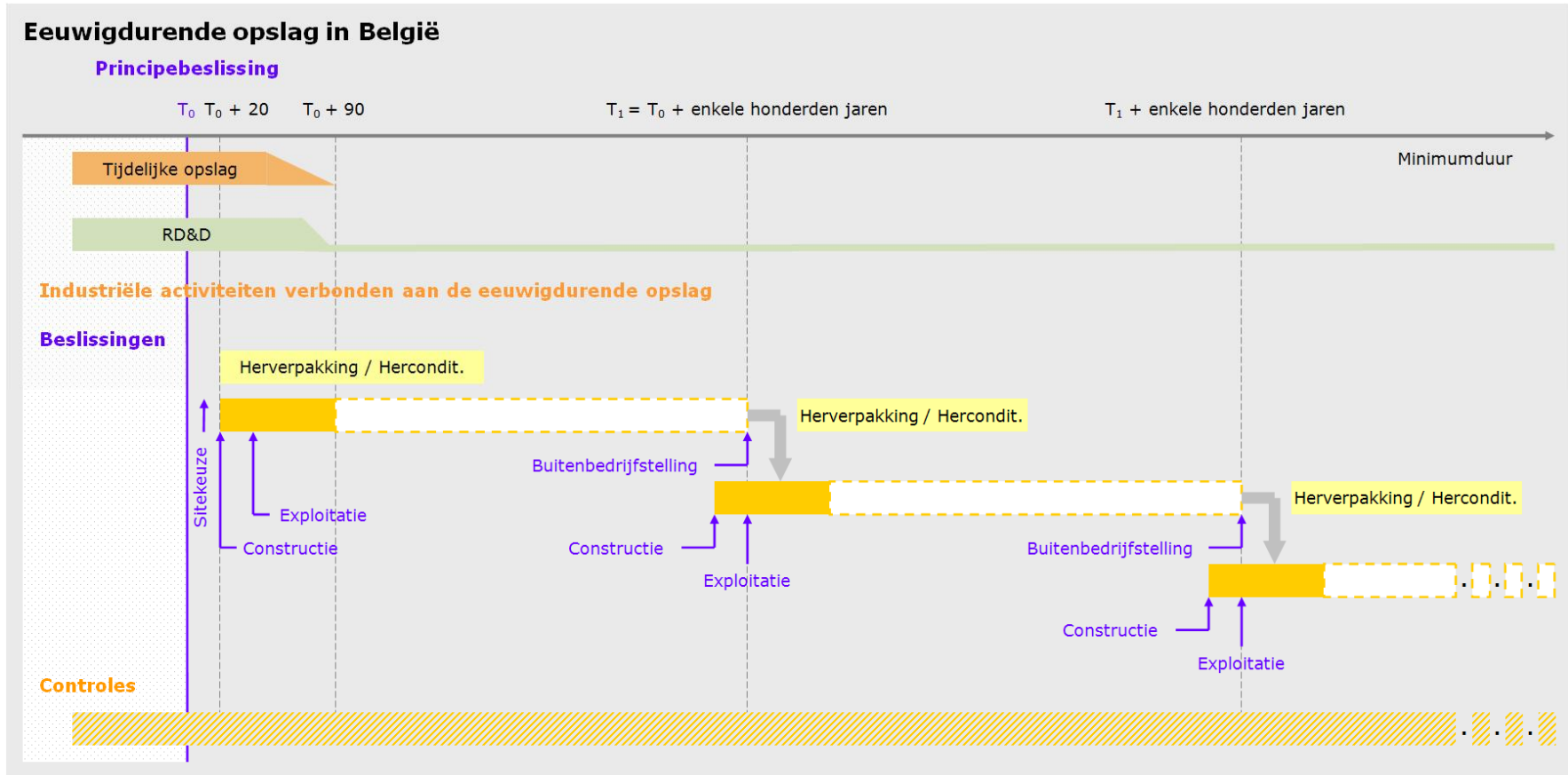
Bij passief beheer worden de veiligheid en de bescherming van mens en milieu verzekerd zonder dat op termijn nog tussenkomst van de mens nodig is. Controle wordt bij passief beheer niet nodig geacht – wat niet wil zeggen dat controle niet mogelijk of wenselijk is.

In de volgende paragrafen worden de verschillende beheeropties die definitief kunnen worden meer in detail beschreven.

7.2.1.1 Actief beheer

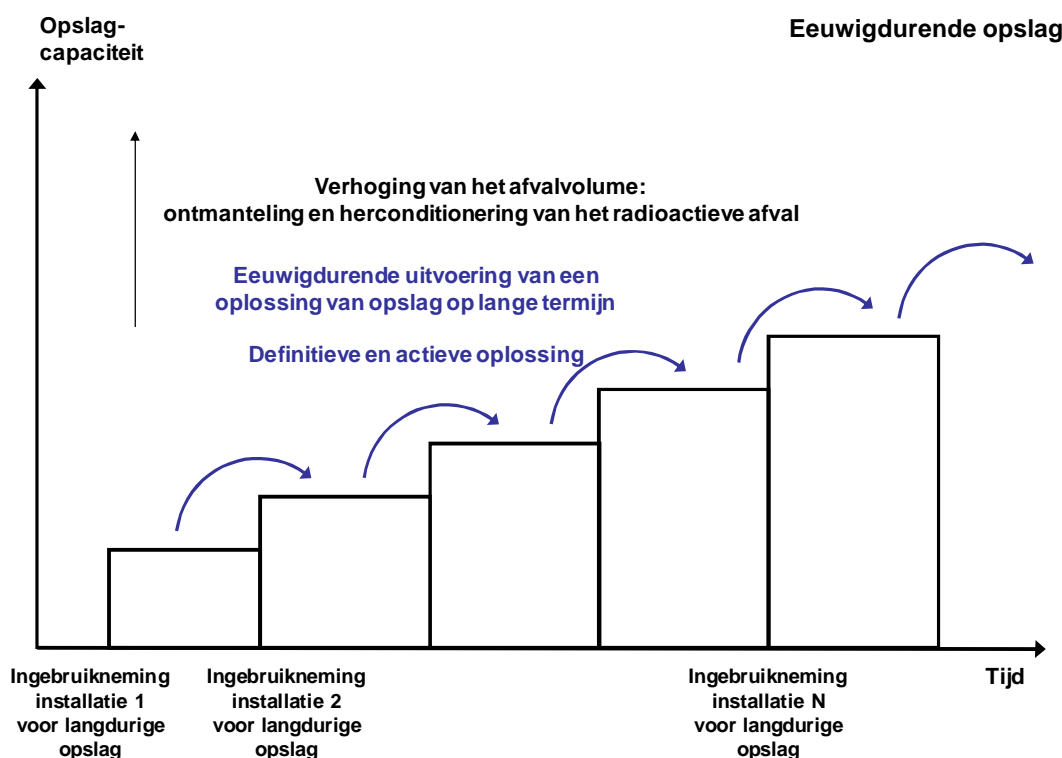
In overeenstemming met de internationale consensus op dit vlak beschouwt NIRAS slechts één mogelijke actieve beheeroptie die definitief kan worden: de zogenaamde **eeuwigdurende opslag** (38).

Bij deze optie wordt het afval “voor eeuwig” opgeslagen in speciaal daartoe ontworpen installaties met bijbehorende controlemechanismen (“eternal stewardship”). Eeuwigdurende opslag kan gezien worden als een voortdurende herhaling, over honderdduizenden jaren, van steeds nieuwe etappes van herconditionering en opslag, die elkaar met een interval van 100 à 300 jaar opvolgen (86). Zelfs opslaggebouwen gebouwd volgens de beste beschikbare ingenieurstechnieken kunnen immers niet intact blijven op de lange termijn. De verpakking van het afval, de uitrusting voor de behandeling van het afval, de bekabeling en de software voor monitoring en controle, ... moeten ook onderhouden en, indien nodig, vervangen worden. Het tijdsverloop van eeuwigdurende opslag wordt geïllustreerd in Figuur 24.



Figuur 24: Illustratie van het tijdsverloop op hoofdlijnen voor de beheeroptie “eeuwigdurende opslag” in België

Bij elke opeenvolgende fase neemt de hoeveelheid afval toe, aangezien bij de ontmanteling van de te vervangen gebouwen en installaties en bij de herconditionering ook radioactief afval ontstaat (86), (34).



Figuur 25: Schematische voorstelling van eeuwigdurende opslag

De bescherming van mens en milieu steunt bij eeuwigdurende opslag op de verpakking van het afval en op de opslaginstallatie. Deze zijn dezelfde als bij langdurige opslag (zie paragraaf 7.2.2.1); om de 100 à 300 jaar worden ze vervangen.

Voor het herverpakken van het afval worden de primaire afvalcolli uit de betonnen of metalen container gehaald en in een nieuwe container geplaatst. Dit is een complexe operatie, die met het vorderen van de tijd steeds meer risico's inhoudt: de primaire afvalcolli degraderen immers steeds meer en de kans op het vrijkomen van radionucliden vergroot. Een andere mogelijkheid is dat men het afval met inbegrip van de oude container in een grotere nieuwe container plaatst. Dit is eenvoudiger, maar leidt tot een vergroting van het volume. Na 3 à 4 cycli van langdurige opslag wordt het ook zeer moeilijk om het afval nog terug te nemen (34).

De opslaginstallaties moeten om de 100 à 300 jaar opnieuw gebouwd worden. Als er genoeg ruimte is, kan dit op dezelfde site gebeuren; zo beperkt men het transport. Het kan echter ook nodig zijn om een andere locatie te kiezen, bijvoorbeeld omdat de oorspronkelijke site minder geschikt geworden is na een stijging van de zeespiegel (34).

Eeuwigdurende opslag vereist ook dat de nodige kennis en knowhow steeds naar toekomstige generaties doorgegeven worden. Verder zullen voor de periodieke vervanging

van de afvalcontainers en de gebouwen telkens financieringsmechanismen beschikbaar moeten zijn.

Een kenmerk van eeuwigdurende opslag is dat het afval steeds teruggehaald kan worden. Als de beleidskoers zou veranderen (bv. toch opnieuw kiezen voor opwerking van bestraalde splijtstof, of integendeel toch kiezen voor een passieve beheersvorm) of als er nieuwe technologieën ontwikkeld zouden worden, kan men dus het afval terugnemen en beheren volgens deze gewijzigde keuzes en/of inzichten.

Voor meer informatie over de voorwaarden voor de implementatie van eeuwigdurende opslag in België verwijzen we naar (34).

7.2.1.2 Passief beheer

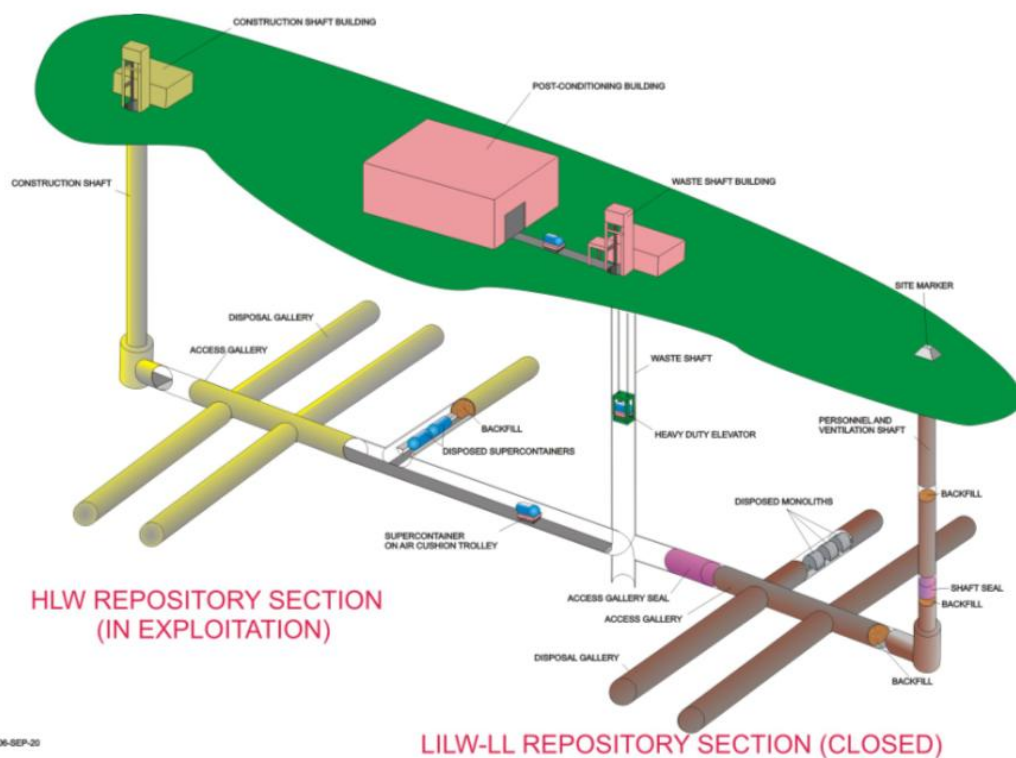
Rekening houdend met de internationale consensus die hierrond bestaat, beschouwt NIRAS twee mogelijke passieve beheeropties die definitief kunnen worden: **geologische berging** en **berging in diepe boorgaten**.

Geologische berging

Bij geologische berging wordt het radioactief afval op een diepte van enkele honderden meters in een speciaal ontworpen installatie geplaatst, omgeven door een verpakking en door opvulmateriaal. Na de exploitatiefase wordt de bergingsinstallatie afgesloten en is actief beheer niet nodig om de veiligheid te verzekeren. Toch wordt een monitoringscampagne van enkele honderden jaren voorzien (19).

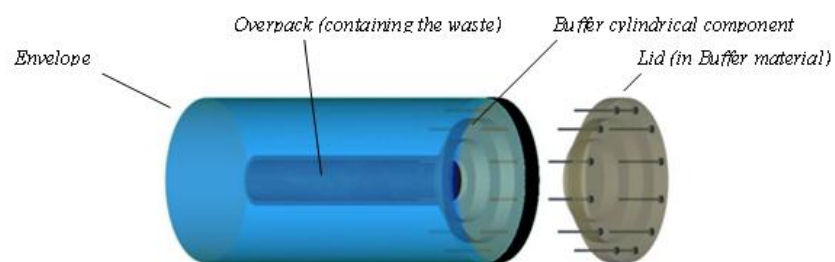
De veiligheid van mens en milieu berust op de kunstmatige barrières (de verpakking van het afval, het opvulmateriaal en de afdichting van de galerijen en de schachten) en op de natuurlijke barrière (de geologische gastformatie). Op lange termijn degraderen de kunstmatige barrières en verzekert de gastformatie de retentie van de radionucliden.

Figuur 26 toont het Belgische referentieconcept voor geologische berging (87).

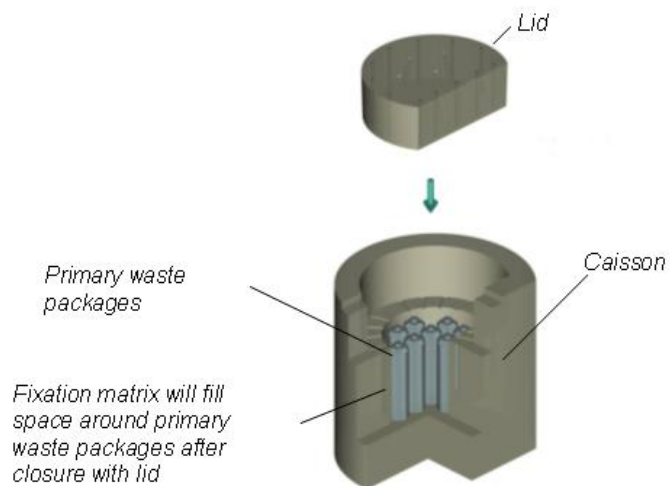


Figuur 26: De referentie-bergingsarchitectuur voor geologische berging

Voordat het afval in de bergingsinstallatie geplaatst kan worden, moet het eerst geconditioneerd worden. Deze conditionering wordt uitgevoerd aan de oppervlakte. Hieronder worden de referentieconcepten voor conditionering van radioactief afval van categorie B (Figuur 27) en C (Figuur 28) schematisch voorgesteld (88).

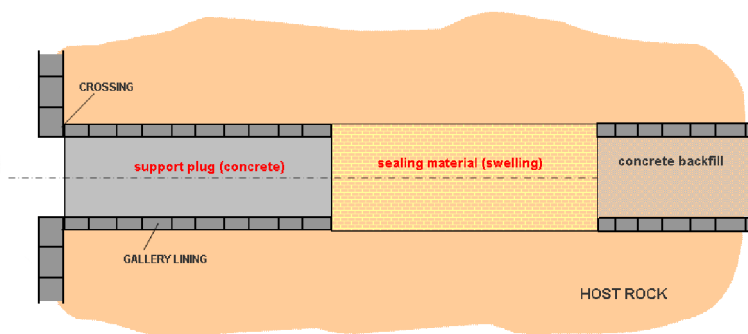


Figuur 27: Referentieconcept voor de monoliet voor afval van categorie B



Figuur 28: Referentieconcept voor de supercontainer voor afval van categorie C

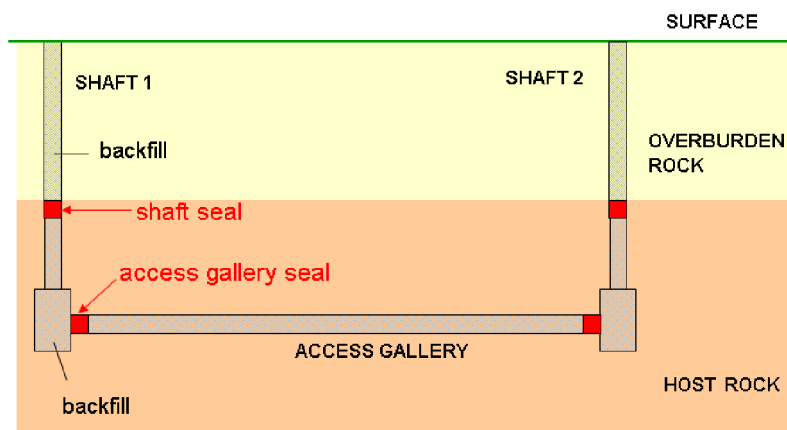
Na conditionering wordt de supercontainer (voor afval van categorie C) of de monoliet (voor afval van categorie B) via de schacht en de hoofdgalerij in de ondergrondse bergingsgalerij geplaatst en wordt de lege ruimte tussen de supercontainer of monoliet en de galerijwand opgevuld met beton en bentoniet. Volgeladen bergingsgalerijen worden afgesloten. Een mogelijke manier om de bergingsgalerijen af te sluiten wordt hieronder geïllustreerd (87), (89).



Figuur 29: Referentieconcept voor de sluiting van een volgeladen bergingsgalerij

Wanneer alle bergingsgalerijen afgesloten zijn, kunnen de hoofdgalerij en de schachten nog open blijven. Een monitoringsprogramma is permanent in werking.

Op termijn wordt de bergingsinstallatie gesloten door de hoofdgalerij en de schachten op te vullen met beton en bentoniet (zie Figuur 30 (87), (89)). Monitoring is nu alleen nog mogelijk boven en onder het gastgesteente en aan de oppervlakte.

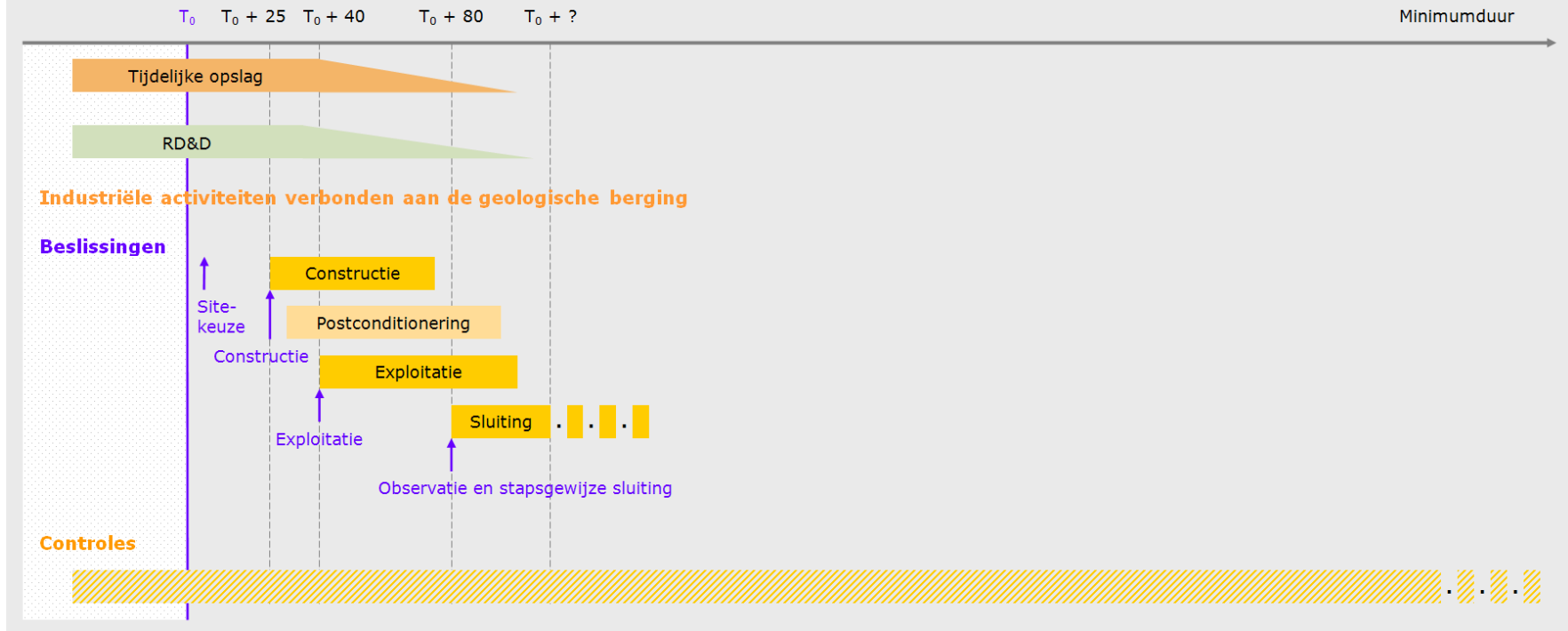


Figuur 30: Referentieconcept voor de sluiting van een bergingsinstallatie

Figuur 31 geeft op hoofdlijnen het tijdsverloop voor geologische berging weer.

Geologische berging in België (voluntaristisch tijdschema gebaseerd op de hypothese van berging in weinig verharde klei)

Principebeslissing



Figuur 31: Illustratie van het tijdsverloop op hoofdlijnen voor de beheeroptie "geologische berging" in België, op basis van de hypothese van berging in een weinig verharde kleiformatie

De bouw en exploitatie verlopen grotendeels apart voor afval van categorie B en afval van categorie C. Na de voorbereiding van de site worden eerst de galerijen voor het afval van categorie B gebouwd; dit zou ongeveer 13 jaar duren. Het plaatsen van het afval van categorie B in de installatie zou over een periode van 20 jaar gespreid worden. Na enkele jaren monitoring worden de hoofdgalerij en de toegangsschacht opgevuld met beton en bentoniet; hiervoor is ca. 4 jaar nodig.

Vervolgens worden de galerijen voor het afval van categorie C gebouwd (duur: ongeveer 8 jaar). Het plaatsen van het afval van categorie C in de installatie zou over een periode van 10 jaar gespreid worden. Na enkele jaren monitoring worden de hoofdgalerij en de toegangsschachten opgevuld met beton en bentoniet; hiervoor is ca. 6 jaar nodig (87).

Terugneembaarheid ligt bij geologische berging minder voor de hand dan bij actieve beheeropties (zie paragraaf 7.2.1.1), maar kan wel geïmplementeerd worden. Dit wordt wel steeds moeilijker en duurder naarmate de bergingsinstallatie gevuld en afgesloten wordt. Soms wordt een soort tussenoplossing met een uitgesproken fasering ontwikkeld om een periode met terugneembaarheid te integreren in het concept van geologische berging (o.a. "Adaptive Phased Management" in Canada (90) en gefaseerde geologische berging in het Verenigd Koninkrijk (91), zie Bijlage B). Op termijn wordt geologische berging echter steeds een concept waarbij terugneembaarheid niet meer voorzien is.

Een vereiste voor geologische berging is een geschikte geologische gastformatie. De eigenschappen die een dergelijke gastformatie moet hebben, worden beschreven in de publicaties van het IAEA over de veiligheidsvereisten voor geologische berging (19) en over de selectie van sites voor geologische berging (92). Hieronder worden deze eigenschappen samengevat.

- De geologische omgeving is gemakkelijk te karakteriseren en heeft geometrische, fysische en chemische eigenschappen die de migratie van radionucliden van de bergingsinstallatie naar het milieu kunnen beperken. Uniforme formaties in relatief eenvoudige geologische settings zijn te verkiezen omdat ze waarschijnlijk beter te karakteriseren zijn en de toekomstige evolutie nauwkeuriger ingeschat kan worden.
- Mogelijke toekomstige geodynamische fenomenen (klimaatveranderingen, neotektoniek, seismiciteit, vulkanisme, diapirisme) beïnvloeden het gastgesteente niet op een zodanige manier dat het isolatievermogen van de bergingsinstallatie in het gedrang komt.
- De hydrogeologische kenmerken van het geologische milieu moeten grondwaterstromingen beperken.
- De fysicochemische en geochemische kenmerken van het geologische en hydrogeologische milieu moeten het vrijkomen van radionucliden uit de bergingsinstallatie beperken.
- Er moet rekening gehouden worden met de huidige en potentiële menselijke activiteiten op of nabij de locatie van de bergingsinstallatie. De kans dat menselijke activiteiten de isolatiecapaciteit van de bergingsinstallatie in het gedrang brengen moet geminimaliseerd worden.
- De kenmerken van de oppervlakte en de ondergrond moeten het mogelijk maken om de nodige bouwwerken uit te voeren in overeenstemming met de passende regels.

Er bestaat een uitgebreide internationale kennisbasis over verschillende potentiële gastgesteenten voor geologische berging. In sommige landen zijn reeds gastformaties uitgekozen voor de berging van hoogradioactief en/of langlevend afval. Hieronder volgt een

bespreking van de meest voorkomende gastgesteenten die in nationale onderzoeksprogramma's bestudeerd worden.

Evaporieten of uitdampingsgesteenten zijn gevormd door uitdamping van een vroegere zee. In het kader van geologische berging zijn vooral dikke zoutlagen of zoutkoepels onderzocht. De aanwezigheid van zout toont aan dat er geen stromend grondwater aanwezig is dat de radionucliden naar de oppervlakte zou kunnen brengen; zoet water zou immers het zout oplossen. Zout heeft een plastisch karakter: breuken en barsten sluiten zich terug. Daardoor kan de bescherming van mens en milieu bij geologische berging in zout in belangrijke mate steunen op het gastgesteente.

Momenteel wordt er in Carlsbad, New Mexico in de Verenigde Staten een geologische bergingsinstallatie in een evaporietgesteente (zout) geëxploiteerd, de "Waste Isolation Pilot Plant" of WIPP (93).

In België komen er evaporieten voor in de diepere ondergrond (van 600 m tot 3,5 km diep) van het Bekken van Bergen en het Kempisch Bekken. De evaporieten in het Bekken van Bergen bevinden zich in een structureel complexe omgeving en bestaan voornamelijk uit vrij dunne laagjes. De evaporieten in het Kempisch Bekken vormen dunne lagen en nodule lagen. De Belgische evaporietlagen blijken veel dunner dan de evaporietlagen die bv. in de Verenigde Staten gebruikt worden voor geologische berging. Op verschillende plaatsen zijn er bovendien oplossingsfenomenen opgemerkt, die wijzen op de aanwezigheid van grondwater. Daarom worden de evaporieten in België niet beschouwd als mogelijke gastformaties voor geologische berging (94). Er is immers niet voldaan aan de eerste vereiste uit de IAEA-veiligheidsgids (zie boven).

Kristallijne gesteenten omvatten magmatische en metamorfe gesteenten. Met name graniet is uitgebreid onderzocht als mogelijke gastformatie voor geologische berging (95), (96). Graniet is gevormd door de trage afkoeling van lava in de ondergrond. Dergelijke granietlichamen zijn relatief hard, waardoor ze heel stabiel zijn. Daardoor vormt graniet een goede bescherming van de kunstmatige barrières van een geologische bergingsinstallatie. Door de aanwezigheid van breuken en barsten is het echter moeilijk om een trage grondwaterstroming te garanderen. Bij berging in graniet moet de bescherming van mens en milieu dus sterk op de kunstmatige barrières steunen.

In Finland en Zweden werd ervoor gekozen om hoogradioactief en/of langlevend afval te bergen in graniet. In Finland zijn de aanlegwerkzaamheden reeds begonnen, terwijl men in Zweden in 2009 de locatie geselecteerd heeft (zie Bijlage B).

Hoewel beperkt in omvang en aantal, komen er ook magmatische gesteenten voor in de Belgische ondergrond. Ze kunnen onderverdeeld worden in drie types. Het eerste type bestaat uit te dunne lagen om als mogelijk gastgesteente beschouwd te worden. Over het tweede type is er weinig bekend, maar men weet wel dat dit type gesteente een gebergtevorming ondergaan heeft. Waarschijnlijk vertoont dit gesteente dus een complex breuken- en barstensysteem. Bovendien worden de minder diepe lagen momenteel geëxploiteerd en bevinden de andere lagen zich op een aanzienlijke diepte. Het derde type is de kristallijne sokkel, die op grote diepte (minstens 2 km) ligt en tot op heden nog maar weinig rechtstreeks via boringen onderzocht is. Magmatische gesteenten worden dus in België niet als potentiële gastgesteenten voor geologische berging beschouwd (97). Ze voldoen immers niet aan de eerste vereiste uit de IAEA-veiligheidsgids, en in sommige gevallen evenmin aan de derde en vijfde vereiste (zie boven).

Klei is een sedimentair gesteente dat gevormd wordt door de afzetting van fijne sedimenten in een zee of meer. Klei is zeer weinig waterdoorlatend. Door hun mineralogische en chemische kenmerken hebben kleien de neiging om metalen en vele radionucliden vast te

houden. Hoe minder diep deze kleien begraven geweest zijn, hoe plastischer ze zijn en hoe beter breuken en barsten zich van nature terug sluiten. De bescherming van mens en milieu kan dus bij berging in klei in belangrijke mate steunen op het gastgesteente (35).

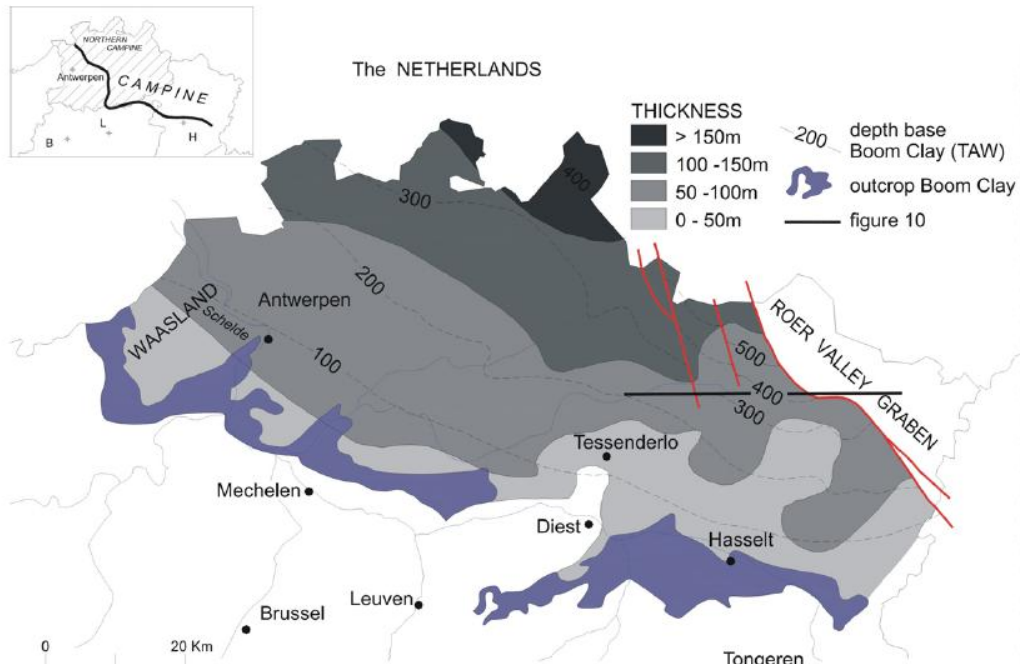
In Frankrijk en Zwitserland heeft men beslist om hoogradioactief en/of langlevend afval te bergen in klei. Deze kleien zijn harder dan de kleien die in België als mogelijke gastgesteenten bestudeerd worden. In ons land kan er een onderscheid gemaakt worden tussen de echte kleien en de schiefer.

Schiefer is een verzamelnaam voor kleirijke gesteenten die een vorm van metamorfose ondergaan hebben (blootstelling aan verhoogde temperaturen en/of druk veroorzaakt door de bovenliggende lagen). Schiefer is wijdverbreid in België. Tot op heden is de kennis van de schiefer nog heel beperkt. Dat betekent dat een goede kennis van het breuken- en barstenpatroon en de specifieke mineralogie van de Belgische schiefer ontbreekt. Bovendien bevindt de meerderheid van de potentieel interessante zones zich in een complexe geologische omgeving en is de hydrogeologie niet of nauwelijks bekend. Verder is de schiefer niet erg homogeen: zowel de originele afzettingsgesteenten als de graad en impact van de metamorfose zijn heterogeen. De eerste vereiste uit de IAEA-veiligheidsgids kan dus in het gedrang komen. Tenslotte dient nog vermeld dat geen enkel ander land waar schiefer voorkomt een dergelijk gesteente onderzoekt of gekozen heeft als gastformatie voor geologische berging (98).

In het onderzoeks- en ontwikkelingsplan van NIRAS is de schiefer voorlopig niet opgenomen. De redenen hiervoor zijn vooral de aanzienlijke heterogeniteit van de schiefer en de complexe geologische setting. Gezien de beperkte middelen zou het niet verantwoord zijn om onderzoek te verrichten op een locatie met schiefer zonder dat de resultaten getransfereerd kunnen worden naar andere regio's of andere types schiefer. NIRAS is van oordeel dat schiefer enkel onderzocht kan worden als er voor geologische berging gekozen wordt en als een gemeente zich vrijwillig kandidaat stelt om een dergelijke geologische berging te accepteren wanneer de veiligheid aangetoond kan worden (35).

Echte kleien hebben geen metamorfose ondergaan. In België kunnen er twee mogelijke gastgesteenten van het type klei aangeduid worden.

De **Boomse Klei** bevindt zich in de ondergrond van het Kempisch Bekken (provincies Antwerpen en Limburg, zie Figuur 32).



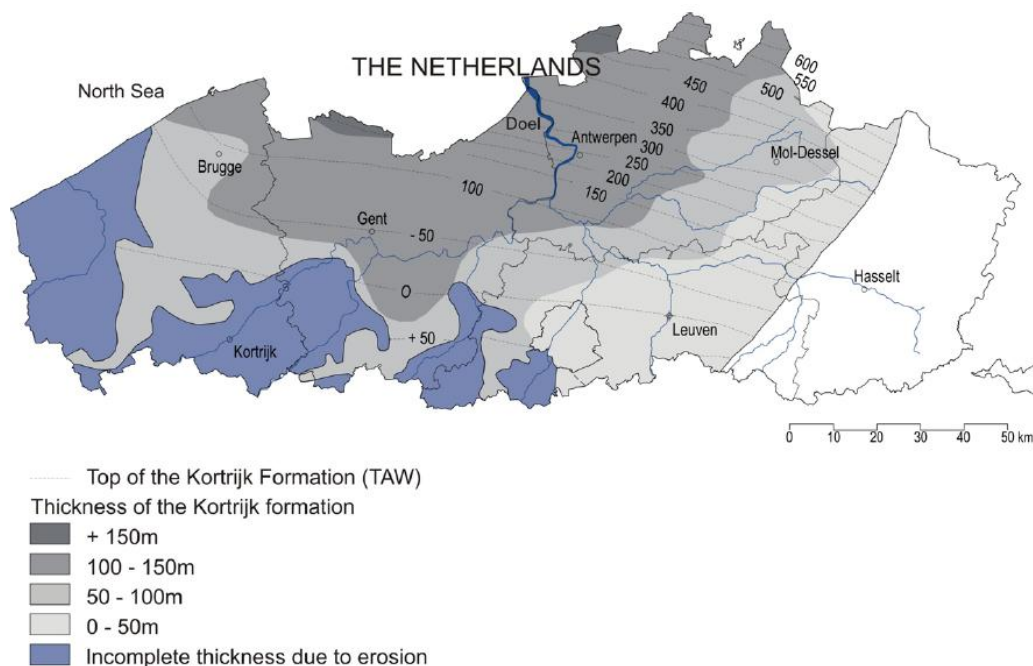
Figuur 32: De verbreiding van de Boomse Klei in de Belgische ondergrond

De Boomse Klei is lateraal zeer homogeen en vertoont verticaal slechts een zeer beperkte heterogeniteit. Het bevindt zich in een geologisch eenvoudig systeem. Het is een plastische klei waarin breuken en barsten zich terug dichten. De Boomse Klei laat geen grondwaterbewegingen toe en vele metalen en radionucliden worden gesorbeerd. Bovendien is het gesteente op verschillende plaatsen op voldoende diepte aanwezig en dik genoeg. Er zijn ook geen exploitatieerbare grondstoffen in de buurt die de veiligheid in het gedrang kunnen brengen. Hiermee voldoet het gesteente aan de vereisten van het IAEA. Het zou dus als gastgesteente voor geologische berging kunnen fungeren (7).

In het Belgische onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma over het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval wordt de Boomse Klei als referentiegastgesteente beschouwd in het geval dat er voor geologische berging gekozen zou worden. Reeds sinds de jaren '70 wordt er door NIRAS en het Studiecentrum voor Kernenergie (SCK•CEN) onderzoek uitgevoerd naar geologische berging in Boomse Klei. In het ondergrondse laboratorium HADES (gelegen in Mol op 224 meter diepte) worden onder andere de vereisten voor de kunstmatige en natuurlijke barrières en hun gedrag bestudeerd. De stand van het onderzoek naar de Boomse Klei is samengevat in het rapport SAFIR 2 (7), dat een "peer review" door het Agentschap voor Kernenergie (NEA) van de OESO onderging (99).

De regio Mol-Dessel wordt als referentiezone beschouwd voor het onderzoek, maar dit betekent niet dat een site voor geologische berging hier ingeplant zou moeten worden. Door de laterale homogeniteit van de Boomse Klei is het immers mogelijk om met beperkte middelen na te gaan of de eigenschappen van de Boomse Klei in de regio Mol-Dessel ook toepasbaar zijn in andere zones waar de Boomse Klei voldoende dik is en zich op voldoende grote diepte bevindt. Het gelokaliseerde onderzoek is dus verantwoord en laat toe om steeds de hele zone als mogelijk gastgesteente te beschouwen in het geval dat er voor geologische berging gekozen zou worden.

De **leperiaanklei** bevindt zich voornamelijk in de ondergrond van West- en Oost-Vlaanderen (zie onderstaande figuur).



Figuur 33: De verbreiding van de leperiaanklei in de Belgische ondergrond

De omgeving is geologisch eenvoudig, maar de heterogeniteit is wel groter dan bij de Boomse Klei. De leperiaanklei is (vooral in het noorden van Oost- en West-Vlaanderen) dik genoeg, ligt diep genoeg en er zijn geen exploiteerbare grondstoffen in de buurt die de veiligheid in het gedrang zouden kunnen brengen. Het is eveneens een plastische klei waarin breuken en barsten zich terug sluiten. Het gesteente laat geen grondwaterbewegingen toe en vele metalen en radionucliden worden gesorbeerd. Hiermee voldoet de leperiaanklei aan de vereisten van het IAEA. Het zou dus als gastgesteente voor geologische berging kunnen fungeren (100).

In het Belgische onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma worden de leperiaankleien voorlopig beschouwd als alternatief gastgesteente in het geval dat er voor geologische berging gekozen zou worden (100). Dit betekent dat er heel wat minder onderzoek uitgevoerd wordt over dit gesteente en dat er vooral wordt nagegaan in hoeverre de kennis over de Boomse Klei ook toepasbaar is voor de leperiaanklei. De grootste verschillen met de Boomse Klei zijn de diepte, de verticale heterogeniteit, de andere samenstelling en de onzekerheid over de hydrogeologie. Op sommige plaatsen is de Boomse Klei boven de leperiaanklei aanwezig, zodat beide lagen samen een dubbele natuurlijke barrière vormen.

De referentiezone voor het onderzoek naar de leperiaanklei is Doel. Daar bevindt de leperiaanklei zich op ca. 300 meter diepte. Verscheidene kernboringen werden reeds uitgevoerd in deze zone. De laterale continuïteit van de klei laat toe om gelokaliseerd onderzoek uit te voeren, de resultaten te transfereren en zo heel de zone als mogelijk gastgesteente te beschouwen in het geval dat er voor geologische berging gekozen zou worden.

De benodigde capaciteit van een installatie voor geologische berging hangt af van de levensduur van de bestaande kerncentrales en van een eventuele beslissing over het

hervatten van opwerking van bestraalde splijtstof. In de onderstaande tabel wordt voor een aantal mogelijke scenario's telkens de voetafdruk van de installatie weergegeven, d.w.z. de ruimte-inname geprojecteerd naar het oppervlak (87), (35).

Tabel 11: Schattingen van de afdruk van een geologische bergingsinstallatie (in km²)

Levensduur van de kerncentrales	Voetafdruk (km ²)	
	Met opwerking	Zonder opwerking
40 jaar	1,8	3,1
50 jaar voor Doel 1 en 2 en Tihange 1	1,8	3,3
50 jaar	1,9	3,6
60 jaar	2,0	4,3

De bovenstaande inschatting gaat uit van berging in Boomse Klei. Voor berging in Ieperaanklei zou de voetafdruk groter zijn: doordat de Ieperaanklei minder goed warmte geleidt (100) zou de afstand tussen de galerijen groter moeten zijn. Toch wordt aangenomen dat de voetafdruk ook in dit geval beperkt zou blijven tot minder dan 10 km² (35).

In het geval van berging in klei wordt de nodige lengte van de bergingsgalerijen voor hoogradioactief afval in grote mate bepaald door de warmteafgifte van het afval. Geavanceerde nucleaire technologieën (zie paragraaf 7.2.2.2 voor een beschrijving) kunnen leiden tot een vermindering van de warmteafgifte. Als deze technologieën toegepast worden voordat men tot geologische berging overgaat, is dus een minder grote bergingsinstallatie nodig. Een vermindering van de vereiste lengte van de galerijen voor hoogradioactief afval met een factor 3 zou mogelijk zijn in het geval van een snelle reactor met meervoudige recyclage van actiniden. De vermindering van de voetafdruk kan zelfs nog groter zijn als de afstand tussen twee bergingsgalerijen ook geoptimaliseerd wordt (met inachtneming van de minimale afstand opgelegd door geomechanische beperkingen) (101).

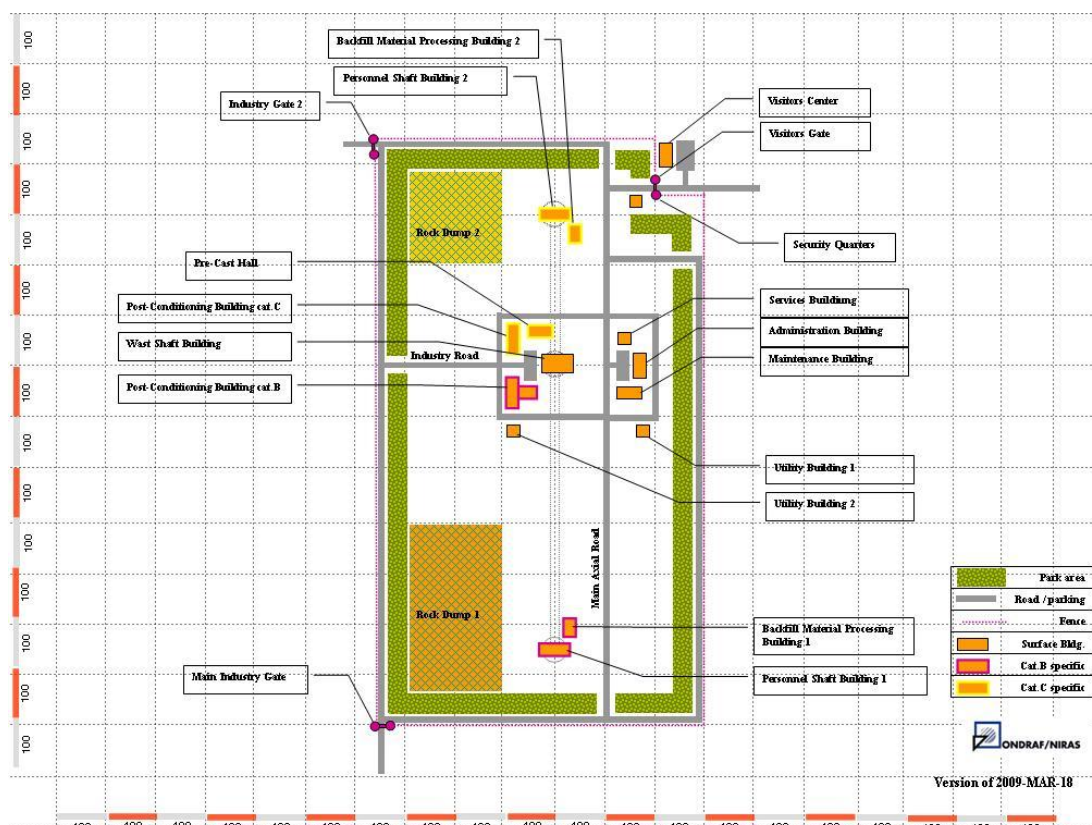
Geavanceerde nucleaire technologieën zouden dus een rol kunnen spelen in de optimalisatie van een geologische bergingsinstallatie voor afval afkomstig van toekomstige bestraalde splijtstof. Het nauwe verband tussen het gehalte aan "minor actinides", de duur van de opslag en de ondergrondse ruimte-inname van een geologische bergingsinstallatie laat toe om de combinatie opslag / berging te optimaliseren in het licht van andere, vooral economische criteria.

Voor het langlevend en niet hoogradioactief afval (d.w.z. het afval van categorie B) wordt de vereiste lengte van de bergingsgalerijen bepaald door het te bergen volume.

Een eventuele beslissing tot overname van UMTRAP door NIRAS zou leiden tot een verdubbeling van de hoeveelheid afval van categorie B (zie paragraaf 2.1). De voetafdruk van de bergingsinstallatie zou daardoor ook significant toenemen. Op basis van de referentie-architectuur (Figuur 26) lijkt een toename van de voetafdruk met ca. 50% aannemelijk.

Ook een verschuiving van afval dat nu als categorie A geclassificeerd wordt naar categorie B, ten gevolge van de acceptatiecriteria van de oppervlaktebergingsinstallatie te Dessel, kan leiden tot een toename van de hoeveelheid afval van categorie B.

In Figuur 34 wordt een illustratie gegeven van het ruimtegebruik aan de oppervlakte van een geologische bergingsinstallatie in een weinig verharde kleiformatie (87). De site zou in totaal ca. 75 hectare innemen. Er wordt verondersteld dat alle uitgegraven zanden en kleien op het terrein opgeslagen worden en niet als secundaire grondstof gebruikt worden ("worst case"). Hiervoor is ongeveer 11 hectare nodig.

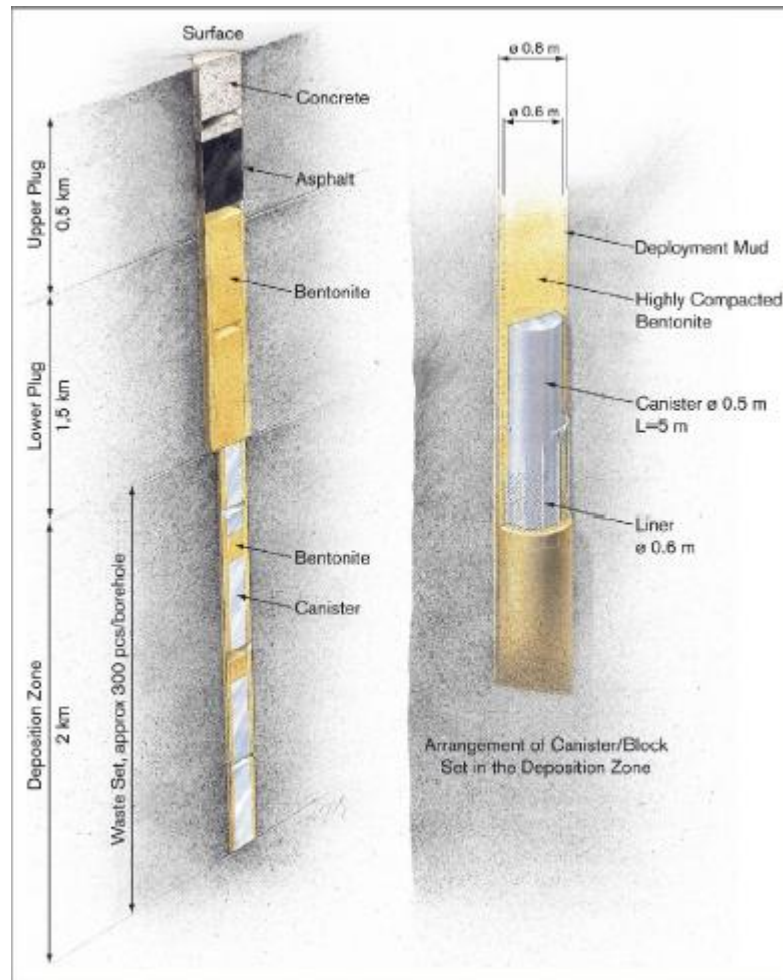


Figuur 34: Illustratie van het ruimtegebruik van een bergingsinstallatie aan de oppervlakte

Voor meer informatie over de voorwaarden voor de implementatie van geologische berging in België verwijzen we naar (35).

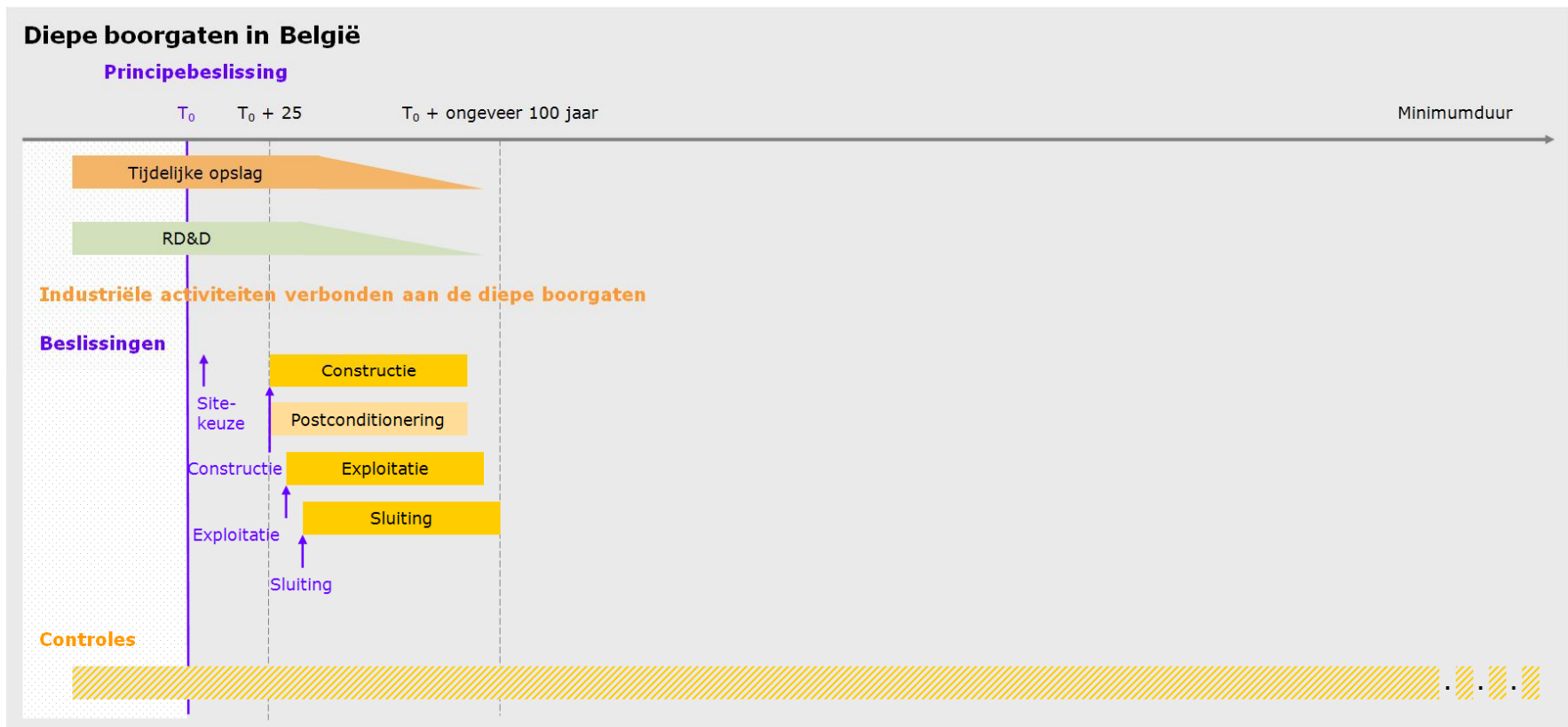
Berging in diepe boorgaten

Bij berging in diepe boorgaten worden afvalcontainers van enkele meters lang en 50 tot 100 cm diameter op elkaar gestapeld in een smal boorgat van enkele kilometers diep. Tussen elke twee containers komt opvulmateriaal (bv. bentoniet) en ook het bovenste gedeelte van het boorgat wordt opgevuld. Na de sluiting van het boorgat is geen menselijke tussenkomst meer voorzien. Terugnemen van het afval is bij deze beheeroptie redelijkerwijze niet meer mogelijk. Figuur 35 geeft een schematische voorstelling van berging in diepe boorgaten (102).



Figuur 35: Concept voor berging in diepe boorgaten

Het tijdsverloop van berging in diepe boorgaten wordt geïllustreerd in Figuur 36.



Figuur 36: Illustratie van het tijdsverloop op hoofdlijnen voor de beheeroptie "berging in diepe boorgaten" in België

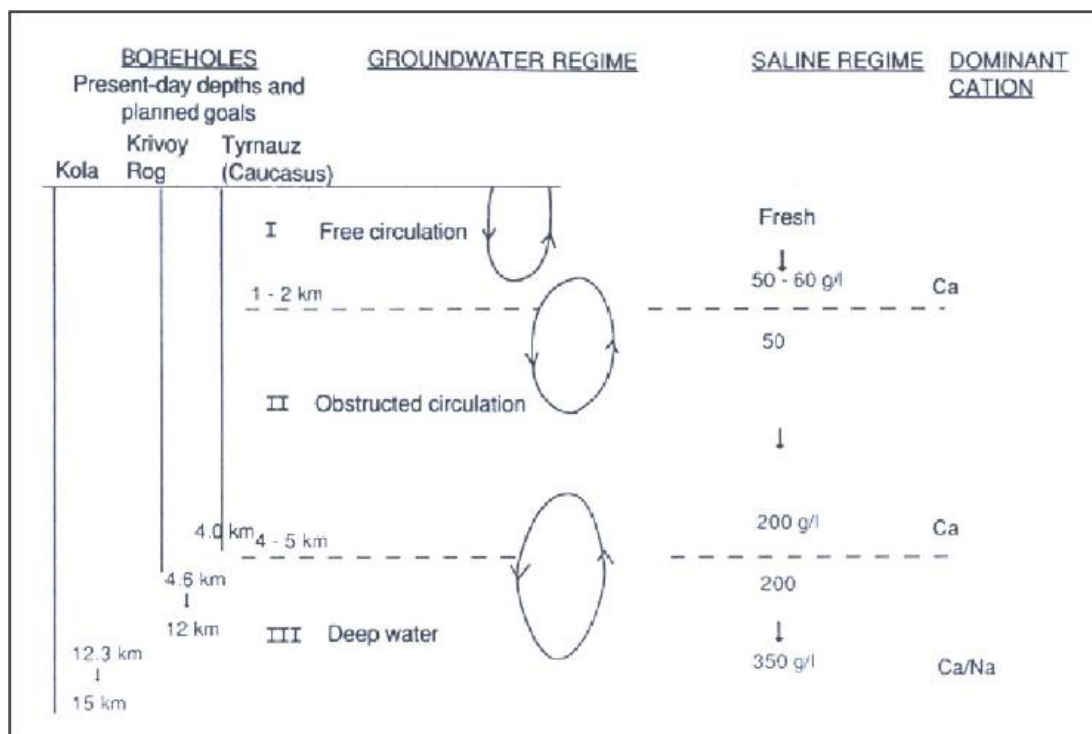
Het boren van een boorgat met een diameter van 0,5 m tot op een diepte van 4 km zou ongeveer 9 maanden vergen. Het aanmaken van een eerste (pilot)boorgat zal evenwel meer tijd vergen, men schat dit op ongeveer 2 jaar (103). We gaan ervan uit dat er telkens enkele boorgaten simultaan aangelegd kunnen worden en dat de aanleg in totaal ca. 20 jaar zal duren, vergelijkbaar met de tijd die nodig is voor de aanleg van een geologische bergingsinstallatie.

Het vullen van het boorgat met radioactief afval zou 6 maanden tot 2 jaar in beslag nemen, afhankelijk van het aantal containers, hun afmetingen en de aangewende methode (103).

Er wordt van uitgegaan dat het opvullen van de boorgaten met beton en bentoniet na de plaatsing van het afval in totaal ca. 10 jaar in beslag neemt, vergelijkbaar met de tijd die nodig is voor de afsluiting van een geologische bergingsinstallatie.

Zonder rechtstreekse toegang tot het onderste gedeelte van het boorgat (waar het afval geborgen wordt) is het moeilijk om een kunstmatige barrière te ontwerpen die gedurende een lange periode de radionucliden insluit. De integriteit van de verpakking van het afval en van het opvulmateriaal kan op grote diepte niet gegarandeerd worden (36). Het gastgesteente is na enige tijd de enige barrière tussen het radioactief afval en het milieu. Net zoals bij geologische berging moet het gastgesteente dus met de nodige zorg uitgekozen worden.

Op grote diepte is het gesteente zeer weinig doorlatend voor water en staat het grondwater praktisch stil. Enkele proefboringen in het buitenland hebben uitgewezen dat het grondwater op grote diepte mogelijk in lagen circuleert, zoals aangegeven in Figuur 37 (104). Veel informatie is hierover echter niet beschikbaar, en specifieke informatie voor België ontbreekt.



Figuur 37: Grondwaterstroming op grote diepte

Radionucliden die in het grondwater terechtkomen, kunnen door de stratificatie van het grondwater niet aan de oppervlakte terechtkomen, of zijn door radioactief verval onschadelijk geworden tegen de tijd dat ze de oppervlakte zouden bereiken (105). Een vereiste hiervoor is wel dat de locatie geen snelle transportroutes naar de oppervlakte vertoont (breuken en barsten).

De hogere druk en temperatuur op enkele kilometers diepte zou geochemische sortieprocessen bevorderen, waardoor de radionucliden goed vastgehouden zouden worden door het gastgesteente. Anderzijds zou de warmte-afgifte door het afval kunnen leiden tot convectie en dus snellere stroming van het grondwater; er bestaat echter geen zekerheid over de temperatuur waarbij dit verschijnsel zich zou voordoen (36).

In verscheidene landen werd onderzoek uitgevoerd naar berging in diepe boorgaten, met name in Zweden (105), maar ook in de Verenigde Staten, Zwitserland en Denemarken. Vooral zout en graniet werden als mogelijke gastgesteenten bestudeerd. Berging in diepe boorgaten werd gezien als een mogelijke oplossing voor kleine hoeveelheden hoogradioactief en/of langlevend afval (bv. plutonium) (75), (106). Zweden, Zwitserland en de Verenigde Staten waren het verst gevorderd in het onderzoek naar de toepasbaarheid van berging in diepe boorgaten voor grote volumes hoogradioactief en/of langlevend afval, maar hebben deze beheeroptie verlaten en kiezen nu voor geologische berging (zie Bijlage B).

Over de aanwezigheid van geschikte geologische formaties voor berging in diepe boorgaten in België is praktisch niets geweten. Gravimetrische en aeromagnetische technieken suggereren dat er zich onder het Massief van Brabant en mogelijk ook onder het Massief van Rocroi graniet bevindt. De ondergrond op enkele kilometers diepte is echter tot nu toe nog maar weinig door middel van boringen onderzocht (36), (97). Voor de implementatie van

berging in diepe boorgaten zouden dus nog vele jaren onderzoek nodig zijn om potentieel geschikte gastgesteenten te identificeren, zonder garantie op succes.

Bovendien bevat het concept van berging in diepe boorgaten nog een aantal belangrijke onzekerheden. Zo is de technologie voor de boringen op dit moment nog niet in gebruik, hoewel de nodige kennis bestaat om ze te ontwikkelen (105). Een recent rapport van de Nuclear Decommissioning Authority stelt dat een boorgat met een diameter van 0,5 m tot op een diepte van 4 km met de huidige technieken haalbaar is, mits enkele verfijningen en aanpassingen. Ruimere boorgaten (diameter tot 0,75 m) zijn vanaf een diepte van 3 km moeilijk te implementeren en boorgaten met een diameter van 1 m zijn zo goed als onmogelijk met de huidige technieken (103).

Het vereiste aantal boorgaten voor de berging van hoogradioactief en/of langlevend afval hangt onder andere af van de diepte. Een ruwe schatting werd gemaakt, uitgaande van boorgaten van 4 km diep waarvan de onderste 2 km gevuld wordt met radioactief afval. Naargelang de afmetingen van de verpakking van het afval en de dikte van het opvulmateriaal tussen de afvalcolli zouden voor de berging van het afval van categorie C minimaal 4 à 7 boorgaten nodig zijn. Voor het afval van categorie B zouden minimaal een vijftigtal boorgaten nodig zijn (36). In een onderzoek door SKB in Zweden werd een afstand van minimaal 500 meter tussen twee boorgaten vooropgesteld (107). Als men alle boorgaten op dezelfde site inplant, levert dit een voetafdruk van ca. 12,6 km² op. Een studie in de Verenigde Staten beveelt zelfs een afstand van minimaal 800 meter aan (108), wat zou leiden tot een nog veel grotere voetafdruk van ca. 32 km². Anderzijds zou door de berging uit te stellen de warmteafgifte van het afval verminderen, zodat de minimale afstand tussen de boorgaten kleiner mag zijn. Voor de effectbeschrijving en –beoordeling zal er echter gerekend worden met een voetafdruk van 12,6 km². Er dient opgemerkt dat de boorgaten niet allemaal tegelijk aangelegd zullen worden; slechts wanneer alle boorgaten aangelegd zijn, zal de hierboven berekende oppervlakte volledig ingenomen worden. In eerdere stadia is de voetafdruk minder groot.

Een eventuele beslissing tot overname van UMTRAP door NIRAS zou leiden tot een verdubbeling van de hoeveelheid afval van categorie B (zie paragraaf 2.1). Daardoor zouden er meer dan 100 boorgaten nodig zijn en zou de voetafdruk ruwweg verdubbelen.

Ook een verschuiving van afval dat nu als categorie A geclassificeerd wordt naar categorie B, ten gevolge van de acceptatiecriteria van de oppervlaktebergingsinstallatie te Dessel, kan leiden tot een toename van de hoeveelheid afval van categorie B.

Voor meer informatie over de voorwaarden voor de implementatie van berging in diepe boorgaten in België verwijzen we naar (36).

7.2.2 Niet-definitieve beheeropties

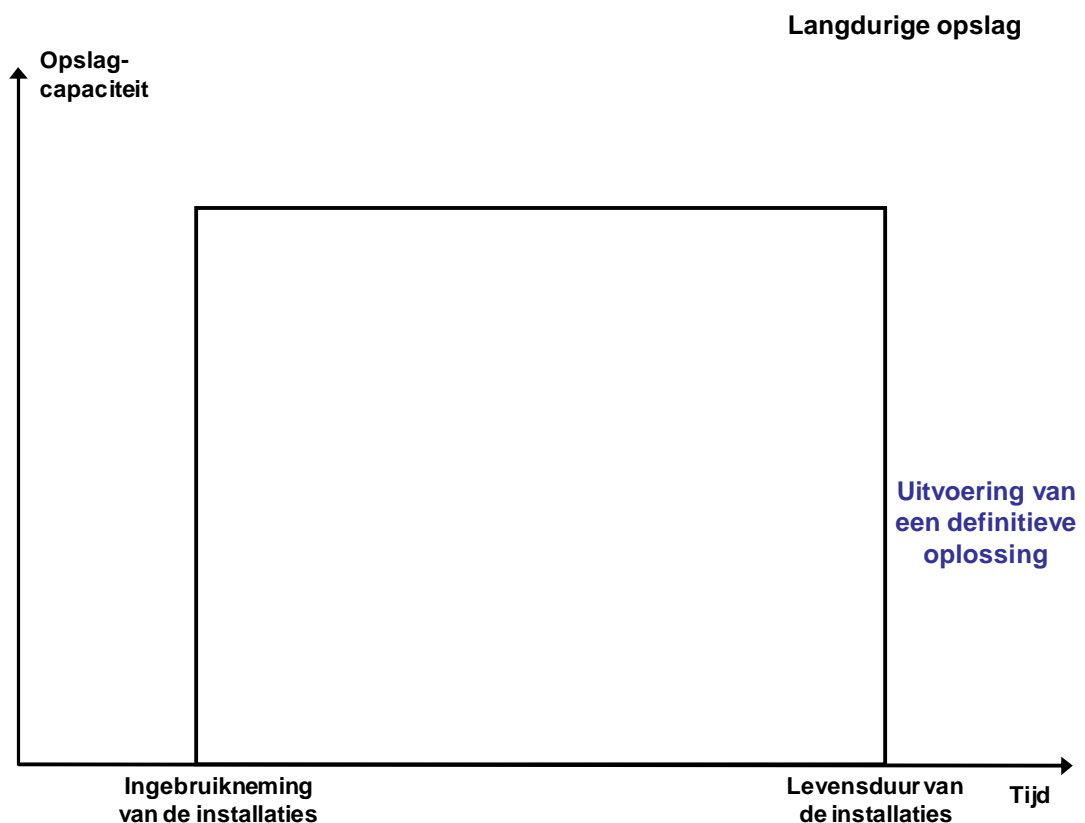
Bij niet-definitieve beheeropties wordt de keuze voor een beheeroptie die definitief kan worden voor een onbepaalde tijd uitgesteld. Wel wordt het beheer ondertussen zo georganiseerd dat de veiligheid van mens en milieu te allen tijde gegarandeerd blijft. Conform de internationaal bestaande consensus beschouwt NIRAS twee verschillende niet-definitieve beheeropties voor afval van categorieën B en C:

- Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden
- Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

7.2.2.1 Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden

Deze beheeroptie houdt in dat het radioactief afval opgeslagen wordt in aangepaste installaties voor een periode van 100 tot 300 jaar. De bedoeling is dat de toekomstige generaties ten laatste na afloop van deze periode een beslissing zullen nemen over de manier waarop het beheer voortgezet wordt. Langdurige opslag impliceert de bouw van nieuwe opslaginstallaties en het bijbehorende actief beheer: controles, periodiek onderhoud van de installatie en regelmatige verificatie van de integriteit van de containers en van het afval zelf.

Deze niet-definitieve beheeroptie stemt overeen met de eerste fase van eeuwigdurende opslag (zie paragraaf 7.2.1.1).



Figuur 38: Schematische voorstelling van langdurige opslag

De bescherming van mens en milieu steunt bij langdurige opslag op de verpakking van het afval en op de opslaginstallatie.

Het afval wordt verpakt in een container die de volgende functies vervult:

- Insluiting van de radionucliden
- Chemische bescherming
- Voorkomen van het vrijkomen van gas
- Biologische bescherming

- Voorkomen van kritikaliteit
- Bescherming tegen externe invloeden zoals brand en overstroming
- Bescherming van de primaire afvalcolli bij vallen

Daarnaast moet de container toelaten om het afval op een veilige manier terug te nemen als men besluit om de opslag te beëindigen.

Voor radioactief afval van categorie B zou een betonnen container te overwegen zijn. In normale omstandigheden manifesteert de degradatie van beton aan de oppervlakte zich in barsten, waardoor de insluiting en de mechanische en chemische bescherming verminderen. Hoewel de praktische ervaring met beton nog maar 150 jaar bestaat, lijkt het toch mogelijk om betonnen containers met een levensduur van 300 jaar te ontwerpen (86), (34).

Voor afval van categorie C en voor bestraalde splijtstof zou de container uit metaal bestaan. Metaal degradeert door corrosie en door thermische veroudering. Om de corrosie te beperken moet de luchtvochtigheid in de opslaginstallatie voortdurend gestuurd en gecontroleerd worden door middel van ventilatie. Onderzoek in Frankrijk wijst uit dat onder die voorwaarde een levensduur van ca. 300 jaar haalbaar is (109).

De opslaginstallatie moet het afval beschermen tegen ongunstige invloeden (bv. aardbeving, neerstortend vliegtuig, ...). Dit is technisch haalbaar: de bestaande opslaggebouwen zijn immers ontworpen om bestand te zijn tegen dergelijke invloeden (110). Wetenschappelijk onderzoek heeft aangetoond dat betonnen constructies met wapening een levensduur van minstens 100 jaar kunnen hebben. Er is echter nog geen bewijs geleverd dat een levensduur van 300 jaar mogelijk zou zijn (111), (112), (113).

Bijzondere aandacht moet besteed worden aan het beheersen van de temperatuur en de luchtvochtigheid in de installatie. Bij de keuze van de site zal men dus rekening moeten houden met de lokale klimatologische, meteorologische en geotechnische omstandigheden en met hun mogelijke veranderingen in een periode van enkele honderden jaren. Er kan overwogen worden om de installatie deels ondergronds te bouwen of te bedekken met een laag grond, voor zover dit de ventilatie niet belemmert.

De uitrusting van de opslaginstallatie (machines, ventilatie, systemen voor monitoring en controle, ...) moet gedurende de volledige levensduur operationeel blijven. Daartoe zullen ze periodiek onderhouden en vervangen moeten worden. Ook de informatie over het afval en de technische kennis over het beheer moeten bewaard blijven zolang de opslaginstallatie gebruikt wordt. Gezien de lange levensduur van de installatie is dit een technische en maatschappelijke uitdaging. Tenslotte is ook een financieringsmechanisme nodig dat de toekomstige generaties de middelen verschaft om de installatie op een veilige manier te exploiteren.

Idealiter houdt men bij het ontwerp van de afvalcontainers en de opslaginstallatie reeds rekening met de definitieve beheeroptie die men zal toepassen na de langdurige opslag (34). In de praktijk is dit echter moeilijk omdat de beslissing over een definitieve beheeroptie nog niet genomen is.

Installaties voor langdurige opslag met een levensduur van minstens 100 jaar zijn reeds ontworpen in Nederland, Frankrijk en de Verenigde Staten. In België zouden in elk geval nieuwe gebouwen voor langdurige opslag gebouwd moeten worden, aangezien de huidige opslaggebouwen slechts een levensduur van ca. 75 jaar hebben (34).

Met de perimeters inbegrepen zou de site in totaal ca. 40,5 hectare in beslag nemen. De grondwerken zouden binnen een periode van 6 maanden uitgevoerd kunnen worden. De bouw van de opslaggebouwen zou ongeveer 10 jaar duren.

Een eventuele beslissing tot overname van UMTRAP door NIRAS zou leiden tot een verdubbeling van de hoeveelheid afval van categorie B (zie paragraaf 2.1). In dat geval zou er meer opslagcapaciteit nodig zijn en zou de ruimte-inname groter zijn.

Ook een verschuiving van afval dat nu als categorie A geclassificeerd wordt naar categorie B, ten gevolge van de exploitatievoorwaarden van de oppervlaktebergingsinstallatie te Dessel, kan leiden tot een toename van het volume afval.

Voor meer informatie over de voorwaarden voor de implementatie van langdurige opslag in België verwijzen we naar (34).

7.2.2.2 Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

Opties voor het beheer van bestraalde splijtstof

Bestraalde UOX-splijtstof (uraniumoxide) bevat ongeveer 93,6% U (uranium), 1,0% Pu (plutonium), 0,08% Np (neptunium), 0,18% Am (americium) en 0,002% Cm (curium). Neptunium, americium en curium worden dikwijls "minor actinides" genoemd omdat ze in veel kleinere hoeveelheden voorkomen dan de actiniden uranium en plutonium. Al deze elementen kunnen in principe als splijtstof gebruikt worden in bestaande of te ontwikkelen kernreactoren. In theorie zou uit de splijtstof 18 keer meer energie geproduceerd kunnen worden dan vandaag.

Voor het beheer van bestraalde splijtstof worden de volgende opties onderscheiden:

- De bestraalde splijtstof wordt **niet opgewerkt** en wordt beschouwd als (hoogradioactief en langlevend) **afval** waarvoor een definitieve beheeroptie geïmplementeerd moet worden. In een aantal landen acht men het momenteel om economische, politieke en sociale redenen niet interessant om bestraalde splijtstof op te werken. Om veiligheidsredenen en om reden van non-proliferatie (safeguards) vindt men dat de bestraalde splijtstof zo vlug mogelijk geborgen moet worden. Momenteel worden in Finland en Zweden projecten uitgewerkt voor de rechtstreekse berging van bestraalde splijtstof vanaf respectievelijk 2020 en 2023. In de VS werd commerciële opwerking verboden van 1977 tot 1981 en nadien niet meer terug opgestart. Er was voorzien om de bestraalde splijtstof te bergen in Yucca Mountain (Nevada). Eind 2009 werd het Yucca Mountain-project echter stopgezet. Een herevaluatie van het beleid m.b.t. bestraalde splijtstof is nu bezig (114).
- De bestraalde UOX-splijtstof wordt **opgewerkt binnen het huidige of voorziene nucleaire programma** (reactoren van generatie II en III). In het bijzonder kunnen ^{235}U (0,75%) en ^{239}Pu (0,60%) door opwerking gerecupereerd worden en kunnen ze vervolgens gebruikt worden voor de productie van MOX-splijtstof (Mixed U-Pu Oxide), die in de bestaande lichtwaterreactoren (de huidige generatie II-reactoren en de in aanbouw zijnde generatie III-reactoren of EPR) gebruikt kan worden.

Deze optie wordt toegepast in Frankrijk en Japan. In Frankrijk is het referentiescenario om tegen 2040 al de bestraalde UOX-splijtstof op te werken volgens het huidige procédé met het oog op de recyclage van uranium en

plutonium. Voor het plutonium voorziet men mono-recyclage (115). Tot in de jaren '90 werd deze optie ook toegepast in België, Zwitserland en Duitsland. Daarna werd opwerking in deze drie landen echter verlaten omwille van politieke en sociale weerstand tegen opwerking, omwille van de aanzienlijke directe lozingen van vluchtige radioactieve componenten (waaronder het zeer langlevende ^{129}I) tijdens dit proces, omdat de recyclage van plutonium door de lage uraniumprijzen economisch niet interessant was, en om het risico van proliferatie te verminderen.

Bestraalde MOX-splijstof wordt momenteel niet opgewerkt. De belangrijkste reden hiervoor is dat het aandeel splijtbare isotopen in het plutonium gerecupereerd uit bestraalde MOX-splijstof kleiner is dan bij opwerking van bestraalde UOX-splijstof. Bovendien wordt het plutonium "vergiftigd" door americium: na 15 jaar is de helft van ^{241}Pu vervangen door Am als gevolg van radioactief verval. Daarom wordt voor bestraalde MOX-splijstof de beheeroptie langdurende opslag toegepast. In Frankrijk voorziet EDF om pas vanaf 2030-2040 te beginnen met de opwerking van bestraalde MOX-splijstof (116). Gezien de bovenvermelde problemen is recyclage van de actiniden afkomstig van de opwerking van MOX-splijstof na langdurige opslag alleen praktisch haalbaar in snelle reactoren (117).

Het uranium dat door opwerking gerecupereerd wordt, wordt momenteel slechts in beperkte mate hergebruikt als splijstof. De redenen zijn de lage uraniumprijs en de minder interessante isotopische samenstelling: het gerecupereerde uranium bevat de isotoop ^{236}U , die bij bestraling omgezet wordt naar het langlevende ^{237}Np .

- **Langdurige opslag** van de bestraalde splijstof biedt de mogelijkheid om de beslissing over het beheer (opwerking of definitieve beheeroptie) uit te stellen tot er meer duidelijkheid is over het toekomstige nucleaire programma. Een mogelijkheid zou zijn om de bestraalde splijstof van het huidige nucleaire programma pas op te werken als **geavanceerde nucleaire technologieën** beschikbaar zijn voor de recyclage van alle actiniden in reactoren met snelle neutronen (generatie IV-reactoren en/of Accelerator Driven System (ADS) – zie verder).

Tijdens de opslagperiode zal de bestraalde splijstof verder afkoelen, wat een eventuele latere berging ervan vergemakkelijkt. Dit betekent echter dat de bestraalde splijstof, die een grote hoeveelheid potentieel gevaarlijke isotopen bevat, gedurende lange tijd aan de oppervlakte blijft en dat de implementatie van een definitieve beheeroptie doorgeschoven wordt naar de volgende generaties.

Deze optie voor het beheer van bestraalde splijstof wordt in geen enkel land gekozen. Enkel in de VS wordt deze optie opgenomen in de globale analyse voor de huidige herevaluatie van het beleid inzake het beheer van de bestraalde splijstof (114).

De eerste optie (geen opwerking) betekent in de praktijk dat er voor bestraalde splijstof gezocht moet worden naar een definitieve beheeroptie, net zoals voor het hoogradioactief en/of langlevend afval. We verwijzen naar paragraaf 7.2.1 voor een beschrijving van de mogelijke definitieve beheeropties.

De tweede optie (opwerking via het huidige procédé) gaat in tegen het Belgische moratorium op opwerking (10).

De derde optie (opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën) wordt in deze SEA meegenomen. Deze beheeroptie houdt in dat men nu nog geen beslissing neemt over het beheer op lange termijn, maar besluit te wachten op nieuwe technologieën. Concreet gaat het om geavanceerde splijstofcycli waarbij bestraalde splijstof gescheiden wordt in verschillende deelstromen die dan apart en op geoptimaliseerde wijze beheerd kunnen worden (77), (118), (119). Dit wordt ook "**partitioning en transmutatie**" genoemd. Tot op het moment dat deze nieuwe technologie

beschikbaar is, wordt de bestraalde splijtstof opgeslagen. De verpakking van het afval en de opslaginstallaties zijn dezelfde als voor de langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden (zie paragraaf 7.2.2.1). Voor meer informatie over de voorwaarden voor de implementatie van langdurige opslag in België verwijzen we naar (34).

Hierna wordt partitioning en transmutatie in meer detail beschreven. Voor de beschrijving en de beoordeling van de effecten (hoofdstuk 9) zal er bij de beheeroptie “opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën” echter vooral gekeken worden naar de langdurige opslag. De effecten van de toepassing van partitioning en transmutatie vallen immers buiten het kader van deze SEA.

Partitioning en transmutatie

Procedés voor opwerking van bestraalde splijtstof met als doel om plutonium af te scheiden voor militaire toepassingen werden al vanaf 1943 ontwikkeld door het Oak Ridge National Laboratory (ORNL) in de Verenigde Staten. In 1949 ontwikkelde het ORNL het PUREX-procedé, dat toelaat om uranium en plutonium te recupereren uit bestraalde splijtstof. Tegelijk met de ontwikkeling van kernreactoren voor burgerlijke toepassingen (voornamelijk de productie van elektriciteit) in de jaren '50 en '60 werd het PUREX-procedé ook uitgetest voor de opwerking van commerciële bestraalde splijtstof. In België werd in 1960 door een internationaal consortium onder auspiciën van de OESO de Eurochemic-fabriek te Dessel gebouwd, waar het PUREX-procedé op punt gesteld werd voor burgerlijke doeleinden. Deze installatie was operationeel van 1966 tot begin 1975. Aan het einde van de jaren '60 werd in Europa begonnen met de bouw van grote industriële opwerkingsinstallaties te La Hague (Frankrijk) en Sellafield (Verenigd Koninkrijk). Momenteel zijn opwerkingsinstallaties voor burgerlijke doeleinden operationeel in Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk, Rusland, Japan, China en India.

De laatste decennia werden verschillende meer geavanceerde opwerkingsprocedés bestudeerd en ontwikkeld die toelaten om behalve uranium en plutonium ook andere elementen af te scheiden uit de opgeloste bestraalde splijtstof. Dit wordt **partitioning** genoemd.

Bij **transmutatie** wordt een element bestraald met neutronen. Door opname van een neutron wordt het omgezet in een ander element. In het geval van actiniden kunnen bij bestraling met neutronen nieuwe isotopen gevormd worden of kan de kern splijten (fissie) en energie produceren.

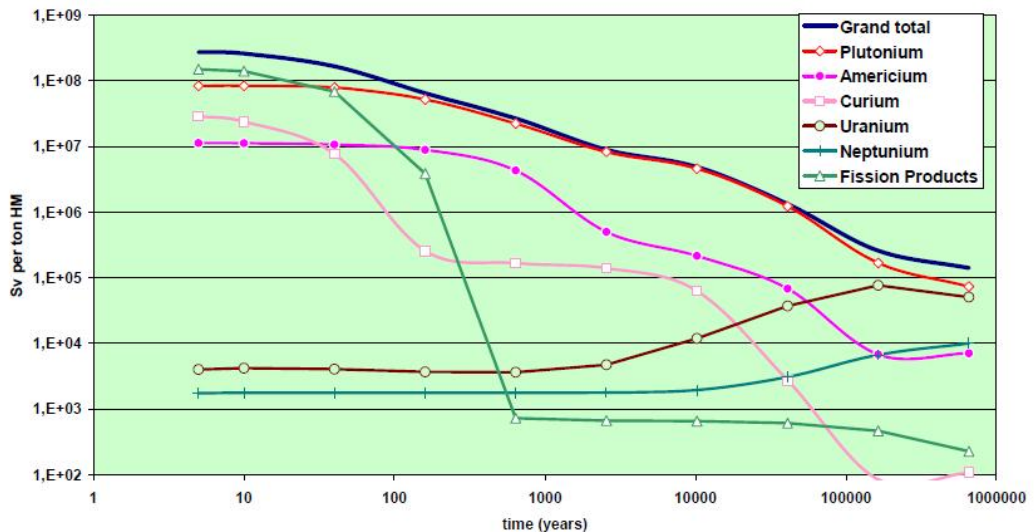
Partitioningprocedés worden hoofdzakelijk ontwikkeld met het oog op twee mogelijke toepassingen:

- Het afscheiden van alle actiniden, zodat deze gerecycleerd kunnen worden in een aangepaste reactor voor transmutatie (generatie IV-reactoren en Accelerator Driven System (ADS) – zie verder)
- Het afscheiden van fissieproducten voor transmutatie of voor afzonderlijke opslag en conditionering

Partitioning en transmutatie van actiniden worden hoofdzakelijk bestudeerd en ontwikkeld om de radiotoxiciteit van het radioactief afval op lange termijn te verminderen. Radiotoxiciteit is een maat voor de schadelijkheid van een radionuclide voor de gezondheid. De radiotoxiciteit van een isotoop wordt o.m. bepaald door het type en de energie van de straling, de blootstellingweg (inname, inademing of externe bestraling) en de verblijftijd in het lichaam. De radiotoxiciteit van radioactief afval wordt meestal gedefinieerd als het product

van de activiteit met de dosisfactor voor inname, en dit gesommeerd over alle aanwezige isotopen.

De radiotoxiciteit van bestraalde splijtstof na een afkoelingsperiode van bv. 200 jaar is hoofdzakelijk te wijten aan de aanwezigheid van langlevende actiniden, in het bijzonder de plutoniumisotopen en in mindere mate de “minor actinides”. Na enkele tienduizenden jaren wordt ook uranium bepalend voor de radiotoxiciteit (zie onderstaande figuur (120)).



Figuur 39: Illustratie van de evolutie van de radiotoxiciteit van bestraalde splijtstof

Bij huidige opwerking wordt ongeveer 99,9% van het plutonium en uranium gerecupereerd. Bijgevolg is de radiotoxiciteit op lange termijn van het bestaande verglaasd hoogradioactief afval hoofdzakelijk te wijten aan de “minor actinides”. Via geavanceerde opwerkingsprocedures zou het in de toekomst mogelijk worden om deze “minor actinides” af te scheiden uit de afvalstroom. Verschillende scheidingstechnieken worden momenteel ontwikkeld, maar staan nog niet op punt op industriële schaal. Sommige technieken worden wel al op pilotschaal uitgetest, in het bijzonder in Frankrijk (118), (115).

In principe kunnen americium en eventueel ook neptunium in lichtwaterreactoren (generatie II of generatie III) gerecycleerd worden, maar een aantal praktische problemen maken de industriële toepassing zeer onwaarschijnlijk (116). Met name het feit dat er tijdens dit procédé curium gevormd wordt, kan tot complicaties leiden (kritikaliteit, straling, warmtegeneratie). Transmutatie van “minor actinides” op industriële schaal wordt daarom enkel mogelijk geacht in generatie IV-reactoren (118). Er dient tenslotte nog vermeld dat transmutatie een zeer traag proces is: het duurt minstens 100 jaar om een aanzienlijke vermindering van de hoeveelheid actiniden te bekomen (116), (121).

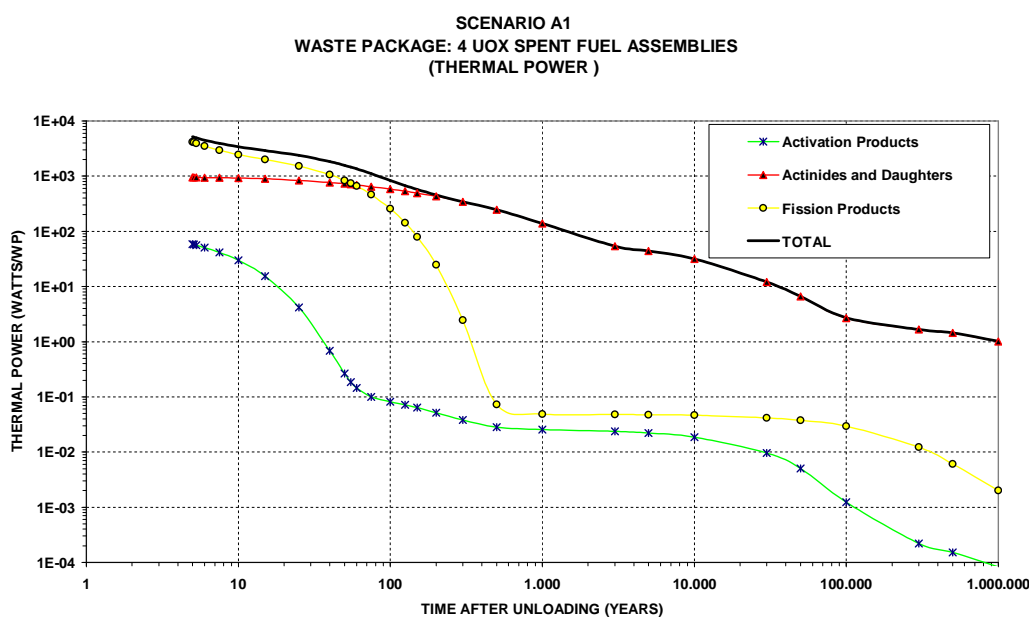
Partitioning en transmutatie van activatie- en fissieproducten worden om verschillende redenen onderzocht.

Ten eerste kunnen door transmutatie langlevende activatie- en fissieproducten omgezet worden in elementen met een minder lange levensduur. Slechts een klein aantal activatie- en fissieproducten zijn zeer langlevend. De belangrijkste zijn ⁹⁹Tc (halveringstijd 214.000

jaar), ^{126}Sn (230.000 jaar), ^{79}Se (356.000 jaar), ^{93}Zr (1,53 miljoen jaar), ^{135}Cs (2,3 miljoen jaar), ^{107}Pd (6,5 miljoen jaar) en ^{129}I (16,1 miljoen jaar). Enkele langlevende fissie- en activatieproducten zijn bepalend voor het radiologische risico op lange termijn in het geval van geologische berging, onder andere omwille van hun mobiliteit in geologische formaties (7), (122), (123), (124).

Vooraf ^{99}Tc en ^{129}I komen in aanmerking voor transmutatie. Van de andere langlevende activatie- en fissieproducten komen ook andere (soms stabiele) isotopen voor, wat hun eventuele transmutatie bemoeilijkt aangezien eerst een isotopenscheiding nodig is. In de Verenigde Staten en in Japan worden de mogelijkheden bestudeerd om ^{99}Tc en ^{129}I te transmuteren. Hiervoor zijn thermische neutronen en zeer lange bestralingstijden nodig. In een lichtwaterreactor zou het mogelijk zijn om de hoeveelheid ^{99}Tc en ^{129}I te stabiliseren, d.w.z. er wordt even veel verwijderd door transmutatie als er gevormd wordt door fissie. In een snelle reactor zou het mogelijk zijn om meer ^{99}Tc en ^{129}I te verwijderen dan er gevormd wordt (125). Zowel een NEA-expertengroep (126) als de CNE (116) zijn echter van mening dat een efficiënte transmutatie van ^{99}Tc en ^{129}I zeer moeilijk is, o.a. door de nood aan verschillende opwerkingsstappen en zeer lange bestralingstijden (vele tientallen jaren). Recent onderzoek toont dat transmutatie van langlevende activatie- en fissieproducten op industriële schaal in de praktijk heel moeilijk te bereiken zal zijn (118).

Ten tweede wordt in de Verenigde Staten en Japan de mogelijkheid onderzocht om cesium en strontium af te scheiden van de afvalstroom. Tot ongeveer 60 jaar na ontlading leveren cesium en strontium de belangrijkste bijdrage aan de warmteafgifte van de bestraalde splijtstof (150 jaar in het geval van verglaasd hoogradioactief afval). Dit wordt geïllustreerd in de onderstaande figuur (127).



Figuur 40: Illustratie van de evolutie van de warmteafgifte van bestraalde splijtstof

Na afscheiding van cesium en strontium kunnen de overige activatie- en fissieproducten geconditioneerd worden tot een type afval dat veel minder warmte afgeeft dan het huidige verglaasd hoogradioactief afval. Dit laat o.a. toe om meer afval in een bergingsgalerij te plaatsen in geval van geologische berging of om de afkoelperiode in een opslaginstallatie

aan de oppervlakte aanzienlijk in te korten. Voor het afgescheiden cesium en strontium zou een langdurige opslag van enkele honderden jaren nodig zijn om de thermische belasting te verminderen.

De toepassing van geavanceerde technieken voor partitioning en transmutatie zal aanleiding geven tot nieuwe afvalstromen van categorie A, maar mogelijk ook van categorie B. Hierover is momenteel echter zeer weinig kennis beschikbaar, wat een globale evaluatie van de waarde van partitioning en transmutatie en de impact ervan op het beheer van radioactief afval bemoeilijkt.

Zelfs met het toepassen van geavanceerde technieken voor partitioning en transmutatie in toekomstige splijtstofcycli blijft een beslissing over het langetermijnbeheer van radioactief afval nodig, o.a. voor al het ultiem afval dat nu en in de nabije toekomst geproduceerd wordt binnen het huidige nucleaire programma. De momenteel onderzochte technieken voor partitioning en transmutatie, waarbij gestreefd wordt naar een bijna volledige recyclage van de actiniden, kunnen toelaten om in de toekomst de hoeveelheid actiniden in het te bergen afval aanzienlijk te verminderen, maar zij hebben geen impact op de hoeveelheid fissie- en activatieproducten. Het scenario dat gevolgd wordt in de landen die partitioning en transmutatie ontwikkelen, is de toepassing van partitioning en transmutatie voor de bestraalde splijtstof afkomstig van toekomstige reactoren van generatie IV, maar niet voor bestraalde splijtstof afkomstig van de huidige en voorziene reactoren (generatie II en III) (115). Er wordt met andere woorden een fundamenteel onderscheid gemaakt tussen enerzijds het langetermijnbeheer van het radioactief afval afkomstig van het huidige en voorziene nucleaire park (reactoren van generatie II en III) en anderzijds een eventuele berging van radioactief afval indien geavanceerde splijtstofcycli gerealiseerd zouden worden.

Generatie IV-reactoren

Zoals hierboven vermeld steunt partitioning en transmutatie op generatie IV-reactoren. Hierna wordt een korte beschrijving gegeven van de stand van zaken met betrekking tot deze technologie.

Er worden momenteel 2 types generatie IV-reactoren ontwikkeld. De kritische reactoren met snelle neutronen worden meestal **snelle reactoren** genoemd. De eerste (zeer kleinschalige) snelle reactor werd al in 1946 door het Los Alamos National Laboratory in de Verenigde Staten gebouwd. In de jaren '50, '60 en '70 werden in verschillende landen (o.a. Verenigde Staten, Verenigd Koninkrijk, Rusland en Frankrijk) snelle testreactoren gebouwd, waarvan enkele op (semi-)industriële schaal. Verschillende van deze reactoren waren zogenaamde kweekreactoren, dit zijn reactoren die meer splijtbaar materiaal produceren (voornamelijk door bestraling van ^{238}U met neutronen) dan ze verbruiken. In de jaren '90 werd echter in de meeste landen het onderzoek naar snelle reactoren stopgezet. In 2009 waren snelle testreactoren werkzaam in Frankrijk, Rusland, Japan en India en zijn er in aanbouw in Japan, Rusland, India en China. Alle snelle reactoren die in 2009 operationeel of in aanbouw waren, worden gekoeld met natrium. De meeste bestaande reactoren (generatie II) en de reactoren die voor de nabije toekomst voorzien zijn, worden gekoeld met water. Water kan echter niet gebruikt worden in een snelle reactor omdat water de neutronen vertraagt.

Als gevolg van de noodzaak tot vermindering van de CO₂-emissies en de stijgende olieprijs is de belangstelling voor kernenergie de laatste jaren sterk toegenomen. Er werden internationale initiatieven genomen om nieuwe types van snelle reactoren te ontwikkelen, zoals het Generatie IV Forum. De volgende objectieven worden nagestreefd:

- Efficiënter gebruik maken van het beschikbare uranium: er kan 80 à 150 keer meer energie geproduceerd worden uit dezelfde hoeveelheid uranium met snelle reactoren dan met klassieke watergekoelde reactoren

- De hoeveelheid radioactief afval verminderen: in de praktijk komt dit neer op een sterke vermindering van de hoeveelheid actiniden in het hoogradioactief afval
- Het risico op proliferatie van kernwapens verminderen

Op relatief korte termijn (tegen 2030-2040) wordt de ontwikkeling van industriële natriumgekoelde snelle reactoren verwacht. Omwille van de hoge brandbaarheid van natrium worden ook andere types van snelle reactoren ontwikkeld, zoals de lood- en gasgekoelde snelle reactoren. Industriële toepassing van deze laatste types reactoren wordt niet voor 2060 verwacht.

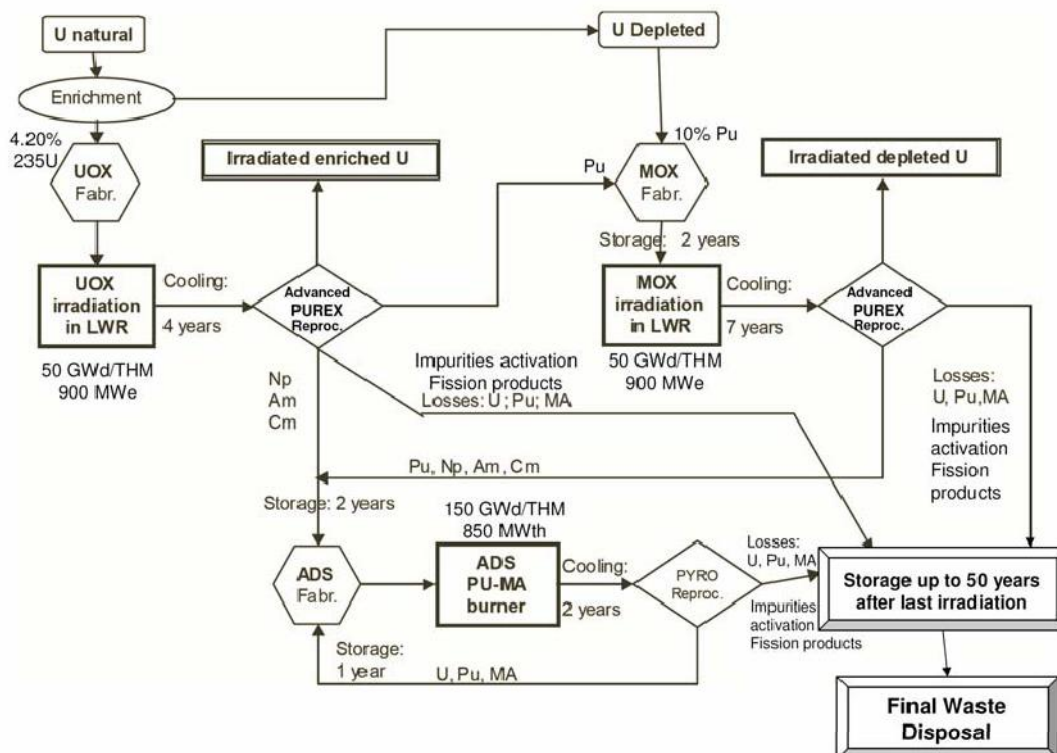
Bij de subkritische reactoren of **ADS (Accelerator Driven Systems)** wordt de kettingreactie onderhouden met behulp van een externe neutronenbron. Deze neutronenbron kan een deeltjesversneller zijn die neutronen produceert door spallatie. Er bestaan momenteel nog geen ADS-reactoren. Een kleinschalige ADS-testreactor wordt momenteel ontwikkeld door het SCK•CEN in het zogenaamde MYRRHA-project (128). Deze testreactor zou rond 2020-2023 operationeel moeten worden. Een ADS is uitermate geschikt om minor actinides op te branden (zonder veel energieproductie).

De bestaande industriële opwerkingsinstallaties zijn alle gebaseerd op het PUREX-procédé. Hierbij wordt de bestraalde splijtstof opgelost in salpeterzuur en worden uranium en plutonium afgescheiden uit de afvalstroom. Er worden verschillende complementaire procédés ontwikkeld die toelaten om ook andere elementen af te scheiden. In snelle reactoren en ADS-reactoren wordt voorzien om de splijtstof in hogere mate te versplijten dan nu het geval is in watergekoelde reactoren. Deze hoge versplijtingsgraad leidt tot grote concentraties van fissieproducten in de bestraalde splijtstof. Dit zorgt voor een veel sterkere warmteproductie en straling. Hierdoor wordt het zeer moeilijk of zelfs onmogelijk om de bestraalde splijtstof met "natte" procédés (d.w.z. oplossing in salpeterzuur) op te werken. Daarom worden nieuwe opwerkingstechnieken ontwikkeld, de zogenaamde "pyro-reprocessing". Hierbij wordt de bestraalde splijtstof opgelost in gesmolten chloride- of fluoridezouten.

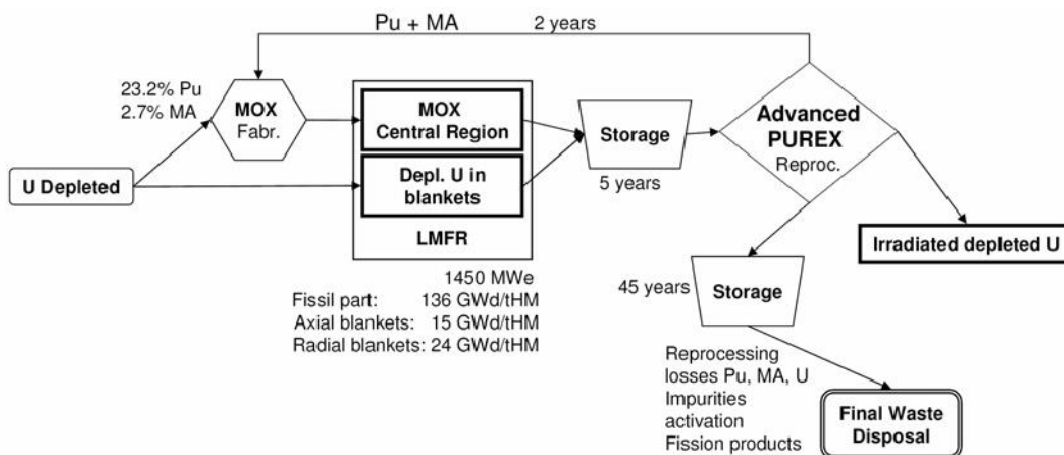
Integratie van partitioning en transmutatie in de splijtstofcyclus

Om een verkennende beoordeling van de impact en de rol van partitioning en transmutatie in toekomstige splijtstofcycli te kunnen uitvoeren, werden op internationaal niveau een groot aantal mogelijke scenario's voor geavanceerde splijtstofcycli uitgewerkt en geanalyseerd, waarbij in meer of mindere mate partitioning en transmutatie toegepast wordt (129).

Bij de beschouwde scenario's wordt een onderscheid gemaakt tussen splijtstofcycli met gedeeltelijke recyclage van de actiniden (bv. meervoudige recyclage van plutonium) en splijtstofcycli met recyclage van alle actiniden. Deze laatste worden gesloten cycli genoemd, in tegenstelling tot de open cyclus waarbij de bestraalde splijtstof als afval beschouwd wordt. In de beschouwde scenario's is steeds een reactor met snelle neutronen aanwezig. Voorbeelden van mogelijke gesloten cycli vindt men in Figuur 41 en Figuur 42 (120).



Figuur 41: Geavanceerde splijstofcyclus met lichtwaterreactoren (LWR) en ADS



Figuur 42: Geavanceerde splijstofcyclus met snelle reactoren

In het eerste scenario (Figuur 41) bestaat het reactorpark hoofdzakelijk uit lichtwaterreactoren en één of enkele ADS-reactoren. Het eerste deel van deze splijstofcyclus is identiek aan de huidige open cyclus: licht aangerijkte UOX-splijstof wordt bestraald in een lichtwaterreactor. De bestraalde splijstof wordt opgewerkt in een geavanceerde opwerkingsfabriek, waar naast de afscheiding van uranium en plutonium met

het PUREX-procédé ook de “minor actinides” uit de afvalstroom verwijderd worden. Het gerecupereerde plutonium wordt gebruikt voor de productie van MOX-splijstof. De bestraalde MOX-splijstof wordt in dit scenario eveneens opgewerkt. Het plutonium en de “minor actinides” afkomstig van de opwerking van de bestraalde MOX-splijstof worden samen met de “minor actinides” afkomstig van de opwerking van de bestraalde UOX-splijstof gebruikt voor de productie van splijstof die in een ADS bestraald kan worden. De bestraalde ADS-splijstof wordt opgewerkt met een “pyro-reprocessing” procédé en de gerecupereerde actiniden worden eveneens gerecycleerd in de ADS.

Het tweede scenario (Figuur 42) is vrij eenvoudig. Uranium wordt gemengd met de actiniden gerecupereerd uit de bestraalde splijstof voor de productie van verse splijstof. Deze wordt dan bestraald in een snelle reactor.

In de beschouwde scenario's ligt de nadruk steeds op de recyclage en de transmutatie van actiniden, en niet op de transmutatie van langlevende activatie- en fissieproducten.

Stand van de technologie

Het is momenteel nog niet mogelijk om in te schatten wanneer geavanceerde technieken voor partitioning en transmutatie op industriële schaal toegepast zouden kunnen worden en of ze effectief een globale toegevoegde waarde voor het toekomstige afvalbeheer kunnen inhouden. Hiervoor is immers een volledige beoordeling nodig die naast de vermindering van de hoeveelheid actiniden in het toekomstige afval ook de andere afvalstromen in rekening brengt, samen met de economische, technologische en veiligheidsfactoren voor de installaties en activiteiten die deel uitmaken van een dergelijke toekomstige splijstofcyclus. Hierbij hoort ook een evaluatie van de resterende actiniden op het moment van stopzetting van partitioning en transmutatie.

Dit is het onderwerp van wereldwijd onderzoek. Zowel voor partitioning als voor transmutatie moeten nog een groot aantal technologische problemen opgelost worden (116), hoewel er recent een grote vooruitgang geboekt werd inzake geavanceerde technieken voor partitioning (115).

Verschillende wegen zijn mogelijk om tot partitioning en transmutatie te komen. In Frankrijk voorziet men in 2012 een evaluatie van de kennis die nodig is om keuzes te maken. Er zal ook een “lastenboek” opgesteld worden waaraan voldaan moet worden om partitioning en transmutatie in de praktijk te realiseren. Deze evaluatie zal bovendien inzicht moeten verschaffen in de voor- en nadelen van partitioning en transmutatie (met name wat betreft geologische berging) en in de verbintenissen van de industrie die op korte en lange termijn nodig zijn. Een dergelijke evaluatie, die ook rekening houdt met de situatie in de installaties en de reactoren op het moment waarop partitioning en transmutatie stopgezet zou worden, is nu nog niet mogelijk (115).

Implicaties van een eventuele keuze voor geavanceerd beheer

Een keuze voor geavanceerd beheer van actiniden en bepaalde fissieproducten vereist dat men kiest voor een (deels) gesloten splijstofcyclus, waarbij de nuttige fracties van de bestraalde splijstof gerecycleerd worden. Dit impliceert tevens een engagement op langere termijn voor elektriciteitsproductie door kernenergie. Bovendien moet men niet alleen nieuwe reactoren ontwikkelen, maar ook nieuwe splijstoffen, nieuwe opwerkingsprocessen, enzovoort (77).

Een belangrijk aspect van de implementatie van partitioning en transmutatie is de lange duur van het proces. Zo duurt het minstens 100 jaar om een aanzienlijke vermindering van de hoeveelheid actiniden te bekomen. Dit impliceert dat verschillende generaties van nucleaire

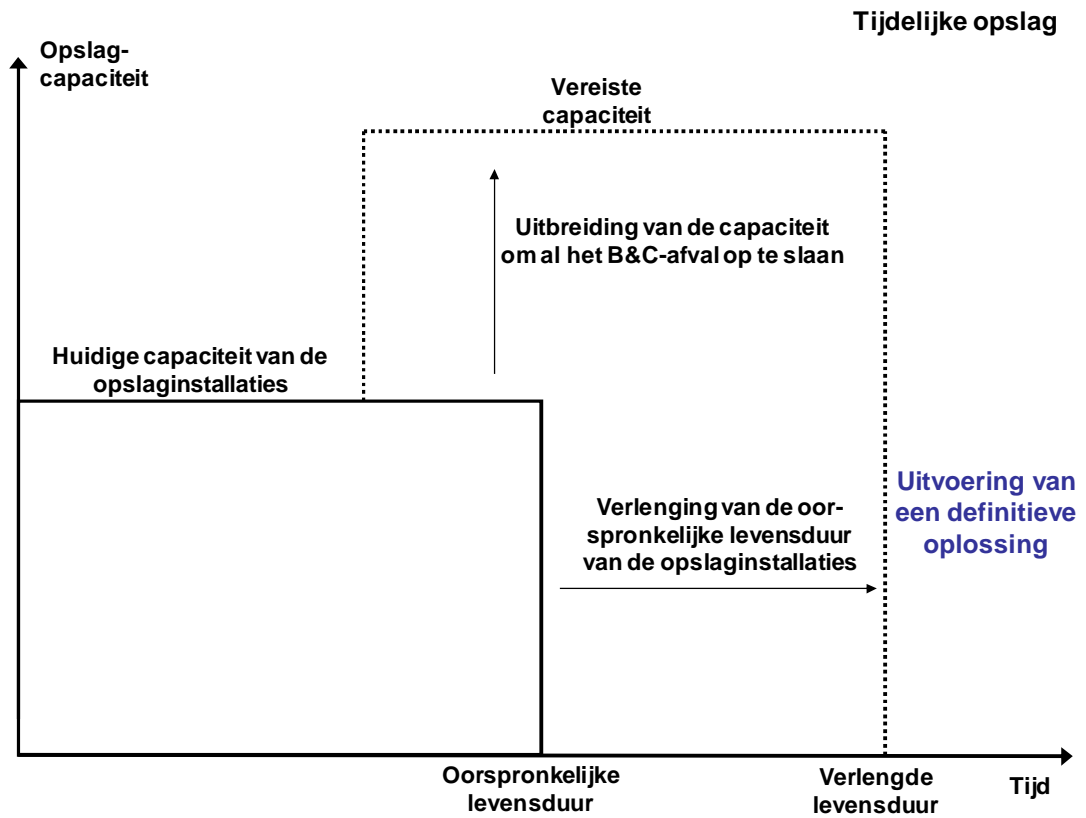
installaties gebruikt zullen moeten worden. Op deze tijdschaal kan het beschikbaar worden van alternatieven voor kernsplijting voor grootschalige energieproductie (bv. kernfusie of alternatieve energiebronnen) niet uitgesloten worden.

Deze beheeroptie vereist bovendien vroeg of laat een nieuwe beslissing over het langetermijnbeheer van het reeds bestaande en voorziene afval, dat niet verder behandeld kan worden in geavanceerde splijtstofcycli. Daarenboven is er ook het afval dat door deze geavanceerde splijtstofcycli onvermijdelijk geproduceerd zal worden en waarvoor het type beheer op lange termijn bepaald moet worden.

7.2.3 De status quo-optie

Deze beheeroptie houdt in dat men **beslist om geen beslissing te nemen** over het langetermijnbeheer; de principebeslissing wordt dus voor onbepaalde tijd uitgesteld.

Deze optie komt in de praktijk neer op het voortzetten van de huidige beheeractiviteiten in de bestaande opslaggebouwen: periodieke controle van de containers, herconditionering van het afval wanneer nodig, controle en onderhoud van de installaties. De duur hiervan wordt beperkt door de levensduur van de huidige installaties (ca. 75 jaar) en de snelheid waarmee ze opgevuld raken. Als de levensduur van de bestaande opslaginstallaties verstreken is of als de hoeveelheid afval te groot zou worden, dan zullen de installaties gerenoveerd moeten worden of zullen er nieuwe opslaginstallaties gebouwd moeten worden. Men kan op dat moment uiteraard ook kiezen voor een beheeroptie die definitief kan worden. Er bestaat internationaal een brede consensus dat het voortzetten van tijdelijke opslag geen oplossing is voor de lange termijn (zie onder andere de genomen beslissingen in Canada (90), Zweden (130), Finland (131) en het Verenigd Koninkrijk (132), (133)).



Figuur 43: Schematische voorstelling van de status quo-optie

In Figuur 44 wordt op hoofdlijnen het tijdsverloop van de status quo-optie weergegeven.

Beslissen om nu niets te beslissen over het langetermijnbeheer – handhaving van de huidige situatie



Figuur 44: Illustratie van het tijdsverloop op hoofdlijnen voor de status quo-optie

Bij de status quo-optie wordt de veiligheid voor mens en milieu gegarandeerd door de conditionering van het afval en door de opslaginstallatie.

De immobilisatiematrix en de verpakking van het afval zorgen voor de insluiting van de radionucliden en andere toxische elementen. De conditionering hangt af van het type afval. Studies in binnen- en buitenland bevestigen dat het haalbaar is om een conditionering uit te voeren die voor een periode tot ca. 100 jaar de insluiting garandeert (86). Daarnaast laat de conditionering ook toe om het afval op een veilige manier terug te nemen als men besluit om de opslag te beëindigen.

De opslaginstallatie beschermt het afval tegen ongunstige externe invloeden zoals aardbevingen, overstromingen en neerstortende vliegtuigen. Het ontwerp van de installatie is aangepast aan het type afval dat er opgeslagen wordt. Voor afval met een grote warmteafgifte (met name bestraalde splijtstof) wordt de koeling gerealiseerd door (natuurlijke) ventilatie of door de colli in water te plaatsen. Onderzoek in binnen- en buitenland wijst uit dat het haalbaar is om de levensduur van bestaande opslaginstallaties te verlengen tot ca. 100 jaar, op voorwaarde dat het onderhoud gedurende deze periode verzekerd blijft (34).

Dit vereist onder andere een periodieke vervanging van de uitrusting (o.a. machines voor plaatsing, ventilatie en controlesysteem); de levensduur hiervan is immers hoogstens een dertigtal jaar. Ook moeten de informatie over de kenmerken van het afval en de technische kennis over het beheer steeds bewaard blijven en doorgegeven worden naar volgende generaties. Tenslotte moeten de nodige financiële middelen beschikbaar blijven.

Tijdelijke opslag van radioactief afval wordt reeds tientallen jaren uitgevoerd in verschillende landen, waaronder België. Bepaalde types afval (bv. bestraalde splijtstof) zouden opnieuw geconditioneerd moeten worden om een veilige opslag (en eventuele terugname) over een periode van 100 jaar te verzekeren (34).

De Belgische opslaggebouwen bevinden zich op de site van Belgoproces in Dessel (gebouwen B127, B129 en B155 voor afval van categorie B en gebouw B136 voor afval van categorieën B en C) en bij de kerncentrales van Doel en Tihange.



Figuur 45: Gebouw B136 (Dessel) voor de opslag van afval van categorieën B en C

De bestaande opslaggebouwen op de site van Belgoproces hebben niet voldoende capaciteit om de totale verwachte hoeveelheid afval van categorie B op te vangen. De capaciteit zou met 3 à 10% uitgebreid moeten worden, naargelang er wel of niet voor opwerking gekozen wordt. In het geval van opwerking zou ook de capaciteit voor afval van categorie C fors uitgebreid moeten worden. Als de bestraalde splijtstof niet opgewerkt wordt, zou de opslagcapaciteit bij de kerncentrales van Doel en Tihange uitgebreid moeten worden.

Er wordt van uitgegaan dat voor de uitbreiding van de capaciteit van de bestaande opslaggebouwen een bijkomende ruimte-inname van ca. 8 hectare nodig is.

Een eventuele beslissing tot overname van UMTRAP door NIRAS zou leiden tot een verdubbeling van de hoeveelheid afval van categorie B (zie paragraaf 2.1). In dat geval zou er nog meer bijkomende opslagcapaciteit nodig zijn.

Ook een verschuiving van afval dat nu als categorie A geïnclassificeerd wordt naar categorie B, ten gevolge van de exploitatievoorwaarden van de oppervlaktebergingsinstallatie te Dessel, kan leiden tot een toename van het volume afval.

In de SEA wordt de status quo-optie beschouwd als het "nulalternatief", d.w.z. de optie die als vergelijkingsbasis dient voor de beoordeling van de effecten van de andere beheeropties. Merk op dat de definitie van een nulalternatief enkel zin heeft voor de korte termijn (ca. 100 jaar). Vroeg of laat (bv. op het moment dat de opslaginstallaties vol zullen zijn) zal men moeten beslissen over het langetermijnbeheer. Het concept "nulalternatief" is dus niet van toepassing op de lange termijn.

Voor meer informatie over de status quo-optie verwijzen we naar (34).

7.3 Strategische keuzes over het langetermijnbeheer in andere landen

Hierna wordt een kort overzicht gegeven van de strategische keuzes van andere landen over het langetermijnbeheer van radioactief afval. Meer details vindt men in Bijlage B.

De wijze waarop men tot de keuze voor een beheeroptie op lange termijn gekomen is (of wil komen), verschilt van land tot land. In alle landen werd (of wordt) de keuze gemaakt op basis van onderzoek en vergelijking van beheeropties, meestal onder de verantwoordelijkheid van de agentschappen voor afvalbeheer (maar met reviewing door de bevoegde overheden, bv. de nucleaire autoriteit).

De besluitvormingsprocessen in de verschillende landen leidden tot gelijkaardige conclusies of bewegen minstens in dezelfde richting: er bestaat internationaal een brede consensus over geologische berging als te verkiezen optie voor het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval (134). Sommige landen hebben dit zelfs in hun wetgeving vastgelegd (Zwitserland (135), (136), (137), Japan (138), Finland (131), Frankrijk (139), (140)). De concrete uitwerking van geologische berging verschilt wel van land tot land, afhankelijk van o.a. de geologie.

Een eerste geologische berging voor afval van categorie B is sinds het einde van de jaren '90 operationeel in een zoutlaag in Carlsbad, New Mexico (Verenigde Staten) (141). Finland is het enige EU-land waar reeds een installatie voor geologische berging gebouwd wordt. Hieraan gingen uitgebreide studies vooraf waarbij verschillende mogelijke sites vergeleken werden (131). De gekozen site (Olkiluoto) ligt in de buurt van een bestaande nucleaire installatie (142). In Zweden werden de voorbije jaren eveneens een aantal mogelijke sites voor geologische berging grondig onderzocht en vergeleken (143), (144). In de loop van de zomer 2009 werd Forsmark geselecteerd, een site die eveneens dicht bij een nucleaire installatie ligt. Frankrijk heeft in 2006 voor geologische berging in een kleilaag gekozen (140) en zeer recent heeft Duitsland het programma voor geologische berging in een zoutkoepel in Gorleben hervat (145).

In Spanje werd eerst gekozen voor langdurige bovengrondse opslag, maar onlangs werd besloten om een geologische berging te ontwikkelen (146). Nederland besloot in 2001 tot

langdurige bovengrondse opslag (147), maar in oktober 2009 werd het onderzoeksprogramma naar geologische berging in de Boomse Klei hervat met het oog op een beslissing over een definitieve beheeroptie in de nabije toekomst (148). Bulgarije en Italië hebben nog geen beslissing genomen over het langetermijnbeheer van radioactief afval.

Tenslotte dient vermeld dat in samenwerkingsverbanden of onderzoek over gedeelde beheeropties (bv. SAPIERR II in de EU) geologische berging ook doorgaans als referentieoptie voor de lange termijn beschouwd wordt (149), (150).

8. OVERZICHT VAN DE ASPECTEN IN DE BEOORDELING

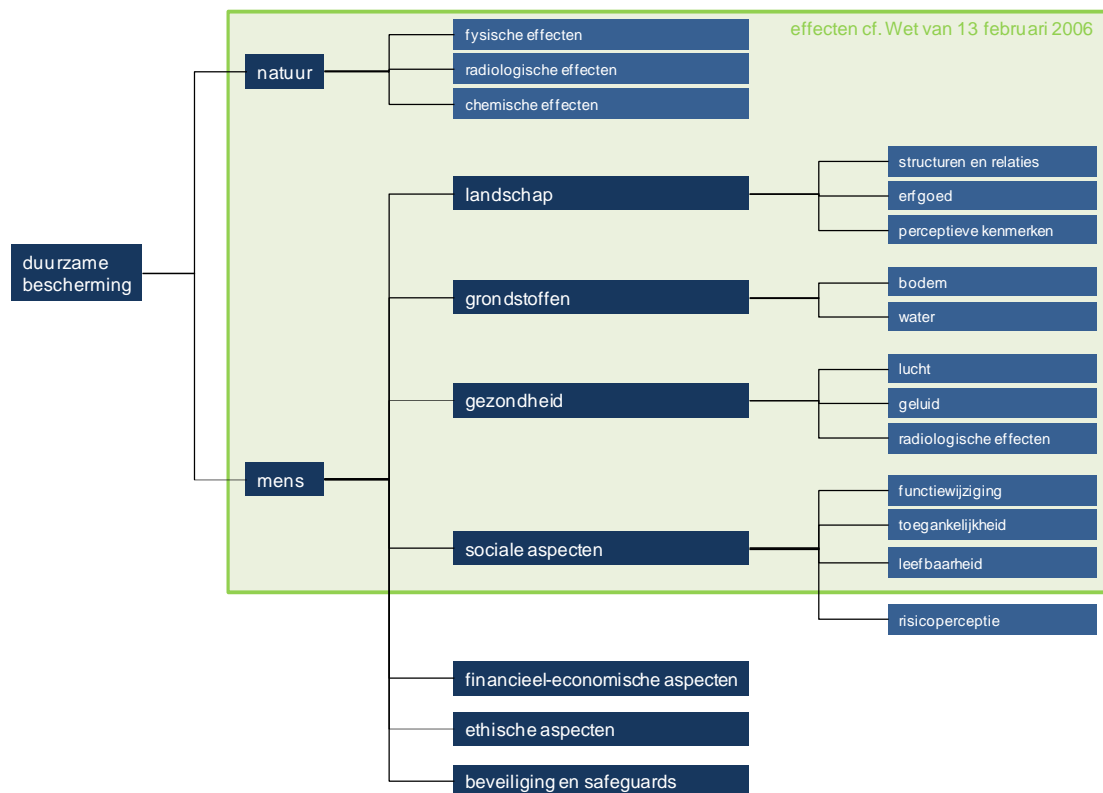
Als aanloop naar de effectbeschrijving en –beoordeling in hoofdstuk 9 wordt hierna een overzicht gepresenteerd van de beoordeelde aspecten voor de korte termijn en de lange termijn.

8.1 Korte termijn

De effectanalyse op de korte termijn heeft als uitgangspunt de eerder vermelde (zie paragraaf 2.3) centrale doelstelling dat de duurzame bescherming van mens en natuur gegarandeerd moet blijven.

Voor de natuur worden de fysische, radiologische en chemische effecten bestudeerd. Deze staan in verband met de biodiversiteit. De mens wordt gekarakteriseerd door de volgende aspecten: landschap, grondstoffen, gezondheid, sociale aspecten, financieel-economische aspecten, ethische aspecten en beveiliging en safeguards.

Deze aspecten omvatten de “klassieke” milieueffectthema's zoals ze ook in Bijlage II van de Wet van 13 februari 2006 voorkomen, maar blijven hier niet toe beperkt. Met name de sociale, financieel-economische en ethische aspecten en beveiliging en safeguards vormen een verbreding van het afwegingskader (zie paragraaf 5.1.1).



Figuur 46: Doelstelling, aspecten en deelaspecten die bij de effectanalyse voor de korte termijn in beschouwing genomen worden

In de onderstaande tabel wordt in detail weergegeven waar de milieueffectthema's uit de Wet van 13 februari 2006 terug te vinden zijn.

Tabel 12: Milieueffectthema's uit de Wet van 13 februari 2006 en (deel)aspecten bestudeerd in deze SEA

Thema's uit de Wet van 13 februari 2006 (Bijlage II, punt 6)	(Deel)aspecten in deze SEA	Paragraaf
Biodiversiteit	Natuur	9.1
Bevolking	Sociale aspecten: functiewijziging	9.5
	Sociale aspecten: toegankelijkheid	9.5
	Sociale aspecten: leefbaarheid	9.5
	Gezondheid: geluid	9.4.2
Gezondheid van de mens	Gezondheid	9.4
Fauna	Natuur	9.1
Flora		
Bodem	Grondstoffen: bodem	9.3.1
Water	Grondstoffen: water	9.3.2
Lucht	Gezondheid: lucht	9.4.1
Klimaatfactoren	Gezondheid: lucht	9.4.1
Materiële goederen	Landschap	9.2
Cultureel erfgoed, met inbegrip van architectonisch en archeologisch erfgoed		
Landschap		

De milieueffectthema's uit de Wet van 13 februari 2006 bevinden zich dus in paragrafen 9.1 tot en met 9.5. De aspecten die een verbreding van het afwegingskader vormen, worden in paragrafen 9.6 tot en met 9.8 behandeld.

8.2 Lange termijn

Voor de effectanalyse op de lange termijn gaan we, net zoals voor de korte termijn, uit van de doelstelling dat de duurzame bescherming van mens en natuur te allen tijde gegarandeerd moet blijven.

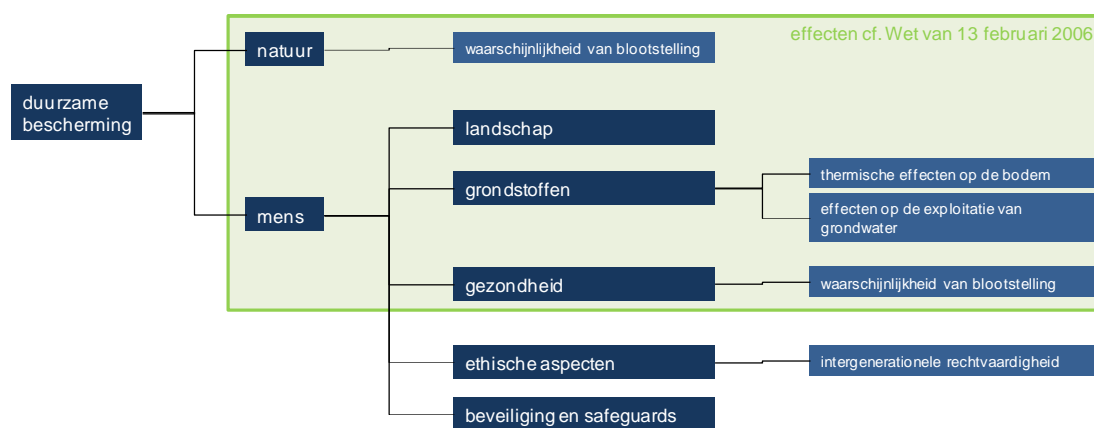
Gegeven de onzekerheid die met de lange termijn samenhangt, zowel voor wat betreft de evolutie van de omgeving als de evolutie van de beheerinstallaties, ziet het beoordelingskader er hier anders uit dan voor de korte termijn. Aangezien we geen idee hebben hoe de maatschappij en de natuurlijke omgeving zullen evolueren binnen de komende tienduizenden jaren, kunnen de effecten niet in detail beschreven worden. We

vangen deze onzekerheid op door bij sommige beoordelingscriteria niet meer te spreken van effecten, maar van de waarschijnlijkheid dat die effecten zich voordoen.

De meest relevante aspecten van de impact op de mens zijn de menselijke gezondheid en de ethische aspecten. De effecten op de menselijke gezondheid worden, zoals hierboven aangegeven, geëvalueerd aan de hand van de waarschijnlijkheid dat ze zich voordoen. Binnen de ethische dimensie is intergenerationele billijkheid het meest relevante beoordelingscriterium.

Ook het aspect beveiliging en safeguards wordt beschouwd als een belangrijk aandachtspunt voor de lange termijn. Verder wordt de thermische impact bestudeerd, een effect dat zich in het geval van passief beheer in het begin van de lange termijn zal voordoen. Ook het effect op de exploitatie van grondwater wordt kort beschreven. Tenslotte wordt er gekeken naar gevolgen van de ruimte-inname op de lange termijn voor het landschap.

Figuur 47 geeft schematisch de aspecten bij de effectbeoordeling voor de lange termijn weer.



Figuur 47: Doelstelling, aspecten en deelaspecten die bij de effectanalyse voor de lange termijn in beschouwing genomen worden



9. **EFFECTBESCHRIJVING EN –BEOORDELING**

In dit hoofdstuk worden de effecten van het Afvalplan op de mens en het milieu beschreven en beoordeeld voor de korte en de lange termijn.

De milieueffectthema's uit de Wet van 13 februari 2006 bevinden zich in paragrafen 9.1 tot en met 9.5 (zie ook Tabel 12). De aspecten die een verbreding van het afwegingskader vormen, worden in paragrafen 9.6 tot en met 9.8 behandeld.

9.1 **Impact op de natuur**

9.1.1 **Fysische effecten**

9.1.1.1 Methodiek

Afbakening van het werkveld

De **doelstelling** van de beschrijving van de niet-radiologische impact op de natuur is als volgt te omschrijven:

- Het beschrijven en waarderen van alle mogelijke milieueffecten die het plan teweeg kan brengen (slechts een aantal hiervan zullen echter van onderscheidend belang zijn voor de verschillende beheeropties)
- Het onderling vergelijken en evalueren van de verschillende beheeropties. Hierbij is niet het maken van keuzes het doel, maar wordt een analyse gemaakt met het oog op:
 - Het rangschikken van de verschillende beheeropties naar hun ecologievriendelijkheid
 - Het stellen van randvoorwaarden en milderende maatregelen

Aangezien de locatie van de ingrepen niet gekend is, is het niet mogelijk om het studiegebied **geografisch af te bakenen**.

Het studiegebied zal in theorie overeenkomen met het gebied waarbinnen zich voor de receptor natuur een effect zal (kunnen) voordoen. Daardoor bestaat het studiegebied minstens uit het volledige plangebied, uitgebreid met zones waarvan de grootte varieert per effectgroep;

- Direct biotoopverlies is meestal te situeren in het plangebied, ten gevolge van rechtstreekse inname van natuur.
- Verstoringseffecten kunnen gesitueerd worden zowel binnen als tot ver buiten het plangebied en worden veroorzaakt door wijzigingen in luchtkwaliteit, geluidsniveau, bodemkwaliteit, waterkwaliteit en –kwantiteit, lichtvervuiling, visuele verstoring, ... De perimeter van het studiegebied voor deze effectgroep wordt daarom gelijkgesteld aan deze van de verstoringseffecten.
- Voor de impact op de ecologische verbindingen beperkt het studiegebied zich niet tot het plangebied: omwille van de netwerkeffecten kunnen de effecten zich potentieel ver uitstrekken.

Globaal wordt het studiegebied bijgevolg bepaald door de grootste van al deze perimeters waarbinnen zich potentieel effecten op fauna en flora kunnen voordoen.

Aangezien de locatie van de ingrepen onbekend is, worden een aantal typeomgevingen beschouwd die in het studiegebied kunnen voorkomen (zie paragraaf 5.3.2):

- Stedelijke of verstedelijkte gebieden
- Landbouwgebieden (akkers en weilanden)
- Natuurgebieden (de volgende natuurtypes zijn mogelijk: waterlopen, stilstaande wateren en moerassen, pioniersmilieus, graslanden, heide- en landduinen, ruigten en zomen, struwelen en mantels, bossen)
- Industriegebieden

Methodiek voor effectbeschrijving en –beoordeling

Voor de **korte termijn** (100 jaar) zullen de volgende effectgroepen geëvalueerd worden:

- Direct natuurverlies
- Verstoring
- Impact op ecologische verbindingen: versnippering en barrièrewerking

Elk van deze effectgroepen is slechts te beoordelen indien men een goed zicht heeft op de locatie waar de inplanting zal plaatsvinden. De niet-radiologische effecten op de natuur kunnen in deze strategische fase bijgevolg het best ingeschat worden aan de hand van een “worst case” benadering of door het beschouwen van een aantal typeomgevingen (zie hoger).

In geval dat de principebeslissing impliceert dat er op termijn een site gekozen wordt voor de bouw van een beheerinstallatie, gaan we ervan uit dat de waardering (bv. biologische waarde) een rol speelt in deze beslissing. We kunnen bijgevolg redelijkerwijze veronderstellen dat de beheerinstallatie niet in de biologisch meest waardevolle gebieden zal terechtkomen. Anderzijds is het waarschijnlijk dat er gebruik gemaakt zal worden van open ruimte, op een zekere afstand van woonkernen.

Voor de bepaling van de mogelijke niet-radiologische effecten op fauna en flora worden een aantal criteria gehanteerd. Per criterium wordt een bepaalde methodiek toegepast. Gezien het grote aantal onbekenden zal deze methodiek grotendeels uit een kwalitatieve beoordeling bestaan. Een overzicht van de mogelijke effecten, criteria, toe te passen methode en effectuitdrukking wordt weergegeven in Tabel 13.

Tabel 13: Toetsingskader voor de beoordeling van de effecten op fauna en flora voor de korte termijn

Effect	Subeffect	Criterium	Methodiek	Eenheid
Direct natuurverlies (direct verlies van ecotopen of leefgebieden)		Oppervlakte (potentieel) waardevol ecotoop dat verloren gaat	Bepalen oppervlakte direct natuurverlies	m ² of ha Kwalitatieve inschatting
Verstoring	Verstoring van fauna door geluid en trillingen	Oppervlakten van ecotopen waarbinnen een bepaald verlies aan broedvogels verwacht wordt	Bepalen oppervlakte van het geluidsverstoord gebied in relatie tot de gevoeligheid ervan	m ² of ha Kwalitatieve inschatting van verstoorde soorten of individuen
	Verstoring van fauna en flora door veranderingen in de luchtkwaliteit	Oppervlakte van gevoelige en kwetsbare vegetaties voor deposities	Bepalen oppervlakte van het gebied met gewijzigde luchtkwaliteit (a.d.h.v. depositiepatroon) in relatie tot de gevoeligheid ervan	m ² of ha Kwalitatieve inschatting van verstoorde soorten of individuen
	Verstoring van vegetaties door wijzigingen in de grondwaterstand	Oppervlakte aan beïnvloede kwetsbare vegetaties (standplaatsanalyse op basis van literatuurgegevens)	Bepalen oppervlakte van het gebied waar zich een wijziging in de grondwaterstand plaatsvindt in relatie tot de gevoeligheid ervan	m ² of ha Kwalitatieve inschatting
	Verstoring via licht	Effect niet kwantificeerbaar: kwalitatieve beschrijving		
Impact op ecologische verbindingen (versnippering en barrièrewerking)		Aantal relaties die doorbroken worden Mate van versnippering afhankelijk van de diersoorten die van de doorgesneden corridors gebruik maken	Inschatting aantal doorbroken verbindingen Inschatting impact op de soorten die gebruik maken van deze verbindingen	Aantal doorkruiste functionele corridors Kwalitatieve inschatting

Significantiekader

Voor de impact op de natuur op **korte termijn** wordt er een globaal beoordelingskader opgesteld aan de hand van een zevendelige schaal om de actuele en ook toekomstige impact te beoordelen.

Een beoordelingskader is gebiedsafhankelijk, sterk gerelateerd met de kenmerken van het effect (duur, invloedssfeer, intensiteit, omkeerbaarheid, herstelbaarheid, ...) en soms afhankelijk van de publieke aanvaardbaarheid. Aangezien de effecten voornamelijk kwalitatief beoordeeld worden, is het niet mogelijk een concreet en kwantitatief beoordelingskader op te maken. De kwalitatieve effectbeoordeling zal rekening houden met de aspecten kwetsbaarheid, omvang van de impact en duur van de impact.

- Kwetsbaarheid: mate waarin het plan een impact heeft op zones met een hoge natuurwaarde
- Omvang van de impact: mate waarin het plan het voortbestaan van bepaalde ecotopen of populaties op regionaal of lokaal niveau in het gedrang brengt

- Duur van de impact: mate waarin het plan permanent of tijdelijk verlies van ecotopen of populaties als gevolg heeft. Daarbij dient “tijdelijk” geïnterpreteerd te worden als een effect dat enkel bestaat tijdens de aanleg van de site.

Voor de kwalitatieve beoordeling wordt er gebruik gemaakt van de onderstaande schaal.

Tabel 14: Scoretabel voor effecten op fauna en flora voor de korte termijn

Score	Effect
- - / + + +	Sterk negatief / positief effect
- - / + +	Matig negatief / positief effect
- / +	Gering negatief / positief effect
0	Geen of verwaarloosbaar effect

Op de **lange termijn** verschillen de beheeropties aanzienlijk. Passief beheer (geologische berging of berging in diepe boorgaten) maakt het in principe mogelijk om op termijn de site minstens gedeeltelijk te ontruimen en een nieuwe bestemming te geven. Actief beheer (eeuwigdurende opslag) vraagt op termijn bijkomende ruimte, o.m. ten gevolge van de noodzaak om de gebouwen na enkele honderden jaren te vervangen. Het effect blijft vergelijkbaar met de impact die op korte termijn aanwezig is.

Om het effect op lange termijn te kunnen inschatten, is de vraag aan de orde of er een relatie bestaat tussen de beheeroptie en de natuurlijke ontwikkeling. Deze vraag kan enkel zeer beknopt, kwalitatief beantwoord worden.

9.1.1.2 Beschrijving van de effecten voor de korte termijn

Direct verlies van ecotopen

De aanleg van de installaties leidt tot direct ecotoopverlies in de omgeving waarin ze worden ingeplant. Bepalend hiervoor is de effectieve ruimte-inname (voor opslaggebouwen, dienstgebouwen, infrastructuur, werfwegen, stockage van werfmateriaal, ...) van de verschillende beheeropties. Voor de grootte-ordes van ruimte-inname wordt er verwezen naar Tabel 25.

- Berging in diepe boorgaten heeft van alle beheeropties het grootste ruimtebeslag, tenminste op het moment dat alle boorgaten aangelegd zijn. Voor de aanlegfase kan aangenomen dat in de volledige zone een verlies aan ecotopen kan optreden. Het is echter onwaarschijnlijk dat in de volledige zone geen ecotoopherstel (voor bepaalde natuurtypes) of realisatie van nieuwe ecotopen mogelijk is. In de zones waar na de aanleg geen constructies of infrastructuur meer aanwezig zijn, kan de natuur hersteld worden.
- Van eeuwigdurende opslag, geologische berging en de niet-definitieve beheeropties kan aangenomen worden dat zij een vrij gelijkaardig ruimtebeslag kennen, dat echter in belangrijke mate kleiner is dan dat van de berging in diepe boorgaten. Tijdens de aanlegfase zal in het volledige plangebied een ecotoopverlies kunnen optreden. Er kan aangenomen worden dat achteraf in de restructies nog ecotoopherstel of realisatie van nieuwe ecotopen mogelijk is.

- De ruimte-inname voor de status quo-optie is beduidend lager dan die van de overige opties. Het direct ecotoopverlies is hier beperkt.

Niet-onderscheidend geldt voor alle beheeropties dat de grootte van de impact ook afhangt van de typeomgeving waarin het plan uitgevoerd wordt.

- De impact van verlies aan ecotopen wordt als beperkt tot verwaarloosbaar beschouwd in een industriële omgeving, een stedelijke omgeving en een zeer intensief, grootschalig landbouwgebied. Deze gebieden hebben een lage natuurwaarde, waardoor de uitvoering van het plan geen belangrijke verandering van het voorkomen van soorten of de biodiversiteit, noch belangrijke schade aan het ecosysteem, soorten en populaties teweegbrengt.
- De impact van verlies aan ecotopen wordt als matig negatief beschouwd in een extensief, kleinschalig landbouwgebied dat nog in belangrijke mate gekenmerkt wordt door kleine landschapselementen (houtkanten, holle wegen, poelen, grachten, ...). De uitvoering van het plan betekent zeker op korte termijn een onomkeerbaar verlies van ecotopen die een belangrijke natuurbehoudswaarde hebben.
- De impact van verlies aan ecotopen wordt als sterk negatief beschouwd in natuurgebieden. De uitvoering van het plan betekent zeker op korte termijn een onomkeerbaar verlies van ecotopen met een bijzonder hoge natuurwaarde. Gebieden en/of ecotopen die beschermd worden op gewestelijk niveau (natuur- en bosreservaten, natuur- en bosgebieden aangeduid in geldende plannen van aanleg, ...) of op Europees niveau worden als het meest kwetsbaar beschouwd. Gezien de omvang van het plan is het ook het meest waarschijnlijk dat bij ecotoopverlies in deze zones het voortbestaan van ecotopen of populaties op regionaal niveau in het gedrang komt.

Verstoring van fauna door geluid en trillingen

Voortgaande op de bevindingen uit de discipline geluid en trillingen (zie paragraaf 9.4.2) kan men stellen dat, gezien de aard van het plan, voornamelijk de **aanleg** werkzaamheden en het transport gepaard zullen gaan met geluidsemissies. Deze geluidsemissies zijn steeds tijdelijk. Gezien de duur van de aanleg kan voor de verstoring van fauna echter moeilijk van een tijdelijk effect gesproken worden. De mate van de impact op de fauna zal enerzijds afhangen van de gekozen beheeroptie en anderzijds van de typeomgeving waarin de geluidsverstoring zich voordoet.

Op basis van de kwalitatieve inschatting m.b.t. geluid (zie paragraaf 9.4.2) kan gesteld worden dat geluidsversturende activiteiten bij langdurige of eeuwigdurende opslag aanleiding zullen geven tot hogere geluidsemissies met een grotere impact op de fauna als gevolg.

Bij geologische berging of berging in diepe boorgaten worden kleinere geluidsemissies verwacht dan voor eeuwigdurende opslag. Het geluidsversturende effect van geologische berging en berging in diepe boorgaten op de fauna is bijgevolg kleiner dan bij de bovengrondse beheeropties. Volgens de analyse m.b.t. geluid is er op basis van de huidige informatie geen onderscheid te maken tussen geologische berging en berging in diepe boorgaten. Deze worden naar geluidsversturende impact dan ook gelijk beoordeeld.

De mate van hinder zal afhankelijk zijn van de typeomgeving. In landbouw- en natuurgebieden is het omgevingsgeluid globaal beperkter dan in stedelijke of industriële gebieden. In de landbouw- en natuurgebieden komt bijgevolg ook de meest geluidsverstoringgevoelige fauna voor.

Een effect van geluidsverstoring wordt globaal als beperkt beschouwd in een stedelijke of industriële omgeving. Een geluidsverstoring effect wordt als matig negatief beschouwd in landbouw- en natuurgebieden buiten het broedseizoen (maart t.e.m. juli) en als sterk negatief tijdens het broedseizoen.

Ook tijdens de **exploitatie** van de opslag- of bergingsinstallatie kan er nog een beperkte geluidsverstoring zijn. Bij langdurige of eeuwigdurende opslag en bij de status quo-optie zijn de emissies afkomstig van onderhoudswerkzaamheden en van de verwarmingsinstallaties voor de randvoorzieningen. Deze emissies zijn beperkt en beïnvloeden de omgeving slechts lokaal.

Bij de passieve beheeropties (geologische berging en berging in diepe boorgaten) zijn er nog geluidsemissies te verwachten tijdens de periode waarbij de galerijen en de schachten (resp. de boorgaten) opgevuld worden. Zowel de aanvoer van het materiaal als het manipuleren ervan op de site kunnen een impact veroorzaken op de omgeving. De activiteiten zijn evenwel niet dermate uitgesproken dat hierbij aanzienlijke effecten te verwachten zijn op het geluidsklimaat in de omgeving. Er kan verwacht worden dat er voor deze passieve beheeropties op lange termijn geen geluidsverstoring meer optreedt.

Een effect van geluidsverstoring wordt hier als beperkt beschouwd in een stedelijke of industriële omgeving. Het geluidsverstoring effect wordt buiten het broedseizoen (maart t.e.m. juli) slechts als beperkt negatief beschouwd in landbouw- en natuurgebieden. Tijdens het broedseizoen wordt het als matig negatief beschouwd.

Verstoring van fauna en flora door wijzigingen in de luchtkwaliteit

Uit de analyse van de impact op de lucht (paragraaf 9.4.1) volgt dat elke beheeroptie in de aanlegfase aanleiding zal geven tot emissies. Vooral grondverzet, afvoer van afgegraven materiaal en aanvoer van grondstoffen (o.a. bentoniet en beton of zand, cement en grind) kunnen hierbij duidelijk aantoonbare effecten veroorzaken. Deze emissies zijn evenwel telkens slechts tijdelijk. Tijdelijk bij aanleg en bij periodiek herconditioneren.

Op basis van een kwalitatieve inschatting kan gesteld worden dat langdurige of eeuwigdurende opslag aanleiding zal geven tot hogere emissies dan de overige beheeropties. Tussen geologische berging en berging in diepe boorgaten kunnen mogelijk wel beperkte verschillen qua emissies optreden, maar er zijn in dit stadium van de beoordeling geen gegevens beschikbaar die toelaten om een onderscheid te maken.

Het effect van de gewijzigde luchtkwaliteit op fauna en flora is globaal gezien beperkt door de tijdelijkheid van de impact. Er wordt daarom aangenomen dat de beperkte verschillen tussen de emissies voor de verschillende beheeropties weinig significant zijn. Het effect wordt voor alle beheeropties als slechts beperkt negatief beoordeeld.

Verstoring van vegetaties door wijzigingen in de waterhuishouding

Uit de beschrijving van de impact op water (zie paragraaf 9.3.2) volgt dat de verschillende beheeropties waarbij het beheer aan de oppervlakte plaatsvindt (eeuwigdurende opslag en langdurige opslag) qua effect op grondwaterpeil en -stroming vergelijkbaar zijn met de status quo-optie. Er is geen permanente invloed op de grondwaterstand en -stroming. Bijgevolg zijn secundaire effecten op de vegetatie ook uitgesloten.

Er kan echter ook geopteerd worden voor een opslag net onder de oppervlakte. In dat geval kan er wel een significant effect optreden op de waterhuishouding. Bij ondoorlatende of weinig doorlatende gastformaties zal de impact verwaarloosbaar zijn, terwijl in watervoerende pakketten een evaluatie aan de hand van een wiskundig grondwatermodel

uitsluitel zal moeten brengen over de omvang van de impact. Bijgevolg is ook een significante impact op de aanwezige vegetatie mogelijk.

Voor geologische berging en berging in diepe boorgaten zal er in principe geen significant effect optreden aangezien de toegangsschachten of boringen beperkt zijn in aantal en in diameter en aldus een beperkt hydraulisch obstakel vormen in de bovenliggende watervoerende lagen. Vandaar dat de impact als verwaarloosbaar beschouwd kan worden en er ook geen verstoring van vegetaties optreedt.

Verstoring van fauna en flora door licht

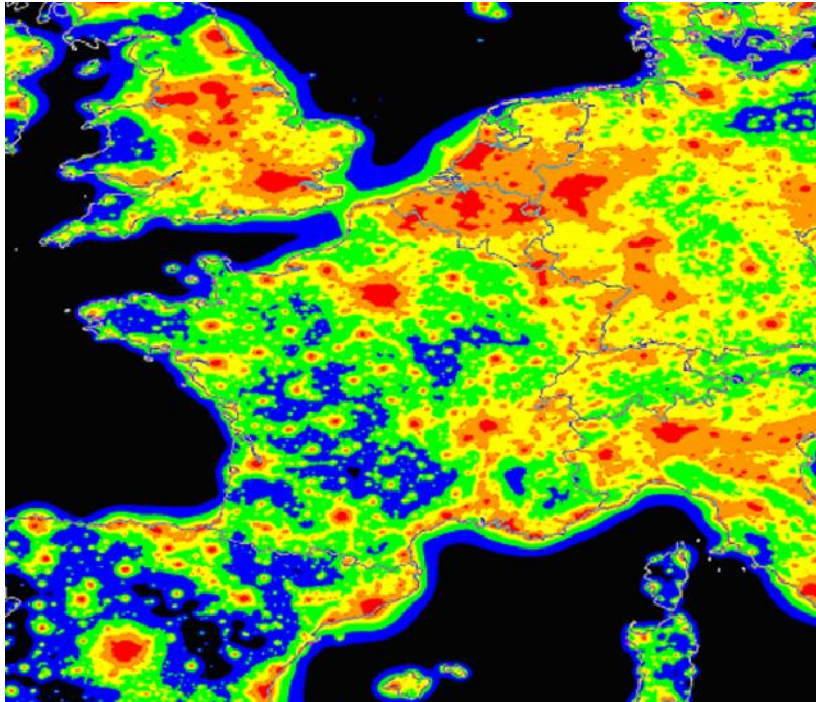
Lichthinder is de overlast die bij de fauna veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van kunstlicht (rechtstreekse verblinding, versturende factor bij het verrichten van avondlijke of nachtelijke activiteiten, ...).

De impact op fauna is hoofdzakelijk verbonden met een versnippering en beïnvloeding van hun leefgebied en een verstoring van het bioritme. Concreet zijn de belangrijkste effecten van lichthinder voor fauna de volgende (151):

- Afname van de populatie door barrièrewerking
- Sterfte als gemakkelijke prooi
- Aanrijdingen met wegverkeer of aanvaringen met wegverlichting door aantrekking
- Desoriëntatie of onaangepast gedrag
- Aantasting of mislukking van de voortplanting door desynchronisatie of door conditievermindering
- Vroegtijdig uit winterslaap komen
- Verlate wegtrek

Hoewel er geen concrete voorstelling gemaakt kan worden over de aanwezige fauna in de omgeving van de te realiseren beheeroptie, is het toch realistisch om aan te nemen dat er een groot aantal soorten (insecten, kleine zoogdieren, vogels, ...) in de omgeving voorkomen die gevoelig zijn voor visuele verstoring. Het voorkomen van gevoelige soorten is immers relevant in elke typeomgeving, zowel in verstedelijkte en industriegebieden als in landbouw- en natuurgebieden.

Figuur 48 (152) toont dat er momenteel reeds een aanzienlijke verstoring door licht aanwezig is in België, zeker in vergelijking met de buurlanden.



Figuur 48: Kunstmatige hemelluminantie (1998-2000) als percentage van de natuurlijke hemelluminantie

De niveaus zijn weergegeven als fractie van de natuurlijke hemelluminantie: zwart < 11%, blauw 11-33%, groen 33-100%, geel 100-300%, oranje 300-900%, rood > 900%.

Daarnaast kan aangenomen worden dat de grootte van het effect evenredig is met de ruimte-inname, of toch minstens met het aandeel van bovengrondse constructies en infrastructuur.

Indien aangenomen wordt dat enkel alle gebouwen en infrastructuur verlicht worden, dan scoren alle beheeropties in grootteorde nagenoeg gelijk. Het effect wordt dan als matig negatief beschouwd in landbouw- en natuurgebieden en als beperkt negatief in verstedelijkte en industriegebieden. De status quo-optie kent een beperktere verstoring.

Indien echter aangenomen wordt dat het volledige terrein verlicht wordt, scoort de berging in diepe boorgaten beduidend negatiever. Het effect hiervan wordt als significant negatief beoordeeld in landbouw- en natuurgebieden en als beperkt negatief in verstedelijkte en industriegebieden (aangezien verwacht wordt dat deze al in grote mate verlicht zijn in de huidige toestand). Met uitzondering van de status quo-optie zijn de overige beheeropties in dit geval als gelijkwaardig te beoordelen. Hoewel het beperkter is, wordt het effect ook hier als significant negatief beoordeeld in landbouw- en natuurgebieden en als beperkt negatief in verstedelijkte en industriegebieden.

Impact op ecologische verbindingen

Versnippering (of fragmentering) wordt gedefinieerd als het verdelen van het leefgebied van planten- en diersoorten (habitat, biotoop) in kleinere eenheden die gescheiden worden door ongeschikte gebieden. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat een gebied al of niet geschikt is voor een bepaalde soort.

De effecten van versnippering die optreden bij de inrichting van het terrein kunnen een gevolg zijn van enerzijds oppervlakteverkleining (bv. afname van het aantal individuen, toename van de verhouding omtrek / oppervlakte waardoor de randeffecten vergroten) en anderzijds een verhoogde weerstand (bv. beperking van natuurlijke bewegingen van organismen tussen ecotopen, afname van de vestigingskans in lege biotopen, ...).

- Voor wat betreft de oppervlakteverkleining kan verwezen worden naar de bespreking van de effectgroep direct ecotoopverlies, die hiermee overeenstemt.
- Verhoogde weerstand: de inrichting van het terrein heeft een beperking van de natuurlijke bewegingen van organismen als gevolg. Er kan verondersteld worden dat de kans op verstoring van de natuurlijke bewegingen toeneemt met de oppervlakte die ingenomen wordt door de beheeroptie. Avifauna en insecten zijn voldoende mobiel, waardoor hun migratiemogelijkheden in mindere mate beperkt worden. Voor minder mobiele soorten betekent de aanleg van het terrein wel een belangrijke barrière.

Niet-onderscheidend geldt voor alle beheeropties dat de grootte van de impact ook afhangt van de typeomgeving waarin het plan uitgevoerd wordt. Het effect wordt als sterk negatief beschouwd in extensieve landbouw- en natuurgebieden, als matig negatief in intensieve landbouwgebieden en als beperkt negatief in verstedelijkte en industriegebieden.

Hierbij moet nog vermeld worden dat verschillende soorten verschillende eisen kunnen stellen aan hun leefgebied. Deze eisen zijn ruimtelijk niet altijd te combineren. Welke maatregelen precies het meeste effect hebben, is afhankelijk van de populatiedynamische kenmerken van een soort. Dit vereist een uitgebreide ecologische kennis van het gebied, die in dit geval niet voorhanden is.

9.1.1.3 Beoordeling van de effecten voor de korte termijn

In Tabel 15 wordt een overzicht gegeven van de beoordeling van de effecten. Het onderscheid volgens typeomgeving wordt als volgt aangeduid:

- I: industriegebied, stedelijk gebied of intensief landbouwgebied
- L: extensief landbouwgebied
- N: natuurgebied

Tabel 15: Beoordeling van de fysische effecten op fauna en flora voor de korte termijn

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Verlies van ecotopen		I: - L: -- N: ---	I: - L: -- N: ---	I: - L: -- N: ---	I: - L: -- N: ---	I: 0 L: -- N: ---
Verstoring door	geluid	I: 0 tot - L en N buiten broedseizoen: --- L en N tijdens broedseizoen: ---	I: 0 tot - L en N buiten broedseizoen: -- L en N tijdens broedseizoen: ---	I: 0 tot - L en N buiten broedseizoen: -- L en N tijdens broedseizoen: ---	I: 0 tot - L en N buiten broedseizoen: --- L en N tijdens broedseizoen: ---	I: 0 tot - L en N buiten broedseizoen: -- L en N tijdens broedseizoen: ---
	gewijzigde luchtkwaliteit	Bovengronds: 0 tot - Ondergronds: 0	0	0	Bovengronds: 0 tot - Ondergronds: 0	Bovengronds: 0 tot - Ondergronds: 0
	gewijzigde waterhuishouding	Bovengronds: 0 tot - Ondergronds: 0	0	0	Bovengronds: 0 tot - Ondergronds: 0	Bovengronds: 0 tot - Ondergronds: 0
	verlichting	I: - L en N: ---	I: - L en N: ---	I: - L en N: ---	I: - L en N: ---	I: 0 tot - L en N: --
Versnippering		I: - L: -- N: ---	I: - L: -- N: ---	I: - L: -- N: ---	I: - L: -- N: ---	I: 0 L: -- N: ---

De effecten hangen af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Hun omvang kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

9.1.1.4 Beschrijving en beoordeling van de effecten voor de lange termijn

Om het effect op lange termijn te kunnen inschatten, is de vraag aan de orde of er een relatie bestaat tussen de beheeroptie en de natuurlijke ontwikkeling.

- Bij passief beheer zal er op lange termijn in principe een nabestemming aan het terrein gegeven kunnen worden, waarbij eventueel een natuurlijke ontwikkeling mogelijk is.
- Bij actief beheer zullen permanent gebouwen en infrastructuur aanwezig blijven aan de oppervlakte. Dit staat een volledige herbestemming (naar bijvoorbeeld een natuurlijke ontwikkeling) in de weg.

Wat de effectieve impact is op de natuur op lange termijn is echter onmogelijk in te schatten, want dit is afhankelijk van een aantal momenteel niet gekende aspecten (klimaat, beleid, ...). Zoals hoger beschreven hypothekeken de passieve beheeropties de mogelijkheid tot een natuurlijke ontwikkeling of herbestemming echter niet, terwijl dit voor actief beheer wel het geval is.

9.1.2 Radiologische effecten

9.1.2.1 Methodiek

Criterium

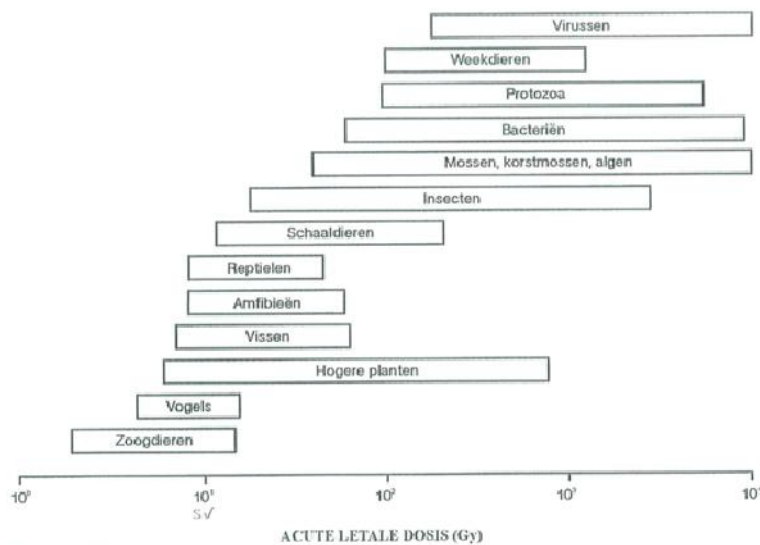
Het criterium voor de evaluatie van de effecten op fauna en flora ten gevolge van blootstelling aan radioactieve straling is het geabsorbeerde dosisdebiet. De geabsorbeerde dosis is een fundamentele grootheid in de dosimetrie: het is de hoeveelheid stralingsenergie die geabsorbeerd wordt per kg materie. De eenheid hiervan is Joule per kilogram of Gray. Er wordt hierbij verondersteld dat de geabsorbeerde energie uniform verdeeld wordt over het organisme. Het geabsorbeerde dosisdebiet is de energie geabsorbeerd per tijdseenheid, voor fauna en flora meestal uitgedrukt in microgray per uur ($\mu\text{Gy h}^{-1}$). Om de verschillende biologische impact verbonden met de verschillende stralingsvormen (gamma, bèta, alfa) in rekening te brengen, wordt er vaak een gewichtsfactor ingevoerd voor de geabsorbeerde dosis.

De radiologische impact van een beheerinstallatie op het milieu wordt gekarakteriseerd door fluxen en/of concentraties van radionucliden die in het leefmilieu kunnen terechtkomen. In radiologische veiligheidsstudies wordt nagegaan of deze grootheden vergelijkbaar zijn met fluxen en concentraties die natuurlijk voorkomen in het milieu en of de berekende impact een aantasting van het milieu met zich kan meebrengen. Voor de radiologische impact wordt het risico voor het leefmilieu berekend aan de hand van een specifieke veiligheidsindicator, het effectieve dosisdebiet, uitgedrukt in microgray per uur ($\mu\text{Gy h}^{-1}$). De radionuclidenconcentraties in het milieu worden omgezet in het effectieve dosisdebiet, een grootheid die het milieurisico van ioniserende stralingen uitdrukt, vermenigvuldigd met een wegingsfactor die rekening houdt met de verschillende stralingsvormen en de mogelijke blootstellingwegen van de beschouwde species.

Voor elk van de beheeropties zal de (waarschijnlijkheid van) blootstelling aan radioactieve straling geëvalueerd worden op korte en lange termijn. Er wordt verwezen naar relevante studies over de impact op het leefmilieu, indien deze voorhanden zijn. Waar mogelijk wordt er een beperkte scopingberekening gemaakt. Ook zal er indien nodig verwezen worden naar radiologische impactstudies voor de mens.

Significantiekader

De effecten van voldoende hoge stralingsdosis op fauna zijn abnormale ontwikkeling, wondvorming, verminderd voortplantingsvermogen, kanker, sterfte en genetische effecten. Voor flora kunnen voldoende hoge doses een abnormale vorm en structuur, dood en genetische veranderingen veroorzaken (153). Over het algemeen hebben complexere organismen een hogere stralingsgevoeligheid dan eenvoudige organismen. Langlevende organismen zijn meestal stralingsgevoeliger dan kortlevende organismen. Een schematische voorstelling van de radiologische impact op verschillende levensvormen vindt men in de onderstaande figuur (154).



Figuur I.3. Spreiding in stralingsgevoeligheid voor acute letale doses voor grote groepen organismen (UNSCEAR, 1996). *Stralingsdoses tussen 1 en 10 kGy worden op industriële schaal toegepast voor de behandeling van bepaalde voedingsmiddelen zoals kippenvlees, garnalen, gedroogde vruchten en specerijen. Het steriliseren van medisch wegwerpmateriaal is ook een courante praktijk in België.*

Figuur 49: Stralingsgevoeligheid van organismen

Door diverse (inter)nationale organisaties en expertengroepen (bv. IAEA (155), UNSCEAR (154), Garnier-Laplace en Gilbin (156), ICRP (157)) zijn gegevens over de effecten van straling of van blootstelling aan radionucliden op fauna en flora verzameld en geëvalueerd met de bedoeling om drempelwaarden af te leiden. De wijze waarop drempelwaarden worden afgeleid, hun interpretatie en het niveau van bescherming (individueel, populaties, ecosystemen) kunnen hierdoor verschillen. In een regelgevende context beoogt de milieubescherming het beschermen van populaties van species. De meeste numerieke drempelwaarden hebben dan ook de bedoeling om populaties te beschermen. Om drempelwaarden af te leiden die relevant zijn op het niveau van de populatie moeten in de analyse enkel effecten meegenomen worden die een directe relevantie hebben op de populatiedynamiek.

Door het IAEA (155) en de UNSCEAR (154) worden drempelwaarden van $40 \mu\text{Gy h}^{-1}$ voor landdieren en $400 \mu\text{Gy h}^{-1}$ voor landplanten en aquatische organismen voorgesteld, afgeleid uit beschikbare studies over effectdata. Er dient evenwel opgemerkt te worden dat er weinig

informatie gegeven is over welke studies beschouwd werden bij het bepalen van deze parameters. Een belangrijk gegeven hierbij is ook dat de drempelwaarden niet expliciet refereren naar effecten op populatieniveau, met formuleringen als “maximaal blootgesteld individu”, “meest blootgesteld individu” of “een fractie van de individuen”. Daarenboven worden deze formuleringen niet consistent gebruikt.

UNSCEAR (158) beoordeelde de sinds 1996 verkregen effectdata en besloot "*Overall, the Committee concluded that chronic dose rates of less than 100 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ to the most highly exposed individuals would be unlikely to have significant effects on most terrestrial animal communities and that maximum dose rates of 400 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ to a small proportion of the individuals in aquatic populations of organisms would not have any detrimental effect at the population level*".

ICRP (157) beveelt het gebruik van Derived Consideration Reference Levels (DCRL) aan voor een aantal referentiedieren en -planten (RAP: Reference animals and plants). Deze referentieniveaus zijn bedoeld als referentiepunten om een mogelijk effect van ioniserende straling op fauna en flora te evalueren. De DCRL bepalen dosisdebietintervallen waarbinnen er een zekere waarschijnlijkheid is van een mogelijk schadelijk effect van ioniserende straling voor de betreffende referentiebiotacategorieën (RAP). Deze referentieniveaus werden afgeleid op basis van de beschikbare studies over effectdata voor de verschillende RAPs. DCRLs kunnen sterk variëren naargelang de beschouwde RAP, gaande van 4-40 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ voor bv. zoogdieren tot 400-4000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ voor bv. invertebraten. De ICRP (157) geeft geen interpretatie van hoe effecten geobserveerd op het individuele niveau zich kunnen uiten op het niveau van de populatie. De drempelwaarden van de ICRP (157) zijn dus ook eerder verbonden met het individu dan met de populatie.

De drempelwaarden voorgesteld in het EC-ERICA-project (156), (159) en het EC-PROTECT-project (160) werden afgeleid met behulp van methoden die gebruikt worden voor chemische contaminanten (161). Gebaseerd op chronische blootstellingsstudies werd een dosisdebiet EDR_{10} afgeleid. Deze EDR_{10} waarde (EDR : Effective Dose Rate) is het effectieve dosisdebiet dat resulteert in 10% van het effect voor een gegeven species.

Via een speciesgevoeligheidsdistributieanalyse (SSD: species sensitivity distribution) werd dan het dosisdebiet HDR_5 (HDR : Hazardous Dose Rate) bepaald, waarop al dan niet een veiligheidsfactor werd toegepast. De HDR_5 -waarde wordt gedefinieerd als het dosisdebiet dat voor 5% van al de species resulteert in minstens 10% van het effect. Een generische drempelwaarde PNEDR (Predicted No Effect Dose Rate) van 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ werd afgeleid onder het ERICA-project. Deze PNEDR wordt beschouwd als de drempelwaarde beneden dewelke de structuur en de functies van generische ecosystemen (inclusief alle populaties) beschermd worden. Situaties waarvoor de geschatte dosisdebieten lager zijn dan de PNEDR mogen dus beschouwd worden als niet resulterend in een effect op populatie- of ecosystemniveau. De PNEDR is toepasbaar als drempelwaarde voor additionele blootstelling, m.a.w. in surplus tot de achtergrondstraling. De ERICA-referentiewaarde is zeker niet bedoeld als limiet of actieniveau.

PROTECT stelt ook een generische drempelwaarde van 10 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ voor, maar geeft bijkomend ook een aantal drempelwaarden voor bepaalde organismegroepen: 2 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ voor vertebraten, 200 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ voor invertebraten en 70 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ voor planten.

Uit het bovenstaande blijkt dat de drempelwaarden aanbevolen door de diverse (inter)nationale organisaties sterk variëren: van 4 tot 4000 $\mu\text{Gy h}^{-1}$. De natuurlijke achtergrond dosisdebieten voor fauna en flora variëren duidelijk minder sterk, namelijk tussen 0,07 en 6 $\mu\text{Gy h}^{-1}$ (162), (163). De voorgestelde drempelwaarden kunnen ook vergeleken worden met de oorspronkelijke effectdata. De laagste EDR_{10} die in de

PROTECT-database voor het afleiden van de drempelwaarden geregistreerd werden, waren $710 \mu\text{Gy h}^{-1}$ voor planten, $1000 \mu\text{Gy h}^{-1}$ voor invertebraten en $3,6 \mu\text{Gy h}^{-1}$ voor vertebraten.

Het risico van radiologische blootstelling voor fauna en flora voor de verschillende beheeropties zou het best op kwantitatieve wijze bepaald worden door vergelijking van het geschatte dosisdebiet met een drempelwaarde, bv. de PNEDR-drempelwaarde van $10 \mu\text{Gy h}^{-1}$, zoals voorgesteld werd in de Europese ERICA- en PROTECT-projecten.

Voor de meeste van de te evalueren beheeropties beschikken we echter niet over voldoende informatie om een kwantitatieve inschatting van de radiologische blootstelling mogelijk te maken. Verder zijn er een aantal mogelijk destabiliserende factoren die de kans op een significante blootstelling verhogen. Daarom zullen de verschillende beheeropties vergeleken worden op basis van de waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling. Op basis van de hierboven geciteerde literatuur hebben we een significantiekader uitgewerkt, dat weergegeven wordt in de onderstaande tabel.

Tabel 16: Significantiëkader voor de radiologische effecten op fauna en flora

Dosisdebiet	Waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling
$<10 \mu\text{Gy h}^{-1}$	Hoog
$10-100 \mu\text{Gy h}^{-1}$	Vrij hoog
$100-400 \mu\text{Gy h}^{-1}$	Matig
$>400 \mu\text{Gy h}^{-1}$	Laag

Bij gebrek aan informatie over de locatie van de beheersite worden verschillende typeomgevingen beschouwd (stedelijk gebied, industriegebied, landbouwgebied, natuurgebied – zie paragraaf 5.3.2). De waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling zal in het algemeen hoger zijn in de gebieden met een sterke antropogene invloed (stedelijk en industriegebied) dan in landbouwgebieden en natuurgebieden. Voor natuurgebieden is de waarschijnlijkheid van impact op de biodiversiteit en op beschermde soorten hoger dan voor landbouwgebieden.

Er is geen rechtsreeks verband tussen de locatie van een ondergrondse berging en de omgeving waar de meest uitgesproken impact van de naar de biosfeer gemigreerde radionucliden zich op lange termijn voordoet. Bovendien kunnen de typeomgevingen voor een gegeven locatie op korte en lange termijn veranderen. Het is dus de vraag of de typeomgevingen een significant verschil zullen maken in de beoordeling van de verschillende beheeropties. Cijfermatige onderbouwing is er zeker niet. Algemeen kan men stellen dat de waarschijnlijkheid van significante radiologische blootstelling op de omgeving het hoogst is voor natuurgebieden, gevolgd door landbouwgebieden en het laagst is voor industriële en stedelijke gebieden.

9.1.2.2 Beschrijving van de effecten voor de korte termijn

Algemeen

Op korte termijn (100 jaar) kan het leefmilieu worden blootgesteld aan radioactieve straling via routinelozingen, ten gevolge van de natuurlijke degradatie van de beheerinstallaties of

ten gevolge van ongevallen (bv. vliegtuigimpact, terroristische aanslag, brand). Voor alle beheeropties die beschouwd worden, is er een permanente (status quo-optie, niet-definitieve beheeropties, eeuwigdurende opslag) of een initiële (passieve beheeropties) bovengrondse activiteit, die bestaat uit de receptie van het radioactief afval, de post-conditionering van de verschillende vormen van het radioactief afval, en de plaatsing in de opslag- of bergingsinstallatie.

Gedurende deze activiteiten op de korte termijn zijn er atmosferische emissies ten gevolge van de ventilatie van de receptie-, post-conditionerings- en opslagruimten mogelijk. Deze atmosferische emissies kunnen eventueel rechtstreeks (via verhoogde concentraties in de lucht) of na depositie op de grond en in het oppervlaktewater een schadelijke impact op het milieu hebben. Normaliter zullen er geen emissies vanuit de opslagruimten naar de lucht zijn. Het vrijkomen van activiteit uit de oververpakkingen van het afval (monolieten of supercontainers) is vrijwel uitgesloten. Een uitzondering moet gemaakt worden voor tritium. Uit alle oververpakkingen waarin tritium voorkomt, zal na verloop van tijd een gedeelte van het tritium vrij kunnen komen. Aangezien radioactief afval altijd onder vaste vorm geconditioneerd wordt, is er geen sprake van vloeibare lozingen (37).

In geval van een incident of ongeval tijdens het transport van radioactief materiaal naar de post-conditionerings- en opslagplaatsen is er een mogelijkheid tot vrijzetting van radioactief materiaal wanneer de transportcontainers zouden beschadigd worden. De waarschijnlijkheid van beschadiging is echter gering door het specifieke ontwerp van deze containers. Sumerling (150) rapporteert een aantal extreme incident- en ongevalsscenario's waarbij de integriteit van de containers telkens bewaard bleef en er geen radioactiviteit ontsnapte naar de omgeving. De impact van het transport van radioactief afval op het milieu wordt dus verwaarloosbaar geacht. Daarenboven is het transport van radioactief materiaal nodig voor elke beheeroptie (zij het mogelijk in mindere mate voor de status quo-optie). De mogelijke impact op het milieu ten gevolge van de (zeer onwaarschijnlijke) vrijzetting van radioactiviteit door incidenten of ongevallen tijdens het transport is dus geen discriminerende factor.

De receptie-, post-conditionerings- en opslagruimten zijn zo ontworpen dat ze een vliegtuigimpact weerstaan. De gevolgen van een grootschalig incident (bv. terroristische aanslag) op het leefmilieu kunnen aanzienlijk zijn. De waarschijnlijkheid van zo'n grootschalig incident en de daaruit voortkomende radiologische gevolgen voor het leefmilieu zijn volledig verbonden met de maatschappelijke stabiliteit en niet met de technische uitvoering van de beheeroptie.

Eeuwigdurende opslag

Eeuwigdurende opslag bestaat uit opeenvolgende cycli (100 à 300 jaar) van langdurige opslag. Binnen de korte termijn (100 jaar) is eeuwigdurende opslag dus hetzelfde als langdurige opslag. Voor de beoordeling van de effecten na radiologische blootstelling op fauna en flora verwijzen we dan ook naar de beheeroptie langdurige opslag.

Geologische berging

De bovengrondse componenten van geologische berging (o.a. transport en post-conditionering) zijn op korte termijn dezelfde als voor langdurige opslag. Tegen het einde van de korte termijn bevindt een deel van het afval zich reeds in de ondergrondse geologische bergingsinstallatie, wat de kans op blootstelling van fauna en flora vermindert.

Het ontwerp en de sitekeuze van een geologische berging moeten een minimale radiologische impact garanderen. Het gastgesteente moet zo gekozen zijn dat de grondwaterstroming beperkt is en dat radionucliden zo veel mogelijk tegengehouden worden (19).

Berging in diepe boorgaten

De bovengrondse componenten van berging in diepe boorgaten (o.a. transport en post-conditionering) zijn op korte termijn dezelfde als voor langdurige opslag. Tegen het einde van de korte termijn bevindt een deel van het afval zich reeds in de boorgaten, wat de kans op blootstelling van fauna en flora vermindert.

Het ontwerp en de sitekeuze van een berging in diepe boorgaten moet op lange termijn een radiologische impact garanderen die laag is zowel in absolute termen als vergeleken met andere bergingssystemen voor radioactief afval. De site moet aldus gekozen zijn dat ze gunstige eigenschappen bezit voor insluiting en isolatie van het afval van de biosfeer en voor het behoud van de integriteit van de kunstmatige barrières (bv. trage grondwaterstroming, gunstige geochemische omstandigheden) (106).

Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden

Bij het ontwerp en de bouw van de gebouwen voor langdurige opslag wordt er rekening gehouden met evoluties die zich binnen de levensduur van 100 à 300 jaar kunnen voordoen. Het ontwerp en het beheer van de installaties worden geacht beter te zijn dan voor de status quo-optie door de vooruitgang in de kennis. Ook de conditionering is geoptimaliseerd. De routine-uitstoot van radioactiviteit en de impact ervan op het milieu wordt dus ook geacht lager te zijn dan voor de status quo-optie.

Een voorbeeld van een installatie voor langdurige opslag bevindt zich in Nederland (HABOG, met een voorziene levensduur van 100 jaar). De levensduur kan uitgebreid worden tot 300 jaar op voorwaarde van geschikt actief beheer (toezicht en onderhoud). Ook in Frankrijk en in de Verenigde Staten werd de technische haalbaarheid van deze beheeroptie aangetoond voor gebouwen met een levensduur van 300 jaar (34).

Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

Deze beheeroptie gaat uit van opslaggebouwen die ontworpen zijn voor een levensduur van honderd jaar of meer. Voor de beoordeling van de effecten na radiologische blootstelling op fauna en flora komt deze beheeroptie dus op hetzelfde neer als langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden.

De toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën (zie paragraaf 7.2.2.2) kan een invloed hebben op de radiologische impact op lange termijn van een latere definitieve beheeroptie. Een gedetailleerde beoordeling hiervan valt buiten het kader van deze SEA. In paragraaf 9.4.3.4 wordt enkel een kort overzicht gegeven van de invloed van een aantal mogelijke scenario's voor geavanceerde splijtstofcycli op de radiologische effecten op lange termijn van geologische berging.

Status quo-optie

In de status quo-optie wordt de huidige opslag voortgezet. De routine-emissies van de gebouwen voor opslag van afval van categorieën B en C leiden niet tot een significante verhoging van de radiologische blootstelling van het milieu. De emissies zijn immers gering (164). In het kader van het SCK•CEN toezichtsprogramma wordt op verschillende plaatsen in de buurt van het domein van Belgoprocess 2 een hoger stralingsniveau gemeten ($110\text{-}850\text{ nSv h}^{-1} \approx 0,1\text{-}0,8\text{ }\mu\text{Gy h}^{-1}$) dan de achtergrondstraling die varieert tussen $60\text{ en }90\text{ nSv h}^{-1}$ ($\approx 0,06\text{-}0,09\text{ }\mu\text{Gy h}^{-1}$). Deze verhoging is toe te schrijven aan het radioactief afval dat er opgeslagen is (165). Dit verhoogde stralingsniveau ($< 1\text{ }\mu\text{Gy h}^{-1}$) leidt niet tot effecten op

fauna en flora. In dezelfde context stelt ANDRA geen verhoogde activiteit vast aan de periferie van de bovengrondse installaties van een geologische bergingssite (500 m van de bovengrondse installaties) voor het publiek, dus evenmin voor fauna en flora (150).

De radonconcentraties zijn ook verhoogd in de buurt van de Belgoproces-opslagplaatsen: $49 \pm 18 \text{ Bq m}^{-3}$ (165) ten opzichte van de achtergrondconcentraties van ongeveer 10 Bq m^{-3} voor de Noorderkempen, overeenkomend met het Belgische gemiddelde (166). Deze verhoogde radonconcentratie leidt ook niet tot een impact op het milieu. In Frankrijk, bijvoorbeeld, varieert de natuurlijke radonconcentratie in de lucht in het Centraal Massief van 25 tot 210 Bq m^{-3} . Op locaties met sedimentaire gesteenten ligt ze rond de 60 Bq m^{-3} . Bodemorganismen worden blootgesteld aan nog veel hogere radonconcentraties in de bodemlucht, tot zelfs meer dan 100 kBq m^{-3} (167).

Metingen van radioactiviteit in grassen en melk, oppervlakte- en grondwater tonen aan dat er geen verhoging is door de nucleaire activiteiten in Dessel en Mol (zie (165)); ook bevestigd door gegevens uit het toezichtprogramma van het FANC, pers. comm. M. Van Hees).

Men kan dus stellen dat er geen impact is van de huidige opslagplaatsen voor afval van categorieën B en C op het leefmilieu.

De installaties voor conditionering en opslag worden verondersteld intact te blijven voor de voorziene duur van de opslag. Daar de bestaande opslag voorzien was voor een periode van ca. 75 jaar, waarvan een deel al voorbij is, overstijgt de korte termijn die in deze SEA gehanteerd wordt (ca. 100 jaar) de levensduur van de bestaande opslaggebouwen en kan het dus zijn dat er verlies aan integriteit is voor bepaalde containers of kunstmatige barrières, wat kan leiden tot verhoogde lozingen.

Voor de mogelijke impact van de opslag kan men refereren naar evaluaties van bestaande oppervlaktebergingssites. Voor de operationele fase is er enkel informatie beschikbaar over een Canadese bergingssite (Atomic Energy of Canada Limited's (AECL) Chalk River Laboratories). Na een uitgebreide radiologische meetcampagne op deze site besluit men dat er geen effect op het leefmilieu verwacht wordt (168). Ook voor de historische bergingssites voor laagactief afval in Canada (Port Granby, in werking van 1955 tot 1988; Welcome Waste Management Facility, activiteiten stopgezet in 1955), kan er geen radiologische impact op het leefmilieu aangetoond worden (168).

Een ander voorbeeld waar er geen significant ecologisch risico voor fauna en flora bewezen kon worden, is de Bear Creek-vallei. In het stroomgebied van de Bear Creek, gelegen in de US-DOE Oak Ridge Reservation in de Verenigde Staten, bevinden zich oppervlakkige bergingssites en afvaleenheden. De site bevat onder meer radioactief afval van de Y-12-installatie die gebruikt werd voor de elektromagnetische scheiding van uranium en voor het chemisch behandelen van uraniumhoudende bestanddelen. Een milieueffectenbeoordeling voor deze site werd gemaakt door Jones en Schofield (169) volgens de getrapte benadering van de US-DOE (170). De volgende radionucliden werden beschouwd: $^{234/235/238}\text{U}$, ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{232}Th en ^{239}Pu . De gebruikte drempelwaarde was $40 \mu\text{Gy h}^{-1}$.

9.1.2.3 Beoordeling van de effecten voor de korte termijn

De beoordeling van de radiologische effecten op fauna en flora ligt volledig in de lijn van de beoordeling van de radiologische effecten op de mens. We verwijzen dus naar Tabel 44.

9.1.2.4 Beschrijving van de effecten voor de lange termijn

Actief beheer

Eeuwigdurende opslag bestaat uit opeenvolgende cycli (100 à 300 jaar) van langdurige opslag. Daardoor is de radiologische impact op lange termijn vergelijkbaar met die op korte termijn (zie paragraaf 9.1.2.2). Bij elke herconditionering zal men het afval opnieuw moeten manipuleren, met een kans op blootstelling van mens en milieu als gevolg.

Passief beheer

Hierna wordt eerst het geval van geologische berging in weinig verharde klei besproken. Berging in diepe boorgaten wordt in beperktere mate beschouwd.

Voor het schatten van de mogelijke dosisimpact van **geologische berging in weinig verharde klei** op fauna en flora dient eerst een berekening gemaakt te worden van de evolutie van de radioactiviteit die jaarlijks uit de kleilaag ontsnapt en via grondwater migreert naar de biosfeer. Met behulp van een wiskundig model worden de resulterende activiteitsconcentraties in het grondwater berekend. De grondwaterstroming in de watervoerende lagen heeft een aanzienlijke verdunning van de radionuclidenconcentraties als gevolg. In de huidige veiligheidsevaluaties worden twee routes voor het transport van mogelijk verontreinigd grondwater naar de biosfeer beschouwd, namelijk een waterput die zich bevindt in de zone waar de hoogste radionuclidenconcentraties voorkomen en de natuurlijke drainage van de watervoerende lagen door de plaatselijke rivieren. In dit laatste geval treedt een aanzienlijke bijkomende verdunning op door het rivierdebiet (171), (7).

Een milieu-impactevaluatie (screening) werd uitgevoerd, gebruik makend van de ERICA-tool (172) en vertrekkend van de concentraties in grondwater (^{14}C , ^{36}Cl , ^{135}Cs , ^{129}I , ^{94}Nb , ^{59}Ni , ^{79}Se , ^{99}Tc) berekend voor een geologische berging van bestraalde splijtstof in Boomse Klei (173). Concentraties in oppervlaktewater werden conservatief gelijkgesteld aan de concentraties in grondwater. Bij deze screening bekomen we voor een zoetwaterecosysteem een maximale dosisdebiet (voor zoöplankton) van $0,007 \mu\text{Gy h}^{-1}$. We verwachten dus geen impact op het leefmilieu als gevolg van de vrijzetting van radioactiviteit in het leefmilieu na geologische berging in klei.

Andere voorbeelden van milieu-impactstudies ondersteunen deze resultaten.

- In Canada bestudeerden Amiro en Zach (174) de mogelijke impact van een geologische berging van bestraalde splijtstof op het leefmilieu. Zij stelden dat een dosisdebiet van $0,1 \mu\text{Gy h}^{-1}$ geen impact zou hebben op het milieu (het weerhouden criterium voor blootstelling van de mens was $50 \mu\text{Sv h}^{-1}$). Radionuclidenconcentraties in de biosfeer werden berekend voor de media water, bodem en lucht. Vier referentieorganismen werden geselecteerd. De berekende mediaconcentraties werden vergeleken met de E.I. (Environmental Increment) van de respectievelijke radionucliden. Voor natuurlijke radionucliden wordt de E.I. bepaald door de standaardafwijking van de natuurlijke achtergrondconcentraties in de diverse media. Voor antropogene radionucliden wordt de E.I. bepaald door de standaardafwijking van mediaconcentraties op verre afstand van de bron. Als de berekende mediaconcentraties lager waren dan de E.I., dan werd ervan uitgegaan dat de omgeving voldoende beschermd was en voerde men geen dosisberekeningen uit. Enkel voor ^{129}I overschreed de berekende waarde de E.I. en werd de radiologische blootstelling berekend voor de referentieorganismen. De maximale dosis die verkregen werd ($0,001 \mu\text{Sv h}^{-1}$) was ongeveer een grootteorde lager dan de laagste achtergrondwaarden, twee grootteordes lager dan het gestelde referentieniveau (en vier grootteordes lager dan de ERICA-drempelwaarde van $10 \mu\text{Sv h}^{-1}$). Men besloot dus dat het milieu voldoende beschermd was.

- Bestraalde splijtstof van de Finse kernreactoren zal geborgen worden te Olkiluoto. De geologische berging zal zich bevinden op een diepte tussen 400 en 600 m in kristallijn gesteente. Olkiluoto is een eiland van ongeveer 10 km² groot, gescheiden van het vasteland door een smalle zeestraat. De ecosystemen te Olkiluoto worden getypeerd door boreale bossen en moerasgebieden. De milieu-impactstudie voor deze bergingssite was gebaseerd op de EPIC- (175) en FASSET/ERICA- (176), (172) methoden, en dit voor een evolutie van de bergingssite over een periode van 10.000 jaar. Omdat ecosystemen kunnen evolueren over deze periode, werden in totaal 5 ecosystemen bestudeerd en voor elk ervan werden representatieve referentieorganismen geïdentificeerd. De impactstudie werd uitgevoerd voor 12 radionucliden (³⁶Cl, ⁵⁹Ni, ⁷⁹Se, ⁹⁹Tc, ¹²⁹I, ¹³⁵Cs, ²²⁶Ra, ²³⁰Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁷Np en ²³⁹Pu) (177). Voor elke radionuclide werd de hoogste berekende milieuconcentratie over deze periode van 10.000 jaar gebruikt voor de dosisberekeningen. Het hoogste geschatte dosisdebiet was $3 \times 10^{-4} \mu\text{Gy h}^{-1}$, veel lager dan de door ERICA voorgestelde drempelwaarde van $10 \mu\text{Sv h}^{-1}$.
- Garisto et al. (178), (179) benaderden de evaluatie van de mogelijke radiologische impact op lange termijn van een hypothetische (generische) geologische berging van bestraalde splijtstof op fauna en flora door de geschatte milieuconcentraties waaraan fauna en flora blootgesteld zijn te vergelijken met geen-effect-concentraties (No Effect Concentrations, NECs). NECs werden afgeleid voor grondwater, bodem, oppervlaktewater en sediment voor een aantal ecosystemen die van belang zijn voor het programma van NWMO in Canada (90). De NEC die overeenkomt met het meest limiterende organisme voor elke radionuclide in een gegeven ecosysteem werd gebruikt als een drempelwaarde voor dat ecosysteem. Om deze NECs af te leiden, werden voor elk beschouwd organisme geschikte dosisdebietcriteria (Estimated No-Effect Value, ENEV) geselecteerd. Voor elke radionuclide in elk van de milieucompartimenten werden dan de NECs berekend door een terugrekening a.d.h.v. deze ENEVs. De ENEVs die Garisto et al. (179) gebruikten, waren gebaseerd op een compilatie uit een aantal bronnen. De NECs werden vervolgens vergeleken met de milieuconcentraties voor de lange termijn die ingeschat worden voor geologische berging van bestraalde splijtstof. De resultaten geven aan dat er geen significante radiologische impact is op fauna en flora.
- In de Verenigde Staten maakten Punt et al. (180) voor Yucca Mountain een voorlopige schatting van de mogelijke impact van de geologische berging van hoogradioactief afval in tufsteen op fauna en flora. Ze baseerden hun evaluatie op de concentraties van ⁹⁹Tc, ¹²⁹I en ²³⁷Np in het grondwater. Voor deze evaluatie werd gebruik gemaakt van de getrapte RESRAD-BIOTA-benadering, ontwikkeld door het US-DOE (170). De concentratie in oppervlaktewater werd conservatief gelijkgesteld aan de concentratie in grondwater. Zelfs onder zeer conservatieve aannames was het maximale dosisdebiet voor fauna en flora lager dan $8 \mu\text{Gy h}^{-1}$ en werd er dus geen negatief effect op fauna en flora verwacht.
- Jones et al. (181) voerden een generische performantiestudie uit voor een hypothetische geologische berging voor laag- en middelactief afval in het Verenigd Koninkrijk. De screeningsevaluatie werd gedaan voor de meest kritisch geachte radionucliden (²²⁶Ra, ²¹⁰Po, ^{234,238}U, ²³⁰Th, ³⁶Cl en ¹²⁹I) voor 4 referentie-ecosystemen. Vertrekkend van een aantal voorzichtige aannames werd als hoogste dosis een waarde van $6,5 \mu\text{Gy h}^{-1}$ bekomen. De conclusie was dat er geen negatief effect op fauna en flora verwacht wordt.

In alle studies waar men de mogelijke impact van een geologische berging evalueerde, was de conclusie dat er geen negatieve impact op fauna en flora ten gevolge van blootstelling aan straling verwacht wordt.

In paragraaf 9.4.3.4 wordt een kort overzicht gegeven van de invloed van een aantal mogelijke scenario's voor geavanceerde splijtstofcycli (zie paragraaf 7.2.2.2) op de radiologische effecten op lange termijn van geologische berging. Het gaat om de radiologische effecten op de mens, maar de conclusie, namelijk dat de invloed van geavanceerde nucleaire technologieën op de doses zeer beperkt is, geldt naar verwachting ook voor fauna en flora.

Er is weinig kwantitatieve informatie beschikbaar over de veiligheidsaspecten van **berging in diepe boorgaten**. Er is ook nog geen praktische demonstratie van de toepassing van deze technologie gebeurd (102). In Zweden is berging in diepe boorgaten bestudeerd als alternatief voor geologische berging. Het afval wordt in een container geplaatst, de containers worden opgestapeld op de bodem van de boorgaten over een diepte van 2000 à 4000 m en gefixeerd door opvulmateriaal. De grondwaterbeweging is op grote diepte (2000-4000 m) beperkter dan op de diepte waar geologische berging zou gebeuren (berging in graniet op 400-700 m), waardoor ook verwacht wordt dat de terugkeer van de radionucliden naar de biosfeer minder zal zijn (102). Grondwater op grote diepte circuleert in lagen. Door deze stratificatie kunnen radionucliden die zich in deze diepe watervoerende lagen bevinden niet aan de oppervlakte komen. Als ze toch aan de oppervlakte komen, dan gebeurt dit na een dermate lange tijd dat ze door radioactief verval onschadelijk geworden zullen zijn (105). Op grote diepte wordt de permeabiliteit van het gesteente ook verondersteld lager te zijn (102). Een vereiste hiervoor is wel dat de locatie geen snelle transportroutes naar de oppervlakte vertoont (breuken en barsten). Deze vereiste is moeilijk te vervullen aangezien er geen controle is over de positie van de afvalcontainer t.o.v. mogelijke barsten en breuken. Monitoring van de performantie van dit bergingssysteem is ook uiterst moeilijk.

Arnold et al. (182) voerden een preliminaire impactstudie uit voor een hypothetische berging van bestraalde splijtstof in diepe boorgaten en verkregen een dosis van 10^{-12} Sv per jaar. Deze voorspelde humane blootstelling is tot 6 grootte-orde lager dan de dosis berekend voor geologische berging (183). In dezelfde lijn kan men dus ook verwachten dat de dosis voor organismen tot 6 grootte-orde lager is dan voor geologische berging.

Als men een performante gastformatie heeft en de berging in diepe boorgaten evolueert onder een normaal evolutiescenario, dan kan men zich verwachten aan biosfeerconcentraties die zo laag zijn dat ze niet zullen resulteren in een effect op fauna en flora ten gevolge van radioactieve straling.

9.1.2.5 Beoordeling van de effecten voor de lange termijn

De beoordeling van de radiologische effecten op fauna en flora ligt volledig in de lijn van de beoordeling van de radiologische effecten op de mens. We verwijzen dus naar Tabel 45.

9.1.3 Effecten van toxische chemische componenten in het radioactief afval en in de kunstmatige barrières

Radioactief afval bevat toxische chemische componenten zoals zware metalen. De hoeveelheid chemische componenten vermindert niet in de tijd, in tegenstelling tot de radionucliden waarvan de radioactiviteit vermindert door radioactief verval. Als over honderdduizenden of miljoenen jaren de radioactiviteit door radioactief verval tot quasi nul herleid is, kan de chemische toxiciteit het dominante risico worden. De toxiciteit van een element is sterk gerelateerd met de hoeveelheid die opgenomen of ingeademd wordt, de chemische vorm en/of oxidatietoestand en de omgevingsparameters.

Chemisch-toxische elementen komen voor in zowel de bestraalde splijtstof als de kunstmatige barrières zoals de containers en het opvulmateriaal. Bestraalde splijtstof bevat hoeveelheden toxische componenten die vrij hoog zijn en dus beschouwd moeten worden in de evaluatie van de performantie van de beheeropties. Deze toxische stoffen zijn antimoon, broom, cadmium, cesium, chroom, molybdeen, samarium, selenium en technetium (153). Als bijvoorbeeld ingesloten radioactieve bronnen opgeslagen of geborgen worden, dan moet men ook rekening houden met het lood van het omhulsel in de veiligheidsberekeningen (106).

Chemisch-toxische elementen kunnen echter ook voorkomen in ontmantelingafval of NORM-afval (Naturally Occurring Radioactive Material) (184). NORM-afval bestaat uit afval- of reststoffen met een verhoogde natuurlijke radioactiviteit, zoals afval van de fosfaatindustrie of afval verbonden met de radiumproductie in Olen. Dit afval (bijvoorbeeld UMTRAP en saneringsafval van de Bankloop) is nog niet gedeclareerd voor beheer door NIRAS.

9.1.3.1 Methodiek

Criterion

Als criterium voor het schatten van de potentiële effecten van chemische blootstelling van fauna en flora zouden de gemeten of berekende concentraties (in kg L^{-1} of kg kg^{-1}) van de toxische componenten (zware metalen, toxische organische stoffen, ...) vergeleken moeten worden met de drempelwaarden of achtergrondconcentraties voor deze contaminanten. De informatie met betrekking tot de toxische componenten in het radioactief afval en de kunstmatige barrières is echter gering. Er zijn geen studies met betrekking tot de impact van niet-radiologische toxische componenten in het radioactief afval op fauna en flora. Door deze beperkte basisinformatie zullen de verschillende beheeropties slechts op kwalitatieve wijze vergeleken kunnen worden voor dit criterium en zal er een evaluatie gemaakt worden van de waarschijnlijkheid van de impact.

De chemische impact van een beheerinstallatie wordt gekenmerkt door fluxen en/of concentraties van toxische componenten die in het leefmilieu kunnen terechtkomen. In impactevaluaties wordt nagegaan of deze grootheden vergelijkbaar zijn met fluxen en concentraties die natuurlijk voorkomen of met bestaande drempelwaarden. Voor de chemische impact kan het risico voor het leefmilieu berekend worden door de berekende milieuconcentraties te vergelijken met de milieuconcentraties die niet in een effect resulteren.

Voor elk van beheeropties zal de waarschijnlijkheid van blootstelling aan chemische componenten geëvalueerd worden op korte en lange termijn. In uitzonderlijk gevallen zal deze evaluatie gebaseerd zijn op impactstudies voor de mens. Waar mogelijk wordt een beperkte scopingberekening gemaakt. Gegeven de beperkte informatie, zal de analyse zeer gelijklopend zijn met die voor de radiologische impact op fauna en flora (zie paragraaf 9.1.2).

Significantiekader

Het risico voor fauna en flora ten gevolge van blootstelling aan chemisch-toxische stoffen zou het best op kwantitatieve wijze bepaald worden door vergelijking van berekende milieuconcentraties met drempelwaarden. Voor de meeste beheeropties beschikken we echter niet over de nodige informatie om een kwantitatieve inschatting te maken van de blootstelling. Verder zijn er een aantal mogelijk destabiliserende factoren die de kans op een significante blootstelling verhogen. Daarom zullen de verschillende beheeropties vergeleken worden op basis van waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling.

In de onderstaande tabel wordt het significantiekader weergegeven (185). HC₅ en HC₅₀ zijn de concentraties die bij respectievelijk 5 of 50% van de soorten in een effect resulteert (HC: hazardous concentration).

Tabel 17: Significantiekader voor chemische impact op fauna en flora

Chemische belasting	Waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling
Verwaarloosbare concentratie	Hoog
Maximaal aanvaardbare concentratie (MAC) (HC ₅)	Vrij hoog
Meetkundig gemiddelde tussen MAC en IV	Matig
Interventiewaarde (IV) (HC ₅₀)	Laag

9.1.3.2 Beschrijving van de effecten voor de korte termijn

Er bestaat nauwelijks informatie over de vrijzetting van toxische componenten uit het radioactief afval, het conditioneringsmateriaal en andere kunstmatige barrières en de daaruit volgende blootstelling voor het milieu. Slechts één studie (153) werd teruggevonden waarin de potentiële impact van de chemische componenten in een bergingssysteem wordt geëvalueerd. AECL (153) maakte een schatting van de emissies van de toxische componenten antimoon, broom, cadmium, cesium, chroom, molybdeen, samarium, selenium en technetium voor een geologische bergingsinstallatie. De geschatte concentraties in lucht, bodem en water waren zo laag dat ze niet verder beschouwd werden, op één uitzondering na, namelijk technetium in het oppervlaktewater. De berekende concentratie was zeer laag, 10^{-10} mg L⁻¹, maar hoog t.o.v. de achtergrondconcentraties (10^{-12} mg L⁻¹). Omdat de geschatte toename in concentratie zeer beperkt was, werd het milieueffect van technetium als onbelangrijk beschouwd.

9.1.3.3 Beoordeling van de effecten voor de korte termijn

Omdat voor een normale-evolutiescenario de toxische componenten in het afval niet a priori in een effect op het leefmilieu resulteren en deze toxische componenten sterk verbonden zijn met het radioactief afval, gaan we ervan uit dat de verschillende beheeropties op een vergelijkbare manier beoordeeld kunnen worden voor de chemische impact en voor de radiologische impact op fauna en flora. We verwijzen dan ook naar Tabel 44 voor de beoordeling van de chemische effecten op korte termijn.

9.1.3.4 Beschrijving van de effecten voor de lange termijn

Ook voor de lange termijn vindt men nauwelijks informatie over de mogelijke blootstelling van het leefmilieu ten gevolge van actief of passief beheer van radioactief afval.

De studie van AECL (153) maakte ook een schatting van de emissies van de toxische componenten antimoon, broom, cadmium, cesium, chroom, molybdeen, samarium, selenium en technetium voor geologische bergingsinstallaties. De geschatte concentraties in lucht, bodem en water waren zo laag dat ze niet in een effect op het leefmilieu resulteren.

Er is ook een voorlopige evaluatie van de chemische toxiciteit van een geologische berging van het Belgische hoogradioactief afval uitgevoerd door Harju-Autti en Volckaert (56). Deze studie baseerde zich op de toenmalige chemische inventaris van het radioactief afval (bestraalde splijtstof, kunstmatige barrières, middelactief afval en ontmantelingsafval). De studie beschouwde voornamelijk de zware metalen bij geologische berging in klei voor het normale-evolutiescenario en berekende de grondwaterconcentraties. Wanneer de berekende grondwaterconcentraties voor de zware metalen vergeleken worden met het minimum van de limietconcentraties voor drinkwater (186), grondwater (VLAREM II (51)), oppervlaktewater voor drinkwatergebruik (51) of water voor visgronden (51), dan zijn de ingeschatte grondwaterconcentraties minstens een factor 1000 lager dan de limietconcentraties.

Bepaalde radionucliden, zoals uranium, zijn naast radiotoxisch ook chemotoxisch. Er is niet zo veel informatie over drempelwaarden voor uranium beschikbaar. In de Australian Water Quality Guidelines (AWQG) (187) is de limiet $6 \mu\text{g U L}^{-1}$. Deze limietwaarde is gebaseerd op in situ experimenten en laboratoriumtoxiciteitstesten en is de waarde waarbij wordt verondersteld dat 99% van de species is beschermd. De PNEC (Predicted No Effect Concentration) voor uranium afgeleid door Beaugelin-Seiler et al. (188) is $3 \mu\text{g U L}^{-1}$. De berekende uraniumconcentratie in het grondwater ($0,025 \mu\text{g U L}^{-1}$) is nog een grootte-orde lager dan de laagste drempelwaarde (56).

Uit de Canadese studie (153) en de Belgische studie (56) blijkt dat fauna en flora geen schade zullen ondervinden van vrijzetting van chemische componenten van een geologische bergingsinstallatie.

9.1.3.5 Beoordeling van de effecten voor de lange termijn

Omdat deze toxische componenten sterk verbonden zijn met het radioactief afval gaan we ervan uit dat de verschillende beheeropties op een vergelijkbare manier beoordeeld kunnen worden voor de chemische impact en voor de radiologische impact op fauna en flora. We verwijzen dan ook naar Tabel 45 voor de beoordeling van de chemische effecten op de lange termijn.

9.2 Impact op landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

9.2.1 Inleiding

De discipline landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie bestudeert de effecten van de geplande activiteiten en ingrepen op erfgoed en landschap. De studie omvat zowel de fysieke als de fysiognomische aspecten ervan en moet relevant zijn met betrekking tot hun natuurwetenschappelijke, (cultuur)historische en esthetische waarden, die samen ook de belevingswaarde bepalen.

Methodologisch worden bouwkundig erfgoed, archeologische vindplaatsen, landschappen en andere cultuurhistorische waarden als "objecten" beschouwd, d.w.z. meestal duidelijk begrensde entiteiten die in hun geheel of in delen (samenstellende elementen) blootgesteld zijn aan ingrepen en milieueffecten. Voorbeelden van entiteiten of elementen zijn het niet opgegraven of onderzocht archeologisch patrimonium in een gebied, en ook een aantal onroerende goederen uit aard of door bestemming, zoals bijvoorbeeld muurschilderingen en orgels.

In wat volgt wordt onderscheid gemaakt tussen drie grote aspecten: landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie. Deze driedeling betekent echter geenszins dat deze aspecten los van elkaar zouden staan. De samenhang tussen deze aspecten is één van de uitgangspunten van de discipline. Erfgoedaspecten maken integraal deel uit van het landschap. Ze vragen echter een specifieke benadering, zeker wanneer zij zich in een stedelijke context bevinden die niet door de klassieke landschapsbenadering gedekt wordt.

Dimensies van het landschappelijk onderzoek

De veelzijdige en complexe betekenis van “landschap” heeft ertoe geleid dat er verschillende onderzoeksbenaderingen mogelijk zijn.

Het landschap is een dynamisch verschijnsel dat continu evolueert. De actuele situatie kan maar begrepen worden wanneer de ontwikkelingsgeschiedenis begrepen wordt. Hierin ligt bovendien de basis voor het bepalen van de erfgoedwaarde en het uitvoeren van een landschapsevaluatie. Het belang van ingrepen en effecten moet tegen dit genetisch kader afgewogen worden. In het kader van milieueffectrapportage zal voor de discipline landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie bijgevolg steeds een summier landschapsgenetisch onderzoek uitgevoerd moeten worden.

Algemeen wordt een onderscheid gemaakt tussen de natuurlijke landschapsgenese en de cultuurhistorische ontwikkeling van het landschap.

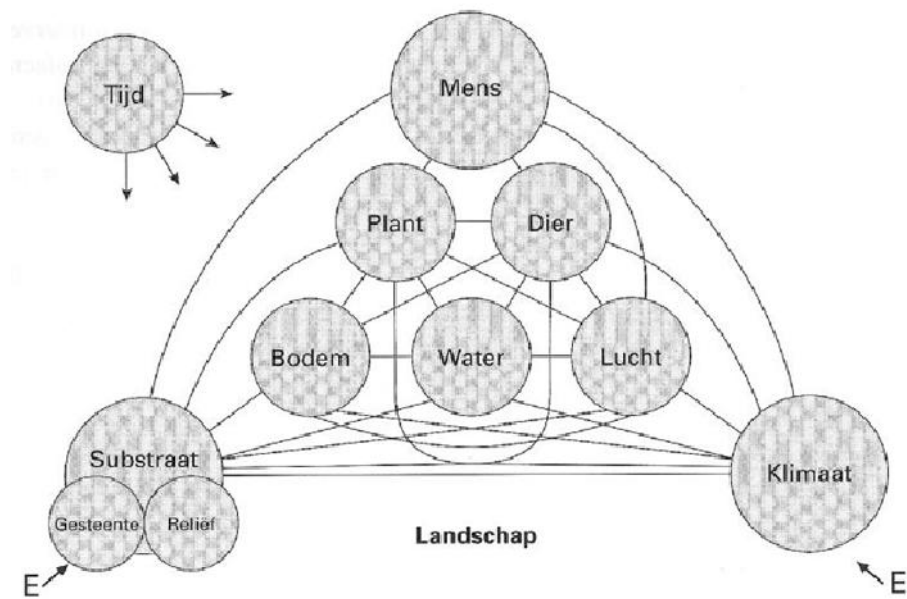
- De natuurlandschappelijke genese is bij milieueffectrapportage belangrijk voor het begrijpen van geomorfologische elementen en het evalueren van hun geopatrimoniumwaarde. Ten behoeve van milieueffectrapportage volstaat het meestal de evolutie te schetsen van het Laat-Pleistoceen tot het heden. De geomorfologische ontwikkeling is o.m. belangrijk met betrekking tot het bepalen van de archeologische potenties van een gebied. Omwille van de tijdschaal die in deze SEA gehanteerd wordt, zal veel aandacht besteed worden aan het ontstaan van de verschillende geologische lagen en de bijhorende tijdsdimensie.
- De cultuurlandschappelijke genese heeft betrekking tot de vormgeving en de organisatie van de geografische ruimte door de mens in de loop van de geschiedenis.

De genetische benadering van het landschap kan ook gericht worden op de toekomst in plaats van op het verleden. In deze gevallen worden ontwikkelingsprocessen onderzocht die de toekomstige ontwikkelingen van het landschap kunnen bepalen. Er worden vragen gesteld als: Hoe kan cultuurhistorie de ruimtelijke ontwikkeling versterken? Hoe kunnen nieuwe ruimtelijke functies bijdragen aan behoud van het erfgoed? Het motto daarbij is “behoud door ontwikkeling”.

De tijdsdimensie in relatie met het landschap

Bij het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval is een tijdshorizon van honderdduizenden jaren aan de orde. In wat volgt wordt kort ingegaan op een belangrijk aspect in de discussie: hoe verhoudt deze periode zich tot landschappelijke veranderingen? Om enig zicht te krijgen op de verhoudingen kan men de geologische tijdschaal beschouwen. Geologische tijdschalen rekenen in miljoenen jaren. Zo is het Quartair, de laatste periode op de schaal, naar geologische normen bijzonder recent, nl. 1,6 miljoen jaar.

Landschap ontstaat door een wisselwerking van substraat, klimaat en mens. Het denkmodel van Zonneveld (189) is bijzonder bruikbaar om de landschapsvormende factoren en hun onderlinge relaties beter te begrijpen. Dit model laat ook toe om de relaties met andere disciplines scherp te stellen.



Figuur 50: Landschapsfactoren

De basis van het systeem wordt gevormd door de drie geofactoren: het substraat, het klimaat en de mens. Deze drie geofactoren vormen de basis waarop de andere landschapsfactoren (bodem, water, lucht, plant en dier) zich dienen in te stellen. De figuur laat ook toe om de drie “werelden” te onderscheiden die men in het landschap kan onderscheiden: de abiotische, waarvan de kenmerken sterk bepalend zijn voor de biotische, en tenslotte voor de mens. De mens beschikt echter over de mogelijkheid zich (door zijn denkvermogen en technologie) tijdelijk aan het systeem te onttrekken. Een belangrijk aspect is tevens dat dit dynamische systeem een sterke tijdsdimensie heeft. Er is met andere woorden geen eindpunt. Het landschap is permanent onderhevig aan verandering.

Zoals eerder aangegeven zijn klimaat en substraat gedurende de laatste miljoenen jaren onderhevig geweest aan sterke veranderingen. De meeste van deze veranderingen gebeurden, naar menselijke maatstaven, zeer geleidelijk. De invloed van de mens is stelselmatig toegenomen (zie paragraaf 6.2).

9.2.2 Methodiek voor de korte termijn

Bovengrondse opslag en berging in de ondergrond zijn vanuit landschappelijk oogpunt op korte termijn weinig verschillend. In alle gevallen dienen enkele tientallen hectaren (of meer, zie Tabel 25) afgebakend te worden waarop gedurende de komende decennia een aantal constructies aanwezig zullen zijn en activiteiten uitgevoerd zullen worden.

Volgende effectgroepen zullen geëvalueerd worden:

- Impact op landschapsstructuur en -relaties: de geplande infrastructuur heeft een structurerend vermogen en zal bijgevolg bepalend zijn voor toekomstige ontwikkelingen binnen het gebied. Om hierover een oordeel te kunnen vormen, zullen elementen m.b.t. de mogelijke toekomstige ontwikkeling van het gebied mee betrokken worden in de beoordeling. Zij zullen immers bepalen wat de toekomstige bestemmingen in het gebied kunnen zijn en hoe het landschap kan evolueren.

- Impact op bouwkundig erfgoed: de geplande ingrepen hebben naargelang de gekozen locatie een beperkte tot aanzienlijke directe (vernietiging) en indirecte (o.m. contextverlies) impact op het aanwezige bouwkundig erfgoed. De beoordeling vereist een uitgebreide beschrijving van de aanwezige waarden.
- Impact op archeologie: gelet op de voorziene graafwerken is een integratie van archeologisch onderzoek in het werkproces noodzakelijk. Het beoordelen van de impact zal voornamelijk gebeuren vanuit de geplande ingrepen (graafwerken, ophogingen, verhardingen, ...).
- Visuele impact: het criterium visuele impact laat toe alle reeds beschreven impacts te integreren en als geheel te beoordelen.

Elk van deze effectgroepen is slechts te beoordelen indien men een goed zicht heeft op de locatie waar de beheeroptie geïmplementeerd zal worden. Het landschappelijke effect is in deze fase van het onderzoek bijgevolg moeilijk in te schatten. Om enig zicht te krijgen op de impact kan gebruik gemaakt worden van een “worst case” benadering (waarbij men bv. veronderstelt dat een hoog gewaardeerd landschap beïnvloed wordt) of van typeomgevingen (zie paragraaf 5.3.2).

In geval dat de principebeslissing impliceert dat er op termijn een site gekozen wordt voor de bouw van een beheerinstallatie, gaan we ervan uit dat de waardering (bv. als landschap) een rol speelt in deze beslissing. We kunnen er dus redelijkerwijze op rekenen dat de installaties niet in de meest landschappelijk waardevolle gebieden terechtkomen. Anderzijds kunnen we wel aannemen dat er gebruik gemaakt zal worden van open ruimte, op een zekere afstand van bewoningskernen. Op basis van deze aanname zal er een eerste kwalitatieve inschatting van de landschappelijke effecten gegeven worden.

Voor de beoordeling wordt gebruik gemaakt van een zevendelige schaal, zie onderstaande tabel.

Tabel 18: Scoretabel voor effecten op landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie voor de korte termijn

Score	Effect	Betekenis
- - / + + +	Sterk negatief / positief	Permanent en/of uitgebreid in oppervlakte
- - / + +	Matig negatief / positief	Tijdelijk en uitgebreid in oppervlakte, of permanent en beperkt in oppervlakte
- / +	Gering negatief / positief	Tijdelijk en beperkt in oppervlakte
0	Geen of verwaarloosbaar effect	Geen of verwaarloosbaar effect

Daarbij dient “tijdelijk” geïnterpreteerd te worden als een effect dat zich enkel voordoet tijdens de aanleg van de site.

9.2.3 Beschrijving van de effecten voor de korte termijn

De impact op korte termijn is voor alle onderzochte beheeropties in grote lijnen dezelfde. In alle gevallen gaat het om de inname van enkele tientallen tot honderden hectare (zie Tabel 25) voor de bouw van installaties die minstens een honderdtal jaar operationeel zullen

blijven. De bouw en exploitatie van de installaties leidt tot directe effecten op de omgeving waarin ze worden ingeplant. Afhankelijk van de gekozen locatie zal de impact verschillen.

We kunnen ervan uitgaan dat de landschappelijke waarden in het gebied grotendeels vernietigd zullen worden. Eventueel bouwkundig erfgoed zal minstens onrechtstreeks schade leiden. De impact op archeologie is in eerste instantie verbonden met graafwerken op de site. Omdat archeologie slechts betrekking heeft op de bovenste lagen, is het effect voor de verschillende opties vergelijkbaar. De schachten bij geologische berging en de diepe boorgaten zijn immers beperkt in omvang. De diepere lagen hebben geen archeologische betekenis.

De omvang van de effecten op het landschap is sterk afhankelijk van de locatiekeuze. Indien gekozen wordt voor een terrein met beperkte landschappelijke en erfgoedwaarde kan het effect beperkt blijven.

De inplanting van de installaties zal niet alleen een impact hebben op de site zelf. Het valt aan te nemen dat de inplanting gevolgen zal hebben voor de landschappelijke ontwikkeling van de (ruime) omgeving. Zo zullen bv. geen bouwwerken toegelaten worden in de veiligheidsperimeter van de installatie die niet verbonden zijn met het beheer.

De aanleg van een geologische berging heeft als secundair effect dat er een oplossing moet worden gezocht voor de uitgegraven bodems en gesteenten. Er wordt aangenomen dat deze delfstoffen bovengronds worden opgeslagen op de site. Dit leidt tot bijkomend ruimtebeslag (zie ook paragraaf 9.3.1).

Diepe boorgaten worden verspreid geboord over een groot gebied (ca. 1260 ha, zie Tabel 25). Binnen dit gebied dient steeds opnieuw een oppervlakte afgebakend te worden tijdens het boren en vullen van elk boorgat. De landschappelijke kenmerken binnen deze beperkte oppervlakte worden hierbij volledig uitgewist. Bovendien zal elk van de locaties minstens tijdelijk via een weg ontsloten moeten worden. Het landschap van de site als geheel zal dus ook beïnvloed worden. Bovendien moet er net zoals bij geologische berging ruimte gevonden worden voor het uitgeboorde materiaal.

Het belangrijkste verschil tussen de beheeropties houdt verband met de nabestemming. Als er gekozen wordt voor passief beheer kan de bovengrondse installatie op termijn verdwijnen. Er kan dus nagedacht worden over een nabestemming. Omdat men ervan uitgaat dat er bij geologische berging en bij berging in diepe boorgaten na de sluiting geen bovengrondse effecten meer zullen zijn, zijn in principe alle nabestemmingen mogelijk. Toch valt aan te nemen dat men niet snel geneigd zal zijn om intensieve menselijke activiteit toe te laten op de site. Over de landschappelijke waarde van de nabestemming valt in deze fase van het onderzoek weinig te zeggen.

9.2.4 Beoordeling van de effecten voor de korte termijn

In Tabel 19 wordt de beoordeling van de effecten samengevat. De effecten zijn telkens ten opzichte van de status quo-optie beoordeeld; deze laatste krijgt dus overal de score 0.

Tabel 19: Beoordeling van de effecten op landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie voor de korte termijn

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Structuur- en relatiewijzigingen						
Verwijderen of verstoren van geomorfologische elementen en eenheden	--	---	---	--		0
Landschapsecologische verstoring of aantasting	---	---	---	---		0
Functionele versnippering of ontsnippering van het actuele gebruik	---	---	---	---		0
Verlies van erfgoedwaarde						
Verdwijnen en verstoren van historisch-geografische elementen en structuren	---	---	---	---		0
Vernietiging van bouwkundig erfgoed	--	--	--	--		0
Beïnvloeding ensemblewaarde bouwkundig erfgoed	--	--	--	--		0
Beïnvloeding context bouwkundig erfgoed	--	--	--	--		0
Proceseffecten bouwkundig erfgoed	-	--	-	-		0
Effecten op archeologie door vergraving	---	---	---	---		0
Degradatie archeologie door verandering grondwatertafel	-	-	-	-		0
Deformatie archeologie	--	--	--	--		0
Wijziging perceptieve kenmerken	---	---	---	---		0

De effecten hangen af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Hun omvang kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

Uit het bovenstaande overzicht blijkt duidelijk dat de aanleg van de site een belangrijke landschappelijke impact kan hebben. De landschappelijke kenmerken en erfgoedwaarden op de site worden vernietigd. Het zijn dan ook de directe effecten die het meest negatief beoordeeld worden. Indirecte effecten, bv. door veranderingen in de grondwatertafel, zijn eerder tijdelijk van aard. Veel is dus afhankelijk van de waarden die op de site voorkomen. Indien het over een site gaat met een lage landschappelijke waarde (bv. door eerdere verstoring), dan zal de impact eerder beperkt zijn. Opvallend is het kleine verschil in beoordeling tussen de verschillende opties. De bovengrondse alternatieven (langdurige of

eeuwigdurende opslag) krijgen een iets minder negatieve beoordeling voor wat betreft de effecten op geomorfologische waarden. Een klein verschil is het gevolg van mogelijke proceseffecten op bouwkundig erfgoed ten gevolge van thermische opstuwung van de bodem bij geologische berging (zie paragraaf 9.3.1.6).

9.2.5 Methodiek voor de lange termijn

Op lange termijn verschillen de beheeropties aanzienlijk. Een geologische berging of een berging in diepe boorgaten maakt het in principe mogelijk om op termijn de site minstens gedeeltelijk te ontruimen en een nieuwe bestemming te geven. Eeuwigdurende opslag vraagt op termijn bijkomende ruimte, o.m. ten gevolge van de noodzaak om de gebouwen na enkele honderden jaren te vervangen. Het effect blijft vergelijkbaar met de impact die op korte termijn aanwezig is.

Om het effect op lange termijn te kunnen inschatten zijn twee vragen aan de orde:

- Bestaat er een relatie tussen de bergingsoptie en de landschappelijke ontwikkeling?
- Kan het landschap bijdragen tot het terugdringen van de risico's?

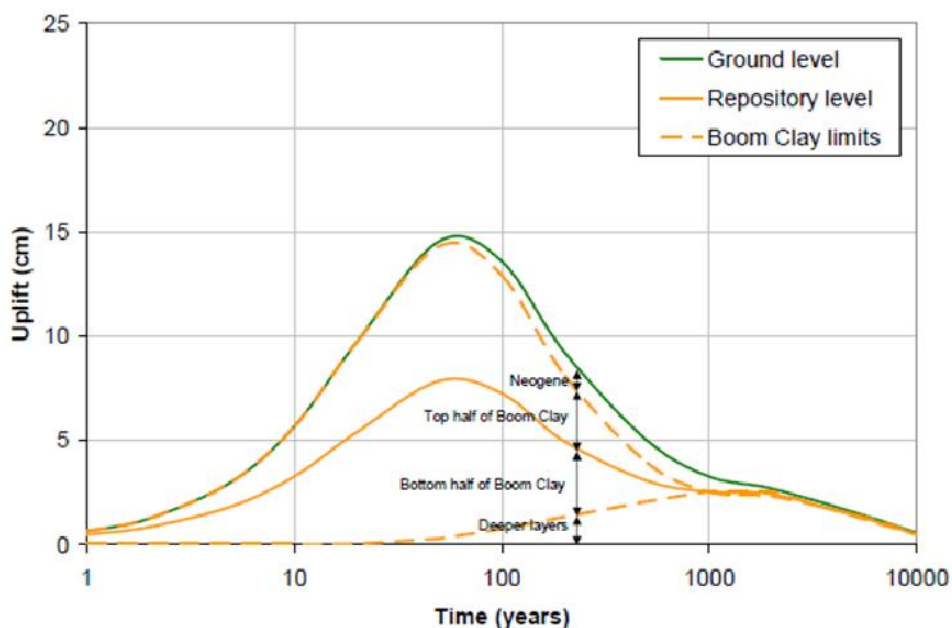
Beide vragen kunnen enkel kwalitatief beantwoordt worden. Daarbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen de deeldisciplines landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie.

9.2.6 Beschrijving van de effecten voor de lange termijn

In het geval van geologische berging of berging in diepe boorgaten kan er in principe een nabestemming gegeven worden aan de terreinen. In het geval van eeuwigdurende opslag zal men verplicht zijn om permanent gebouwen te voorzien aan de oppervlakte. De site zal m.a.w. tot in de eeuwigheid dezelfde functie vervullen. Enkel bij gewijzigd beleid (bv. door nieuwe technologische ontwikkelingen) kan ervoor geopteerd worden om de site te ontmantelen.

Eén van de verwachte effecten bij geologische berging is het uitzetten van de kleilagen ten gevolge van de warmteproductie van het afval. Onderzoek leert dat hierdoor de bodem aan de oppervlakte 10 to 15 cm omhoog zal komen (190). Dit effect is voornamelijk belangrijk wanneer er zich bouwkundig erfgoed aan de oppervlakte bevindt. De uitzetting zal naar verwachting homogeen zijn (190), maar aan de rand van het beïnvloede gebied aan de oppervlakte zouden er mogelijk zeer kleine differentiële verhogingen kunnen zijn. Differentiële verhogingen kunnen in principe leiden tot het scheuren van funderingen en dus tot aanzienlijke schade.

De uitzetting kent een zeer asymmetrisch verloop, zie Figuur 51. Al na tien jaar wordt aan de oppervlakte meer dan 5 cm uitzetting verwacht. Het effect bereikt zijn maximum ongeveer 100 jaar na de berging. Bijgevolg kan redelijkerwijze worden aangenomen dat bouwkundig erfgoed dat door de huidige generaties aangeduid werd als waardevol ook zo beschouwd zal worden door de dan levende generaties. Na het maximum nemen de temperatuur en de uitzetting langzaam terug af. De oorspronkelijke toestand is pas hersteld na ca. 10.000 jaar (190).



Figuur 51: Verloop van de verticale verplaatsing boven een geologische berging in de Boomse klei (voor verglaasd radioactief afval in een supercontainer na een koelingsperiode van 50 jaar en voor een galerijafstand van 50 meter)

De landschappelijke impact bij geologische berging of berging in diepe boorgaten is nauwelijks in te schatten. De tijdschalen waarmee gewerkt wordt, zijn van die aard dat de wijzigingen die optreden zo drastisch zijn dat over de effecten op fauna en flora, de mens of het substraat zelf nauwelijks zinvolle uitspraken te doen zijn. Zo valt bv. te verwachten dat er zich binnen de komende honderdduizenden jaren ijstijden voordoen die vergelijkbaar zijn met de laatste ijstijd, het Weichseliaan. Een extreme ijstijd wordt echter niet binnen de eerste 800.000 jaar verwacht (zie paragraaf 10.4.2). De effecten van ijstijden op de bovenste lagen kunnen zeer betekenisvol zijn. Dit wil echter nog niet zeggen dat er een impact is op de bergingsinstallatie. Bovengrondse installaties voor eeuwigdurende opslag zullen veel gevoeliger zijn voor wijzigingen in klimaat en landschap, maar kunnen indien nodig wel verplaatst worden. Dit betekent echter een bijkomende ruimte-inname en een bijkomende impact op het landschap op de nieuwe site.

Omdat het afval nog vele tienduizenden jaren gevaarlijk blijft voor mens en milieu kan men zich afvragen of er mogelijkheden bestaan om de komende generaties te wijzen op het gevaar dat potentieel aanwezig is. Net zoals men bij vervuilde bodems soms gebruik maakt van een signaaldoek om de vervuiling aan te geven, kan men de landschappelijke inrichting rond de site zo maken dat ze op zijn minst aanzet tot nadenken over de betekenis van de site (191), (192). Gezien de extreme tijdschalen valt onmogelijk in te schatten hoe de mens over enkele tienduizenden jaren de wereld zal lezen. Uit ervaring weten we wel dat onze verre voorouders tekenen hebben nagelaten die ook bij ons nog steeds vragen oproepen. Hoewel we niet zeker kunnen zijn van de betekenis, roepen sommige plaatsen respect op, of doen ze ons nadenken.

Eén van de oudste van dergelijke sites is Stonehenge. Het megalithische monument is weliswaar maar 4200 jaar oud, maar het is voor alle mensen ook nu nog duidelijk herkenbaar als “man-made”. Dichter bij huis kennen we uit dezelfde periode dolmen en hunebedden. Onderstaande afbeelding toont de 5000 jaar oude dolmen van Wéris.



Figuur 52: De dolmen van Wéris

Eerder werden elders in de wereld de oudste nog overgeleverde bouwwerken opgetrokken (bv. de tempel van Göbekli Tepe (ca. 10.000 v.C.), de obeliskken van Carnac of de piramides van Gizeh). Al deze bouwwerken hebben hun monumentale karakter, hun eenvoudige basisstructuur en het gebruik van zeer duurzame materialen gemeen. Deze monumenten leren ons dat het mogelijk is om constructies te maken die – ondanks periodes van verval, klimaatverandering, veranderende culturen e.d. – toch boodschappen kunnen doorgeven.

In dit verband wordt in gespecialiseerd onderzoek (191) ook gedacht aan “rolling future”, waarbij steeds nieuwe fysieke herinneringen gebouwd worden wanneer de oude verdwijnen. Voorwaarde hiervoor is dat ze deel uitmaken van het culturele erfgoed van steeds nieuwe generaties. Deze benadering is het beste te vergelijken met de notie van “heilige plaatsen” waarbij opeenvolgende religies vaak dezelfde plaatsen gebruiken voor de eredienst, bv. de Tempelberg in Jeruzalem of de Hagia Sophia in Istanbul. Ondanks belangrijke maatschappelijke en culturele veranderingen blijft hun betekenis bewaard. Het aanbrengen van tekens (“markers”) staat naast een benadering waarbij informatie wordt overgeleverd via informatie (archieven). Deze wijze van herinneren vraagt eveneens dat de informatie steeds opnieuw wordt gekopieerd en hertaald (193).

9.2.7 Beoordeling van de effecten voor de lange termijn

In Tabel 20 wordt de beoordeling van de effecten voor de lange termijn samengevat.

Tabel 20: Beoordeling van de effecten op landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie voor de lange termijn

	Actief beheer	Passief beheer
Structuur- en relatiewijzigingen		
Verwijderen of verstoren van geomorfologische elementen en eenheden	--	0
Landschapsecologische verstoring of aantasting	--	+++
Functionele versnippering of ontsnippering van het actuele gebruik	--	+++
Verlies van erfgoedwaarde	--	0
Wijziging perceptieve kenmerken	--	+++

De effecten hangen af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Hun omvang kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

De effecten op lange termijn komen voor de discipline landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie bovenop de effecten op korte termijn. Hier treden wel belangrijke verschillen op. Bij passief beheer kunnen de bovengrondse sporen in principe gewist worden. Hierdoor kan het landschap hersteld of opnieuw ontwikkeld worden. De positieve scores voor passief beheer moeten eerder als een potentieel beschouwd worden dan als zekerheden.

Bij eeuwigdurende opslag blijven de negatieve effecten veroorzaakt door aanleg en exploitatie gehandhaafd. Door het feit dat de installaties telkens opnieuw vervangen moeten worden, is een verdere uitbreiding van de sites op termijn denkbaar. Daarom wordt een negatieve score gegeven.

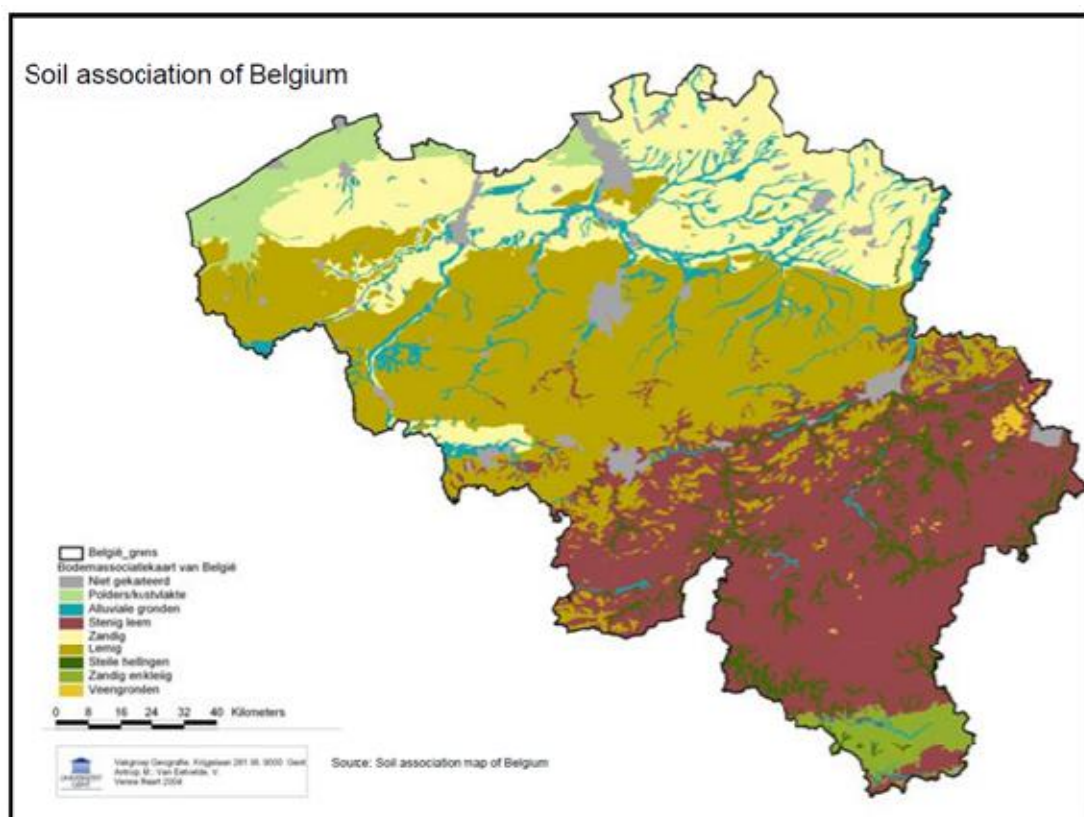
9.3 Impact op grondstoffen

9.3.1 Bodem

9.3.1.1 Inleiding

De opslag of berging van hoogradioactief en/of langlevend afval zal gevolgen hebben voor de bodem in het plangebied. Bij het inrichten van de site voor opslag of berging zal de bodem immers verstoord worden. Hierbij wordt de bodem gedefinieerd als de verschillende lagen van de aardkorst. Zowel de impact op de ondiepe bovenste lagen die samen slechts enkele meters dik zijn (**bodem** sensu stricto) als de impact op de dieper gelegen lagen (**ondergrond**) worden onderzocht. De bodem vormt een zeer dynamisch systeem dat talrijke functies vervult en een cruciale rol speelt in de menselijke activiteit en het overleven van ecosystemen. De belangrijkste bodemfuncties zijn: een basis voor de productie van voedsel en andere biomassa (productiemiddel), een buffer, filter, bergplaats of medium voor verschillende processen, een habitat- en genenpoel (ecologische standplaats), een fysische en culturomgeving voor de mens (fysische standplaats) en een bron van grondstoffen (natuurlijke rijkdommen). Verder speelt de bodem ook een rol als landschapselement en als waardevol historisch en wetenschappelijk element.

Ruimtelijk gezien omvat het studiegebied voor het aspect bodem in principe de bodem en de ondergrond van het volledige grondgebied van België. Voor een globaal overzicht van de in België voorkomende bodems en diepere geologische lagen kan respectievelijk verwezen worden naar de bodemassociatiekaart (194) (Figuur 53) en de geologische kaart (Figuur 6). In de praktijk zal het studiegebied wel verschillen naargelang de beheeroptie. Voor geologische berging en berging in diepe boorgaten is men immers gebonden aan gebieden in België waar een geschikte gastformatie in de ondergrond voorkomt. Gaat het daarentegen om langdurige of eeuwigdurende opslag, dan speelt de aard van de bodem en de ondergrond een veel kleinere rol voor de keuze van een inplantingsplaats en kan die bijna om het even waar op Belgisch grondgebied gesitueerd worden.



Figuur 53: Bodemassociatiekaart van België

Bodemaantasting is een niet te verwaarlozen probleem in België. De belangrijkste aantastingsprocessen waaraan de bodem blootgesteld wordt, zijn erosie, verlies van organische stof, verontreiniging, verzilting, verdichting, afname van de biodiversiteit in de bodem, verdichting, overstromingen en aardverschuivingen.

Bodemverstoring of bodemdegradatie wordt veroorzaakt of versneld door menselijk ingrijpen zoals land- en bosbouw op basis van ongeschikte methoden, industriële activiteiten, toerisme, stedelijke en industriële uitbreiding en bouwactiviteiten. Onder bodemverstoring wordt verstaan:

- **bodemverontreiniging** (verlies van chemische bodemkwaliteit door aanrijking met milieugevaarlijke stoffen zoals zware metalen, pesticiden, organische

micropolluenten en door verhoogde aanrijking van de bodem met de nutriënten stikstof, fosfor en kalium (vermesting));

- **bodemaantasting** (verlies van fysische bodemkwaliteit door erosie, verlies aan organisch materiaal en mineralen, verzilting, verdichting, structuurbederf, grondverschuiving, zetting, inklinking, wijziging van het microreliëf, profielverstoring, vermindering van de bodembiodiversiteit, bodemafdrift en de winning van oppervlaktedelfstoffen (verstoring van de diepe ondergrond));
- **verdroging of vernatting** van de bodem door wijzigingen in (grond)waterstanden of -stromingen;
- **verzuring** van de bodem door verzurende depositie van zwavel- en stikstofhoudende verbindingen.

Dit resulteert in een verminderde bodemvruchtbaarheid, koolstofopslag en biodiversiteit, een geringer vermogen om water vast te houden, verstoring van gas- en voedingsstoffencycli en minder afbraak van verontreinigende stoffen. Bodemaantasting heeft een direct effect op water- en luchtkwaliteit, biodiversiteit en klimaatverandering. Het kan ook schadelijk zijn voor de gezondheid van de mens en kan een gevaar betekenen voor de voedsel- en diervoederveiligheid.

Abstractie makend van de radiologische effecten, die in paragrafen 9.1.2 en 9.4.3 besproken worden, kunnen ten gevolge van de keuze voor één van de beheeropties effecten op de chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit verwacht worden. Vertrekkend van de projectingrepen worden effecten verwacht die vergelijkbaar zijn met de effecten bij de aanleg en inrichting van een bedrijventerrein (voor de beheeropties met bovengrondse opslag) en/of de effecten bij de ontginning van delfstoffen (voor de bergingsopties). Relevante bodemversturende ingrepen hierbij zijn de terreinvoorbereiding (verwijderen van vegetatie, grondverzet en nivellering, ...) en de inrichting, aanleg en bouw van de gebouwen en de infrastructuur (funderingen, verhardingen, wegenis, gebouwen, installaties, afwatering en riolering, ...). Op lange termijn komen daar in het geval van actief beheer nog de afbraak en de herbouw van de installaties bij, waarbij opnieuw dezelfde impacts op de bodem verwacht kunnen worden. Bodemaantasting, bodemverontreiniging en wijziging van de bodemvochttoestand zijn relevante te verwachten bodembedreigingen voor de korte termijn (ca. 100 jaar) ten gevolge van de realisatie van het project. Verzuring tengevolge van het Afvalplan wordt gezien de verwachte ingrepen en emissies niet als een relevant effect beschouwd. Voor geologische berging dient er in het begin van de lange termijn (na ca. 500 jaar) ook rekening gehouden te worden met thermische effecten op de gastformatie.

9.3.1.2 Methodiek voor de korte termijn

Voor de effectbeoordeling zal op korte termijn (tot ca. 100 jaar) gekeken worden naar de effecten op bodem in de aanleg- en exploitatiefase. De effecten op de bodem zullen zich voornamelijk tijdens de aanlegfase manifesteren, tijdens de bouw-, boor- en graafwerken. Tijdens de exploitatiefase (zijnde de periode waarin de opslag- of bergingsinstallatie gevuld wordt en daarna gesloten of in stand gehouden wordt) worden behalve (accidentele) bodemverontreiniging ten gevolge van potentieel bodemverontreinigende activiteiten (bv. opslag van olie of brandstoffen) geen bijkomende effecten op de bodem meer verwacht. Hierbij wordt ervan uit gegaan dat er na de eventueel nodige bemaling tijdens de aanlegwerken geen permanente bemaling van de gebouwen of installaties vereist is.

Globaal zijn de te verwachten effecten op de bodem negatief, aangezien steeds vertrokken wordt van een bodembeschermingsvisie waarbij elke verstoring a priori te vermijden is. Dit is te verantwoorden omdat bodemvorming en geologische afzetting processen zijn met een tijdsdimensie van meerdere tientallen eeuwen tot miljoenen jaren. De vorming en

regeneratie van de bodem zijn uiterst langzame processen, waardoor de bodem als een niet-hernieuwbare hulpbron beschouwd moet worden. Vernietiging, verstoring of vervuiling van bodems zijn in dit opzicht quasi onomkeerbare effecten. Voor een duiding van de tijdsdimensie waarop bodems afgezet en gevormd worden, kan verwezen worden naar paragrafen 6.1 en 6.2.

Nochtans kunnen ook positieve effecten optreden, zoals het vrijkomen van secundaire grondstoffen als gevolg van de graafwerken (bij berging) of, indien de opslag- of bergingslocatie op een vervuild terrein voorzien wordt, een voorafgaande bodemsanering. Dit zijn echter eerder zijdelingse effecten die optreden als gevolg van een initieel bodemverstoring (negatief) effect (uitgraving, grondverzet, ontginning, ...).

Rekening houdend met het feit dat de site voor opslag of berging van radioactief afval vandaag nog niet vastligt, waardoor geen uitspraken kunnen gedaan worden over locatiespecifieke bodemkenmerken, zijn de relevante te bestuderen effecten op de bodem voor de korte termijn de volgende:

- Fysische bodemverstoring op de opslag- of bergingslocatie, vooral wijziging van het bodemprofiel, maar ook wijziging van bodemgebruik tijdens de aanlegfase, structuurwijziging en verdroging;
- Niet-radiologische bodemverontreiniging tijdens de aanlegfase door olie, additieven of materialen gebruikt bij de bouw van de installatie; accidentele niet-radiologische verontreiniging tijdens de exploitatiefase wordt gezien de verwachte activiteiten als minder relevant beschouwd;
- Grondverzet, waarbij overschotgronden ontstaan die mogelijk aanleiding zullen geven tot effecten op de bodem buiten de site. De omvang van deze effecten wordt bepaald door het volume en de kwaliteit van de grond, maar ook door het al dan niet sluitend zijn van de grondbalans en het eventueel beschikbaar komen van primaire delfstoffen.

Al deze effecten op de bodem kunnen, al dan niet in samenhang met effecten op het (grond)water, leiden tot effecten op fauna en flora, landschap en mens.

Effecten op de bodem die samenhangen met specifieke uitvoeringswijzen van de werkzaamheden worden in deze strategische fase van de milieueffectbeoordeling nog niet in beschouwing genomen wegens gebrek aan informatie hierover. Bovendien zijn dergelijke effecten tijdelijk en kunnen ze gemilderd worden. De nadruk ligt op de ondersteuning van de principebeslissing. Projectspecifieke impacts, keuze van locaties en gedetailleerde technische ontwerpen zijn momenteel nog niet aan de orde, maar zullen wel aan bod komen in latere milieueffectbeoordelingen die samenhangen met de zoektocht naar een geschikte locatie of de uitwerking van een specifiek project op de gekozen locatie.

Het toetsingskader voor de effecten op de bodem op korte termijn wordt weergegeven in Tabel 21.

Belangrijk om te vermelden is dat de gehanteerde oppervlakten en volumes in deze strategische fase afgeleid zijn van type-inrichtingen en algemene concepten die uitgaan van een "worst case" benadering. De werkelijke oppervlakten en volumes kunnen hier nog substantieel van afwijken.

In Tabel 22, Tabel 23 en Tabel 24 wordt het toetsingskader per effect vertaald in een scoretabel. Effecten kunnen neutraal (score 0), gering negatief (score -), matig negatief (score - -) of sterk negatief (score - - -) zijn. Voor gering negatieve effecten is mildering wenselijk doch niet verplicht, bij matig negatieve effecten is mildering noodzakelijk. Bij sterk negatieve effecten is het – vanuit het standpunt van de discipline bodem – wenselijk om een

alternatieve oplossing te kiezen. Is dat niet mogelijk, bv. omdat men andere aspecten van groter belang acht, dan is mildering noodzakelijk.

Tabel 21: Toetsingskader voor de effecten op de bodem voor de korte termijn

Effect	Criterium	Methode	Eenheid	Significantie
Fysische bodemverstoring	Mate waarin de bodem vergraven en/of verhard wordt	Bepaling van de oppervlakte verstoorde bodem ten gevolge van de aanleg of bouw van gebouwen, verharding en infrastructuur	ha	Beoordeling afhankelijk van de waarde van de bodem en de uitgestrektheid van de verstoring
Bodemverontreiniging	Mate waarin de bodem verontreinigd kan raken tijdens de aanleg en de exploitatie	Bepaling van de oppervlakte ingenomen bodem ten gevolge van de aanleg of bouw van gebouwen, verharding en infrastructuur	ha	Beoordeling afhankelijk van de bovengrondse oppervlakte-inname en de hoeveelheid bovengrondse potentieel bodemverontreinigende activiteiten
Grondverzet	Mate waarin de beheeroptie grondverzet en overschotgrond of een tekort aan grond genereert tijdens de aanleg en de exploitatie	Bepaling van het volume grondverzet en het volume vrijkomende delfstoffen	m ³	Beoordeling afhankelijk van de omvang van het grondverzet, het vrijkomen van delfstoffen en de mate waarin de grondbalans gesloten is

Fysische bodemverstoring

Bodemverstoring door grondwerken en verharding wordt negatief beoordeeld. De ernst van het effect wordt in principe bepaald door de waarde van de bodems in combinatie met de verstoorte oppervlakte. Wanneer geen verstoring van de oppervlakkige bodem optreedt is de beoordeling van het effect neutraal, verstoring van recent verstoorte bodems is beperkt negatief, verstoring van ongestoorde bodems in natuurlijk of landbouwkundig gebruik is een matig negatief effect, verstoring van waardevolle of beschermde bodems of profielen (zie kader, (195)) is sterk negatief.

De ontwikkeling van een bodemprofiel is een proces van duizenden jaren onder specifieke omstandigheden. De invloed van het moedermateriaal, het substraat, het klimaat, de geomorfologie en hydrologie, de fauna en flora en de mens zijn hierbij bepalend. Een bodemprofiel vormt op die manier een weerspiegeling van de natuurlijke en cultuurhistorische voor-geschiedenis van een bepaalde locatie. Onafhankelijk van de gebruiksfunctie kan een bodem als waardevol beschouwd worden vanuit een wetenschappelijk of maatschappelijk oogpunt. Het bewaren en beschermen van de bestaande waardevolle bodems is belangrijk voor het behoud van het bodemkundig patrimonium. Door de Universiteit Gent, de K.U. Leuven en de Bodemkundige Dienst van België werd in 2006 een verkennende studie naar waardevolle bodems in Vlaanderen afgerond in opdracht van de Dienst Land en Bodembescherming.

Om als bodemkundig erfgoed te kunnen worden beschouwd, moeten bodems waardevol zijn vanuit een patrimonium- of kapitaalperspectief. De geologische en cultuurhistorische kenmerkendheid, de geogenetische en cultuurhistorische zeldzaamheid, de bijzondere ouderdom, de unieke bodemsysteem sequenties, de gaafheid, de vormkenmerkendheid en de unieke eigenschappen voor wetenschappelijk onderzoek of educatie bepalen de erfgoedwaarde van een bodemprofiel (Bron: Project Waardevolle bodems in Vlaanderen, 2006).

Tot op heden zijn echter nog geen beschermd bodems in Vlaanderen/België aangeduid of is nog geen wetgevend kader terzake ontwikkeld. In de genoemde verkennende studie wordt aangegeven dat een afzonderlijk wettelijk kader eventueel zelfs niet zinvol is, maar dat de bescherming van bodems het best deel uitmaakt van bijvoorbeeld een bescherming als landschap, natuurgebied of archeologische site. De studie heeft een aanzet gevormd tot de opmaak van een databank waarin een eerste reeks van waardevolle bodems zijn opgenomen. Aangezien de precieze locatie van de beheeroptie nog niet gekend is, kan de interferentie met deze eerste reeks onderzochte waardevolle bodemsites niet afgeleid worden.



Aangezien er echter nog geen zicht is op de precieze locatie en bijgevolg op de waarde van de bodems, wordt er onderscheid tussen de beheeropties gemaakt op basis van de ingenomen oppervlakte, waarbij een grotere oppervlakte tot een meer negatieve beoordeling zal leiden.

De beheeropties worden daarbij ten opzichte van de status quo-optie beoordeeld. In Tabel 22 wordt de scoretabel weergegeven. De beoordeling is kwalitatief, de gehanteerde oppervlaktegrenswaarden hebben immers geen absolute betekenis, maar dienen een rangschikking tussen de beheeropties mogelijk te maken.

Tabel 22: Scoretabel voor fysieke bodemverstoring

Score	Effect	Betekenis
0	Geen effect	Geen bodemversturende activiteiten
-	Gering negatief effect	De oppervlakte verstoorde bodem bedraagt maximaal 5 ha
--	Matig negatief effect	De oppervlakte verstoorde bodem is groter dan 5 ha en is maximaal 15 ha
---	Sterk negatief effect	De oppervlakte verstoorde bodem is groter dan 15 ha

Bodemverontreiniging

Het effect dat hier beoordeeld wordt, is de potentiële bovengrondse verontreiniging van de bodem tijdens de aanleg en de exploitatie. Bodemverontreiniging kan een impact hebben op het grondwater en het oppervlaktewater en kan verder ook het bodemgebruik door mens en natuur hypothekeren. De kans op bodemverontreiniging tijdens de aanlegfase neemt toe naarmate meer bovengrondse oppervlakte ingenomen wordt en meer bovengrondse activiteiten met potentiële bodemverontreinigende impact zullen voorkomen (transporten, opslag van olie en brandstof, opslag van gevaarlijke producten, bouw van de installaties). Accidentele bodemverontreiniging door ondergrondse activiteiten in isolerende gastformaties wordt als verwaarloosbaar beschouwd aangezien de bodemverontreiniging zich daar niet kan verspreiden. In principe dient er bij de beoordeling ook rekening gehouden te worden met de kwetsbaarheid van de bodem en het freatisch grondwater ten aanzien van verontreiniging, evenals met de nabestemming van de bodem. Aangezien de locatiekeuze echter nog niet vastligt, kan hiermee geen rekening gehouden worden. De beheeropties worden opnieuw ten opzichte van de status quo-optie beoordeeld.

In Tabel 23 wordt de scoretabel weergegeven. De beoordeling is ook hier kwalitatief, de gehanteerde oppervlaktegrenswaarden hebben geen absolute betekenis, maar dienen een rangschikking tussen de beheeropties mogelijk te maken.

Tabel 23: Scoretabel voor bodemverontreiniging

Score	Effect	Betekenis
0	Geen effect	Geen potentieel bodemverontreinigende activiteiten
-	Gering negatief effect	De oppervlakte verstoorde en ingenomen bodem bedraagt maximaal 5 ha.
--	Matig negatief effect	De oppervlakte verstoorde en ingenomen bodem is groter dan 5 ha en is maximaal 15 ha.
---	Sterk negatief effect	De oppervlakte verstoorde en ingenomen bodem is groter dan 15 ha

Grondverzet

Grondverzet wordt algemeen als een negatief effect beoordeeld. Het vrijkomen van delfstoffen kan echter als een positief effect beschouwd worden. Een grondbalans in evenwicht wordt normaal gezien als gering negatief beschouwd, een negatieve grondbalans (extern grondoverschot of grondaanvoer) impliceert externe effecten en wordt sterk negatief beoordeeld. Wanneer valoriseerbare delfstoffen vrijkomen bij het grondverzet wordt een matig negatieve beoordeling gegeven. Met eventueel vrijkomende vervuilde gronden (dus sanering van de bodem, wat een positief effect zou zijn) kan hier geen rekening gehouden worden aangezien dit een locatiegebonden gegeven is. Ook met eventuele opportuniteiten in de nabije omgeving (grondvraag in nabije werven) kan ook nog geen rekening gehouden worden. Hierdoor is het criterium "al dan niet gesloten grondbalans" moeilijk hanteerbaar om de beheeropties te vergelijken. Vandaar dat de beheeropties momenteel enkel zinnig vergeleken kunnen worden aan de hand van de geraamde totale hoeveelheden grondverzet, zonder rekening te houden met intern of extern hergebruik. De grondverzetvolumes zijn eveneens afgeleid van de bodemverstoorde oppervlakten en een aantal typegegevens m.b.t. de beheeropties en zijn dus eveneens eerder als grootte-orde te beschouwen dan als absolute of concrete cijfers. De beheeropties worden daarbij ten opzichte van de status quo-optie beoordeeld. De beoordeling leidt uiteindelijk tot een rangschikking van de beheeropties

naar volume grondverzet, waarbij een groter grondverzet aanleiding geeft tot een meer negatieve beoordeling. De gehanteerde klassegrenzen zijn opnieuw niet gerelateerd met concrete drempelwaarden of normen.

Tabel 24: Scoretabel voor grondverzet

Score	Effect	Betekenis
0	Geen effect	Geen grondverzet
-	Gering negatief effect	Het totaal volume grondverzet is kleiner dan 50.000 m ³
--	Matig negatief effect	Het totaal volume grondverzet is groter dan 50.000 m ³ en kleiner dan 500.000 m ³
---	Sterk negatief effect	Het totaal volume grondverzet is groter dan 500.000 m ³

9.3.1.3 Beschrijving van de effecten voor de korte termijn

Fysische bodemverstoring

In Tabel 25 wordt een inschatting gegeven van de verstoring van de oppervlakkige bodem door de verschillende onderdelen die mogelijk deel uitmaken van de beheerinstallaties. De opslaggebouwen, de gebouwen voor post-conditionering, de administratieve gebouwen, de infrastructuur voor de toegangsschachten of de boorgaten inclusief de bijhorende verharding en wegen op het terrein en de zones waar de ontgonnen delfstoffen (uit de geologische berging of uit de diepe boorgaten) opgeslagen worden, zijn de meest belangrijke ingrepen die aanleiding zullen geven tot bodemverstoring. De tabel geeft ook een overzicht van het totale ruimtebeslag van de site. Hiermee wordt de totale oppervlakte binnen de omheining bedoeld. Gezien de gehanteerde veiligheidssperimeters is deze oppervlakte aanzienlijk groter dan de oppervlakte bodem die tijdens de aanlegwerken effectief verstoord wordt.

De inschattingen in de tabel zijn gebaseerd op (87), (34) en (36), aangevuld met eigen berekeningen. De volgende aannames werden gemaakt:

- Voorafgaand aan de constructie van de gebouwen voor langdurige of eeuwigdurende opslag moet het terrein opgehoogd worden om het overstromingsrisico maximaal te beperken. In principe kan de site immers in een laag gelegen gebied gekozen worden. Op andere plaatsen is er geen overstromingsrisico en is ophoging niet nodig. We gaan voorzichtigheidshalve uit van een ophoging van 2 meter over een oppervlakte van ca. 9 hectare (ca. 7 hectare voor de opslaggebouwen zelf en ca. 2 hectare voor de gebouwen voor post-conditionering en administratie). Grondwerken zijn ook nodig voor de aanleg van wegen en nutsvoorzieningen op de site. De totale oppervlakte verstoorde bodem loopt zo op tot ca. 14,5 hectare.
- Ook bij geologische berging moeten bepaalde delen van de site opgehoogd worden. Een deel van de zone waar weinig verharde klei (in casu leperiaanklei) voorkomt, is immers zeer laag gelegen, praktisch op zeeniveau. Op andere plaatsen is er geen overstromingsrisico en is ophoging niet nodig. We gaan voorzichtigheidshalve uit van een ophoging van 2 meter over een oppervlakte van ca. 3,5 hectare (ca. 1,5 hectare voor de gebouwen die toegang verlenen tot de schachten en ca. 2 hectare voor de gebouwen voor post-conditionering en administratie). Grondwerken zijn ook nodig voor de aanleg van wegen en

nutsvoorzieningen op de site. Bovendien is een oppervlakte van 11 hectare nodig voor de opslag van de uitgegraven kleien en zanden (zie paragraaf 7.2.1.2). De totale oppervlakte verstoorde bodem loopt zo op tot ca. 20 hectare.

- We nemen aan dat bij berging in diepe boorgaten ongeveer dezelfde oppervlakte opgehoogd moet worden als bij geologische berging. De oppervlakte die nodig is voor de opslag van de uitgegraven delfstoffen is wel kleiner, ca. 5,5 hectare. De totale oppervlakte verstoorde bodem wordt ingeschat op ca. 14,5 hectare.
- Bij de status quo-optie moet de capaciteit van de bestaande installaties uitgebreid worden. We nemen aan dat een bijkomende oppervlakte van ca. 1 hectare met 2 meter opgehoogd wordt om het risico van overstromingen maximaal te beperken.
- De ruimte-inname is in alle gevallen groter dan de oppervlakte verstoorde bodem, aangezien er steeds perimeters voorzien worden. De totale ruimte-inname is ca. 40,5 hectare voor langdurige of eeuwigdurende opslag (zie paragraaf 7.2.2.1), ca. 75 hectare voor geologische berging en ca. 1260 hectare voor berging in diepe boorgaten (zie paragraaf 7.2.1.2). Voor de status quo-optie is een beperkte bijkomende ruimte-inname van 8 hectare verondersteld (zie paragraaf 7.2.3).

Tabel 25: Inschatting van de bodemverstoring en het ruimtebeslag per beheeroptie (in ha)

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Oppervlakte bijkomende bodemverstoring (ha)						
Opslaggebouwen	7	0	0	7		1
Post-conditionering en administratie	7,5	7,5	7,5	7,5		0
Schachten- of boorgateninfrastructuur	0	1,5	1,5	0		0
Opslag van delfstoffen	0	11	5,5	0		0
Totaal	14,5	20	14,5	14,5		1
Oppervlakte bijkomend ruimtebeslag (ha)						
Opslaggebouwen	33	0	0	33		8
Post-conditionering en administratie	7,5	75	1260	7,5		0
Schachten- of boorgateninfrastructuur	0			0		0
Opslag van delfstoffen	0			0		0
Totaal	40,5	75	1260	40,5		8

Wat betreft bodemverstoring zijn alle beheeropties met opslag voor de korte termijn vergelijkbaar. Ongeveer 14,5 ha bodem zal tijdens de aanlegfase verstoord worden. Ook voor berging in diepe boorgaten wordt een vergelijkbare oppervlakte aan bodemverstoring verwacht, waarbij geen bovengrondse opslaggebouwen maar wel een vergelijkbare oppervlakte voor bovengrondse opslag van vrijgekomen delfstoffen voorzien is. De status quo-optie zal een beperkte uitbreiding van de bestaande installaties vergen, waarbij ca. 1 ha bodem bijkomend zal verstoord worden. De optie geologische berging heeft het grootste bodemverstoring effect (20 ha), vooral door de relatief grote oppervlakte die nodig is voor de opslag van de uitgegraven delfstoffen.

Bodemverontreiniging

Potentiële bodemverontreiniging tijdens de aanlegfase kan gezien het strategisch niveau en het ontbreken van locatiegebonden bodemkarakteristieken en concrete inrichtings- en uitvoeringswijzen voorlopig enkel bestudeerd worden op basis van de oppervlakten waar bouwactiviteiten zullen gebeuren. Voor de oppervlakten kan verwezen worden naar Tabel 25 (bodemverstoring).

Eeuwigdurende opslag en langdurige opslag scoren evenwaardig gezien de vergelijkbare verstoorde oppervlakten. Voor de status quo-optie is enkel een kleine bijkomende oppervlakte nodig voor de uitbreiding van de capaciteit van de bestaande opslaggebouwen.

Bij berging in diepe boorgaten zijn geen gebouwen voor bovengrondse opslag voorzien, maar de activiteiten gepaard gaande met de opslag van de vrijkomende delfstoffen kunnen aanleiding geven tot accidentele bodemverontreiniging. Op deze manier scoort berging in diepe boorgaten niet beter dan de beheeropties met opslag op basis van het oppervlakte-criterium.

Geologische berging beslaat de grootste oppervlakte. Vooral de grote oppervlakte die zal ingenomen worden door de vrijgekomen delfstoffen is hierbij van doorslaggevende aard. Deze oppervlakte is echter een "worst case" inschatting: het is mogelijk dat de delfstoffen als secundaire grondstof gebruikt worden.

Grondverzet

In Tabel 26 wordt het grondverzet per beheeroptie ingeschat. Er wordt rekening gehouden met vrijkomende delfstoffen bij geologische berging en diepe boorgaten, daarnaast dienen gronden aangevoerd te worden voor de afdekking van de op het terrein opgeslagen delfstoffen en voor de ophoging van gebouwen en installaties. Tot slot kunnen ook de grondstoffen nodig voor de opvulling van de ondergrondse berging en de diepe boorgaten (bentoniet en beton bestaande uit zand, granulaten en cement) als grondverzet meegeteld worden.

De volgende aannames worden gemaakt:

- Er wordt met een "worst case" van 2 m ophoging gerekend, ter bescherming van de gebouwen tegen overstroming. De op te hogen oppervlakte is 1 hectare voor de status quo-optie, 9 hectare voor langdurige of eeuwigdurende opslag en 3,5 hectare voor geologische berging en berging in diepe boorgaten (zie de aannames voor Tabel 25).
- De gegevens i.v.m. het volume uitgegraven delfstoffen, het volume voor opvulling en het volume grond voor afdekking van de "rock dumps" in geval van geologische berging zijn gebaseerd op (87).
- Het volume uitgegraven delfstoffen bij berging in diepe boorgaten hangt af van de diameter. Het zal gaan om minstens ca. 165.000 m³. Er wordt aangenomen dat de helft daarvan (de bovenste 2 kilometer) na de plaatsing van het afval opgevuld wordt. Het volume van de "rock dumps" is ongeveer half zo groot als bij geologische berging; er wordt dus verondersteld dat het volume grond voor afdekking eveneens half zo groot is.

Tabel 26: Inschatting van het grondverzet per beheeroptie (in m³)

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Delfstoffen en grondverzet (m³)						
Volume vrijkomende delfstoffen	0	311.000	165.000	0	0	0
Volume nodige delfstoffen voor opvulling	0	171.300	82.500	0	0	0
Aanvoer van grond voor afdekking van de opslag van delfstoffen	0	145.000	77.000	0	0	0
Aanvoer van grond voor ophoging voor gebouwen	180.000	70.000	70.000	180.000	180.000	20.000
Totaal grondverzet	180.000	697.300	394.500	180.000	180.000	20.000

Geologische berging vertegenwoordigt het grootste grondverzet, dit is in hoofdzaak te wijten aan de opslag en afdekking van de uitgegraven bodem op de site. Bij berging in diepe boorgaten zal een kleinere hoeveelheid delfstof vrijkomen. De opslag-opties vereisen enkel een aanvoer van grond voor ophoging van gebouwen en installaties, de status quo-optie heeft slechts een beperkt grondverzet.

9.3.1.4 Beoordeling van de effecten voor de korte termijn

In Tabel 27 worden de beoordelingen volgens de hoger gedefinieerde toetsingskaders voor de kortetermijneffecten op bodem samengevat.

Tabel 27: Beoordeling van de effecten op de bodem voor de korte termijn

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Fysische bodemverstoring	--	---	--	--	--	-
Bodemverontreiniging	--	---	--	--	--	-
Grondverzet	--	---	---	--	--	-

De effecten hangen af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Hun omvang kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

De status quo-optie zal aanleiding geven tot geen of geringe effecten op de bodem. De beheeropties met opslag scoren gelijkwaardig: er zijn matig negatieve effecten op de bodem te verwachten. Geologische berging en berging in diepe boorgaten scoren het meest negatief (matig tot sterk negatieve effecten). Het aantal effecten en de omvang ervan zijn groter dan bij de beheeropties met opslag.

Beoordeling volgens typeomgeving

Aangezien er geen scherpe ruimtelijke afbakening mogelijk is voor het plangebied of effectgebied, kan er gewerkt worden met typeomgevingen (stedelijk gebied, landbouwgebied, natuurgebied en industriegebied, zie paragraaf 5.3.2). Voor het aspect bodem is het duidelijk dat effecten zoals bodemverstoring en bodemverontreiniging anders kunnen beoordeeld worden naargelang de typeomgeving. Bodemverstoring of bodemverontreiniging in stedelijke of industriële omgevingen, die gekenmerkt zijn door reeds sterk verstoorde bodems, zullen minder negatief beoordeeld worden dan in een natuurlijke of agrarische omgeving, waar mogelijk nog relatief onverstoorde bodems aangetroffen worden. De beoordeling van het grondverzet zal eerder onafhankelijk zijn van de typeomgeving.

9.3.1.5 Methodiek voor de lange termijn

Gezien de grote onzekerheid over de evolutie van de omgeving, de maatschappij en de beheerinstallaties op lange termijn heeft het geen zin om aspecten als grondverzet, bodemverstoring en bodemverontreiniging in rekening te brengen.

Een niet te verwaarlozen impact die zich aan het einde van de korte termijn en in het begin van de lange termijn situeert, is de thermische impact op de gastformatie bij geologische berging en bij berging in diepe boorgaten. Het betreft hier het effect ten gevolge van de toename van de temperatuur van het gastgesteente door de berging van middel- en hoogradioactief afval.

Thermische effecten op de gastformatie

Voor geologische berging zijn thermische berekeningen uitgevoerd om de maximale temperatuurstijgingen te kwantificeren (190). Deze temperatuurstijgingen worden gedefinieerd als het verschil tussen de temperatuur die plaatselijk veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van het afval en de initiële temperatuur van de gastformatie. Ter hoogte van het ondergrondse laboratorium HADES te Mol bedraagt de temperatuur van de Boomse Klei ongeveer 16°C (7).

De VLAREM-regelgeving (51) stelt dat de temperatuur van het grondwater hoogstens 25°C mag bedragen. Over de temperatuur van het gastgesteente is er geen regelgeving. Voor geologische berging wordt het thermische effect als significant beschouwd wanneer de huidige temperatuur in het gastgesteente verandert.

Voor berging in diepe boorgaten is omgevingstemperatuur al veel hoger: ze is minstens van dezelfde grootte-orde (90-130°C) als wat op het thermisch front verwacht kan worden (7).

Voor de kwalitatieve beoordeling op de lange termijn wordt gebruik gemaakt van het toetsingskader in Tabel 28, dat vervolgens vertaald kan worden in een scoretabel zoals weergegeven in Tabel 29.

Tabel 28: Toetsingskader thermische effecten op de bodem

Effect	Criterium	Methode	Significantie
Thermische effecten op de gastformatie	Mate waarin de gastformatie opgewarmd wordt	Situering van de diepte van de berging en literatuuronderzoek naar eigenschappen van de gastformatie	Beoordeling afhankelijk van het al dan niet aanwezig zijn van een gastformatie en de eigenschappen ervan (warmtegeleidend vermogen, temperatuur)

Tabel 29: Scoretabel thermische effecten op de bodem

Score	Effect	Betekenis
0	Geen effect	Geen ondergrondse berging, dus geen thermisch effect op het gastgesteente
-	Verwaarloosbaar effect	De heersende temperatuur van het gastgesteente wordt niet permanent gewijzigd of de wijziging is verwaarloosbaar
--	Gering tot matig negatief effect	De heersende temperatuur van het gastgesteente wordt permanent en significant gewijzigd
---	Sterk negatief effect	De heersende temperatuur van het gastgesteente wordt permanent en significant gewijzigd, de gevolgen zijn onaanvaardbaar

9.3.1.6 Beschrijving van de effecten voor de lange termijn

Thermische effecten op de gastformatie

Voor verglaasd afval varieert de maximale opwarming binnenin de colli tussen 160 en 200°C na 50 jaar bovengrondse opslag, afhankelijk van de warmtegeleidbaarheid van het opvulmateriaal. De opwarming treedt op na ongeveer drie jaar en daalt sterk in de onge vulde

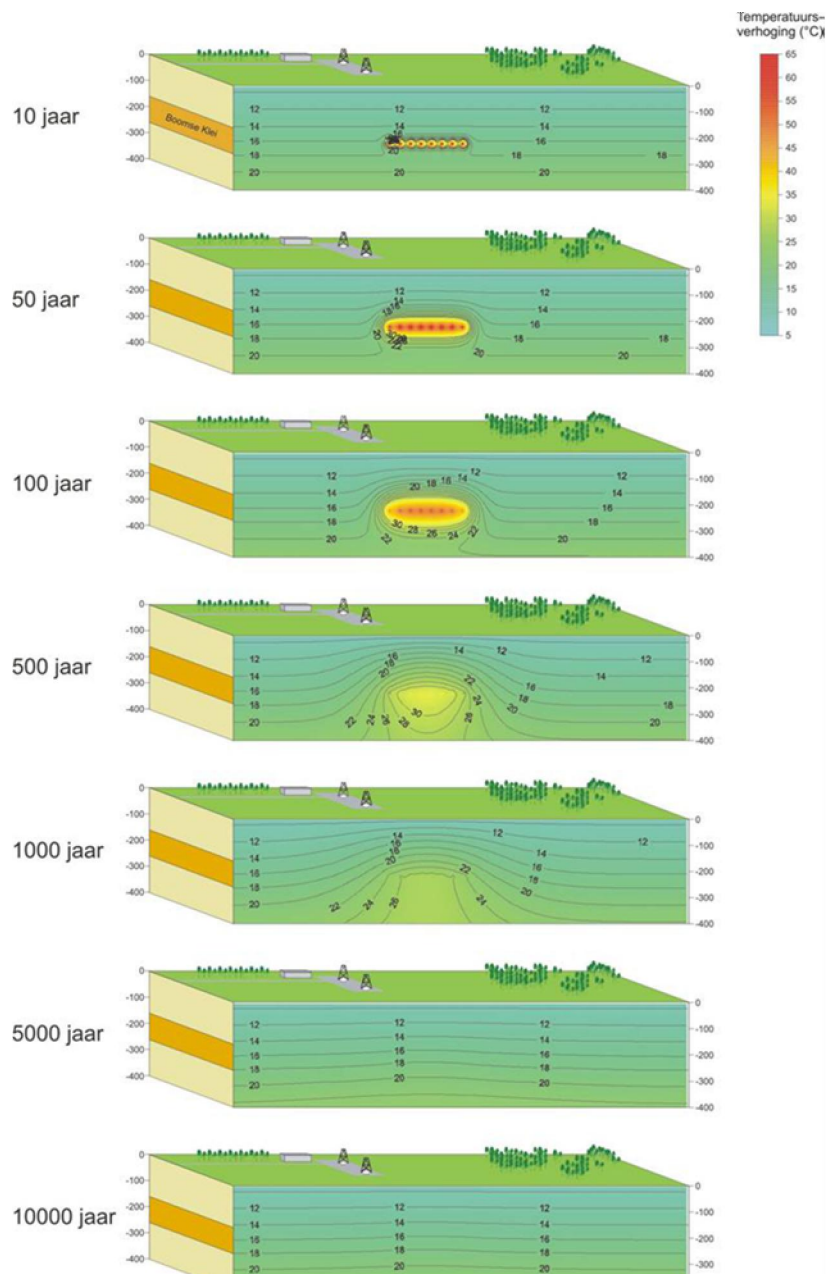
interfaces. Berekeningen over berging in weinig verharde klei tonen aan dat de temperatuur op de grens tussen de kunstmatige barrière en de klei hoogstens 80°C zal zijn (7), (190), (196).

Voor geologische berging worden voorlopig enkel de Boomse Klei en de Ieperiaanklei als gastformaties bestudeerd door NIRAS (zie paragraaf 7.2.1.2). Zowel boven als onder deze kleiafzettingen komen belangrijke watervoerende lagen voor. Verzadigde klei wordt gekenmerkt door een gering warmtedissipatievermogen ($1,7 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$), wat een beperking vormt voor het ontwerp van de bergingsinstallatie. Een significante temperatuurstoename van klei geeft aanleiding tot het wijzigen van de geochemische, geomechanische en hydrogeologische omstandigheden.

Het CERBERUS-experiment (197), dat werd uitgevoerd van 1987 tot 1998, vormt de belangrijkste in situ studie van de effecten van de berging van verglaasd afval op de Boomse Klei. Bij een temperatuurstijging van meer dan 100°C werd geconstateerd dat de mineralogische samenstelling niet significant werd gewijzigd. De pH bleef neutraal en de elektrochemische potentiaal bleef reducerend. Wel kon waargenomen worden dat door de thermische cycli een consolidatie van de klei veroorzaakt werd. In de Boomse Klei is het effect dus significant, aangezien de huidige temperatuur in het gastgesteente zal veranderen ten opzichte van de huidige situatie.

De opwarming van nabijgelegen watervoerende lagen dient eveneens in beschouwing genomen te worden, maar de maximale aanvaardbare temperatuurstijging van 6°C (tot 22°C) in de bovenliggende aquifer zal niet overschreden worden.

In geval van berging van verglaasd afval in de Boomse klei zal het thermische effect tussen 100 en 5000 jaar persisteren. Daarna zal de gastformatie opnieuw naar haar initiële toestand evolueren (zie Figuur 54, uit (20)).



Figuur 54: Maximale temperaturen rond de berging van verglaasd afval

Men schat dat het thermisch front zal resulteren in een geleidelijke en homogene opheffing (uplift) van de bodem boven de bergingsinstallatie van maximaal vijftien centimeter. Deze plaatselijke bodemverhoging kan een verdrogend effect hebben op de oppervlakkige bodem. De opheffing is echter gering en geleidelijk, en het resulterende verdrogende effect zal sterk bepaald worden door locatiegebonden kenmerken. Na ongeveer 10.000 jaar is dit effect voorbij (zie Figuur 51, uit (190)).

Bij berging in diepe boorgaten heeft de opwarming van het gastgesteente nauwelijks een invloed op de heersende condities van temperatuur en druk ter hoogte van het radioactief afval (gelegen op een diepte van 2 tot 4 km). Voor het bekken van Mons en het Bekken van de Kempen bedraagt de temperatuur op een diepte van 2500 meter ca. 90 tot 130°C (198).

De invloed van de warmte-afgifte door het afval zal dus kleiner zijn dan bij geologische berging in een gasteente met een temperatuur van ca. 15°C.

De beheeropties met bovengrondse opslag veroorzaken geen thermische effecten op de bodem.

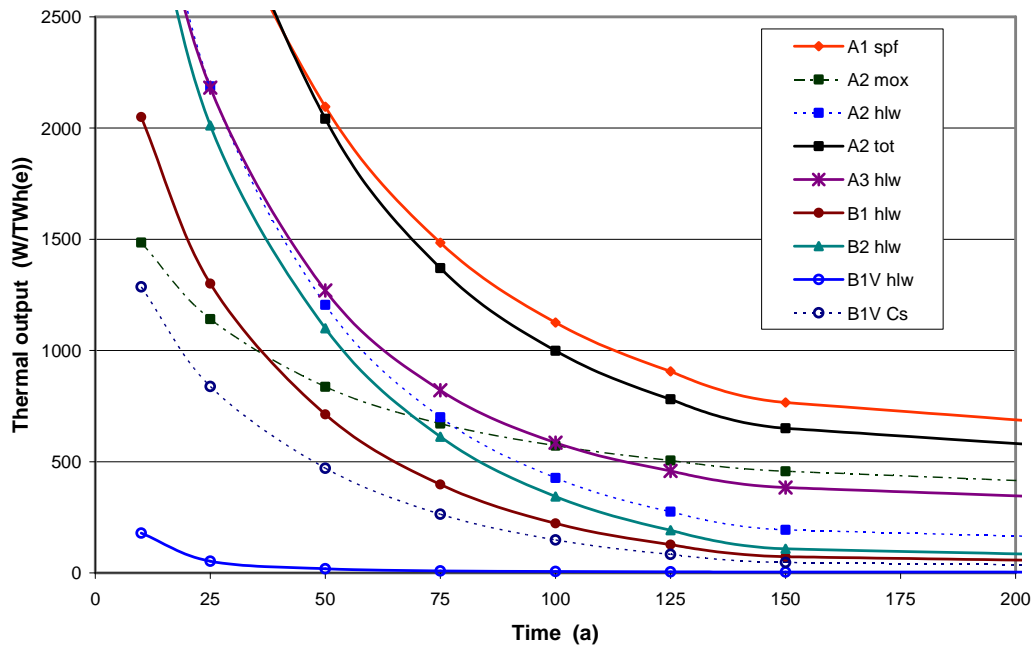
De toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën (zie paragraaf 7.2.2.2) kan een invloed hebben op de thermische impact van een latere definitieve beheeroptie. Een gedetailleerde beoordeling hiervan valt buiten het kader van deze SEA. Hieronder wordt enkel een kort overzicht gegeven van de invloed van een aantal mogelijke scenario's voor geavanceerde splijtstofcycli op de thermische impact van geologische berging.

In het Red-Impact-project van de Europese Commissie (120), (101) werd de invloed van vijf scenario's voor de splijtstofcyclus op een geologische berging geëvalueerd. Er werd verondersteld dat de splijtstofcycli evenwichtscondities bereiken, wat impliceert dat ze gedurende vele tientallen jaren (grootte-orde honderd jaar) effectief toegepast worden. De beschouwde splijtstofcycli zijn de volgende:

- cyclus A1 is de "open" cyclus waarbij de UOX-splijtstof bestraald wordt in lichtwaterreactoren
- in cyclus A2 wordt de UOX-splijtstof bestraald in lichtwaterreactoren, de bestraalde splijtstof wordt opgewerkt met het PUREX-procédé en het plutonium wordt één keer gerecycleerd als MOX-brandstof in lichtwaterreactoren
- in cyclus A3 wordt het plutonium meervoudig gerecycleerd in een snelle reactor
- in cyclus B1 wordt het plutonium samen met de "minor actinides" meervoudig gerecycleerd in een snelle reactor (zie Figuur 42)
- in cyclus B2 bestaat het reactorpark uit lichtwaterreactoren aangevuld met een ADS-reactor (Accelerator Driven System) voor het verwerken van de actiniden (zie Figuur 41)

De warmteafgifte van het huidige verglaasd afval na 300 jaar is vooral te wijten aan de "minor actinides", met name ^{241}Am . Als het afval geen of minder actiniden bevat, vermindert de afkoelingsstijd van het afval en de ruimte-inname van de bergingsinstallatie. Doordat in dat geval enkel de fissieproducten bijdragen aan de warmteafgifte, wordt de duur van de thermische fase beperkt tot een honderdtal jaar.

Figuur 55 (199) toont de evolutie van de warmteafgifte voor de beschouwde splijtstofcycli. Uit deze figuur blijkt dat de warmteafgifte van het verglaasd hoogradioactief afval dat bij heropwerking van bestraalde splijtstof in cyclus A2 geproduceerd wordt na een koeltijd van 50 jaar ongeveer 60% bedraagt van de warmteafgifte van de bestraalde splijtstof (zonder opwerking). Indien echter ook de bestraalde MOX-splijtstof als afval beschouwd wordt, is de warmteafgifte van het afval in cyclus A2 ongeveer 97% van de warmteafgifte in cyclus A1. De warmteafgifte van het afval in cycli B1 en B2 is respectievelijk 33% en 50% van de warmteafgifte in cyclus A1.



Figuur 55: Evolutie van de warmteafgifte voor de beschouwde splijstofcycli

9.3.1.7 Beoordeling van de effecten voor de lange termijn

In Tabel 30 wordt de beoordeling van de thermische effecten op de bodem samengevat.

Tabel 30: Beoordeling van de effecten op de bodem voor de lange termijn

	Actief beheer	Passief beheer	
		Geologische berging	Berging in diepe boorgaten
Thermische effecten op de gasformatie	0	--	-

Het effect hangt af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. De omvang ervan kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

9.3.2 Water

9.3.2.1 Inleiding

De opslag of berging van radioactief afval zal gevolgen hebben voor het oppervlaktewater en het grondwater in het plan- en effectgebied. Abstractie makend van de eventuele radiologische effecten, zijn de te verwachten effecten op het watersysteem ten gevolge van de inrichting en de exploitatie van een site voor de opslag of berging van radioactief afval

vergelijkbaar met die van de aanleg en exploitatie van een grootschalig bedrijventerrein (opslag) en/of de ontginning van delfstoffen (berging). Dit betekent dat er effecten op de kwaliteit en kwantiteit van het aanwezige grondwater en oppervlaktewater verwacht kunnen worden (door lozing van afvalwater en verharding van de bodem) en dat ook de structuurkwaliteit van de aanwezige waterlopen kan beïnvloed worden (door verandering van de waterhuishouding). Locatiegebonden factoren kunnen voorlopig nog niet meegenomen worden in de beoordeling, aangezien de locatie nog niet gekend is.

Het watersysteem vervult diverse functies, de belangrijkste zijn de volgende: de natuurlijke functie van water als leefomgeving, water als verbindingselement of voedingselement voor het natuurlijk milieu, de watervoorzieningsfunctie, de economische functie (industrie, transport, landbouw), de recreatieve functie, de ordenende rol voor het landgebruik en water als medium voor stofstromen. Net zoals de bodem vormt het watersysteem een zeer dynamisch systeem dat talrijke functies vervult en een cruciale rol speelt in de menselijke activiteit en het overleven van ecosystemen.

Ruimtelijk gezien omvat het studiegebied voor het aspect water in principe het watersysteem van het volledige grondgebied van België. Voor de beheeroptie geologische berging kan dit eventueel beperkt worden tot de gebieden in België waar weinig verharde klei voorkomt op voldoende diepte en met een voldoende dikte (zie paragraaf 7.2.1.2). Ook voor berging in diepe boorgaten zijn er voorwaarden voor het gastgesteente die de locatie zullen bepalen.

Relevante waterverstorende aspecten ten gevolge van het Afvalplan zijn, naast de terreinvoorbereidende activiteiten die een globale verstoring van de waterhuishouding zullen veroorzaken, vooral de eigenlijke aanleg of bouw van de constructies en infrastructuur (funderingen, verhardingen, wegenis, gebouwen, installaties, afwatering en riolering, ...) en nadien de productie van afvalwater en de afvoer van hemelwater. Gezien de lange tijdshorizon van het beheer komen daar voor sommige beheeropties nog de afbraak en eventueel de herbouw of de uitbreiding van de site bij, waarbij opnieuw dezelfde impacts op het watersysteem verwacht kunnen worden.

Door tijdelijke of blijvende ingrepen in de constructiefase, zoals de toepassing van sliwbanden (hydraulische barrières) en bemalingen, kan het grondwaterpeil dalen. Daardoor kunnen ook patronen van grondwaterstroming aan veranderingen onderhevig zijn.

Een ander eventueel relevant effect op het grondwater is de mogelijke vorming van hydraulisch contact tussen verschillende aquifers. Dit effect kan optreden bij de ondergrondse beheeropties. Dit kan leiden tot veranderingen in peil, stroming en samenstelling van de aquifers en verhoogt het risico op verontreiniging.

Tot slot lijkt verdroging door toenemende verharding een relevant effect op het oppervlaktewater te zijn om mee te bekijken op strategisch niveau. Verharde oppervlakte verhindert immers infiltratie van hemelwater en zorgt zo voor verdroging van de bodem, verminderde grondwatervoeding en versnelde afvoer van hemelwater naar het ontvangende oppervlaktewater.

Niet significante effecten op het watersysteem zijn de productie van afvalwater, effecten verbonden met de uitvoeringswijze van de aanlegwerkzaamheden en lokale effecten op het oppervlaktewatersysteem zoals turbiditeitsverhoging, tijdelijke wijziging van het debiet en de waterstand, De productie van afvalwater is immers beperkt tot de productie van huishoudelijk afvalwater (geen proces- of koelwater) en zal dus gering in omvang zijn en nauwelijks onderscheidend tussen de verschillende beheeropties. Effecten typisch voor de uitvoeringswijze en lokale effecten op het oppervlaktewatersysteem zijn tijdelijk en vrij gemakkelijk te milderen en hebben bovendien een weinig significante impact op het gehele watersysteem.

9.3.2.2 Methodiek voor de korte termijn

Het toetsingskader voor de effecten op het watersysteem op de korte termijn wordt weergegeven in Tabel 31. Omwille van het nog niet voorhanden zijn van concrete projectgegevens (o.a. locatie) zal de beoordeling van de effecten op het grondwater kwalitatief zijn, gebaseerd op een expertenoordeel. Voor de impact op het oppervlaktewater zal een semi-kwantitatieve beoordeling gebeuren, op basis van typegegevens over de voorziene verharding per beheeroptie.

Belangrijk om te vermelden is dat de gehanteerde oppervlakten voor de verharding van de bodem in deze strategische fase afgeleid zijn van type-inrichtingen en algemene concepten. De werkelijke oppervlakten kunnen hier nog substantieel van afwijken.

Tabel 31: Toetsingskader voor de effecten op het watersysteem voor de korte termijn

Effect	Criterium	Methode	Eenheid	Significantie
Wijziging in grondwaterstand en -stroming	Mate waarin de grondwaterstand daalt of stijgt of de stroming wijzigt ten gevolge van bemaling of aanwezigheid van ondergrondse constructies	Op basis van diepte (interferentie met aquifer of niet) en relatieve omvang van de constructies	-	Kwalitatieve beoordeling afhankelijk van het al dan niet permanent optreden van het effect en de grootte van de wijziging
Vorming van hydraulisch contact tussen aquifers	Mate waarin twee of meer aquitards doorboord worden	Op basis van diepte en aantal doorboorde aquitards	-	Kwalitatieve beoordeling afhankelijk van het al dan niet onaangeroerd blijven van de ondergrond en de aanwezigheid van aquifers
Verdroging en piekafvoer door toenemende verharding	Mate waarin de bodem verhard wordt	Bepaling oppervlakte verharde bodem ten gevolge van op te richten gebouwen, verharding en infrastructuur	ha	Beoordeling afhankelijk van de uitgestrektheid van de verharding

In Tabel 32, Tabel 33 en Tabel 34 wordt het toetsingskader per effect vertaald in een scoretabel. Effecten kunnen neutraal, gering negatief, matig negatief of sterk negatief zijn. Voor gering negatieve effecten is mildering wenselijk doch niet verplicht, bij matig negatieve effecten is mildering noodzakelijk. Bij sterk negatieve effecten is het – vanuit het standpunt van de discipline water – wenselijk om een alternatieve oplossing te kiezen. Is dat niet mogelijk, bv. omdat men andere aspecten van groter belang acht, dan is mildering noodzakelijk.

Effecten op de grondwaterstand en –stromingen

Het betreft hier een wijziging van de grondwaterstroming en de hydraulische gradiënten ten gevolge van de constructie van de beheerinstallatie. Het gaat om een al dan niet tijdelijke ingreep die noodzakelijk is voor de uitvoering van de werken. Slibwanden hebben eerder een definitief effect op de grondwaterstroming, terwijl bemalingen en het verlagen van het grondwater meestal beperkt blijven tot de constructiefase (korte termijn en tijdelijk), tenzij een verlaging deel uitmaakt van het concept van de beheeroptie en aldus permanent kan zijn.

Slibwanden vormen kunstmatige hydraulische barrières binnen de aquifer, waardoor de grondwaterstroming zal veranderen, maar het waterpeil buiten de geïsoleerde zone in principe niet verandert.

Het effect van bemalingen wordt uitgedrukt in een daling van het oorspronkelijke grondwaterpeil tot een opgelegd peil in een bepaald gebied en de daarmee gepaard gaande wijzigingen in de grondwaterstromingen en de stroomsnelheden.

In het geval van slibwanden zal vooral het stromingspatroon buiten de geïsoleerde zone wijzigen. Binnen de slibwanden kan eventueel een verandering van het grondwaterpeil optreden.

De beoordeling gebeurt normaal gezien hoofdzakelijk aan de hand van de gevolgen die de verlaging van het grondwater heeft op de directe omgeving (effecten op flora en fauna, verandering van de stabiliteit van de ondergrond ten gevolge van zettingen, karstontwikkeling ...) en is bijgevolg gebonden aan de aard van de ondergrond en dus aan de locatie.

Daarnaast dienen de veranderingen in grondwaterstroming bestudeerd te worden aan de hand van grondwatermodellen (grootte van de verstoorde zone, aard van de wijziging, hydrogeologische en/of geotechnische gevolgen).

Voor de kwalitatieve beoordeling op korte termijn wordt verwezen naar Tabel 32.

Tabel 32: Scoretabel voor het effect op grondwaterstand en -stromingen

Score	Effect	Betekenis
0	Geen of verwaarloosbaar effect	De grondwaterstroming of het grondwaterpeil wordt niet permanent gewijzigd of de wijziging is verwaarloosbaar
-	Gering tot matig negatief effect	De grondwaterstroming en het grondwaterpeil worden permanent en significant gewijzigd

Vorming van hydraulisch contact tussen verschillende aquifers

Bij de realisatie van de beheerinstallatie worden mogelijk watervoerende lagen in contact gebracht met elkaar als gevolg van het doorboren van de scheidende ondoorlatende lagen. In principe kan dit vermeden worden door een aangepaste uitvoering. Afhankelijk van het aantal watervoerende lagen dat boven de ondergrondse werkzone gelegen is, zal de kans op hydraulisch contact verhogen. Daardoor ontstaat niet alleen een verhoogde kans op wijziging van de chemische samenstelling van het water in de betrokken aquifers, van het waterpeil en van de onderlinge hydraulische gradiënten, maar neemt ook de kwetsbaarheid voor verontreiniging van de diepere aquifers toe.

Dit effect kan een verandering in de grondwaterstanden in de verschillende watervoerende eenheden veroorzaken en kan ook de samenstelling van het water in de betrokken aquifers wijzigen.

De beoordeling gebeurt hoofdzakelijk aan de hand van een evaluatie van de technische haalbaarheid van preventieve maatregelen die moeten voorkomen dat verschillende aquifers met elkaar in contact gebracht worden, naast de diepte van de werken en het aantal

watervoerende pakketten dat doorboord wordt, met inbegrip van de grondwater-samenstelling en de hydraulische relaties tussen de betrokken eenheden (Tabel 33).

Tabel 33: Scoretabel impact op vorming hydraulisch contact tussen aquifers

Score	Effect	Betekenis
0	Geen of verwaarloosbaar effect	Bij de realisatie worden geen boringen uitgevoerd. De diepte is beperkt.
-	Gering tot matig negatief effect	Bij de realisatie van de berging is het aantal boringen beperkt, is de diepte van de boringen beperkt of worden bijzondere maatregelen genomen om effecten te vermijden
--	Sterk negatief effect	Bij de realisatie worden meerdere aquifers doorboord en worden geen bijzondere voorzorgmaatregelen genomen om elk hydraulisch contact tussen aquifers te vermijden

Verdroging en piekafvoer door toenemende verharding

Van het hemelwater dat op een onverharde bodem valt, infiltreert een deel in de bodem, een deel verdampt en wordt opgenomen door de vegetatie en een deel stroomt af naar het oppervlaktewater. Hemelwater dat op een onverharde bodem terechtkomt, komt met andere woorden vertraagd tot afvoer. Met de bouw van de installaties (gebouwen, wegenis, riolering) zal een deel van de bodem afgedekt en verhard worden. Hemelwater dat op een verhard oppervlak valt, infiltreert niet in de bodem maar komt versneld tot afvoer en stroomt rechtstreeks af naar het oppervlaktewater via een afwaterings- of rioleringsstelsel. Dit betekent dat het watersysteem door een toename van een verharding van de bodem te maken krijgt met grotere piekafvoeren waardoor wateroverlastproblemen kunnen optreden in de ontvangende waterloop. Ter hoogte van de verharding zal de bodem verdrogen en in bepaalde gevallen kan de voeding van de freatische of een dieperliggende aquifer verminderen, waardoor het effectgebied ook groter kan zijn dan het plangebied.

De mate waarin de bodem verhard wordt, is het criterium waarmee de verschillende beheeropties vergeleken kunnen worden naar hun impact op versnelde oppervlakkige afvoer. Aan de hand van de typeoppervlakten per beheeroptie (zie Tabel 25) kan hierover een uitspraak gedaan worden. De beoordeling zal in de praktijk sterk afhankelijk zijn van locatiegebonden aspecten zoals de doorlatendheid van de plaatselijke bodem, overstromingsgevoeligheid van de ontvangende waterloop, grondwaterstand en eventuele ligging in een infiltratiegebied. Aangezien locaties nog niet aan de orde zijn, kan met deze aspecten geen rekening gehouden worden en zal enkel de omvang van de verharding een onderscheidend aspect vormen.

De verharde oppervlakten kunnen afgeleid worden uit de voetafdruk van de voorziene bovengrondse gebouwen, de bijhorende verharding en de wegenis. Voor de beoordeling wordt verwezen naar Tabel 34. De beoordeling is semi-kwantitatief, de gehanteerde oppervlaktegrenswaarden hebben echter geen absolute betekenis, maar dienen een rangschikking tussen de beheeropties mogelijk te maken.

Tabel 34: Scoretabel voor verdroging en piekafvoer door verharding

Score	Effect	Betekenis
0	Geen effect	Geen verharding voorzien
-	Gering negatief effect	De oppervlakte verharde bodem bedraagt maximaal 10 ha
--	Matig negatief effect	De oppervlakte verharde bodem bedraagt minimum 10 ha en maximum 20 ha
---	Sterk negatief effect	De oppervlakte verharde bodem is groter dan 20 ha

9.3.2.3 Beschrijving van de effecten voor de korte termijn

Effect op grondwaterstand en –stromingen

De bestaande opslaggebouwen in België bevinden zich uitsluitend aan de oppervlakte en veroorzaken geen wijziging in de onderliggende watervoerende laag. Dit effect is dus niet van toepassing voor de status quo-optie.

Voor de beheeropties met langdurige of eeuwigdurende opslag kan er geopteerd worden voor bovengrondse opslag of opslag net onder de oppervlakte. Enkel bij ondergrondse opslag kan er een significant effect optreden. De impact is afhankelijk van de omvang en de diepte van de ondergrondse opslaginfrastructuur, de keuze van de gastformatie, het ontwerp van de installatie en de uitvoering van de werken. Bij ondoorlatende of weinig doorlatende gastformaties zal de impact verwaarloosbaar zijn, terwijl in watervoerende pakketten een evaluatie aan de hand van een grondwatermodel uitsluitsel zal moeten brengen over de omvang van de impact.

Bij de realisatie van berging in diepe boorgaten worden de bovenliggende watervoerende lagen hydraulisch geïsoleerd van de gastformatie. Op korte termijn (uitvoeringsfase) kan elk contact met bovenliggende ondiepe aquifers gegarandeerd worden door een correcte uitvoering, zodat de impact op grondwaterpeil en -stroming verwaarloosbaar is. Dit type berging vereist in principe geen bemaling in de ondiepe aquifers. Enkel de boringen vormen een hydraulisch obstakel, maar gezien hun geringe diameter zullen zij de grondwaterstroming nauwelijks beïnvloeden.

De potentiële gastformaties voor geologische berging die in België onderzocht zijn (Boomse Klei en Ieperaanklei) vormen de basis van belangrijke aquifers waaruit drinkwater gewonnen wordt (7). Bij de realisatie van geologische berging zal de impact op de bovenliggende watervoerende lagen qua verandering van grondwaterstroming en -peil echter beperkt zijn, aangezien in het referentieconcept slechts drie toegangsschachten van vermoedelijk 6 à 8 meter diameter doorheen de bovenliggende aquifers zullen geboord worden. Deze schachten vormen amper een obstakel voor de grondwaterstroming en dus mag deze impact als verwaarloosbaar beschouwd worden. Dit type berging vereist in principe geen bemaling in de ondiepe aquifers.

Vorming van hydraulisch contact tussen verschillende aquifers

De huidige tijdelijke opslag vindt in België uitsluitend plaats aan de oppervlakte en veroorzaakt geen wijziging in de ondergrond. Vandaar dat dit effect bij de status quo-optie niet van toepassing is.

Voor de beheeropties met langdurige of eeuwigdurende opslag kan er geopteerd worden voor bovengrondse opslag of opslag net onder de oppervlakte. Enkel bij ondergrondse opslag kan een significant effect optreden wanneer een waterscheidende laag (semi-permeabele laag of aquitard) doorboord wordt. De impact zal enerzijds afhangen van de wijze waarop en de zorg waarmee de werken uitgevoerd worden en anderzijds van de omvang en de diepte van de ondergrondse opslaginfrastructuur. Bij correcte uitvoering is het effect onbestaande.

Mits aangepaste en correcte uitvoering van berging in diepe boorgaten kan elk hydraulisch contact tussen bovenliggende, ondiepe aquifers vermeden worden en is deze optie voor dit effect vergelijkbaar met de beheeroptie geologische berging. Op grote diepte en op lange termijn is dit echter moeilijk te garanderen omwille van het mogelijk falen van de kunstmatige barrières. Globaal wordt het effect als gering beschouwd.

De potentiële gastformaties voor geologische berging die in België onderzocht zijn (Boomse Klei en Ieperiaanklei) vormen de basis van belangrijke aquifers waaruit drinkwater gewonnen wordt (7). Door het doorboren van de waterscheidende lagen (semi-permeabele lagen en/of aquitards) kan dus in principe een hydraulisch contact ontstaan indien het boren van de drie toegangsschachten van 6 à 8 meter diameter niet zorgvuldig uitgevoerd wordt. Mits aangepaste en correcte uitvoering van de boringen kan echter elk hydraulisch contact tussen bovenliggende, ondiepe aquifers vermeden worden, waardoor het effect als gering beschouwd wordt.

Verdroging en piekafvoer door toenemende verharding

Voor de begroting van het effect op de oppervlaktewaterkwantiteit kan er uitgegaan worden van de oppervlakten verstoorde bodem zoals ingeschat in Tabel 25. De bodemverstoring door opslaggebouwen, de gebouwen voor post-conditionering en de administratieve gebouwen, de gebouwen en infrastructuur ter hoogte van de schachten of de boorgaten en de voorziene wegen op het terrein geven een indicatie van de grootte-orde van de te verwachten verharding. De oppervlakten ingenomen door de opslagplaatsen voor de ontgonnen delfstoffen in het geval van geologische berging en berging in diepe boorgaten wordt niet meegerekend; er wordt van uitgegaan dat deze zones niet verhard worden.

De status quo-optie en de bergingsopties geven aanleiding tot een bijkomende verharding van respectievelijk 1 en 9 ha in vergelijking tot de beheeropties met langdurige of eeuwigdurende opslag, die ongeveer 14,5 ha bijkomende verharding zullen realiseren.

9.3.2.4 Beoordeling van de effecten voor de korte termijn

Effect op grondwaterstand en –stromingen

De beheeropties met langdurige of eeuwigdurende opslag zijn qua effect op grondwaterpeil en –stromingen vergelijkbaar met de status quo-optie. Het beheer aan de oppervlakte heeft geen permanente invloed op de grondwaterstand en –stroming.

Wat betreft de opties geologische berging en berging in diepe boorgaten, zal er in principe geen significant effect optreden, aangezien de toegangsschachten of boorgaten beperkt zijn in aantal en in diameter en aldus een beperkt hydraulisch obstakel vormen in de bovenliggende watervoerende lagen. Vandaar dat de impact als verwaarloosbaar beschouwd kan worden.

Vorming van hydraulisch contact tussen verschillende aquifers

De beheeropties met langdurige of eeuwigdurende opslag zijn qua effect vergelijkbaar met de status quo-optie. De bouw van de opslaginstallatie creëert geen hydraulisch contact tussen de onderliggende aquifers. Dit effect is dus niet van toepassing voor deze beheeropties.

Bij geologische berging zal er bij correcte uitvoering in principe geen significant effect optreden, aangezien het aantal toegangsschachten beperkt is. Naarmate de diepte toeneemt, en dus afhankelijk van de locatie het aantal aquifers dat doorboord wordt toeneemt, neemt ook de kans op het in contact brengen van de verschillende aquifers bij een falende uitvoering toe. Ondanks een zorgvuldige uitvoering is het niet helemaal uit te sluiten dat er een hydraulisch contact ontstaat tussen bovenliggende aquifers.

Voor berging in diepe boorgaten kan dezelfde bemerking gemaakt worden als voor geologische berging. Door de grote diepte (meerdere kilometers) worden echter meer aquifers doorboord en is de kans op hydraulisch contact bijgevolg groter. Verder gaat het concept ervan uit dat de kunstmatige barrières op grote diepte niet intact blijven (verpakking van het afval, boorcasing, afdichtingsmateriaal) op lange termijn.

Verdroging en piekafvoer door toenemende verharding

De beheeropties met langdurige of eeuwigdurende opslag scoren matig negatief en negatiever dan de bergingsopties en de status quo-optie.

In Tabel 35 worden de beoordelingen volgens de hoger gedefinieerde toetsingskaders voor alle effecten op water samengevat.

Tabel 35: Beoordeling van de effecten op het watersysteem voor de korte termijn

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Effect op grondwaterstand en –stromingen	Oppervlakte: 0 Ondergronds: -	0	0	Oppervlakte: 0 Ondergronds: -	0
Vorming van hydraulisch contact tussen verschillende aquifers	Oppervlakte: 0 Ondergronds: -	-	-	Oppervlakte: 0 Ondergronds: -	0
Verdroging en piekafvoer door toenemende verharding	--	-	-	--	-

De effecten hangen af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Hun omvang kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

De status quo-optie zal aanleiding geven tot geen of geringe effecten op het grondwater en het oppervlaktewater. De redenen hiervoor zijn de geringe bijkomende verharding en het feit dat de ondergrond onaangeroerd blijft.

Ook geologische berging en berging in diepe boorgaten zullen weinig significante effecten hebben op de grondwaterstand en –stroming aangezien de toegangsschachten en de boorgaten beperkt in omvang zijn. Mits correcte uitvoering van de boringen wordt contact tussen verschillende aquifers vermeden, waardoor het effect als gering wordt beschouwd.

De opties met langdurige of eeuwigdurende opslag scoren gelijkwaardig, waarbij geen effecten op het grondwater verwacht worden indien het gaat om oppervlakkige opslag en geringe tot matige effecten wanneer het ondergrondse opslag betreft, zowel voor wijziging in de grondwaterstand en –stroming als voor hydraulisch contact tussen aquifers. Door het grotere ruimtebeslag (verharding) scoren deze beheeropties globaal slechter dan de bergingsopties wat betreft impact op het oppervlaktewater.

Beoordeling volgens typeomgeving

Aangezien er geen scherpe ruimtelijke afbakening mogelijk is voor het plangebied of effectgebied, kan er gewerkt worden met typeomgevingen (stedelijk gebied, landbouwgebied, natuurgebied en industriegebied, zie paragraaf 5.3.2). Voor het aspect water zal de typeomgeving voor het criterium “wijzigingen in grondwaterstand of –stroming” mogelijk aanleiding geven tot een andere beoordeling, maar dat is volledig afhankelijk van plaatsgebonden kenmerken of bestaande knelpunten in het watersysteem. De beoordeling van het potentieel hydraulisch contact tussen twee of meer aquifers is onafhankelijk van de plaatselijke typeomgeving. Een toename van het piekdebiet tenslotte dient in alle typeomgevingen negatief beoordeeld te worden ongeacht het gebruik van het (benedenstrooms) gebied.

9.3.2.5 Methodiek voor de lange termijn

Gezien de grote onzekerheid over de evolutie van de omgeving, de maatschappij en de beheerinstallaties op lange termijn heeft het geen zin om aspecten als verdroging en wijzigingen van de grondwaterstand in rekening te brengen.

Er wordt enkel gekeken naar de impact van de beheeropties op grondwater als natuurlijke hulpbron. Grondwater wordt onder andere gebruikt als drinkwater, voor irrigatie, voor de industrie e.d.

De beoordeling zal louter kwalitatief gebeuren.

9.3.2.6 Beschrijving van de effecten voor de lange termijn

Actief beheer steunt op kunstmatige barrières, die ervoor moeten zorgen dat de radionucliden niet in het grondwater terechtkomen. Elke 100 à 300 jaar wordt het radioactief afval opnieuw geconditioneerd en worden de gebouwen opnieuw gebouwd, juist om deze garantie te kunnen blijven bieden. Om elk risico op radiologische blootstelling uit te sluiten is in de eerste plaats een goede monitoring van de grondwaterkwaliteit aangewezen. Daarnaast zou de overheid als ultieme preventieve maatregel de exploitatie van aquifers kunnen verbieden in een bepaalde zone rond de site.

Ook een passief beheersysteem moet in staat zijn om de omgeving, met inbegrip van het grondwater, afdoende te beschermen. Na lange tijd komen de radionucliden in de gasformatie terecht en verspreiden zich vervolgens in de omgeving in zeer beperkte concentraties. De geologie van België impliceert dat deze omgeving waarschijnlijk watervoerende lagen omvat. Zelfs als de concentratie in deze aquifers geen risico's voor de menselijke gezondheid met zich meebrengt, zal de overheid vermoedelijk toch het zekere voor het onzekere nemen en de exploitatie van aquifers in een bepaalde omgeving rond de site verbieden.

Het bovenstaande is minder relevant voor aquifers op grote diepte, aangezien deze wegens de hoge zoutconcentratie in het water momenteel niet geëxploiteerd worden.

9.3.2.7 Beoordeling van de effecten voor de lange termijn

In de onderstaande tabel wordt de effectbeoordeling samengevat.

Tabel 36: Beoordeling van de effecten op het watersysteem voor de lange termijn

	Actief beheer	Passief beheer
Effect op de exploitatie van grondwater	Negatief effect indien de overheid besluit om de exploitatie te verbieden in een bepaalde zone rond de site.	Negatief effect indien de overheid besluit om de exploitatie te verbieden in een bepaalde zone rond de site. Door de ligging op enkele honderden meters, respectievelijk enkele kilometers diepte kunnen meerdere zones uitgesloten worden van exploitatie. Het effect is dus groter dan bij actief beheer.

Het effect hangt af van de locatie. De omvang ervan kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

9.4 Impact op de menselijke gezondheid

9.4.1 Lucht

9.4.1.1 Methodiek

In de discipline lucht wordt de impact op de luchtkwaliteit bij de realisatie van het Afvalplan in kaart gebracht. Hierbij worden specifieke parameters beschouwd die bij de realisatie van het plan beïnvloed kunnen worden. Het gaat hier niet om de radiologische effecten; deze komen aan bod in paragraaf 9.4.3.

Gezien de aard van het plan zijn voornamelijk de activiteiten bij de aanleg en de impact door transport van belang. De belangrijkste te onderzoeken parameters zijn:

- Emissies van verbrandingsgassen bij transport
- Emissies van werfmachines
- Stofemissies door manipulatie van uitgegraven materiaal
- Stofemissies bij betonproductie

Wat betreft individuele stoffen wordt er aandacht besteed aan NO₂, fijn stof (PM_{2,5} en PM₁₀) en aan wegwaaiend en neervallend stof. Andere stoffen worden minder relevant geacht en worden dan ook enkel summier besproken. Dit betreft o.a. SO₂, CO en CO₂.

Aangezien voornamelijk de impact bij aanleg van belang is, wordt er enkel een evaluatie voor de korte termijn voorzien. Voor de lange termijn is het niet mogelijk om de effecten nauwkeurig te beschrijven omdat de evolutie van emissiefactoren e.d. op een dergelijke tijdschaal niet ingeschat kan worden.

Aangezien er nauwelijks een kwantitatieve beoordeling mogelijk is, wordt de impact op een kwalitatieve wijze geëvalueerd op basis van een expertenoordeel.

Bij de beoordeling wordt er rekening gehouden met de mate waarin de realisatie van het Afvalplan aanleiding geeft tot extra emissies of bijkomende impact op de luchtkwaliteit. Bijkomend wordt de tijdschaal mee in rekening gebracht, met bijzondere nadruk op het al of niet tijdelijke karakter van de impact. Als toetsingskader wordt het onderstaand schema gebruikt.

Tabel 37: Scoretabel voor de effecten op de lucht

	Score voor impact op emissies	Score voor impact op luchtkwaliteit
Niet of nauwelijks aantoonbare emissie / impact	0	0
Beperkte emissie / impact	-	-
Aanzienlijke emissie / impact	--	--
Beduidende emissie / impact	---	---

Naargelang de beheeroptie kan er een onderscheid gemaakt worden tussen effecten tijdens de aanlegfase en effecten tijdens de exploitatiefase. Een overzicht van de mogelijke effecten wordt hierna gegeven.

Tijdens de **aanlegfase** wordt de inzet vereist van tal van werfmachines en transportmiddelen. Hierbij ontstaan verbrandingsemissies en opwaaiend stof. Belangrijk hierbij zijn o.a.:

- Grondwerken en afvoer van afgegraven bodem
- Booractiviteiten en afvoer van uitgegraven materiaal
- Constructie van ondergrondse galerijen en afvoer van uitgegraven materiaal
- Bouw van gebouwen: o.a. productie en aanvoer van beton en bouwmaterialen

De plaats waar deze emissies ontstaan, situeert zich enerzijds op de werfzones en anderzijds langs de transportwegen. De emissies en de bijbehorende impact hangen af van de aard van de werkzaamheden en dus van de beheeroptie.

Naargelang de aard van de beheeroptie dienen er tijdens de **exploitatiefase** een aantal activiteiten voorzien te worden die aanleiding kunnen geven tot bijkomende emissies. Dit kan gaan van louter verwarming van controlegebouwen tot het periodiek herconditioneren van radioactief afval en het opnieuw manipuleren van het afval bij latere industriële toepassing van geavanceerde splijtstofcycli.

Eventuele effecten kunnen zich voordoen bij de volgende activiteiten:

- Aanvoer van materialen en grondstoffen
- Vervaardigen van (super)containers
- Aanvoer van het radioactief afval
- Manipulatie van het afval op de site
- Plaatsing in de opslag- of bergingsinstallatie
- Aanbrengen van opvulmateriaal

9.4.1.2 Beschrijving van de effecten

Effecten die gelijkaardig zijn voor alle beheeropties

Effecten die zich voor elk van de beheeropties in gelijke mate voordoen, zijn verbonden met de impact bij de aanvoer van het radioactief afval. De impact van dit transport hangt af van de wijze van aanvoer: over de weg, per spoor (met of zonder combinatie met wegvervoer naargelang de ligging van de werfzones en de aanwezigheid van spoorwegen) of met een combinatie van vervoer per schip en wegvervoer.

Verglaasd hoogradioactief afval kan, naar analogie met de transporten die reeds vanuit La Hague naar Mol uitgevoerd werden, vervoerd worden door transport over spoor en weg.

Vandaag de dag zijn wegverkeer en de combinatie van scheepvaart met wegverkeer het meest belastend voor de luchtkwaliteit. Verwacht wordt dat dit nog langere tijd het geval zal zijn.

Gezien het beperkte aantal transporten voor de aanvoer van het afval, zeker in vergelijking met het totale aantal transporten in de aanlegfase, kan gesteld worden dat de uiteindelijke

effecten als te verwaarlozen beschouwd kunnen worden. Het onderscheid tussen de verschillende transportmodi wordt nauwelijks onderscheidend geacht.

Ook de bouw van de (super)containers kan voor de verschillende beheeropties als gelijkaardig beschouwd worden en resulteert bijgevolg niet in een onderscheidend effect. De bouw van deze (super)containers gaat gepaard met emissies en een impact op de luchtkwaliteit. De grootte en de impact van deze emissies kan niet begroot worden doordat concrete gegevens over de wijze van productie ontbreken. Verschillende productiewijzen kunnen zeer verschillende emissies en impacts met zich meebrengen. Uiteraard dient er uitgegaan te worden van toepassing van Beste Beschikbare Technieken (BBT), teneinde de impact zo beperkt mogelijk te houden. Er kan aangenomen worden dat de vooruitgang m.b.t. de stand der techniek zal leiden tot daling van de emissies en de impact. Over de plaats van productie kan men aannemen dat deze op de beheersite zelf zal plaatsvinden. De impact die hierdoor ontstaat, kan dan ook cumulatief zijn met de impact die bij de eigenlijke beheeractiviteiten zal optreden.

Ten aanzien van de manipulatie van het afval op de site zelf (tijdelijke opslag, plaatsing in (super)containers, transport binnen de site) zijn eveneens nauwelijks onderscheidende effecten te verwachten.

Aangezien de transporten van het radioactief afval moeten gebeuren met de kleinst mogelijke radiologische blootstelling, kan voorzien worden dat het intern transport met specifiek daartoe ontworpen voertuigen uitgevoerd zal worden. Naargelang de uitvoeringswijze en de wijze van aandrijving kan de impact van dit intern transport verschillend zijn. Zo zal de plaatselijke impact van elektrisch aangedreven voertuigen lager zijn dan van voertuigen aangedreven met bv. aardgas of propaan. Van voertuigen aangedreven met dieselmotoren kan de grootste impact verwacht worden. Hierbij dient wel aangegeven te worden dat de emissies en de impact die verwacht worden aanzienlijk lager kunnen zijn dan de impact van momenteel bestaande transportwijzen, gezien de strengere verplichtingen die aan toekomstige voertuigen opgelegd zullen worden. Aangezien noch het aantal van deze transporten, de af te leggen afstand, de duur van deze activiteiten noch de emissiewaarden van de ingezette transportmiddelen gekend zijn, kan de emissie die hiermee gepaard gaat niet gekwantificeerd worden. Uiteraard kan dan ook geen kwantitatieve inschatting van de invloed op de luchtkwaliteit uitgevoerd worden. Er kan echter wel aangenomen worden dat de impact van de aanvoer van het te bergen materiaal zeer beperkt zal zijn. Cumulatieve impact van dit transport is mogelijk met transport voor bv. aanvoer van materialen voor de bouw van de (super)containers en de eigenlijke beheeractiviteiten op de site (inclusief aanvoer en aanbrenge van opvulmateriaal e.d.).

Gezien het nauwelijks onderscheidende effect van de hoger vermelde aspecten worden deze in het vervolg van de studie dan ook niet meer besproken. De nadruk wordt dan ook gelegd op de elementen met verschillende emissies en impact op de luchtkwaliteit.

Inschatting van het aantal vrachtwagentransporten

Activiteiten zoals grondverzet, aanvoer van grondstoffen (o.a. beton, bentoniet, staal) zijn voor alle beheeropties nodig. Ze kunnen wel leiden tot andere effecten naargelang de hoeveelheden, het aantal transporten, de periode waarover de werken gespreid worden, ...

In Tabel 38 wordt een inschatting gegeven van het grondverzet, de hoeveelheden aan te voeren materialen en het aantal transporten naargelang de fase van de werken en in functie van de beheeropties. Het verschil in impact wordt geëvalueerd bij de bespreking van de effecten per beheeroptie.

Hierbij zijn de volgende aannames gemaakt.

- De volumes van het grondverzet zijn zoals in Tabel 26.
- Voor langdurige of eeuwigdurende opslag zouden de grondwerken gespreid zijn over een periode van een half jaar (zie paragraaf 7.2.2.1). Voor de status quo-optie is er uitgegaan van een periode van 3 maanden omdat het volume van het grondverzet kleiner is.
- De grondwerken voor de aanleg van een geologische bergingsinstallatie nemen in totaal 21 jaar in beslag (zie paragraaf 7.2.1.2): 13 jaar voor de galerijen voor afval van categorie B en 8 jaar voor de galerijen voor afval van categorie C).
- De tijd die nodig is voor de aanleg van 60 diepe boorgaten hangt onder andere af van het aantal machines dat men kan inzetten. De aanleg van één boorgat zou ca. 9 maanden duren. Er is aangenomen dat enkele boorgaten simultaan aangelegd kunnen worden en dat de aanlegwerkzaamheden ongeveer even lang duren als bij geologische berging, namelijk 20 jaar (zie paragraaf 7.2.1.2).
- De volumes beton en staal die nodig zijn voor de bouw van de gebouwen voor langdurige of eeuwigdurende opslag zijn gebaseerd op cijfers uit (87).
- De bouw van de gebouwen voor langdurige of eeuwigdurende opslag zou ca. 10 jaar duren (zie paragraaf 7.2.2.1).
- De volumes beton en staal en de benodigde tijd voor de bouw van de extra capaciteit in geval van status quo zijn ingeschat als een factor 7 kleiner dan in geval van langdurige of eeuwigdurende opslag. Deze factor 7 komt voort uit de verhouding van de oppervlakten bijkomende bodemverstoring, zie Tabel 25.
- De volumes beton en bentoniet voor het opvullen van de galerijen, de hoofdgalerij en de toegangsschachten bij geologische berging zijn gebaseerd op cijfers uit (87).
- Het opvullen van de galerijen bij geologische berging gebeurt tijdens de exploitatieperiode, die in totaal 30 jaar duurt (zie paragraaf 7.2.1.2: 20 jaar voor afval van categorie B en 10 jaar voor afval van categorie C).
- Het opvullen van de hoofdgalerij en de toegangsschachten is gespreid over een periode van in totaal 10 jaar (zie paragraaf 7.2.1.2: 6 jaar voor het deel van de installatie voor afval van categorie B en 4 jaar voor het deel van de installatie voor afval van categorie C).
- De volumes beton en bentoniet voor het opvullen van de diepe boorgaten zijn berekend aan de hand van de afmetingen van de boorgaten (zie paragraaf 7.2.1.2: de bovenste 2 kilometer van het boorgat heeft een diameter van 1,4 meter).
- Er wordt aangenomen dat het opvullen van de boorgaten gespreid is over een periode van 10 jaar, vergelijkbaar met de tijd die nodig is voor de afsluiting van een geologische bergingsinstallatie (zie paragraaf 7.2.1.2).

Tabel 38: Overzicht van de geschatte hoeveelheden en het aantal transporten per beheeroptie

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Grondverzet					
Grondverzet (m ³)	180.000	697.000	395.000	180.000	20.000
Spreiding van de werken (jaar)	0,5	21	20	0,5	0,25
Aantal werkdagen	130	5.460	5.200	130	65
Aantal transporten (met vrachtwagen van 12 m ³)	15.000	58.000	33.000	15.000	1.700
Aantal transporten per werkdag	115	11	6	115	26
Aanvoer beton en staal voor opslaggebouwen					
Hoeveelheid beton (m ³)	151.000			151.000	22.000
Hoeveelheid staal (ton)	15.100			15.100	2.200
Spreiding van de werken (jaar)	10			10	1,5
Aantal werkdagen	2.600			2.600	390
Aantal transporten beton (met vrachtwagens van 10 m ³)	15.100			15.100	2.200
Aantal transporten staal (met vrachtwagens van 20 ton)	755			755	110
Totaal aantal transporten	15.900			15.900	2.300
Aantal transporten per werkdag	6			6	6
Aanvoer beton (en bentoniet) voor opvullen galerijen					
Hoeveelheid beton (m ³)		34.000			
Spreiding van de werken (jaar)		30			
Aantal werkdagen		7.800			
Aantal transporten (met vrachtwagens van 10 m ³)		3.400			
Aantal transporten per werkdag		0,4			

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Aanvoer beton (en bentoniet) voor opvullen hoofdgalerij en toegangsschachten						
Hoeveelheid beton (m ³)		130.000				
Spreiding van de werken (jaar)		10				
Aantal werkdagen		2.600				
Aantal transporten (met vrachtwagens van 10 m ³)		13.000				
Aantal transporten per werkdag		5				
Aanvoer beton (en bentoniet) voor opvullen boorgaten						
Hoeveelheid beton (m ³)			185.000			
Spreiding van de werken (jaar)			10			
Aantal werkdagen			2.600			
Aantal transporten (met vrachtwagens van 10 m ³)			18.500			
Aantal transporten per werkdag			7			
Totaal aantal transporten	30.900	74.400	51.500	30.900		4.000

Eeuwigdurende opslag

Als relevante ingrepen bij de **aanleg** kunnen vermeld worden:

- Grondwerken en grondverzet
- Aanvoer bouwmaterialen
- Bouwactiviteiten

De belangrijkste emissies die gepaard gaan met deze activiteiten zijn:

- Wegwaaiend stof bij grond- en bouwwerken. Het aandeel fijn stof kan hierbij als beperkt aanzien worden.
- Wegwaaiend stof veroorzaakt door transport

- NO_x en fijn stof (PM₁₀ en PM_{2,5}) bij transport en door machines (uitlaatgassen)

In (veel) mindere mate kunnen ook de emissies van CO, SO₂, vluchtige organische stoffen (VOS), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) en zware metalen vermeld worden die met het transport gepaard kunnen gaan.

Rekening houdend met de activiteiten en de geschatte hoeveelheden (zie Tabel 38) kan aangenomen worden dat de grootste impact op de luchtkwaliteit zich zal voordoen tijdens de aanlegfase. Het grondverzet is hierbij bepalend.

Bij de realisatie van het grondverzet binnen een half jaar (met de aanname dat de totale hoeveelheid dient afgevoerd te worden als "worst case" scenario) worden naar schatting 115 transporten per werkdag noodzakelijk geacht. Indien een dergelijk aantal transporten zich dagelijks voordoet langsheen een bepaald wegsegment, dan kan op basis van berekeningen met CAR-Vlaanderen (met emissiekengetallen voor 2015) een impact geschat worden nabij dit wegsegment van 1 µg/m³ NO₂ en van < 1 µg/m³ PM₁₀. Aangezien de werken naar verwachting binnen een periode van een half jaar uitgevoerd worden, kan de jaargemiddelde impact geschat worden op 0,5 µg/m³ NO₂ en op < 0,5 µg/m³ PM₁₀. Deze impact neemt snel af met de afstand tot de weg. Omwille van de verbetering van de emissiekengetallen van vrachtwagens kan verwacht worden dat de impact in de toekomst nog zal dalen.

De impact inzake PM_{2,5} kan voor werfmachines en transport (uitlaatgasemissies) gelijkgesteld worden aan deze voor PM₁₀. Andere transportgebonden emissies van fijn stof (zoals slijtage-emissies en opwerveling) omvatten evenwel slechts een beperkte fractie PM_{2,5}. De impact van PM_{2,5} kan dan ook als beperkter aanzien worden dan de impact van PM₁₀.

Er kan aangenomen worden dat de emissies van andere pollutanten zoals SO₂, CO, PAK's, benzeen, ... eveneens zo beperkt zullen zijn dat nauwelijks een impact op de luchtkwaliteit verwacht kan worden. Zelfs bij huidige meetlocaties die zeer sterk beïnvloed worden door het verkeer wordt immers toch nog voldaan aan de luchtkwaliteitsdoelstellingen voor deze stoffen.

Daarnaast dient uiteraard ook nog het effect van opwaaiend stof beschouwd te worden, aangezien er aangenomen kan worden dat de gebruikte wegen, zeker in de nabijheid van de werfzone, in bepaalde mate vervuild zullen zijn, waardoor bij droog weer het stof zal opwervelen. Deze impact kan evenwel niet kwantitatief ingeschat worden. De afstand waarover er een impact kan optreden, is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden.

Afgezien van de impact van de transporten is er ook nog een impact van het afgraven, het tijdelijk opslaan van de grond en het laden van vrachtwagens of dumpers te verwachten. Aangezien het aantal machines dat hierbij ingezet zou worden niet gekend is, kan noch de emissie, noch de impact op de luchtkwaliteit beoordeeld worden. De impact is uiteraard ook zeer sterk afhankelijk van de weersomstandigheden tijdens de werken. Droog, winderig weer kan nefast zijn. Door aanpassing van de snelheid van de voertuigen, bevochtiging van werfwegen e.d. kunnen de emissie en de impact evenwel beperkt worden.

Naast het grondverzet kan ook de bouw van de opslaggebouwen, de interne wegen en de randinfrastructuur als belangrijk aanzien worden voor de evaluatie van de tijdelijke effecten tijdens de aanlegfase.

In functie van het aantal gebouwen, de grootte en de dikte van de muren kan de noodzakelijke hoeveelheid beton en staal ingeschat worden (zie Tabel 38). De impact die de bouw van deze gebouwen met zich meebrengt, wordt veroorzaakt door zowel het transport als de bouwactiviteiten op zich.

Het aantal transporten hierbij vereist is niet onaanzienlijk, maar omwille van de spreiding van de werken over een periode van 10 jaar wordt hierbij nauwelijks een impact verwacht.

I.p.v. beton aan te voeren bestaat uiteraard ook de mogelijkheid dat het beton ter plaatse aangemaakt wordt. In dat geval worden emissies verwacht bij aanvoer en opslag van grondstoffen, productie en intern transport bij gebruik. Bij het ter plaatse produceren wordt wel een grotere impact verwacht op de site dan bij aanvoer van beton. Uiteraard zullen in dit laatste geval de emissies die gepaard gaan met de productie zich op een andere locatie voordoen.

Bijkomend dient dan nog de impact van de bouw van de interne wegen, de aansluiting op openbaar wegennet, de randvoorzieningen, ... beschouwd te worden. Hiervoor is extra aanvoer van bouwstoffen nodig en zullen dus extra emissies optreden. De impact van deze activiteiten kan in de huidige fase van de studie moeilijk kwantitatief ingeschat worden.

De mate waarin de emissies optreden, hangt niet alleen af van de kwaliteit van de transportmiddelen en machines (waarvan kan aangenomen worden dat de emissies in de toekomst nog sterk kunnen afnemen), maar ook van plaatselijke omstandigheden (bodemsomstandigheden, aanwezigheid van verharde wegen op de site, ...) en in belangrijke mate van de weersomstandigheden (voor de parameter stof). Bij droog, winderig weer zijn de hoogste emissies te verwachten. De grootte ervan is dan ook moeilijk in te schatten. Wel kunnen er op basis van deze kennis belangrijke milderende maatregelen voorzien worden (vochtig houden, reinigen van verharde wegen, ...).

Gezien de aard van de emissies kan er verwacht worden dat de impact snel zal afnemen met de afstand tot de site. Afstandsregels t.o.v. gevoelige locaties kunnen dan ook als bepalend aanzien worden voor de mogelijke impact. Ook de eventuele aanwezigheid van een (hoogstammige) groenbuffer rond de werfzone kan de impact van wegwaaiend en neervallend stof aanzienlijk beperken in de onmiddellijke omgeving.

Bij de variant van opslag net onder de oppervlakte dienen bijkomende hoeveelheden grond afgegraven en afgevoerd te worden. Dit zal aanleiding geven tot het ontstaan van extra emissies en impact. De grootte ervan kan in deze fase niet ingeschat worden (noch in absolute, noch in relatieve hoeveelheden), maar hangt af van o.a. de diepte van de installaties.

Na de plaatsing van het radioactief afval in de opslaginstallatie kunnen tijdens de **exploitatie** nog een aantal emissies verwacht worden door

- Onderhoud van installaties, inclusief verplaatsingen van personeel
- Verwarming van randvoorzieningen
- Periodieke herconditionering

Aangezien het tijds kader (waardoor toekomstige emissiefactoren niet ingeschat kunnen worden) en de aard, grootte, verwarmingsbehoeften en verwarmingswijze van de randvoorzieningen niet bekend zijn, kan geen kwantitatieve impactbeoordeling opgenomen worden. Wel kan aangenomen worden dat de impact in de toekomst zal afnemen door technologische vooruitgang.

Ook de periodieke herconditionering kan telkens aanleiding geven tot nieuwe, weliswaar tijdelijke emissies en lokale impact op de luchtkwaliteit. Deze activiteiten zijn evenwel niet dermate uitgesproken dat hierbij aanzienlijke effecten op de luchtkwaliteit te verwachten zijn.

Bijkomend zijn tijdelijke effecten te verwachten bij bv. periodieke vervanging van de gebouwen bij het einde van hun levensduur. Er kan aangenomen worden dat de effecten die

hierbij gepaard gaan beperkter zullen zijn dan de effecten tijdens de aanlegfase (grondverzet, aanleg van interne weginfrastructuur en constructie van opslaggebouwen).

Geologische berging

Bij geologische berging zijn de belangrijkste bronnen van tijdelijke effecten tijdens de **aanlegfase** de volgende activiteiten:

- Boren van schachten
- Boren van galerijen
- Afvoer van afgegraven materiaal
- Aanvoer van grondstoffen (bentoniet, beton of zand, grind en cement)

De belangrijkste impact die in deze fase verwacht wordt, is de afvoer van afgegraven materiaal, de aanvoer van grondstoffen en desgevallend de productie van beton ter plaatse.

De emissies naar de atmosfeer bij het boren zelf kunnen als beperkt aanzien worden gezien de gebruikte techniek van tunnelboren. De wijze van aandrijving van de boorkop is hierbij bepalend voor de aard en de plaats van de emissies.

Mogelijk dient voor het afgegraven materiaal een tijdelijke opslag voorzien te worden. Ook bij deze tijdelijke opslag kunnen er stofemissies optreden.

De wijze waarop het afgegraven materiaal bovengronds opgeslagen wordt, is mee bepalend voor de stofemissies. Door toepassing van Beste Beschikbare Technieken (bv. overdekte transportbanden bij transport van stuifgevoelige stoffen, overkappen van overstortpunten, beperken van de valhoogte bij storten) kan de stofemissie aanzienlijk beperkt worden. Het aandeel fijn stof bij de stofemissies kan gezien de aard van het materiaal en de activiteiten wel als beperkt ingeschat worden.

De “worst case” benadering, waarbij al het uitgegraven materiaal afgevoerd wordt, vereist de inzet van een groot aantal transporten. Omwille van de spreiding in de tijd is het gemiddeld aantal transporten echter dermate beperkt dat hiervan nauwelijks of geen impact op de jaargemiddelde concentraties te verwachten is. Indien er tijdens bepaalde periodes meer geconcentreerde activiteiten plaatsvinden, is een tijdelijke impact evenwel niet uit te sluiten.

Voor de afwerking van de galerijen en de schachten is er eveneens beton nodig. In functie van de aard van de ingezette boormachine zou het aanbrengen van het beton in de mate van voortgang van de boorkop uitgevoerd kunnen worden. Bij een dergelijke toepassing ontstaat er een cumulatieve impact van enerzijds de afvoer van het afgegraven materiaal en anderzijds de aanvoer van beton of de grondstoffen om ter plaatse beton aan te maken.

Om de randvoorzieningen aan te leggen, zijn er op het terrein zelf nog werkzaamheden vereist. In welke mate er bijkomende bodemwerken en bouwactiviteiten op het terrein zelf nodig zijn voor de tijdelijke opslag en manipulatie van het radioactief afval, is niet bekend. Het gemiddeld aantal transporten dat hierbij vereist wordt is dermate beperkt dat hiervan geen impact verwacht wordt.

Een eventueel cumulatief effect van de werken bij de aanleg van de randvoorzieningen met de impact van de afvoer van het boorresidu kan evenmin ingeschat worden. Dergelijke cumulatieve impact behoort wel tot de mogelijkheden.

Afhankelijk van de in te zetten machines kunnen naast de stofemissies bijkomend nog emissies van uitlaatgassen verwacht worden. Ook hiervan is geen kwantitatieve inschatting mogelijk.

Tijdens de **exploitatie** van de bergingsinstallatie zijn de volgende activiteiten voorzien:

- Aanvoer van opvulmateriaal
- Opvullen van galerijen, hoofdgalerij en schachten

Emissies worden verwacht bij de manipulatie van de materialen die gebruikt zullen worden voor het opvullen van de galerijen en schachten tijdens het bergen en nadat de galerijen met het te bergen materiaal gevuld werden. Mogelijke stofemissie is hierbij o.a. afhankelijk van de wijze waarop de activiteiten zullen plaatsvinden en ook van de stuifgevoeligheid van het materiaal dat hiervoor gebruikt wordt.

Vullen van de schachten en galerijen wordt voorzien met zand, beton en bentoniet. Voor de aanmaak van dit beton is dan ook de aanvoer en tijdelijke opslag van grondstoffen nodig (tenzij klaargemaakt beton zou aangevoerd worden).

Het gemiddeld aantal transporten dat vereist wordt voor opvullen van de galerijen, de hoofdgalerij en de toegangsschacht is, omwille van de duur waarover deze werken gespreid worden, dermate beperkt dat hiervan geen impact verwacht wordt (zie Tabel 38). Gezien het tijds kader, waarbij opvulling pas voorzien wordt binnen verschillende tientallen jaren, kan de impact uiteraard nog verder afnemen door wijzigingen in de stand der techniek.

De impact tijdens de periode na opvullen van de galerijen en de boorgaten bij deze beheeroptie kan lager ingeschat worden dan deze van bovengrondse opslag.

Niettegenstaande het feit dat de totale emissies die met deze beheeroptie gepaard gaan hoger zijn dan bij eeuwigdurende opslag kan, omwille van de grotere spreiding in de tijd, aangenomen worden dat de jaargemiddelde effecten op de luchtkwaliteit beperkter zullen zijn dan de effecten van eeuwigdurende opslag.

Berging in diepe boorgaten

Bij deze beheeroptie zijn in grote lijnen vergelijkbare effecten te verwachten als bij geologische berging. De boorgaten dienen wel veel dieper te zijn en er dienen veel meer boorgaten voorzien te worden in vergelijking met de schachten bij geologische berging om eenzelfde capaciteit te realiseren.

Bij berging in diepe boorgaten zijn de belangrijkste bronnen van tijdelijke effecten tijdens de **aanleg**fase de volgende activiteiten:

- Boren van diepe boorgaten
- Afvoer van uitgegraven materiaal
- Aanvoer van grondstoffen (bentoniet, beton of zand, grind en cement)

De belangrijkste impact die in deze fase verwacht wordt, is de afvoer van afgegraven materiaal, de aanvoer van grondstoffen en desgevallend de productie van beton ter plaatse.

Uiteraard zal de hoeveelheid af te voeren materiaal afhangen van de diepte en de diameter van de boorgaten. Op basis van een inschatting van het af te voeren boorresidu en grondverzet (zie Tabel 38) kunnen de emissies zowat 40% lager ingeschat worden dan bij met geologische berging. Een verschil in effect op de luchtkwaliteit buiten de werfzone wordt

hierbij echter niet of nauwelijks verwacht gezien o.a. de spreiding van de activiteiten in de tijd.

Tijdens de **exploitatie** worden voor deze beheeroptie gelijkaardige effecten verwacht als bij geologische berging. Verschillen zijn louter te verwachten indien een relevant verschil te verwachten zou zijn ten aanzien van de hoeveelheid materialen noodzakelijk voor de opvulling van de boorgaten. De noodzakelijke geachte hoeveelheid beton is slechts in beperkte mate kleiner dan bij geologische berging, zodat de effecten die met de aanvoer en het aanbrengen van het opvulmateriaal gepaard gaan nauwelijks als onderscheidend beschouwd kunnen worden.

De impact tijdens de periode na opvullen van de boorgaten kan, net zoals bij geologische berging, lager ingeschat worden dan deze van bovengrondse opslag.

Hoewel de totale emissies die met deze beheeroptie gepaard gaan hoger zijn dan bij eeuwigdurende opslag, kan omwille van de grotere spreiding in de tijd aangenomen worden dat de jaargemiddelde effecten op de luchtkwaliteit beperkter zullen zijn dan de effecten van eeuwigdurende opslag.

Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden

Bij deze beheeroptie zijn gelijkaardige effecten te verwachten als bij de hierboven beschreven effecten bij eeuwigdurende opslag. Er worden echter nog bijkomende effecten verwacht bij de overgang naar een definitieve beheeroptie indien er voor een andere optie dan bovengrondse opslag gekozen zou worden.

Globaal gezien kan aangenomen worden dat de impact van deze optie hoger ingeschat mag worden dan bij geologische berging of berging in diepe boorgaten. Dit verschil is evenwel niet kwantificeerbaar.

Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

Bij deze beheeroptie zijn gelijkaardige effecten te verwachten als bij de hierboven beschreven effecten bij eeuwigdurende opslag. Er worden echter nog bijkomende effecten verwacht bij het opnieuw gebruiken van het radioactief afval bij eventuele toekomstige toepassingen.

Globaal gezien kan dan ook aangenomen worden dat de impact van deze optie hoger ingeschat mag worden dan bij geologische berging of berging in diepe boorgaten. Dit verschil is evenwel niet kwantificeerbaar. Eventuele verschillen met langdurige bovengrondse opslag in afwachting van een beheeroptie die definitief kan worden zijn niet te beoordelen.

Status quo-optie

Bij de status quo-optie zijn beperkte tijdelijke effecten te verwachten door de **aanleg** van (beperkte) bijkomende voorzieningen en opslaggebouwen. Het gemiddelde aantal transporten dat hiervoor nodig is, gekoppeld aan de duur van de voorziene werken, is dermate dat hierbij slechts beperkte, tijdelijke effecten op de luchtkwaliteit te verwachten zijn (zie Tabel 38).

Bij deze beheeroptie zijn in de **exploitatiefase** verwarmingsemissies van een aantal gebouwen in rekening te brengen. De aard van de emissies is afhankelijk van de aard van

de gebruikte installaties en brandstoffen. Ook de emissies veroorzaakt bij conditionering cf. de actueel van toepassing zijnde methodieken blijven uiteraard verder optreden.

In het duurzaamheidsrapport 2008 van Belgoprocess (164) worden de verwarmingsemissies getoetst aan de emissiegrenswaarden. Uitgaande van de hierin opgenomen bespreking kan aangenomen worden dat de installaties met zware stookolie gestookt worden. Bij gebruik van een dergelijke brandstof kan in de onmiddellijke omgeving van de bronnen een aantoonbare impact verwacht worden. De grootte van deze impact hangt wel nog sterk af van de schouwhoogte van de emissiepunten.

Door omschakeling naar andere brandstoffen (bv. lichte stookolie of aardgas) zou het mogelijk zijn om de emissies van deze installatie zeer aanzienlijk te reduceren voor de parameters (fijn) stof, NO_x, SO₂ en zware metalen. De mate van reductie die hierbij kan gerealiseerd worden bedraagt naargelang de parameter een factor 5 à 10 (of zelfs meer).

Bij de te voorziene technologische vooruitgang kan verwacht worden dat de emissies en de bijhorende impact ook stelselmatig zullen dalen.

Mogelijkheden die momenteel reeds gebruikt worden en die zeker in de toekomst mogelijk zullen blijven, en die tot lagere emissies aanleiding geven, zijn bv. "koude-warmte-opslag" en toepassing van "geologische warmte". Het is echter niet duidelijk in hoeverre deze technieken toepasbaar zullen zijn op de gekozen site.

Bijkomende beperkte impact is te verwachten door o.a. bewakingsactiviteiten en onderhoud van de installaties. De impact hiervan, waarvan kan aangenomen worden dat deze met de tijd zal afnemen door technologische vooruitgang, kan evenwel als verwaarloosbaar ingeschat worden.

9.4.1.3 Beoordeling van de effecten

Globaal gezien zal elke beheeroptie aanleiding geven tot emissies. Deze emissies zijn evenwel telkens slechts tijdelijk; ze doen zich voor bij aanleg en exploitatie. Bij eeuwigdurende opslag zijn ook daarna nog emissies te verwachten door de noodzaak om het afval periodiek te herconditioneren en nieuwe opslaggebouwen te bouwen.

Vooraf grondverzet, afvoer van afgegraven materiaal en aanvoer van grondstoffen (o.a. bentoniet en beton of zand, cement en grind) kunnen hierbij tot duidelijk aantoonbare effecten leiden.

Rekening houdend met de hoeveelheden af te graven en af te voeren materialen en aan te voeren grondstoffen (beton of zand, grind en cement, staal, bentoniet, ...) kunnen de totale emissies die met de aanlegfase gepaard gaan het hoogst ingeschat worden voor geologische berging, iets lager voor berging in diepe boorgaten en het laagst voor eeuwigdurende of langdurige opslag. De periode waarover deze emissies vrijkomen, is echter zeer verschillend, zodat de impact op de luchtkwaliteit niet enkel bepaald wordt door de grootte van de emissies.

Op basis van een kwalitatieve inschatting kan gesteld worden dat langdurige of eeuwigdurende opslag aanleiding zal geven tot een hogere impact dan geologische berging of berging in diepe boorgaten, voornamelijk door de beperkte tijdsduur waarin het grondverzet tijdens de aanlegfase gerealiseerd zou worden. Deze hogere impact is uiteraard slechts tijdelijk.

Tussen geologische berging en berging in diepe boorgaten kunnen mogelijk wel beperkte verschillen qua emissies optreden (hoogste emissies bij geologische berging omwille van

grotere hoeveelheden af te voeren materiaal) maar deze verschillen zijn niet van die aard dat hierbij aantoonbare verschillen in impact op de luchtkwaliteit te verwachten zijn buiten de werfzone.

Bij opslag zijn na de plaatsing van het afval in de installatie nog beperkte emissies te verwachten. Deze emissies zullen omwille van technologische vooruitgang evenwel afnemen met de tijd. Bij eeuwigdurende opslag zijn bijkomend nog emissies te verwachten bij de periodieke herconditionering van het afval en de bouw van nieuwe opslaggebouwen. De emissies die hierbij ontstaan, zijn evenwel niet dermate dat ze verantwoordelijk zullen zijn voor een duidelijk aantoonbare impact buiten de werfzones.

Enkel bij aanzienlijke bovengrondse grondwerken kan een tijdelijke impact op de plaatselijke luchtkwaliteit verwacht worden. Deze zal zich voornamelijk voordoen door wegwaaiend grof stof. Dit effect wordt verwacht bij eeuwigdurende opslag, wanneer de opslaggebouwen opnieuw gebouwd worden.

Als globale beoordeling kunnen volgende impactscores vermeld worden.

Tabel 39: Beoordeling van de effecten op de lucht voor de korte termijn

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Globale beoordeling lucht	-	0 tot -	0 tot -	-	-	-

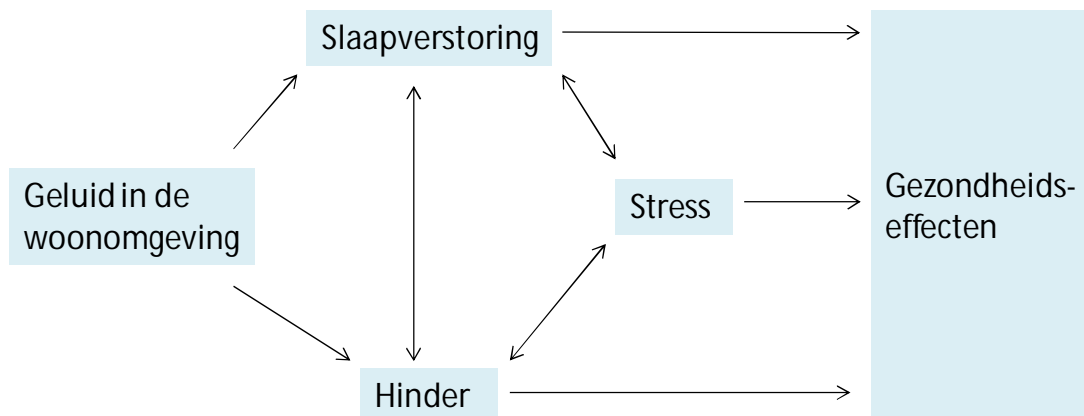
De effecten hangen af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Hun omvang kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

9.4.2 Geluid

9.4.2.1 Methodiek

Geluid: impact in de woonomgeving

Geluid is in onze geïndustrialiseerde en gemotoriseerde wereld alom aanwezig. Het heeft een aantal unieke fysische eigenschappen en zowel onmiddellijke als op den duur optredende negatieve gevolgen voor de gezondheid van mensen.



Figuur 56: De effecten van geluid op de menselijke gezondheid

Geluidshinder is een kwestie van beleving. Ongewenste geluiden in de woonomgeving kunnen bij de bewoners tot gevoelens van irritatie, wrevel, afkeer, boosheid, ergernis en dergelijke leiden. Het doet er daarbij niet altijd toe of dat geluidsniveau onder of boven de in de wet toegestane maximale waarde ligt. Of een geluid hinderlijk is hangt deels af van akoestische factoren en deels van niet-akoestische factoren.

Tot de akoestische factoren behoren het geluidsniveau, de frequentie en de variaties met de tijd in geluidsniveau en frequentie. De akoestische factoren zijn voor iedereen gelijk, toch kan de ene persoon hinder ondervinden van een geluid dat voor de andere persoon helemaal niet storend is. Dit verschil in hinderbeleving wordt bepaald door de niet-akoestische factoren.

Tot de niet-akoestische factoren behoren vermijdbaarheid (hebben mensen het idee dat het geluid vermeden kan worden?), beheersbaarheid (mate waarin het geluid beheerst kan worden), voorspelbaarheid (bv. spoorgeluid wordt door mensen die langs een spoorlijn wonen als minder hinderlijk ervaren ondanks het geluidsniveau, omwille van de voorspelbaarheid van de treinen die op vaste tijdstippen langsrijden), persoonlijke gevoeligheid voor geluid, mate van inspraak, angst voor een geluidsbron (bv. angst voor waardedaling van de eigendom), algemene houding t.o.v. de geluidsbron, persoonlijk voordeel van de activiteit in relatie tot de geluidsbron, nieuwe geluidsbron (het geluid ten gevolge van een nieuwe situatie wordt sneller hinderlijk gevonden dan geluid dat er reeds langere tijd is).

Effecten en beoordeling

Onder de discipline geluid wordt de geluidsverstoring onderzocht die voortgebracht wordt door de ingrepen in het kader van het Afvalplan. Gezien de aard van het plan zal het voornamelijk gaan om het geluid afkomstig van de aanlegwerkzaamheden (incidentele bronnen) en van de transporten (reguliere bronnen) van afval naar de installatie toe.

Aangezien voornamelijk de impact bij aanleg van belang is, wordt er enkel een evaluatie op een beperkte tijdschaal (korte termijn, ca. 100 jaar) voorzien. Dit komt ruwweg overeen met de aanleg- en exploitatiefase van de beheerinstallatie. Eens de installatie aangelegd en volledig gevuld is en er geen transporten meer gebeuren, zal er immers weinig geluidsverstoring te verwachten zijn. Voor de lange termijn is het niet mogelijk om de effecten nauwkeurig te beschrijven aangezien de evolutie van emissiefactoren zoals

verkeer, industriële geluidsbronnen e.d. niet kwantitatief ingeschat kan worden. Er is wel geweten dat er streefdoelen geformuleerd werden om het omgevingsgeluid in de toekomst te reduceren. Voor verschillende types geluidsbronnen werden reeds richtlijnen opgesteld.

- In het MINAplan 3+ (200) van de Vlaamse Overheid wordt als langetermijndoelstelling aangegeven om het percentage potentieel ernstig gehinderden door geluid, rekening houdend met het verschil in hinder veroorzaakt door verschillende types geluidsbronnen, te verminderen tot maximaal 10% van de totale bevolking van Vlaanderen. Voor het percentage blootgesteld aan wegverkeerslawaai ($LA_{eq} > 65$ dB(A) overdag buiten aan de gevel) betracht men een beperking tot maximaal 15% van de bevolking tegen 2020. De overheid heeft reeds verschillende acties ondernomen om de geluidsemisatie van het verkeer in de toekomst te verminderen.
- Om het wegverkeerslawaai in de toekomst te reduceren, grijpt de overheid reeds in door haar beleid m.b.t. eco-efficiëntie, wijze van gebruik (rijsnelheid) en infrastructuur (stiller wegdek, snelheidsremmende infrastructuur). De geluidsbronnen (motorgeluid en rolgeluid) worden gereguleerd door de geluidsemissienormen voor motorvoertuigen en de Europese richtlijn voor bandengeluid (2001/43/EG).
- Voor luchtverkeer hanteert de overheid als instrument enerzijds financiële stimuli voor het gebruik van stillere vliegtuigen op de luchthaven van Zaventem en op de regionale luchthaven Oostende-Brugge en anderzijds operationele maatregelen (luchthavenakkoord van 24 januari 2003: concentratie van nachtelijke vliegtuigbewegingen).
- Voor het treinverkeer werd door de Europese Commissie een richtlijn opgesteld met betrekking tot de beperking van de geluidsemisatie van nieuwe en vernieuwde locomotieven en treinwagons (2006/66/EG).
- Voor industriegeluid wordt de geluidsemisatie naar de omgeving beperkt door de geluidsimmissievoorwaarden in de milieuvergunning (bv. VLAREM II (51)).

Voor elk type geluidsbron is het onmogelijk om een kwantitatieve inschatting te maken van de evolutie van de geluidsimmissie. Daar het omgevingsgeluid samengesteld wordt door een samenvoeging van geluidsimmissies van de verschillende types geluidsbronnen, wordt de onmogelijkheid voor een kwantitatieve beoordeling nog groter. De impact van het Afvalplan zal dus op een kwalitatieve wijze worden beoordeeld.

De ruimtelijke afbakening, d.w.z. het gebied waarbinnen geluidsverstoring plaatsvindt, zal op basis van de beschrijving van de geplande ingrepen voor aanleg en transport bepaald worden. Bij de beoordeling wordt er bepaald in welke mate de realisatie van het plan aanleiding zal geven tot geluidshinder, rekening houdende met de verwachtingspatronen en het aantal voorkomingsverschijnselen.

De significantie wordt bepaald aan de hand van een sommatie van de beoordeling voor de criteria “verwachte verhoging van de geluidsbelasting en/of inbreuk op milieubeleidsdoelstellingen”, “ernst” en “duur”.

Tabel 40: Significanti kader voor de effecten op geluid

Deelscore	Betekenis
Verwachte verhoging van de geluidsbelasting en/of inbreuk op de milieubeleidsdoelstellingen	
-3	Groot
-2	Gemiddeld
-1	Laag
Ernst	
-3	Groot: verstoring van een gebied met een hoge concentratie aan receptoren
-2	Gemiddeld: verstoring van een gebied met een matige concentratie aan receptoren
-1	Laag: verstoring van een gebied met een lage concentratie aan receptoren
Duur van de impact	
-3	Groot: permanent
-2	Gemiddeld: omkeerbaar in de tijd, korter dan de projectduur
-1	Laag: snel omkeerbaar, tijdelijk effect, veel korter dan de projectduur

Voor gunstige effecten worden op analoge wijze positieve deelscores toegekend. De toetsing van de effecten gebeurt aan de hand van de onderstaande zevendelige beoordelingsschaal.

Tabel 41: Scoretabel voor de effecten op geluid

Score	Aantal punten cf. Tabel 40	Betekenis
--- / +++	- / + 8 à 9	Significant negatief / positief effect
-- / ++	- / + 6 à 7	Matig significant negatief / positief effect
- / +	- / + 3 à 5	Gering significant negatief / positief effect
0	- / + 0 à 2	Geen of verwaarloosbaar effect

Overzicht van mogelijke effecten

Het geluidsniveau in de omgeving wordt bepaald door het geluidsemissieniveau van de bron en de dempingsfactoren in de overdrachtsweg tussen de bron en de ontvanger. Tijdens de aanlegwerkzaamheden worden geluidsproducerende machines en transportmiddelen ingezet. De aard van de werkzaamheden is afhankelijk van de gekozen beheeroptie.

De belangrijkste geluidsproducerende activiteiten tijdens de aanleg zijn:

- Grondwerken en afvoer van afgegraven bodem

- Booractiviteiten en afvoer van uitgegraven materiaal
- Constructie van ondergrondse galerijen en afvoer van uitgegraven materiaal
- Bouw van gebouwen: o.a. productie en aanvoer van beton en bouwmaterialen

De geluidsbronnen die daarbij ingezet worden, zijn o.a. een hydraulische kraan, een wiellader, betonmixers en vrachtwagens voor aan- en afvoer.

De ruimtelijke situering van deze geluidsemissies wordt bepaald door de locatie van de site en de omliggende transportwegen.

Tijdens de exploitatie vinden eveneens een aantal geluidsproducerende activiteiten plaats. De geluidsemissies naar de omgeving zijn afhankelijk van de beheeroptie. Dit kan gaan van louter gebouwverwarming van controlegebouwen (geluidsemissie van stookketels via schouwmonden) en het periodiek herconditioneren van het afval tot het opnieuw manipuleren van het afval bij latere industriële toepassing van geavanceerde splijtstofcycli (geluidsemissie van motorvoertuigen).

De belangrijkste geluidsproducerende activiteiten tijdens de exploitatiefase zijn:

- Aanvoer van materialen en grondstoffen
- Vervaardigen van (super)containers
- Aanvoer van het radioactief afval
- Manipulatie van het afval op de site
- Plaatsing in de opslag- of bergingsinstallatie
- Aanbrengen van opvulmateriaal

De geluidsbronnen die daarbij ingezet worden, zijn o.a. kranen, heftrucks en vrachtwagens.

De impact van de aanvoer van het radioactief afval hangt voor alle beheeropties af van het gekozen transportmiddel: over de weg, per spoor (al dan niet in combinatie met wegtransport naargelang de ligging en de beschikbare infrastructuur), combinatie van vervoer per schip en wegtransport.

9.4.2.2 Beschrijving van de effecten

Algemeenheden over geluidseffecten

Geluidseffecten van **machines** t.a.v. mens en natuur zijn afhankelijk van het geluidsvermogen van de machines (de Europese richtlijn CEE/2000/14 van 8 mei 2000 beperkt de geluidsemissie van machines voor gebruik buitenshuis), het aantal simultaan inzetbare machines en de afstand van deze bronnen tot de receptoren.

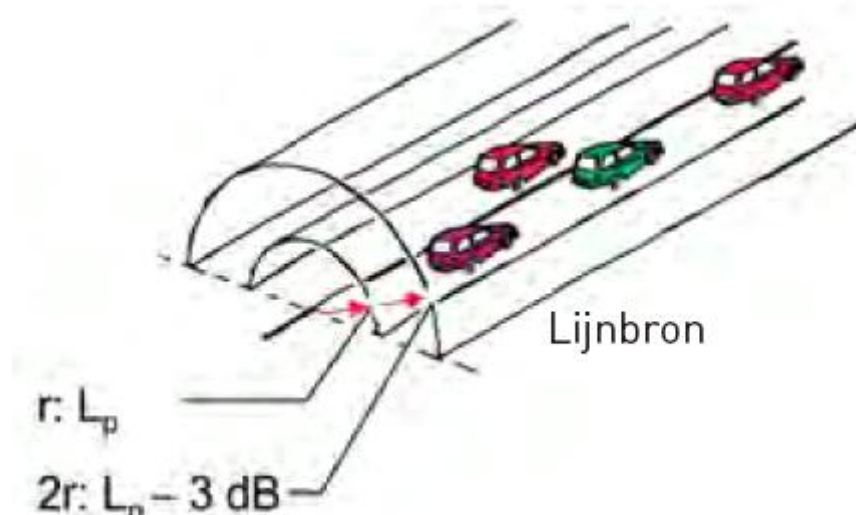
Bijvoorbeeld, indien twee bulldozers gelijktijdig op eenzelfde plaatst aan het werk zijn, neemt het specifieke geluid met 3 dB toe, wat een perceptie geeft van twee keer zo luid als één werkend tuig. Daarentegen wordt het geluidsdrukkniveau zwakker naarmate de waarnemer zich van de bron verwijderd omdat de geluidsenergie over een bol met een steeds grotere straal wordt uitgesmeerd. Als de afmetingen van de geluidsbron klein zijn t.o.v. de afstand van de geluidsbron tot de receptor, neemt het geluidsniveau af met 6 dB per afstandsverdubbeling. Een bulldozer met een geluidsvermogenniveau van 105 dB(A) veroorzaakt op 150 m een specifieke geluidsbijdrage gelijk aan de VLAREM II-milieukwaliteitsnorm (50 dB(A)) voor de dagperiode voor een zone gelegen op minder dan 500 m van een milieubelastend gebied (industriegebied, gebied voor

gemeenschapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzieningen of dienstverleningsgebied). Om de milieukwaliteitsnorm voor een woongebied (45 dB(A) voor de dagperiode) niet te overschrijden, zou de bulldozer de minimale afstand van 300 m tot de bebouwing moeten respecteren. Tijdens de nachtperiode is de milieukwaliteitsnorm voor een woongebied 10 dB(A) strenger (lager) dan voor de dagperiode. Dit vertaalt zich een hinderafstand van 900 m tot de bebouwing. De hinderafstanden worden groter naarmate de geluidsemisatie toeneemt, bijvoorbeeld bij twee simultaan werkende bulldozers. De aan te houden afstanden tot de bebouwing om overdag de milieukwaliteitsnorm te respecteren zullen daardoor ook toenemen van 150 m naar 250 m voor een zone gelegen op minder dan 500 m van een milieubelastend gebied. Voor werkzaamheden in een zone nabij een woongebied zal de hinderafstand toenemen van 300 m naar 400 m en van 900 m naar 1300 m bij werkzaamheden in de nachtperiode. Het risico op geluidshinder voor de omwonenden en de faunistisch waardevolle gebieden neemt dus toe naarmate er meerdere geluidsbronnen (machines) simultaan ingezet worden, luidruchtige geluidsbronnen (hoog geluidsvermogeniveau) gebruikt worden en/of werkzaamheden gebeuren tijdens de kritische tijdsperiodes (avond en nacht).

Het specifieke geluid van machines is ook afhankelijk van de windrichting. Bij tegenwind (wind van de ontvanger naar de werfzone) zal het waargenomen geluidsniveau lager zijn dan bij meewind (wind van de werfzone naar de ontvanger). Bij toenemende windsnelheden zal het achtergrondgeluidsniveau toenemen door windruis, waardoor het specifieke geluid van de machines minder duidelijk wordt waargenomen (geluidsmaskering).

De hinder is grootst zijn op korte afstand van de machines. Bij een opstelling achter geluidsafschermende obstakels zal de hinder stelselmatig afnemen. Obstakels zijn objecten die men plaatst om erachter geluidsarme zones te creëren. Een geluidsscherm kan gedefinieerd worden als een massief obstakel dat relatief ondoordringbaar is voor geluid en dat idealiter de zichtlijn tussen de bron en de ontvanger onderbreekt. Op die manier creëert het een geluidsarme "schaduwzone".

Het **wegvekeer** is een opeenvolging van verplaatsbare puntbronnen. Als een geluidsbron smal is in één richting en lang in de andere, dan wordt het een lijnbron genoemd. In het algemeen wordt het geluidsdrukkniveau zwakker naarmate de waarnemer zich van de bron verwijdert omdat de geluidsenergie over een bol met een steeds grotere straal wordt uitgesmeerd. De geluidsenergie van een lijnbron wordt dus uitgesmeerd over een cilindrisch oppervlak, en daardoor is de waargenomen geluidsenergie op afstand r van de bron evenredig met $1/r$. Een verdubbeling van de afstand betekent hier dat de geluidsenergie met een factor 2 afneemt en het geluidsdrukkniveau dus slechts met 3 dB. Dit geldt op voorwaarde dat de invloeden van grond- en luchtabsorptie verwaarloosbaar zijn. Dit is de reden waarom het lawaai van een autoweg doorgaans vrij ver hoorbaar is (201).



Figuur 57: Afname van het geluidsdrukkniveau bij toename van de afstand

Bij de keuze van de werfwegen is het belangrijk om deze deskundig te bepalen via een gedetailleerd ontsluitingsplan teneinde het aandeel ernstig gehinderden maximaal te beperken. Ter illustratie wordt in onderstaande tabel in functie van een aantal discrete afstanden tot de aan- en afvoerroutes, het maximaal toelaatbaar bewegingsaantal per uur aangegeven voor enkele bestemmingsgebieden van VLAREM II (milieukwaliteitsnorm) (51). De vermelde waarden gelden voor de geluidsuitbreiding onder vrije-veldcondities (zonder afschermdende objecten in de overdrachtsweg).

Tabel 42: Maximaal toelaatbaar aantal vervoersbewegingen per uur op de aan- en afvoerroutes in functie van het doorsneden gebied (VLAREM II, bijlage 2.2.1) en de afstand tot de aan- en afvoerroute

Bestemmingsgebied	Norm overdag (dB(A))	10 m	20 m	50 m	100 m	150 m	200 m	300 m
Gebieden of delen van gebieden op minder dan 500 m gelegen van gebieden voor ambachtelijke bedrijven en KMO's, van dienstverleningsgebieden of van ontginningsgebieden, tijdens de ontginning	50	3	8	24	59	94	149	291
Woongebieden	45	1	2	8	19	30	47	92

Ter uitvoering van de Europese Richtlijn Omgevingslawaai (2002/49/EG) stelt het Besluit van de Vlaamse Regering van 22 juli 2005 inzake de evaluatie en de beheersing van het omgevingslawaai zich tot doel om "het omgevingslawaai en de hieruit voortkomende geluidshinder en schadelijke effecten te vermijden, te voorkomen of te verminderen en een goede geluidskwaliteit te bewaren". Ter uitvoering van de richtlijn dient dan ook de vaststelling van **milieukwaliteitsnormen voor industrie, weg- en spoorwegverkeer**

voorbereid te worden, waaraan vervolgens geluidsactieprogramma's gekoppeld worden die gericht zijn op het oplossen van prioritaire problemen voortvloeiend uit de overschrijding van de milieukwaliteitsnormen. Momenteel is er een consensustekst i.v.m. de milieukwaliteitsnormen voor omgevingslawaai, onderschreven door de Vlaamse Overheid – afdeling Lucht, Hinder, Risicobeheer, Milieu en Gezondheid (LHRMG) van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie, samen met de afdeling Algemeen Beleid, het Agentschap Wegen en Verkeer en de NMBS. In de tekst worden referentiewaarden gegeven voor wegverkeerslawaai. De genoemde getallen zijn gebaseerd op positiepapers van de Europese werkgroepen en zijn slechts geldig bij gebruik in een voldoende grote populatie (niet voor concrete of lokale situaties). De referentiewaarden werden bepaald vanuit de visie van het voorkomen van hinder in nieuwe situaties (nieuwe woningen, nieuwe wegen) en het verminderen van de hinder in bestaande situaties. Bij een geluidsniveau van 55 à 60 dB (belastingsindicator Lden) zou een relatief klein deel van de blootgestelden (5 à 10%) ernstig gehinderd worden. Bij een geluidsniveau van 65 à 70 dB (belastingsindicator Lden) zou een relatief groot deel van de blootgestelden (20 à 25%) ernstig gehinderd worden. De referentiewaarden voor ernstig gehinderden zijn in lijn met referentiewaarde in de langetermijndoelstellingen ($LA_{eq} < 65$ dB(A) overdag buiten aan de gevel) van het MINAplan 3+ van de Vlaamse Overheid (200).

Het verkeer kan in sommige gevallen **trillingshinder** veroorzaken voor personen in gebouwen. Hierbij zijn twee mechanismen werkzaam: het wegdrukken van de grond rond het voertuig door zijn gewicht en de snelle drukveranderingen van de grond ter hoogte van elk wiel tijdens het voorbijrijden. De amplitude van de trillingen is afhankelijk van de asbelasting, de snelheid van het voertuig en de staat van het wegdek.

Tot op 20 à 30 m afstand van de rijweg is de passage waarneembaar. Indien de intensiteit van de vrachtwagens te groot is of als de afstand tot de woningen te klein is, kan er trillingshinder optreden. Bij normale rij snelheden en een egaal wegdek is schade aan woningen hoogst onwaarschijnlijk. Bij een slecht wegdek of bij obstakels en verkeersdrempels mag men trillingshinder verwachten voor voertuigen vanaf 15 ton. 's Nachts mag men zeker trillingshinder verwachten in de bebouwde kom voor woningen vlak bij de straat.

Om trillingshinder te vermijden, dienen werfwegen zich zo veel mogelijk buiten de dicht bebouwde gebieden te bevinden. Indien doortochten door dicht bebouwde gebieden onvermijdbaar zijn, kan de impact beperkt worden door het toepassen van plaatselijke maatregelen: beperking van de snelheid van de voertuigen (zeker op een slecht wegdek), beperking van de aslasten of onmiddellijke herstelling van beschadigingen aan het wegdek.

Overzicht van het aantal vrachtwagentransporten

Activiteiten zoals grondverzet, aanvoer van grondstoffen (o.a. beton, bentoniet, staal) zijn voor alle beheeropties nodig. Ze kunnen wel leiden tot andere effecten naargelang de hoeveelheden, het aantal transporten, de periode waarover de werken gespreid worden, ...

In Tabel 38 wordt een inschatting gegeven van het grondverzet, de hoeveelheden aan te voeren materialen en het aantal transporten naargelang de fase van de werken en in functie van de beheeropties. Het verschil in impact wordt geëvalueerd bij de bespreking van de effecten per beheeroptie.

Eeuwigdurende opslag

De belangrijkste geluidsbronnen bij de aanleg zijn:

- Grondwerken en grondverzet

- Aanvoer van bouwmaterialen
- Bouwactiviteiten

De belangrijkste geluidsemissies die met de aanleg gepaard gaan, worden veroorzaakt door het **gebruik van machines**. Geluidseffecten van machines t.a.v. mens en natuur zijn afhankelijk van het geluidsvermogen van de machines, het aantal simultaan inzetbare machines, de afstand van deze bronnen tot de receptoren en de windrichting.

Tijdens de aanlegwerkzaamheden zal de hinder het grootst zijn op korte afstand van de werfzone. Bij het verplaatsen van de machines binnen de werfzone of een opstelling achter geluidsafschermdende obstakels zal de hinder stelselmatig afnemen.

Bovendien zal de inzet van lawaaierige machines van beperkte duur zijn, waardoor de totale periode van geluidshinder voor de receptoren kleiner zal zijn dan de realisatieperiode.

De noodzakelijke grondwerken kunnen als niet onaanzienlijk beschouwd worden. Ondanks de lange duur van de werken en de veronderstelling dat de site op een aanzienlijke afstand van de omwonenden zal liggen, gaan we er toch van uit dat de resulterende overlast niet groter hoeft te zijn dan de huidige geluidsbelastingstoestand. Anderzijds is de aanleg een eenmalige operatie met een in de tijd omkeerbare geluidsimpact.

De geluidsbelasting voor de omwonenden naast of in de nabijheid van de **aan- en afvoerroute** (op de openbare weg) is afhankelijk van de uurlijkse intensiteiten (aantal vervoersbewegingen per uur) en wordt bekomen rekening houdende met de totale duur van de werkzaamheden (werkdag omvat telkens +/- 10 werkuren).

Rekening houdend met de activiteiten en geschatte hoeveelheden (zie Tabel 38) kan aangenomen worden dat de grootste impact op het omgevingsgeluid zich zal voordoen tijdens de aanlegfase. Het grondverzet is hierbij bepalend.

Op basis van een "worst case" benadering waarbij alle uitgegraven grond afgevoerd wordt, zouden er per uur gemiddeld 11,5 transporten plaatsvinden op de werfwegen, voor een dagelijkse werkduur van 10 uur in een uitvoeringsperiode van 6 maanden. Voor elk transport wordt een geladen vrachtwagen afgevoerd en een ongeladen vrachtwagen aangevoerd. Dit geeft twee vrachtwagenbewegingen per transport op de werfwegen en de site. Aldus zullen er gemiddeld 23 vrachtwagenbewegingen per uur zijn.

Het specifieke geluid van het transport op een referentiewegdek (DAB 11/16) wordt berekend op 62,6 dB(A) binnen de bebouwde kom (richtsnelheid 50 km/h) op een afstand van 5 m van de hartlijn van de rijweg. Langs een gewestweg (richtsnelheid 70 km/h) wordt een geluidsniveau van 63,8 dB(A) verwacht. Langs snelwegen bevinden zich geen woningen. Voor woningen in de nabijheid van de snelweg (richtsnelheid 90 km/h) wordt een geluidsniveau van 48,5 dB(A) verwacht op 100 m afstand van de rijweg.

Indien zoals gesteld deze werken binnen een periode van een 6-tal maanden zou gerealiseerd worden dan leidt dit tot negatieve effecten voor de bebouwing langs de transportroutes, zowel binnen als buiten de bebouwde kom (niet langs snelwegen).

Indien deze werken over een volledig jaar gespreid zouden worden, dan zou de specifieke geluidsbijdrage met 3 dB verminderen. Langs de transportroutes binnen en buiten de bebouwde kom wordt geen impact verwacht die niet strookt met een evenwichtig geluidshinderbeleid.

Tijdens de bouw van de opslaggebouwen worden eveneens belangrijke hoeveelheden transporten beton en staal voorzien. Het aantal transporten wordt bepaald door de

hoeveelheid aan te voeren materiaal. In functie van het aantal bunkers, de grootte en de dikte van de muren kan de noodzakelijke hoeveelheid beton en staal geschat worden (zie Tabel 38).

Het aantal transporten dat hiervoor nodig is, is niet onaanzienlijk, maar omwille van de spreiding van de werken over een periode van 10 jaar is de impact beperkt. Op basis van de geschatte hoeveelheden en de spreiding van de werken zouden er voor de aanvoer van beton en staal per uur gemiddeld 0,6 transporten plaatsvinden op de werfwegen, voor een dagelijkse werkduur van 10 uur in een uitvoeringsperiode van 10 jaar. Voor elk transport wordt een geladen vrachtwagen afgevoerd en een ongeladen vrachtwagen aangevoerd. Dit geeft twee vrachtwagenbewegingen per transport op de werfwegen en de site. Aldus zullen er gemiddeld 1,2 vrachtwagenbewegingen per uur zijn. Afgerond naar boven veronderstellen we 2 vrachtwagenbewegingen per uur of 10 transporten per dag.

Het specifieke geluid van dergelijk transport op een referentiewegdek (DAB 11/16) wordt berekend op 52 dB(A) binnen de bebouwde kom (richtsnelheid 50 km/h) op een afstand van 5 m van de hartlijn van de rijweg. Langs een gewestweg (richtsnelheid 70 km/h) wordt een geluidsniveau van 53,2 dB(A) verwacht. Langs snelwegen bevinden zich geen woningen. Voor woningen in de nabijheid van de snelweg (richtsnelheid 90 km/h) wordt een geluidsniveau van 37,9 dB(A) verwacht op 100 m afstand van de rijweg.

Langs de transportroutes binnen en buiten de bebouwde kom wordt er voor de aanvoer van beton en staal geen impact verwacht die niet strookt met een evenwichtig geluidshinderbeleid.

I.p.v. beton aan te voeren bestaat uiteraard ook de mogelijkheid dat het beton ter plaatse aangemaakt wordt. In dat geval worden emissies verwacht bij aanvoer en opslag van grondstoffen, productie en intern transport bij gebruik. Bij productie ter plaatse wordt door de betoncentrale wel een grotere impact verwacht op de site dan bij aanvoer van het beton.

Bijkomend dient dan nog de impact van de bouw van de interne wegen, de aansluiting op openbaar wegennet, randvoorzieningen, ... beschouwd te worden, die aanleiding zal geven tot extra aanvoer van bouwstoffen en extra emissies. De impact van deze activiteiten kan in de huidige fase van de studie moeilijk kwantitatief ingeschat worden.

Na de plaatsing van het radioactief afval in de opslaginstallatie kunnen nog een aantal geluidsemisies verwacht worden bij de **beheeractiviteiten**. De belangrijkste geluidsemitterende bronnen zijn de volgende:

- Onderhouden en eventueel vervangen van verpakking van het afval en de installaties voor de behandeling van het afval
- Verwarming van randvoorzieningen
- Periodieke herconditionering (merk op dat de eerste herconditionering normaliter niet binnen de korte termijn van ca. 100 jaar valt)

De gegevens over geluidsemisies bij de uitwerking van het onderhoudsprogramma, de verwarmingsinstallaties voor de randvoorzieningen en de periodieke herconditionering ontbreken, waardoor er geen kwantitatieve impactbeoordeling kan worden opgenomen. Er kan worden aangenomen dat de toekomstige verwarmingsinstallaties geluidsarmer zullen worden door steeds strengere milieunormen. De geluidsimpact zal naar verwachting in de toekomst afnemen door de technologische vooruitgang.

De periodieke herconditionering kan aanleiding geven tot tijdelijke geluidshinder. De hinder kan afkomstig zijn van het transport van de containers bij de herverpakking. Deze activiteiten vereisen geen intensief transport, waardoor het uurlijkse gemiddelde van de

vrachtwagenbewegingen en dus ook de impact van het verkeersgeluid beperkt zullen zijn. Bij de periodieke vervanging van de gebouwen op het einde van hun levensduur zijn tijdelijke geluidseffecten te verwachten van de machines op de site en de transporten op de werfwegen. Deze activiteiten vereisen evenmin een intensief transport. De ernst van de hinder zal daarbij gering significant tot verwaarloosbaar zijn.

Geologische berging

Bij geologische berging van hoogradioactief en/of langlevend afval zijn de belangrijkste geluidsemitterende effecten tijdens de **aanleg** afkomstig van:

- Boren van schachten
- Boren van galerijen
- Afvoer van afgegraven materiaal
- Aanvoer grondstoffen (bentoniet, beton of zand, grind en cement)

Momenteel zijn er nog geen keuzes gemaakt m.b.t. de wijze waarop de schachten en de galerijen gerealiseerd worden en welk materiaal ingezet zal worden om de bouwwerkzaamheden uit te voeren. Het boren van een tunnel levert relatief weinig hinder op. De boormachine werkt ondergronds en de bouwstromen vinden plaats door het reeds gerealiseerde deel van de galerijen en de schachten. Bovengronds bevinden zich eveneens enkele geluidsemitterende bronnen die een impact kunnen veroorzaken op de naaste omgeving, zoals de activiteiten rond de opslag van afgegraven materiaal en de aanvoer van materialen voor de bouw van de schachten en de galerijen.

Zoals reeds aangegeven zijn de belangrijkste geluidsimpacts te verwachten van de transporten (afvoer van afgegraven grond en aanvoer van grondstoffen) en desgevallend van de installatie voor betonproductie. Rekening houdend met de activiteiten en geschatte hoeveelheden (zie Tabel 38) kan er aangenomen worden dat de grootste impact op het omgevingsgeluid zich zal voordoen tijdens de aanlegfase. Het grondverzet is hierbij bepalend.

De "worst case" benadering, waarbij al het uitgegraven materiaal afgevoerd dient te worden, vereist de inzet van een groot aantal transporten. Omwille van de spreiding van de werken in de tijd blijft het uurgemiddelde aantal echter beperkt tot 1,1 transporten per uur op de werfwegen, voor een dagelijkse werkduur van 10 uur in een uitvoeringsperiode van 21 jaar. Voor elk transport wordt een geladen vrachtwagen afgevoerd en een ongeladen vrachtwagen aangevoerd. Dit geeft twee vrachtwagenbewegingen per transport op de werfwegen en de site. Aldus zullen er gemiddeld 2,2 vrachtwagenbewegingen per uur zijn. Afgerond naar boven veronderstellen we 3 vrachtwagenbewegingen per uur of 15 transporten per dag.

Het specifieke geluid van het transport op een referentiewegdek (DAB 11/16) wordt berekend op 53,8 dB(A) binnen de bebouwde kom (richtsnelheid 50 km/h) op een afstand van 5 m van de hartlijn van de rijweg. Langs een gewestweg (richtsnelheid 70 km/h) wordt een geluidsniveau van 54,9 dB(A) verwacht. Langs snelwegen bevinden zich geen woningen. Voor woningen in de nabijheid van de snelweg (richtsnelheid 90 km/h) wordt een geluidsniveau van 39,6 dB(A) verwacht op 100 m afstand van de rijweg.

Langs de transportroutes binnen en buiten de bebouwde kom wordt voor het grondverzet geen impact verwacht die niet strookt met een evenwichtig geluidshinderbeleid.

Een eventueel cumulatief effect van samenvallende werkzaamheden bij de aanleg van de randvoorzieningen met de aanleg van de schachten en galerijen is mogelijk, maar kan in

deze fase niet ingeschat worden door gebrek aan gegevens aangaande de bouwplaats, de inzetbare machines, de fasering van de werkzaamheden en de daarbij horende bouwtijd.

Tijdens en na het vullen van de bergingsinstallatie met radioactief afval is de belangrijkste geluidsemitterende bron de **aanvoer van opvulmateriaal** (zand, beton en bentoniet) voor de galerijen, de hoofdgalerij en de toegangsschachten. Zoals reeds aangegeven zijn de belangrijkste geluidsimpacts te verwachten van de transporten voor de aanvoer van het opvulmateriaal (bentoniet, beton of zand, grind en cement), de manipulatie van de materialen op de site en desgevallend de installatie voor betonproductie. Deze activiteiten vereisen geen intensief transport, waardoor het uurlijkse gemiddelde aan vrachtwagenbewegingen en dus de geluidsimpact beperkt zullen zijn.

De geluidsimpact van de activiteiten bij manipulatie van de materialen op de site is afhankelijk van de geluidsemisatie (geluidsvermogeniveau) van deze activiteiten.

Als alternatief voor de aanvoer van beton als onderdeel van het opvulmateriaal bestaat de mogelijkheid om ter plaatse beton aan te maken. In dat geval worden emissies verwacht bij aanvoer en opslag van grondstoffen, productie en intern transport bij gebruik. Bij productie ter plaatse wordt door de betoncentrale wel een grotere impact verwacht op de site dan bij aanvoer van beton.

Er dient nog vermeld dat de geluidsimpact van machines en voertuigen kan afnemen door de technologische vooruitgang.

Hoewel de totale geluidsemisaties die met deze beheeroptie gepaard gaan hoger zijn dan bij eeuwigdurende opslag, kan omwille van de grotere spreiding in de tijd aangenomen worden dat de jaargemiddelde effecten op de geluidskwaliteit kleiner zullen zijn dan bij eeuwigdurende opslag.

Berging in diepe boorgaten

Bij de **aanleg** van diepe boorgaten zijn vergelijkbare effecten te verwachten als bij geologische berging. De boorgaten dienen wel veel dieper te zijn en er dienen veel meer boorgaten voorzien te worden in vergelijking met de schachten bij geologische berging om eenzelfde capaciteit te realiseren.

Uiteraard zal de hoeveelheid af te voeren materiaal afhankelijk zijn van de diepte en de diameter van de boorputten. Op basis van een inschatting van het af te voeren boorresidu en grondverzet kan aangenomen worden dat de verschillen met geologische berging niet dermate uitgesproken zullen zijn dat hierbij zeer aanzienlijke verschillen qua geluidsemisaties zullen optreden. Het aantal transporten per dag is voor het grondverzet en voor de aanvoer van beton voor het opvullen van de boorgaten vergelijkbaar met deze voor de aanvoer van beton en staal voor de opslaggebouwen bij eeuwigdurende opslag. Bij de bespreking van de effecten van eeuwigdurende opslag werd reeds aangegeven dat er geen significante geluidsimpact verwacht wordt.

Tijdens de **exploitatie** zijn bij deze beheeroptie effecten te verwachten die weinig verschillen van die bij geologische berging. Relevante verschillen in geluidsimpact zijn alleen te verwachten als de geluidsemisaties (activiteiten op de site, transporten buiten de site) drastisch verschillen. Een verdubbeling van de geluidsemisatie geeft slechts een verhoging van het geluidsniveau met 3 dB. Voor het verkeerslawaai van de transporten betekent dit een verdubbeling van de hoeveelheden t.o.v. geologische berging.

De noodzakelijke geachte hoeveelheid beton voor het opvullen van de boorgaten is slechts in beperkte mate kleiner dan bij geologische berging, zodat de effecten die gepaard gaan

met de aanvoer, desgevallend de productie en het gebruik nauwelijks als onderscheidend beschouwd kunnen worden.

De geluidsimpact tijdens de exploitatiefase van deze beheersoptie kan dan ook gelijkwaardig worden ingeschat met die van de geologische berging, en als lager dan bij eeuwigdurende opslag. Hoewel de totale geluidsemissies die met deze beheeroptie gepaard gaan hoger zijn dan bij eeuwigdurende opslag, kan omwille van de grotere spreiding in de tijd aangenomen worden dat de jaargemiddelde effecten op de geluidskwaliteit beperkter zullen zijn dan bij eeuwigdurende opslag.

Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden

De effecten van deze beheeroptie zijn vergelijkbaar met die van eeuwigdurende opslag.

Indien men op een zeker moment kiest voor een andere beheeroptie dan langdurige of eeuwigdurende opslag, dan zijn bijkomende effecten te verwachten doordat het afval uit de opslaggebouwen gehaald moet worden en in een nieuwe beheerinstallatie geplaatst moet worden.

Globaal kan aangenomen worden dat de geluidsimpact van deze beheeroptie hoger is dan bij geologische berging en berging in diepe boorgaten. Dit verschil is echter niet kwantificeerbaar.

Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

De effecten van deze beheeroptie zijn vergelijkbaar met die van eeuwigdurende opslag.

Indien men beslist om het afval te verwerken met geavanceerde nucleaire technologieën, dan zijn bijkomende effecten te verwachten doordat het afval uit de opslaggebouwen gehaald moet worden. Ook de nucleaire technologieën zelf leiden tot effecten op mens en milieu.

Globaal kan aangenomen worden dat de geluidsimpact van deze beheeroptie vergelijkbaar is met de geluidsimpact van langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden, en hoger is dan bij geologische berging en berging in diepe boorgaten. Dit verschil is echter niet kwantificeerbaar.

Status quo-optie

Deze optie komt in de praktijk neer op het voortzetten van de huidige beheeractiviteiten in de bestaande opslaggebouwen, met een beperkte uitbreiding van de opslaggebouwen om voldoende capaciteit te bieden.

Het gemiddelde aantal transporten dat voor het bijkomend ruimtebeslag nodig is, is vergelijkbaar met deze voor langdurige of eeuwigdurende opslag. Bij de bespreking van de impact van deze beheeropties werd reeds aangegeven dat er geen significante geluidsimpact verwacht wordt.

Bij deze beheeroptie zijn tijdens de exploitatie klassieke atmosferische lozingen in rekening te brengen, afkomstig van verwarmingsinstallaties en stoomketels. Van deze installaties zijn geen concrete geluidgegevens beschikbaar. Deze effecten zijn echter lokaal en beperkt in omvang en zijn bovendien perfect beheersbaar door bron- of overdrachtsgerelateerde maatregelen.

9.4.2.3 Beoordeling van de effecten

Gezien de aard van het plan zullen voornamelijk de aanlegwerkzaamheden en het transport gepaard gaan met relevante geluidsemissies. Deze geluidsemissies zijn steeds tijdelijk bij aanleg en bij periodiek herconditioneren.

Voor de grondwerkzaamheden (afgraven en afvoer van grond) en de aanvoer van grondstoffen (o.a. staal, bentoniet, beton of zand, grind en cement) kan er geluidshinder voor de receptor mens ontstaan. De mate van hinder zal afhankelijk zijn van het te doorkruisen bestemmingsgebied. In landbouw- en natuurgebieden is het omgevingsgeluid globaal lager dan in stedelijke of industriële gebieden. Het risico op relevante geluidsimpacts (toename van het geluidsniveau) is dan ook kleiner in reeds geluidsbelaste gebieden (bv. nabij milieubelastende industrieën of nabij verkeersaders met hoge voertuigaantallen).

Daar geluidshinder een kwestie van beleving is, zal het percentage aan ernstig gehinderden (klachten van geluidshinder) naar verwachting groter zijn in een dichtbevolkt gebied dan in een dunbevolkt gebied.

Zowel de relatieve verhoging van het omgevingsgeluid (equivalent geluidsniveau en instantaan geluidsniveau) als het aantal bewoners binnen de impactzone bepalen de significantie van de hinder.

Op basis van de kwalitatieve inschatting kan gesteld worden dat de intensieve geluidsveroorzakende activiteiten bij langdurige of eeuwigdurende opslag aanleiding zullen geven tot relatief hogere geluidsemissies, met een grotere impactzone als gevolg.

Voor geologische berging en berging in diepe boorgaten worden kleinere geluidsemissies verwacht dan voor langdurige of eeuwigdurende opslag. Een gedeelte van de activiteiten is trouwens ondergronds. Op basis van de beschikbare gegevens is het onduidelijk of tussen de beheeropties geologische berging en berging in diepe boorgaten verschillen in geluidseffecten te verwachten zijn.

Na de plaatsing van het afval in de opslag- of bergingsinstallatie zijn nog beperkte geluidsemissies te verwachten. Bij de status quo-optie en bij langdurige of eeuwigdurende opslag zijn de emissies afkomstig van onderhoudswerkzaamheden en van de verwarmingsinstallaties voor de randvoorzieningen. Deze emissies zijn beperkt, met een lokale beïnvloedingszone. Omwille van technologische vooruitgang zullen deze emissies nog verder afnemen met de tijd.

Bij geologische berging en berging in diepe boorgaten zijn nog geluidsemissies te verwachten tijdens de periode waarin de galerijen en schachten (respectievelijk de boorgaten) opgevuld worden. Zowel de aanvoer van het materiaal als het manipuleren ervan op de site kunnen een impact veroorzaken op de omgeving. Deze activiteiten zijn evenwel niet dermate uitgesproken dat hierbij aanzienlijke effecten te verwachten zijn op het geluidsklimaat in de omgeving.

De algemene beoordeling wordt in Tabel 43 via de zevendelige beoordelingschaal (zie Tabel 41) uitgewerkt.

Tabel 43: Beoordeling van de effecten op geluid voor de korte termijn

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Verwachte verhoging van de geluidsbelasting en/of inbreuk op de milieubeleidsdoelstellingen	Woon- of landelijk gebied (W)	-3	-2	-2	-3	-1	
	Stedelijk of industriegebied (I)	-1	-1	-1	-1	0	
Ernst	Hoge concentratie aan receptoren	-3	-3	-3	-3	-3	
	Gemiddelde concentratie aan receptoren	-2	-2	-2	-2	-2	
	Lage concentratie aan receptoren	-1	-1	-1	-1	-1	
Duur		-2	-1	-1	-2	-1	
Totale score in woon- of landelijk gebied (W) of stedelijk of industriegebied (I)	Hoge concentratie aan receptoren	W: -8	W: -6	W: -6	W: -8	W: -5	
		I: -6	I: -5	I: -5	I: -6	I: -4	
	Gemiddelde concentratie aan receptoren	W: -7	W: -5	W: -5	W: -7	W: -4	
		I: -5	I: -4	I: -4	I: -5	I: -3	
	Lage concentratie aan receptoren	W: -6	W: -4	W: -4	W: -6	W: -3	
		I: -4	I: -3	I: -3	I: -4	I: -2	

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Globale beoordeling	Hoge concentratie aan receptoren	W: - - -	W: - -	W: - -	W: - - -	W: -
		I: - -	I: -	I: -	I: - -	I: -
	Gemiddelde concentratie aan receptoren	W: - -	W: -	W: -	W: - -	W: -
		I: -	I: -	I: -	I: -	I: -
	Lage concentratie aan receptoren	W: - -	W: -	W: -	W: - -	W: -
		I: -	I: -	I: -	I: -	I: 0

De effecten hangen af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Hun omvang kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

9.4.3 Radiologische effecten

9.4.3.1 Methodiek

criterium

De menselijke gezondheid wordt beschouwd als het belangrijkste veiligheidsaspect bij de beoordeling van de beheeropties. De gezondheid van mensen in de omgeving mag niet nadelig beïnvloed worden door radionucliden die kunnen vrijkomen uit de beheerinstallatie. In de praktijk komt dit erop neer dat de biologische effecten door de blootstelling aan de ioniserende straling zo klein moeten zijn dat er geen impact op de gezondheid te verwachten is.

Voor menselijk weefsel wordt dit effect bepaald aan de hand van de equivalente dosis. Deze komt overeen met de geabsorbeerde dosis – dit wil zeggen de hoeveelheid energie die door de straling afgezet wordt per eenheid materiële massa (1 joule afgezet in een kilogram materie) – vermenigvuldigd met een risicocoëfficiënt die rekening houdt met de aard van de straling en die de biologische impact op het weefsel uitdrukt. Deze risicocoëfficiënt bedraagt 1 voor fotonen- of gammastraling, voor X-straling en voor elektronen- of bètastraling, 5 tot 20 voor neutronen, 5 voor protonen en 20 voor alfadeeltjes en zware ionen. De geabsorbeerde dosis wordt uitgedrukt in Gray (Gy) of joule per kilogram. Bij gelijke geabsorbeerde doses kunnen de biologische effecten sterk verschillen naargelang het type straling.

Het effect van ioniserende straling voor het hele lichaam wordt bepaald aan de hand van de effectieve dosis. Deze wordt berekend door sommatie van de dosis ontvangen door ieder orgaan, vermenigvuldigd met de risicocoëfficiënt van het orgaan (equivalente dosis). De eenheid van de effectieve dosis is de Sievert (Sv). Meestal worden doses uitgedrukt in een duizendste (mSv) of miljoenste Sievert (µSv). De jaarlijkse effectieve dosis wordt internationaal gezien als de belangrijkste indicator voor de evaluatie van de gezondheidseffecten van het beheer van radioactief afval.

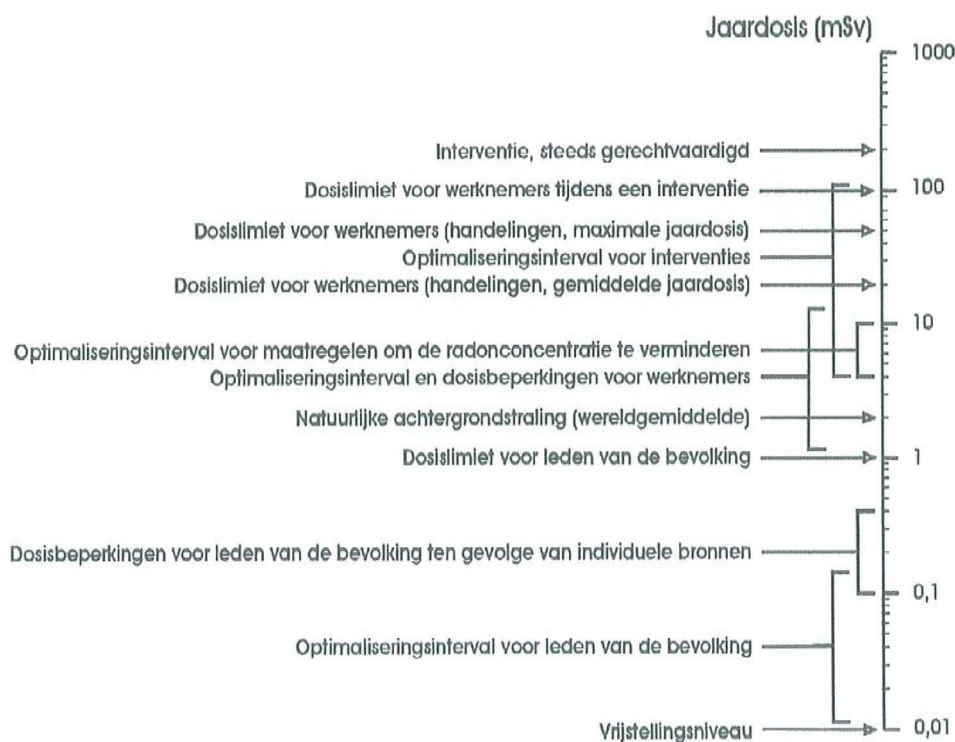
De omrekening van geabsorbeerde dosis (in Gray) naar effectieve dosis (in mSv of µSv) laat dus toe om de biologische impact van straling te beschrijven onafhankelijk van de aard van de straling. Zo zal een effectieve stralingsdosis van 20 mSv dezelfde biologische effecten hebben, of het nu om alfa- of gammastraling gaat.

In België zijn de reglementaire dosislimieten voor ioniserende stralingen gebaseerd op Europese richtlijnen die zelf gebaseerd zijn op de aanbevelingen van internationale instanties zoals de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP) en het Internationaal Atoomagentschap (IAEA). Zo bedraagt de grenswaarde voor de jaarlijkse dosis voor de bevolking 1 mSv. Ze houdt geen rekening met de natuurlijke stralingen, noch met de medische blootstellingen. Voor werknemers in de nucleaire industrie ligt de grenswaarde voor de jaarlijkse dosis op 20 mSv. De Europese richtlijn van 1998 inzake drinkwater (98/83/EG) bepaalt daarenboven dat de totale jaarlijkse dosis ingenomen via drinkwater niet hoger mag zijn dan 0,1 mSv. Deze jaarlijkse dosislimieten gelden voor de nucleaire activiteiten in het algemeen, en zijn dus niet specifiek voor beheerinstallaties voor radioactief afval. In het kader van het Europese project PAMINA stelt men voor om voor beheerinstallaties een referentiewaarde van 0,1 à 0,3 mSv/jaar te gebruiken (183), in overeenstemming met de aanbevelingen van de ICRP en het IAEA.

De gemiddelde jaarlijkse effectieve dosis in België wordt geschat op 4,6 mSv, waarvan 2,5 mSv afkomstig is van natuurlijke bronnen en 2,1 mSv afkomstig is van verschillende toepassingen van ioniserende straling, vooral in de geneeskunde. Medische toepassingen

kunnen vrij hoge effectieve doses met zich meebrengen. Een onderzoek uitgevoerd in opdracht van MIRA toont aan dat een CT-scan een dosis van ongeveer 7,2 mSv geeft (57).

De onderstaande figuur geeft een idee van de grootte-orde van de effectieve jaardosis (of van limieten voor de effectieve jaardosis) in verschillende situaties.



Figuur 58: Effectieve jaardosis in verschillende situaties en jaarlijkse dosislimieten voor handelingen en interventies zoals gedefinieerd in Publicatie 60 van de ICRP (202)

In sommige landen wordt het gezondheidseffect gerelateerd aan de kans op optreden van een specifiek scenario. De dosisrisicofactor R_D als gevolg van een aantal mogelijke scenario's S_i met een probabiliteit van p_i kan berekend worden met de formule

$$R_D = \sum_{S_i} p_i C_i$$

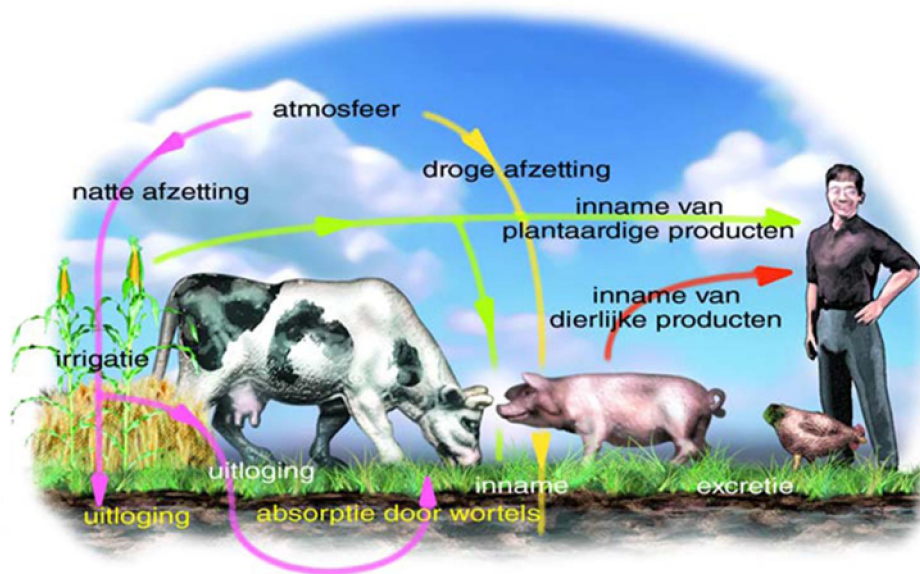
waarbij C_i het dosisdebiet is als gevolg van het scenario S_i . Op die manier bekomt men de verwachtingswaarde van het dosisdebiet. R_D wordt bijgevolg gemeten in Sv/jaar. Deze benadering is vooral interessant indien men ongevalscenario's wil meenemen. Voorlopig is ze echter niet in de Belgische regelgeving opgenomen. In deze SEA zal echter wel getracht worden om de waarschijnlijkheid van blootstelling aan ioniserende straling te evalueren voor de korte en de lange termijn.

Een andere indicator die vaak terugkeert in studies i.v.m. de radiologische impact door beheerinstallaties is de radiotoxiciteit van radionucliden in het water van de biosfeer (in Sv/m^3). Deze waarden worden afgeleid door de activiteitsconcentraties te vermenigvuldigen

met de dosisconversiefactoren voor ingestie (203). Als referentiewaarde wordt door de meeste studies het radiotoxiciteitsniveau van grondwater gebruikt, gebaseerd op de reële concentratie van natuurlijke radionucliden in het grondwater. Deze referentieniveaus zijn verschillend voor de verschillende types van ondergrond. Men bekomt referentieniveaus in de grootte-orde van 10^{-3} Sv/m³ tot 10^{-8} Sv/m³. Een referentiewaarde van 10^{-5} Sv/m³ wordt aanbevolen door PAMINA (183) voor gebruik in berekeningen. De GRS-studie uit Duitsland (204) vormt een uitzondering in die zin dat men het radiotoxiciteitsniveau van radionucliden in drinkwater gebruikt. Dit ligt typisch rond $7,7 \times 10^{-6}$ Sv/m³ en ligt dus dicht bij de referentiewaarde van PAMINA.

In het PAMINA-project (183) wordt tenslotte ook de radiotoxiciteitsflux vanuit de geosfeer (in Sv/jaar) als mogelijke indicator vermeld. Een flux is een grootheid per eenheid van oppervlakte en per eenheid van tijd. Het blijkt echter zeer moeilijk om een specifieke referentiewaarde af te leiden voor de radiotoxiciteitsflux op basis van de data voor de biosfeer. Het SCK•CEN heeft de referentiewaarde daarom afgeleid van data voor meststoffen die actiniden bevatten. Op deze manier kwam men voor een bergingsinstallatie van 1 km² tot een referentiewaarde van 10 Sv/jaar. De referentiewaarden voor deze indicator verschillen echter grondig van land tot land (183).

De radiologische impact van een beheerinstallatie op de gezondheid wordt gekarakteriseerd door fluxen en/of concentraties van radionucliden die in het leefmilieu kunnen terechtkomen. Het volgende schema toont de weg die de radioactiviteit kan volgen voor de besmetting van de voedselketen en daardoor ook van de mens.



Figuur 59: Routes voor blootstelling van de mens aan de radiologische impact van fluxen die in het leefmilieu kunnen terechtkomen

Daarnaast kan de mens ook blootgesteld worden via inademing of (in mindere mate) via contact met de huid.

In radiologische veiligheidsstudies tracht men de blootstelling te vergelijken met wettelijke limieten en fluxen en met concentraties die natuurlijk voorkomen.

De radiologische impact op het leefmilieu wordt ook ingeschat aan de hand van de effectieve dosis en de jaarlijkse effectieve dosis (in mSv). Concentraties in de omgeving kunnen aan de hand van dosisconversiefactoren omgerekend worden naar de jaarlijkse effectieve dosis, rekening houdend met de verschillende soorten straling en met de mogelijke blootstellingswegen van de beschouwde persoon. Een inschatting van deze indicator zal, waar mogelijk, gebeuren op basis van relevante impactstudies.

Significantiekader

Op basis van epidemiologisch onderzoek bij bestraalde populaties (meestal hoge, acute doses, die vervolgens geëxtrapoleerd worden naar lage doses met een correctiefactor, de Dose and Dose Rate Effectiveness Factor of DDREF) schat de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP) de kans op de ontwikkeling van een fatale kanker op 5% per Sv voor de bevolking en op 4% per Sv voor volwassen werknemers (202). Bij de bevolking liggen de risico-inschattingen hoger, omdat deze groep een andere leeftijdsverdeling heeft dan de groep werknemers en o.a. de meer gevoelige groep van kinderen omvat. Het schadeconcept van de ICRP is ruimer dan kankerdood en houdt eveneens rekening met niet-fatale kankers, met erfelijke afwijkingen en met het verlies aan levensverwachting. De bestudeerde populaties voor de evaluatie van het kankerrisico kunnen in 4 grote groepen ingedeeld worden:

- de overlevenden van de atoombomexplosies in Hiroshima en Nagasaki
- medische blootstellingen
- historische professionele blootstellingen
- bevolkingsgroepen die in hoge mate blootgesteld zijn aan radioactieve neerslag

In de praktijk betekent dit dat iemand gemiddeld 5 kansen op 1000 heeft om een fatale kanker te ontwikkelen indien die persoon in zijn leven blootgesteld is aan verschillende kleine doses waarvan de som 100 mSv bedraagt (dus ongeveer 1mSv/jaar).

ICRP heeft in 2007 een aantal nieuwe basisprincipes van de stralingsbescherming gepubliceerd in Publicatie 103 (18), die in de plaats komt van Publicatie 60 (202). De publicatie houdt rekening met de evolutie van de inzichten op het vlak van stralingsbescherming sinds Publicatie 60 en komt daarbij tot de conclusie dat er geen wetenschappelijke redenen zijn om de normen te verstrengen.

9.4.3.2 Beschrijving van de effecten voor de korte termijn

Algemeen

De effectanalyse voor de korte termijn heeft als uitgangspunt dat de duurzame bescherming van mens en natuur gegarandeerd moet blijven. De analyse van de impact op de menselijke gezondheid spitst zich hoofdzakelijk toe op het behoud van de insluiting van de radionucliden indien zich interne factoren (veroorzaakt door het afval zelf) of externe factoren (ongevallen, maar bv. ook klimaatverandering) voordoen.

De korte termijn is een operationele fase, waarin de beheeropties heel wat overeenkomsten zullen vertonen. In elk van de gevallen zijn er activiteiten van conditionering, tijdelijke opslag, transport en de bouw van de installatie. (Tijdelijke) combinaties van verschillende opties zijn hierbij bovendien niet uit te sluiten. Zo zal bestraalde splijtstof na ontlading minstens 60 jaar bovengronds opgeslagen moeten worden vooraleer geologische berging mogelijk is, en dit om de thermische belasting van de gastformatie te beperken. Pas naar het einde van de korte termijn toe worden de verschillen groter (bv. bij geologische berging en bij berging in diepe boorgaten zal meer en meer radioactief afval zich al ondergronds bevinden).

Eeuwigdurende opslag

Eeuwigdurende opslag bestaat uit opeenvolgende cycli (100 à 300 jaar) van langdurige opslag. Binnen de korte termijn (100 jaar) is eeuwigdurende opslag dus hetzelfde als langdurige opslag. Voor de beoordeling van de effecten van radiologische blootstelling op de mens verwijzen we dan ook naar de beheeroptie langdurige opslag.

Geologische berging

Voorafgaand aan de geologische berging zal er een periode zijn gedurende dewelke zich aan de oppervlakte installaties met radioactief afval zullen bevinden. We mogen aannemen dat de robuustheid van deze tijdelijke installaties minstens even goed is als deze van de status-quo optie. Het feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het afval zich reeds ondergronds bevindt, wordt als gunstig beoordeeld omdat dit de kans op blootstelling vermindert.

Berging in diepe boorgaten

Deze beheeroptie is voor de korte termijn zeer gelijkaardig met geologische berging.

Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden

Bij het ontwerp en de bouw van gebouwen voor langdurige opslag wordt er rekening gehouden met evoluties die zich binnen de levensduur van 100 à 300 jaar kunnen voordoen. Het ontwerp en het beheer worden geacht beter te zijn dan voor de status quo-optie door de vooruitgang van kennis en technologie. De routine-uitstoot van radioactiviteit en daardoor ook de mogelijke impact voor de bevolking worden dus geacht lager te zijn dan voor de status quo-optie.

Een voorbeeld van een installatie voor langdurige opslag is te vinden in Nederland (HABOG, met een voorziene levensduur van 100 jaar). De levensduur kan verhoogd worden tot 300 jaar op voorwaarde van geschikt actief beheer (toezicht en onderhoud). Ook in Frankrijk en de Verenigde Staten werd de technische haalbaarheid van deze beheeroptie aangetoond (34).

Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

Deze beheeroptie gaat uit van nieuw te bouwen opslaggebouwen die ontworpen zijn voor een levensduur van honderd jaar of meer. Voor de beoordeling van de effecten van radiologische blootstelling op de mens komt deze beheeroptie dus op hetzelfde neer als de langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden.

De toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën (zie paragraaf 7.2.2.2) kan een invloed hebben op de radiologische impact op lange termijn van een latere definitieve beheeroptie. Een gedetailleerde beoordeling hiervan valt buiten het kader van deze SEA. In paragraaf 9.4.3.4 wordt enkel een kort overzicht gegeven van de invloed van een aantal mogelijke scenario's voor geavanceerde splijtstofcycli op de radiologische effecten op lange termijn van geologische berging.

Status quo-optie

In de status quo-optie wordt de huidige opslag voortgezet. De routine-emissies van de opslaggebouwen voor afval van categorie B en C bij Belgoproces leiden niet tot een belangrijke verhoging van de radiologische blootstelling voor de mens. Belgoproces rapporteert in het jaarverslag van 2008 (164) de dosisimpact ten gevolge van afvalwaterlozingen en gasvormige lozingen die bijna uitsluitend het gevolg zijn van de verwerking van radioactief afval. Er werd vastgesteld dat de meest kritische persoon een geaccumuleerde dosis van 8,3 μSv oploopt over 50 jaar ten gevolge van de atmosferische lozingen in 2008. Deze dosis is nagenoeg volledig toe te schrijven aan de inhalatie van radon dat geloosd werd via de schoorsteen van gebouw 280X (installatie voor de verwerking van afval). Voor de andere atmosferische lozingen werd een geaccumuleerde dosis van 0,013 μSv vastgesteld. De effectieve dosis die het kritisch individu (d.w.z. de gemiddelde bewoner van de oever van de Molse Nete) opgelopen zou hebben door de lozing van vloeibare effluënten in de Molse Nete in 2008 was volgens de berekeningen 0,06 μSv . Deze vloeibare effluënten bevatten vooral tritium afkomstig van de verwerking van afval en van de isotopenproductie bij het SCK. De geaccumuleerde dosis die de gemiddelde bewoner van de oever van de Molse Nete zal oplopen tijdens de komende 50 jaar ten gevolge van de vloeibare lozingen in 2008 bedraagt 0,09 μSv . Deze doses liggen ruim beneden de referentiewaarde. Uiteraard gelden deze waarden voor de huidige situatie. De verdere exploitatie en de eventuele verlenging van de levensduur van de kerncentrales kunnen deze waarden op lange termijn beïnvloeden, maar overschrijdingen van de referentiewaarden lijken weinig waarschijnlijk.

Voor het splijtstofcontainmentgebouw (SCG) te Doel werd bepaald dat de referentiewaarde van 0,1 mSv/jaar bereikt wordt op een afstand van maximaal 170 m tot het gebouw, wat binnen de terreingrenzen van de kerncentrale gelegen is. De opgelopen dosis voor de bevolking daalt verder in functie van de afstand.

9.4.3.3 Beoordeling van de effecten voor de korte termijn

In Tabel 44 wordt een beoordeling gegeven van de radiologische effecten op de mens op de korte termijn.

Tabel 44: Beoordeling van de radiologische effecten op de mens voor de korte termijn

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling bij normale evolutie	Hoog Verbeterde technologie voor opslag en conditionering wordt verondersteld te leiden tot verdere vermindering van radiologische emissies, resulterend in verlaagde waarschijnlijkheid van impact van radiologische blootstelling op mens en milieu.	Hoog Installaties voor (post-) conditionering en tijdelijke opslag worden verondersteld even robuust te zijn als bij langdurige opslag. Op het einde van de korte termijn is deel van het afval reeds geborgen, resulterend in verlaagde waarschijnlijkheid van impact op mens en milieu t.o.v. langdurige opslag.	Hoog Installaties voor (post-) conditionering en tijdelijke opslag worden verondersteld even robuust te zijn als bij langdurige opslag. Op het einde van de korte termijn is deel van het afval reeds geborgen, resulterend in verlaagde waarschijnlijkheid van impact op mens en milieu t.o.v. langdurige opslag.	Hoog Verbeterde technologie voor opslag en conditionering wordt verondersteld te leiden tot verdere vermindering van radiologische emissies, resulterend in verlaagde waarschijnlijkheid van impact van radiologische blootstelling op mens en milieu.	Vrij hoog Huidige radiologische routinelozingen van bestaande opslaggebouwen leiden niet tot een significante impact op mens en milieu.

Het effect hangt af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. De omvang ervan kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

9.4.3.4 Beschrijving van de effecten voor de lange termijn

Actief beheer

Eeuwigdurende opslag bestaat uit opeenvolgende cycli (100 à 300 jaar) van langdurige opslag.

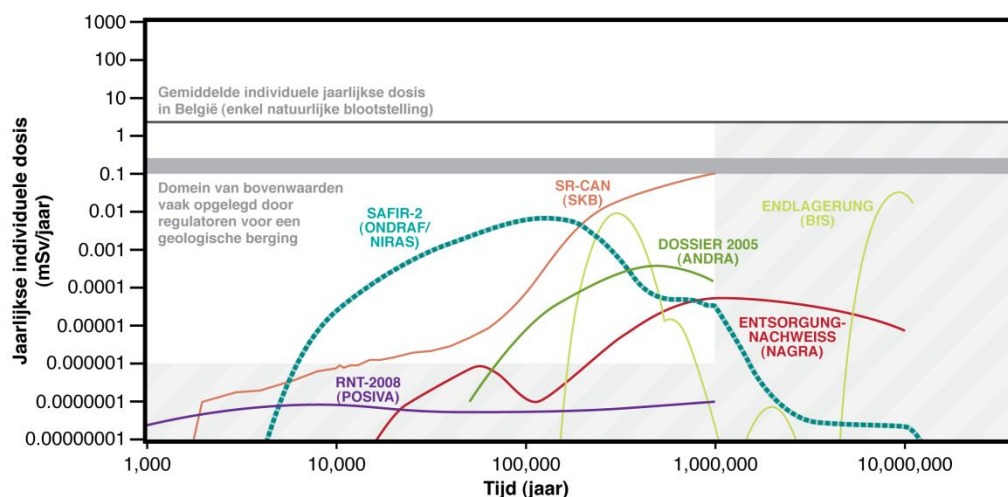
In het milieueffectrapport voor het project van de geologische berging in Yucca Mountain (205) bespreekt het US-DOE ook de impact van eeuwigdurende opslag gedurende 10.000 jaar. De studie betreft niet enkel de bevolking in de evaluatie, maar ook de (toekomstige) werknemers die de institutionele controle uitvoeren (transport, exploitatie, toezicht e.d.). Hieruit blijkt dat het risico voor de bevolking beperkt blijft, maar dat de werknemers blootgesteld worden tijdens de beheeractiviteiten (met inachtnaam van de jaarlijkse dosislimiet van 20 mSv) (34).

Een mogelijk risico is het feit dat er bij elke herconditionering van bestraalde splijtstof of ander radioactief afval een kans is op een ongeval, met mogelijk een verhoogde radiologische blootstelling voor mens en milieu als gevolg.

Passief beheer

Het vergevorderde niveau van een aantal nationale programma's, zoals die van Finland (96), Zweden (95), Frankrijk (122) en Zwitserland (124), die op termijn de implementatie van **geologische berging** beogen, heeft geleid tot de ontwikkeling van internationale aanbevelingen en vereisten m.b.t. de veiligheid op lange termijn. De ICRP, het IAEA en het NEA van de OESO stellen een aangepast kader voor dat een pragmatische en stapsgewijze benadering van de fasen van onderzoek, ontwikkeling en ontwerp van geologische berging toelaat. Ook worden er vereisten opgelegd over de karakteristieken waaraan een bergingsinstallatie zal moeten voldoen (84), (19), (206).

Veiligheidsstudies in verschillende landen hebben gewezen op het potentieel dat geologische berging heeft om te voldoen aan de veiligheidsvereisten. Figuur 60 toont de evolutie van de jaarlijkse individuele dosis zoals berekend voor verschillende concepten van geologische berging. De Zweedse (95), Finse (96), Zwitserse (124), Franse (122), Duitse (207) en Belgische (7) concepten werden bestudeerd.



Figuur 60: Vergelijking van de berekende doses voor geologische berging van radioactief afval in België (SAFIR 2), Finland (RNT-2008), Frankrijk (DOSSIER 2005), Duitsland (ENDLAGERUNG), Zweden (SR-CAN) en Zwitserland (NAGRA)

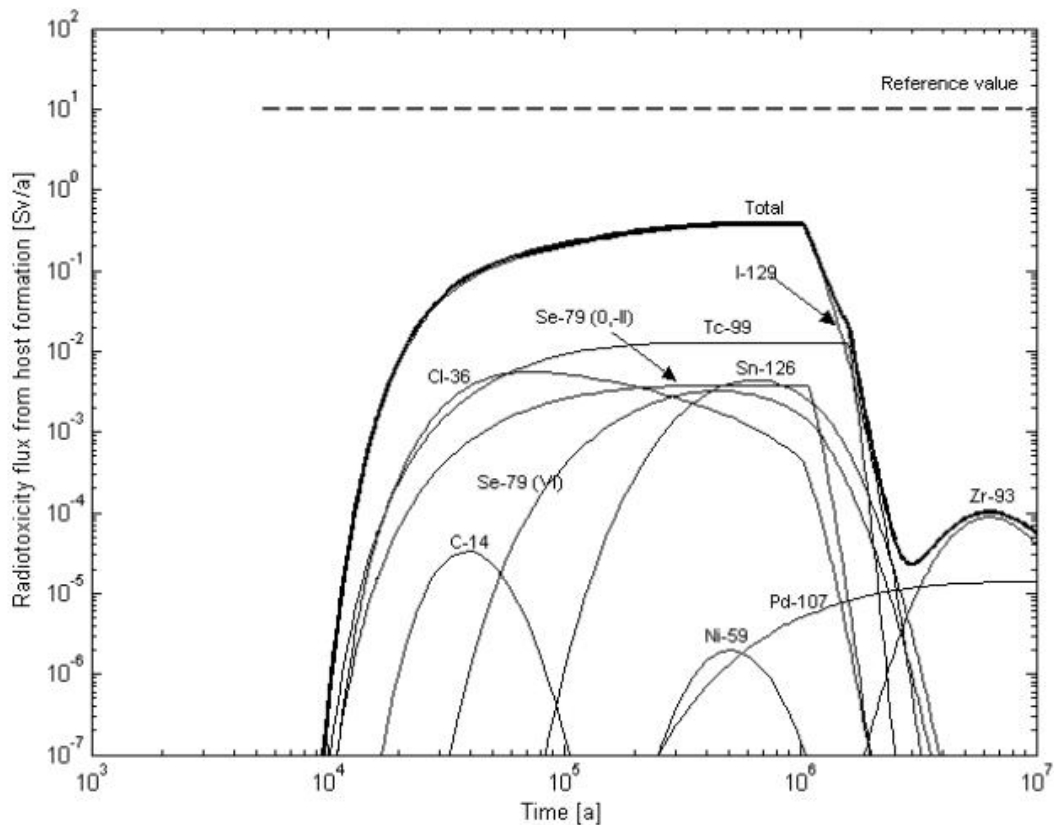
Merk op dat beide assen in de figuur logaritmisches zijn en dat er grote verschillen zijn tussen de berekende doses voor elk van de geïllustreerde bergingsconcepten. Deze verschillen zijn verbonden met verschillen in de beschouwde types afval, in de natuurlijke en kunstmatige barrières en in de aannames over de performantie van deze barrières. Ondanks deze verschillen zijn alle berekende doses zeer laag, in overeenstemming met de normen, en heel wat lager dan de gemiddelde dosis afkomstig van de natuurlijke radioactiviteit in België.

Een geologische bergingsinstallatie moet gedurende een periode van de grootte-orde van een miljoen jaar de mens en het milieu beschermen tegen blootstelling aan radionucliden. Dit is tevens de tijdshorizon waarna significante geologische veranderingen niet uitgesloten kunnen worden. Dit is in de figuur aangeduid door een grijze arcering. Jaarlijkse doses kleiner dan 0,000001 mSv hebben geen radiologische betekenis. Ze worden enkel in de figuur weergegeven om het gedrag van de modellen te tonen. Deze zone is eveneens gearceerd in de figuur.

De resultaten die in Figuur 60 voorgesteld worden, zijn des te bemoedigender omdat ze gebaseerd zijn op conservatieve hypothesen. Om met de resterende onzekerheden om te gaan die inherent zijn aan de evolutie van de bergingsinstallatie en die onvermijdelijk zijn op dergelijke lange tijdsschalen, zijn er immers vereenvoudigingen uitgevoerd die impliceren dat de radiologische impact overschat wordt. Een typisch voorbeeld van een conservatieve hypothese is het niet in rekening brengen van bepaalde processen die ertoe bijdragen dat het vrijkomen van radioactieve stoffen beperkt wordt, zoals bijvoorbeeld een hydraulische gradiënt die naar de bergingsinstallatie toe gericht is (7) of de trage corrosie van de primaire verpakking van het afval (7), (124). Anderzijds beschouwt men steeds zeer pessimistische hypothesen met betrekking tot de graad van radiologische blootstelling van individuen. In het geval van SAFIR 2 (7) wordt de dosis ingeschat voor een individu dat zelfvoorzienend leeft boven de geologische bergingsinstallatie, d.w.z. een individu dat voorziet in zijn levensonderhoud door landbouw en veeteelt op de bodem en de aquifers die in contact staan met de radiologische flux uit de bergingsinstallatie. Ook het drinkwater wordt verondersteld uitsluitend afkomstig te zijn uit een diepe boorput in deze aquifer. De resultaten in Figuur 60 betreffen dus de radiologische dosis van een geologische

bergingsinstallatie voor een individu in overdreven pessimistische omstandigheden. Daarom spreekt men in deze context over potentiële doses, in tegenstelling tot de reële doses ontvangen door werknemers in de nucleaire sector bij handelingen die radiologische blootstelling met zich meebrengen (18). Hoewel de kennis over de evolutie van een geologische berging voortdurend verbetert, worden de conservatieve hypothesen toch behouden omwille van het voorzorgsprincipe.

De berekening van de effectieve dosis ontvangen door een individu als gevolg van de aanwezigheid van een bergingsinstallatie hangt af van zijn gewoonten en zijn omgeving. De schatting van de totale radiotoxiciteitsflux uit de gasformatie is veelzeggend, aangezien deze onafhankelijk is van variaties in de biosfeer. Het SCK heeft recent de typische radiotoxiciteitsflux van een geologische berging van 1 km² van bestraalde splijtstof in weinig verharde klei berekend, zie Figuur 61 (171).



Figuur 61: Radiotoxiciteitsflux uit de gasformatie van een geologische berging in weinig verharde klei. De “reference value” komt overeen met de flux afkomstig van de jaarlijkse bemesting van de Vlaamse landbouwgronden

De radiotoxiciteitsflux uit de gasformatie ligt duidelijk lager dan de radiotoxiciteitsflux als gevolg van de jaarlijkse bemesting van de Vlaamse landbouwgronden (grootte-orde 10 Sv/km²/jaar). Vooral de fisie- en activatieproducten blijken de oppervlakte te bereiken en effecten op de mens te veroorzaken. De actiniden blijven geabsorbeerd binnen een laag van enkele meters in de kleiformatie rond de bergingsinstallatie tot een miljoen jaar na de sluiting; slechts een miniem deel bereikt de oppervlakte. De absorptie-eigenschappen van klei zijn aangetoond in een aantal nationale onderzoeksprogramma's (7), (124), (122).

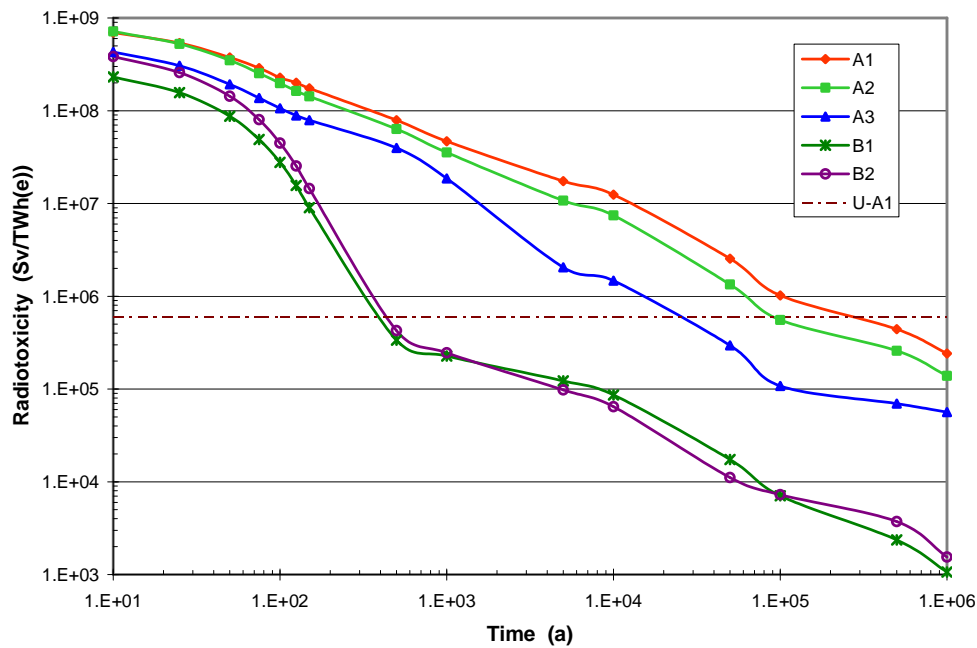
Hierna wordt een kort overzicht gegeven van de invloed van een aantal mogelijke scenario's voor geavanceerde splijtstofcycli (zie paragraaf 7.2.2.2) op de radiologische effecten op lange termijn van geologische berging.

Voor een aantal splijtstofcyclus-scenario's werden in het kader van internationale studies, zoals de NEA-expertengroep (119) en het Red-Impact-project van de Europese Commissie (120), (101), evaluaties uitgevoerd van de impact op het beheer van het radioactief afval. De beoordeling gebeurde op basis van de beschikbare kennis, die nog erg onvolledig is. In het Red-Impact-project (120), (101) werd de invloed van vijf scenario's voor de splijtstofcyclus op een geologische berging geëvalueerd. Er werd verondersteld dat de splijtstofcycli evenwichtscondities bereiken hebben, wat impliceert dat ze gedurende vele tientallen jaren (grootte-orde honderd jaar) toegepast worden. De beschouwde splijtstofcycli zijn de volgende:

- Cyclus A1 is de "open" cyclus waarbij de UOX-splijtstof (uraniumoxide) bestraald wordt in lichtwaterreactoren
- In cyclus A2 wordt de UOX-splijtstof bestraald in lichtwaterreactoren, de bestraalde splijtstof wordt opgewerkt met het PUREX-procédé en het plutonium wordt één keer gerecycleerd als MOX-brandstof (mix van uranium- en plutoniumoxide) in lichtwaterreactoren
- In cyclus A3 wordt het plutonium meervoudig gerecycleerd in een snelle reactor
- In cyclus B1 wordt het plutonium samen met de "minor actinides" meervoudig gerecycleerd in een snelle reactor (zie Figuur 42)
- In cyclus B2 bestaat het reactorpark uit lichtwaterreactoren aangevuld met een ADS-reactor (Accelerator Driven System) voor de fissie van de actiniden (zie Figuur 41)

Figuur 62 (199) toont de evolutie van de radiotoxiciteit voor de vijf beschouwde splijtstofcycli. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat de volledige recyclage van alle actiniden in een snelle reactor (cyclus B1) of in een ADS (cyclus B2) op termijn (dit wil zeggen bij evenwichtscondities na ongeveer 100 jaar) leidt tot een sterke vermindering van de radiotoxiciteit op lange termijn.

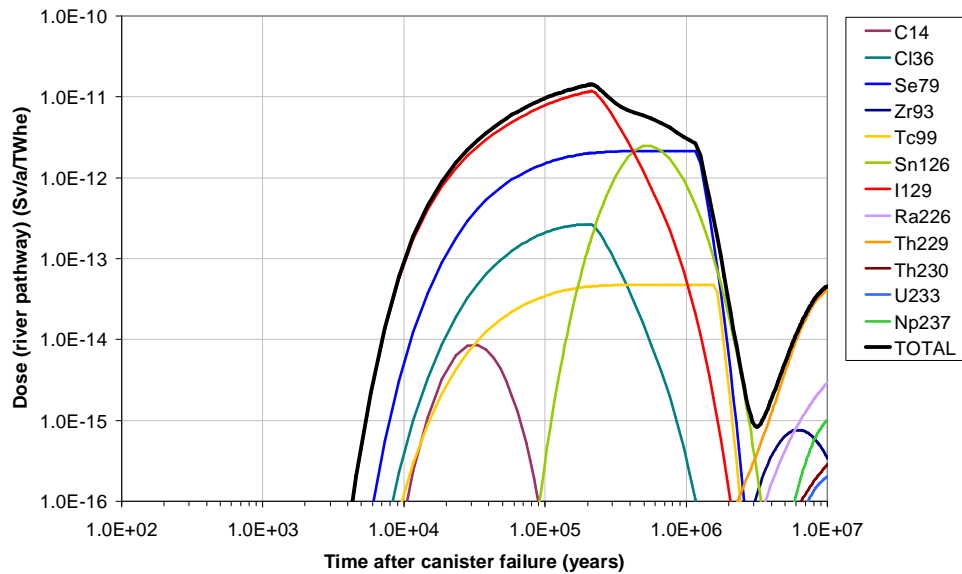
Figuur 62 toont ook een horizontale aslijn. Deze stemt overeen met de radiotoxiciteit van de hoeveelheid natuurlijk uranium die nodig is voor de productie van de splijtstof nodig voor de opwekking van 1 TWh elektriciteit in splijtstofcyclus A1. In het geval van cyclus A1 duurt het 200.000 jaar om dit referentieniveau te bereiken. In het geval van cycli B1 en B2 wordt dit niveau reeds bereikt na ongeveer 500 jaar.



Figuur 62: Evolutie van de radiotoxiciteit voor de hierboven beschreven splijtstofcycli

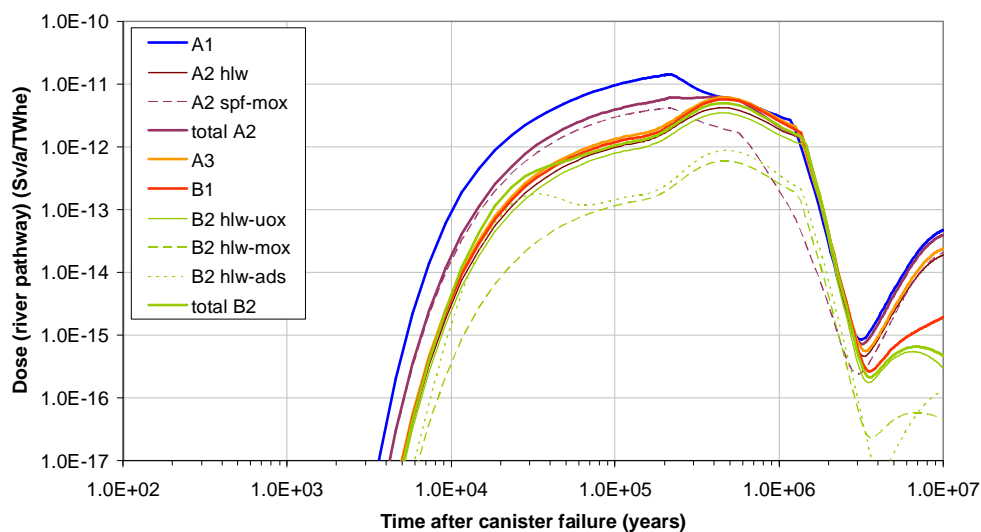
De belangrijkste indicator voor de radiologische veiligheid van een geologische bergingsinstallatie voor hoogradioactief afval is de jaardosis voor een lid van de referentiegroep. Dit is een groep mensen die woont in de onmiddellijke omgeving van de locatie waar de radionucliden uit het afval naar verwachting de biosfeer zullen bereiken.

Figuur 63 (120) toont de evolutie van berekende totale jaardosis voor de referentiegroep in splijtstofcyclus A1 (huidige cyclus, zonder opwerking). Er is uitgegaan van geologische berging in een kleifformatie. Het is duidelijk dat ^{129}I de belangrijkste bijdrage levert aan de berekende totale maximale dosis. Andere belangrijke radionucliden zijn ^{79}Se en ^{126}Sn en in mindere mate ^{36}Cl en ^{99}Tc . Hierbij valt op te merken dat de totale dosis hoofdzakelijk toe te schrijven is aan fissie- en activeringsproducten. De actiniden leveren slechts na zeer lange tijd (grootte-orde 100.000 jaar) een bijdrage aan de totale dosis. De dosis afkomstig van de actiniden is enkele grootte-orde lager dan de dosis afkomstig van ^{129}I . In geval van heropwerking volgens het bestaande procédé (cyclus A2) wordt de totale dosis ook gedomineerd door de fissie- en activatieproducten.



Figuur 63: Evolutie van de berekende totale dosis voor splijstofcyclus A1 voor geologische berging in klei

Figuur 64 (120) toont de evolutie van berekende totale jaardosis voor de vijf beschouwde splijstofcycli in geval van geologische berging in een kleiformatie. Cyclus A1 geeft de hoogste maximale dosis. Door vergelijking met Figuur 63 ziet men dat het verschil tussen de doses voor de verschillende cycli hoofdzakelijk te wijten is aan de verschillende hoeveelheid ^{129}I die in het afval aanwezig is. ^{129}I komt als gas vrij bij de opwerking van de bestraalde splijstof. In geval van cyclus A1 wordt de bestraalde splijstof rechtstreeks geborgen en is dus nog alle ^{129}I aanwezig in het afval. In het geval van cycli A3, B1 en B2 wordt alle brandstof opgewerkt en blijft slechts een fractie van maximaal 1% ^{129}I in het verglaasd afval achter.



Figuur 64: Evolutie van de berekende totale dosis voor de beschouwde splijtstofcycli voor geologische berging in klei

Men kan dus besluiten dat de toepassing van partitioning en transmutatie slechts een zeer beperkte invloed heeft op de radiologische impact van een latere geologische berging omdat deze impact vooral te wijten is aan de fissie- en activatieproducten. Geologische bergingsystemen (in klei of graniet) zijn immers zeer performant voor wat betreft de insluiting van alle actiniden.

Enkel in geval van menselijke indringing in de bergingsinstallatie (d.w.z. een situatie waarin het radiologisch risico voor de indringer bepaald wordt door direct contact met het radioactief afval) is de radiotoxiciteit van het afval bepalend voor het risico.

Er is momenteel weinig informatie beschikbaar over eventuele geschikte gastformaties voor **berging in diepe boorgaten** in de Belgische ondergrond. Maar ook buiten België is er weinig bekend over de radiologische effecten van deze beheeroptie.

Arnold et al. (182) spreken over een piekdosis door het gebruik van gecontamineerd grondwater van $1,4 \times 10^{-12}$ mSv/jaar, die ongeveer 8200 jaar na de plaatsing van het afval in de boorgaten zou optreden. Deze dosis is geldig voor één enkel boorgat.

We kunnen ervan uitgaan dat, mits de keuze van een geschikt gastgesteente, de radiologische effecten van berging in diepe boorgaten nog lager zullen zijn dan voor geologische berging.

9.4.3.5 Beoordeling van de effecten voor de lange termijn

In Tabel 45 wordt een beoordeling gegeven van de radiologische effecten op de mens op de lange termijn.

Tabel 45: Beoordeling van de radiologische effecten op de mens voor de lange termijn

	Actief beheer	Passief beheer	
		Geologische berging	Berging in diepe boorgaten
Waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling bij normale evolutie	<p>Hoog</p> <p>Verbeterde technologie voor opslag en conditionering wordt verondersteld te leiden tot verdere vermindering van radiologische emissies, resulterend in verlaagde waarschijnlijkheid van impact op mens en milieu.</p>	<p>Hoog</p> <p>Bestaande milieu-impactstudies voor geologische berging duiden op een voldoende bescherming van mens en milieu, en dit met een hoge zekerheid.</p> <p>De eigenschappen van het gastgesteente zijn primordiaal in het garanderen van deze bescherming.</p>	<p>Vrij hoog tot hoog</p> <p>Nog geen praktische demonstratie van technologie. Nog geen impactstudies.</p> <p>De trage circulatie in zeer diep grondwater, de verminderde permeabiliteit van gasformaties op zeer grote diepte en de verhoogde transportafstand zorgen dat de terugkeer van radionucliden (en dus ook radiologische blootstelling van mens en milieu) verwacht wordt minder te zijn dan voor geologische berging.</p> <p>Er is nauwelijks controle over de positie van de containers ten opzichte van bestaande breuken en barsten.</p>

Het effect hangt af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. De omvang ervan kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

9.4.4 Integratie van de effecten op de menselijke gezondheid

9.4.4.1 Methodiek

Radiologische effecten

De veiligheidsvereisten die aan de beheeropties gesteld worden, zijn bijzonder stringent en worden bepaald door internationale, dwingende rechtsregels. Deze beschermende criteria hebben het voorwerp uitgemaakt van zeer doorgedreven analytisch onderzoek met het oog op de maximale beperking van de vrijzetting van radioactiviteit met blootstelling als gevolg.

Bovendien is ook de controle zeer doorgedreven. Een onderscheidend oordeel vellen louter op basis van de vooropgezette veiligheidscriteria of op basis van de te verwachten gezondheidseffecten is dus niet zinvol, aangezien deze preventieve en beschermende criteria gelden voor alle beheeropties en gericht zijn op de totale afwezigheid van enig reëel gezondheidseffect. Zo mag de radiologische impact voor de bevolking de internationaal aanbevolen beperking van 0,1 à 0,3 mSv voor de jaarlijkse dosis niet overschrijden. Voor elke beheeroptie geldt dat zij veiligheid op lange termijn moet garanderen, zodat er geen noemenswaardige effecten op de gezondheid zijn.

Voor de evaluatie van de impact van de verschillende beschouwde beheeropties op de menselijke gezondheid, is de potentiële blootstelling van de receptoren bepalend. Deze potentiële blootstelling wordt theoretisch (potentieel) bepaald door verschillende componenten. In de mate dat er verschillen zijn tussen de beheeropties wat betreft de componenten die in theorie (de beperking van) de blootstelling mede bepalen, treden er theoretisch ook verschillen op wat betreft de (potentiële) incidentie van gezondheidseffecten.

Het is mogelijk om deze componenten los van elkaar te beschouwen en theoretisch te evalueren. Componenten zijn o.a. de bron en de wijze waarop die evolueert (bronsterkte), de afstand tot de receptoren, de mogelijke blootstellingsroutes en de meervoudige barrières die worden voorzien. Potentiële gezondheidseffecten zijn ook verbonden met de kans op contact voor de receptoren. Dit veronderstelt de aanwezigheid van receptoren (bijvoorbeeld bij transport en bij onderhoud). Hoe hoger de kans dat receptoren getroffen (blootgesteld) worden, hoe hoger ook de potentie voor gezondheidseffecten (afhankelijk van de frequentie en de duur van het contact). De nood aan onderhoud en controles en de toegankelijkheid voor de mens spelen hierin een bepalende rol.

In Tabel 46 worden deze componenten als onderscheidende criteria toegelicht. Deze criteria worden los van elkaar beoordeeld, zowel voor de korte als de lange termijn.

Tabel 46: Criteria voor de radiologische effecten op de menselijke gezondheid

Bron	De bronsterkte is initieel bepalend. De vraag is of deze voor alle onderzochte beheersopties gelijk is, dan wel of er verschillen zijn die eigen zijn aan het concept of die gekoppeld zijn aan maatschappelijke standpunten en politieke beslissingen. De bronsterkte is theoretisch mede bepalend voor de potentiële gezondheidseffecten, hoe gering die ook zijn door de meervoudige barrières. De bronsterkte wordt bepaald door het volume, de samenstelling en de activiteit van het afval.
Afstand tussen bron en receptor (inherent aan de beheeroptie)	Wat is de afstand tussen bron en de receptor in de bewoonde wereld? Het gaat hier om de afstand eigen aan de beheeroptie zelf en niet om de specifieke ligging, aangezien de locatie nog niet gekend is. Deze afstand is mogelijk een onderscheidend criterium. Een grotere afstand tijdens de aanleg kan een nadeel zijn (frequente transporten, dus cumulatieve afstand). Een grotere afstand na de aanleg is een voordeel.
Barrières	Meervoudige barrières worden ingebouwd om de bron af te schermen en de straling te absorberen. Deze barrières moeten onderhouden worden en versterkt worden waar en wanneer nodig. De eigenschappen van de barrières (mogelijkheid om gebruik te maken van Emerging Technologies) kunnen een onderscheidend criterium zijn. De barrières dragen bij tot het uitsluiten van mogelijke blootstellingsroutes (bv. ingestie of inademing) en reduceren dus de kans op effectieve blootstelling.
Kans op contact	De momenten waarop receptoren (werknemers, bezoekers, publiek, omwonenden langsheen transportroutes, enzovoort) in de nabijheid van de bron kunnen of moeten komen, worden geminimaliseerd in alle beheeropties, maar er is ten minste gedurende een bepaalde periode controle en onderhoud nodig, onderdelen dienen vervangen te worden, enzovoort. De kans op contact is mogelijk een onderscheidend criterium. Als er een kans op contact is, zijn de frequentie en de duur ervan mede bepalend.

In deze SEA worden de verschillende beheeropties vanuit deze benadering beoordeeld. De scores (Tabel 47) worden gegeven volgens expert judgement, uitgaande van de beschikbare beschrijvende gegevens, die aan zeer strikte internationale technische vereisten moeten voldoen en dit voor alle beheeropties. Er wordt telkens vergeleken met de bestaande situatie.

Tabel 47: Scoretabel voor de radiologische effecten op de menselijke gezondheid

Criterium		Betekenis (in vergelijking met de bestaande situatie)	Score
Bronsterkte	Volume	Volume kleiner Volume vergelijkbaar Volume groter	+ of + + 0 - of - -
	Activiteit	Activiteit lager Activiteit vergelijkbaar Activiteit hoger	+ of + + 0 - of - -
Afstand tussen bron en receptor (inherent aan de beheeroptie)		Afstand groter Afstand vergelijkbaar Afstand kleiner	+ of + + 0 - of - -
Barrières		Meervoudige barrières sterker Meervoudige barrières vergelijkbaar Meervoudige barrières minder sterk	+ of + + 0 - of - -
Kans op contact		Kans en frequentie lager Kans en frequentie vergelijkbaar Kans en frequentie hoger	+ of + + 0 - of - -

Atmosferische emissies en geluidsemissies

Naast de radiologische effecten kunnen ook emissies naar de lucht en geluidsemissies een invloed hebben op de menselijke gezondheid. Deze worden enkel beschouwd voor de korte termijn (zie hoofdstuk 8). Voor de beschrijving van deze effecten wordt er gesteund op de resultaten in paragrafen 9.4.1 en 9.4.2.

9.4.4.2 Beschrijving van de effecten voor de korte termijn

Bronsterkte

De bron wordt bepaald door het volume afval van categorie B en C en vooral door de activiteit (en de eventuele chemische toxiciteit) ervan.

Gedurende de korte termijn worden de nodige installaties gebouwd en uitgerust en wordt het afval in de installatie geplaatst. De bron speelt pas na de bouw van de installaties een betekenisvolle rol in de beoordeling.

De hoeveelheid te beheren afval is op korte termijn in principe voor alle beheeropties dezelfde. In paragraaf 2.1 worden de volumes beschreven, evenals een aantal onzekerheden die invloed kunnen hebben op deze volumes, zoals de mogelijke keuze om opwerking van bestraalde splijtstof te hervatten, het dossier UMTRAP en de mogelijke verschuiving van afval van categorie A naar categorie B. Hoofdstuk 4 behandelt de invloed van de overwogen verlenging van de levensduur van de kerncentrales.

Aan alle beheeropties wordt de score - toegekend voor wat betreft het volume, aangezien het volume wel degelijk hoger ligt dan het volume dat momenteel beheerd wordt doordat o.a.

de kerncentrales ook in de toekomst nog hoogradioactief en/of langlevend afval zullen produceren.

De vraag is echter vooral hoe actief het te bergen afval is. Hoogradioactief afval heeft een contactdosisdebiet van > 2 Sv/h. Dit afval bevat een zeer hoge concentratie aan radionucliden. De samenstelling van het radioactief afval varieert echter in de tijd door het radioactief verval, dat gepaard gaat met de emissie van alfa- of bètastraling, elektromagnetische straling (gammastraling) of een combinatie van verschillende types straling. De oorspronkelijke radionucliden verdwijnen (gedeeltelijk) in de loop van de tijd, maar in het geval van de actiniden komen er andere radionucliden in de plaats die mogelijk nog actiever zijn. De emissie kan dus in de tijd sterk variëren. De halveringstijd is een maat voor de snelheid van het radioactief verval en kan sterk variëren naargelang de radionuclide. Het radioactief verval van afval van categorie C gaat bovendien gepaard met een aanzienlijke thermische emissie (meer dan 20 W/m^3), die echter afneemt met de tijd.

Men kan echter stellen dat er, wat de activiteit van de bron betreft, op korte termijn weinig verschil is tussen de verschillende beheeropties. Alle beheeropties krijgen dus de score 0.

Afstand tussen bron en receptor (inherent aan de beheeroptie)

Tijdens de korte termijn is de afstand tussen bron en receptor in de eerste plaats van belang voor de werknemers die betrokken zullen worden bij de plaatsing van het afval in de installatie. Er wordt van uitgegaan dat voor alle beheeropties waar mogelijk technieken voor "remote manipulation" toegepast worden.

In het huidige stadium is het niet mogelijk om op basis van dit criterium een onderscheid te maken tussen de verschillende beheeropties. De score 0 wordt toegekend. Deze score zou eventueel gunstiger kunnen zijn als er in de nabije toekomst geavanceerdere technieken voor "remote manipulation" toegepast worden.

Barrières

Voor de aanlegfase zijn barrières niet echt aan de orde. De voorbehandeling en de conditionering van de afvalstoffen is voor alle beheeropties gelijkaardig. Voor alle beheeropties wordt dus de score 0 toegekend.

Kans op contact

Tijdens de korte termijn wordt het afval naar de beheerinstallatie getransporteerd. Er wordt van uitgegaan dat er geen grensoverschrijdende transporten met radioactief afval over lange afstanden plaatsvinden; beheer binnen de landsgrenzen geniet immers de voorkeur (zie Bijlage D).

De afvalstoffen worden getransporteerd door gespecialiseerd personeel van erkende transportbedrijven (bv. Transnubel uit Dessel). De strenge voorwaarden en beperkingen van het vervoersreglement ADR (klasse 7: radioactieve stoffen) zijn van toepassing. Het uitgebreide vervoersreglement ADR omvat vereisten met betrekking tot de afvalcolli, de hoeveelheden die getransporteerd mogen worden, de opleidingsvereisten voor de chauffeurs en de begeleiders, de aard van de toegelaten voertuigen, de signalisatie die op de transportvoertuigen aangebracht moet worden, de boordpapieren (vrachtbrieven, veiligheidskaarten, ...), de uitrusting en keuring van de voertuigen, enzovoort. Al deze voorzieningen hebben tot doel om de transporten op volstrekt veilige wijze te laten verlopen en vooral om te vermijden dat er enige verspreiding van radionucliden naar de omgeving zou plaatsvinden met kans op blootstelling van de receptoren. Deze transportvoorwaarden, die de kans op contact verlagen, zijn voor alle beheeropties gelijk. Voor de niet-definitieve

beheeropties kan het aantal transporten echter hoger liggen dan voor de definitieve beheeropties (bv. als in een later stadium het afval naar een installatie voor definitief beheer vervoerd moet worden). Daarom worden de niet-definitieve beheeropties als ongunstiger beoordeeld (score -) dan de definitieve beheeropties (score 0).

Atmosferische emissies

In paragraaf 9.4.1.3 wordt geconcludeerd dat de impact van de emissies naar de lucht beperkt is. Er is nergens sprake van aanzienlijke emissie van die polluenten die vandaag onder verhoogde aandacht staan (zie paragraaf 6.8.3.1). Specifieke gegevens over atmosferische emissies zijn op dit ogenblik niet gekend zodat een kwantificatie en een definitief oordeel nu nog niet mogelijk zijn. Op basis van de gemaakte aannames lijkt de impact op de luchtkwaliteit iets groter voor opslag dan voor berging (zie Tabel 39), wat vooral te wijten is aan de kortere duur van de aanlegwerkzaamheden.

Geluidsemissies

In paragraaf 9.4.2.3 wordt geconcludeerd dat de geluidsemissies naar verwachting groter zijn bij opslag dan bij berging (zie Tabel 43). Voor de status quo-optie zijn de werkzaamheden en bijgevolg de geluidshinder beperkter. De beoordeling houdt rekening met de dichtheid van de receptoren in de omgeving.

9.4.4.3 Beoordeling van de effecten voor de korte termijn

Tabel 48 geeft een beoordeling van de radiologische effecten op de mens voor de korte termijn volgens de beschreven criteria (bronsterkte, afstand, barrières en trefkansen).

Tabel 48: Beoordeling van de radiologische effecten op de menselijke gezondheid voor de korte termijn

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Bron						
Volume	-	-	-	-	-	-
Activiteit	0	0	0	0	0	0
Afstand tussen bron en receptor (inherent aan de beheeroptie)	0	0	0	0	0	0
Barrières	0	0	0	0	0	0
Kans op contact	0	0	0	-	-	-

De effecten hangen af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Hun omvang kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

Voor de beoordeling van de effecten van atmosferische emissies en geluidsemissies verwijzen we naar Tabel 39, respectievelijk Tabel 43.

9.4.4.4 Beschrijving van de effecten voor de lange termijn

Bronsterkte

Bij passief beheer blijft het volume afval in principe onveranderd op lange termijn (score 0). Bij actief beheer (eeuwigdurende opslag) daarentegen is het zeker dat het volume toeneemt. Om de 100 à 300 jaar moeten de installaties opnieuw gebouwd worden en moet het afval opnieuw geconditioneerd worden; deze activiteiten genereren nieuw radioactief afval (zie Figuur 25). Daarom krijgt actief beheer een ongunstige score (- -).

De evolutie van de activiteit op lange termijn is in principe dezelfde voor passief beheer als voor actief beheer. Aangezien de activiteit slechts zeer traag vermindert en het afval dus nog zeer lang geïsoleerd moet worden van mens en milieu krijgen alle beheeropties een neutrale score (0).

Afstand tussen bron en receptor (eigen aan de beheeroptie)

Op lange termijn is de afstand tussen de site en het dichtstbijzijnde bewoonde gebied bepalend. Gezien echter de afstand tot de bewoonde gebieden in dit stadium nog niet aan de orde is (aangezien er nog geen locatie gekozen is), kan het hier enkel gaan om de afstand die eigen is aan de beheeroptie. Theoretisch kan men stellen dat hoe minder ruimte

de beheeroptie inneemt, hoe groter de afstand naar de bewoonde gebieden gemaakt kan worden. Een optie die een grote oppervlakte in beslag neemt, impliceert zeker in het dichtbevolkte België dat de afstand tot bewoonde zones klein kan zijn. In Tabel 25 wordt een inschatting van het ruimtebeslag van de beheeropties weergegeven. Geologische berging en eeuwigdurende opslag nemen ruwweg even veel ruimte in beslag, maar de nodige oppervlakte voor berging in diepe boorgaten is veel groter.

De afstand tussen bron en receptor moet echter in 3 dimensies gezien worden. Ondergrondse berging voert een derde dimensie in en vergroot de afstand tussen bron en receptor. Op voorwaarde van een geschikte keuze van het gastgesteente is deze afstand bovendien veel moeilijker te overbruggen dan de horizontale afstand aan de oppervlakte. Bij berging in diepe boorgaten is de diepte het grootst: het afval is van de biosfeer geïsoleerd door lagen van enkele kilometers dikte. Voor wat betreft de afstand tussen bron en receptor compenseert dit het nadeel verbonden aan de zeer grote ruimte-inname van de site. Bij geologische berging is de diepte van de grootte-orde van enkele honderden meters. Zowel berging in diepe boorgaten als geologische berging worden geacht een aanzienlijke verbetering in te houden ten opzichte van de huidige situatie wat betreft de afstand tussen bron en ontvanger (score ++).

Bij actief beheer (eeuwigdurende opslag) is alleen de horizontale afstand tussen de site en de bewoonde gebieden van belang. Men kan aannemen dat de situatie vergelijkbaar is met de huidige situatie (score 0).

Barrières

De kunstmatige barrières zijn bedoeld en ontworpen om verspreiding van radionucliden naar de omgeving tegen te gaan. Bij actief beheer zijn de belangrijkste barrières de verpakking van het afval en het opslaggebouw. Het afval wordt in een container geplaatst die minstens gedurende enkele honderden jaren de insluiting van radionucliden verzekert. Ook de opslaggebouwen hebben een levensduur van minstens honderd jaar. Om de 100 à 300 jaar moeten de installaties echter opnieuw gebouwd worden en moet het afval opnieuw geconditioneerd worden. We gaan ervan uit dat de conditionering van het afval en de opslaggebouwen een bescherming zullen bieden die minstens even goed is als in de huidige situatie (score +).

In geval van geologische berging vormt de gastformatie een bijkomende, natuurlijke barrière. Op lange termijn verliezen de containers hun integriteit, maar zorgt de gastformatie (indien deze goed gekozen is) voor de beperking van de verspreiding van radionucliden. Deze beheeroptie wordt geacht de nodige mate van insluiting en isolatie te voorzien om mens en milieu een aanvaardbaar beschermingsniveau te bieden (7). Door de combinatie van kunstmatige en natuurlijke barrières krijgt deze beheeroptie een gunstige beoordeling (score ++).

In geval van berging in diepe boorgaten verliezen de containers naar verwachting sneller hun integriteit dan bij geologische berging. Ook de performantie van het buffermateriaal op grote diepte is onzeker. Op termijn evolueert deze beheeroptie dus naar een één-barrièresysteem. Mits een goede keuze van het gastgesteente is te verwachten dat mens en milieu voldoende beschermd zijn, maar er is op dit moment weinig kennis over de aanwezigheid van mogelijk geschikte gastformaties in de Belgische ondergrond (zie paragraaf 7.2.1.2). Deze beheeroptie wordt beoordeeld als minder gunstig dan geologische berging (score +).

Kans op contact

Actief beheer vereist per definitie ook op lange termijn handelingen van mensen voor o.a. onderhoud en controle. Elke menselijke tussenkomst houdt een kans op contact in, hoe klein die ook moge zijn. De kans op contact blijft op lange termijn ongeveer even hoog als op korte termijn (score 0).

Bij passief beheer wordt de veiligheid gewaarborgd zonder dat nog enige menselijke tussenkomst nodig is. Vanaf een bepaald moment kan de site volledig afgesloten worden en zijn menselijke handelingen niet meer noodzakelijk. De kans op contact is dus zeer klein. Bij geologische berging is het (weliswaar tegen bepaalde kosten, die zeer hoog kunnen oplopen wanneer de installatie volledig gesloten is) mogelijk om het afval terug te nemen, terwijl dit bij berging in diepe boorgaten redelijkerwijze niet meer mogelijk is. Om die reden wordt berging in diepe boorgaten als iets gunstiger beoordeeld (score + +) dan geologische berging (score +).

9.4.4.5 Beoordeling van de effecten voor de lange termijn

De onderstaande tabel geeft een beoordeling van de radiologische effecten op de mens voor de lange termijn volgens de beschreven criteria (bronsterkte, afstand, barrières en trefkansen).

Tabel 49: Beoordeling van de radiologische effecten op de menselijke gezondheid voor de lange termijn

	Actief beheer	Passief beheer	
		Geologische berging	Berging in diepe boorgaten
Bron			
Volume	--	0	0
Activiteit	0	0	0
Afstand tussen bron en receptor (inherent aan de beheeroptie)	0	++	++
Barrières	+	++	+
Kans op contact	0	+	++

De effecten hangen af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Hun omvang kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

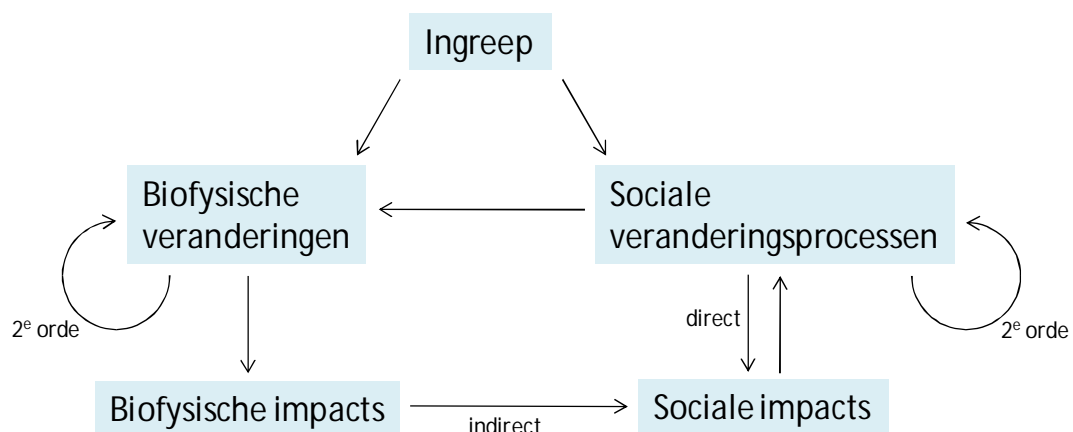
In geval van actief beheer kunnen maatschappelijke veranderingen een aanzienlijke (negatieve) invloed hebben. Met name de parameters afstand, barrières en trefkansen kunnen in ongunstige zin veranderen als het actief beheer wegvalt (zie ook paragraaf 10.4.1).

9.5 Sociale aspecten

9.5.1 Methodiek

9.5.1.1 Afbakening van het werkveld

De relatie tussen het Afvalplan en sociale impacts dient als volgt beschouwd te worden. Beheer van radioactief afval veroorzaakt biofysische en/of sociale veranderingsprocessen. Deze veranderingen resulteren vervolgens onder meer in sociale effecten, te weten werkelijke en gepercipieerde effecten die worden ervaren door mensen op individueel en collectief niveau.



Figuur 65: Verband tussen ingrepen en sociale impacts

Sociale effecten zijn alle sociale en culturele gevolgen van de opslag of berging van radioactief afval op de bevolking. Het gaat daarbij om effecten die de manier beïnvloeden waarop mensen leven, werken, recreëren, zich tot elkaar verhouden, zich organiseren en zich gedragen als leden van de samenleving (208).

Een voorbeeld van een sociaal veranderingsproces is het onteigenen van woningen voor de inrichting van een site voor de opslag of berging van radioactief afval. De sociale impacts die hieruit volgen, zijn bv. het verlies aan sociale cohesie, de vermindering van het mentale welzijn van de bewoners, enzovoort.

De sociale effecten die beschouwd worden, zijn zowel de gedragsmatige als de belevingseffecten, niet enkel de zogenaamde imaginaire of subjectieve effecten. Een voorbeeld hiervan is de risicoperceptie van de bevolking. Dit is een belevingseffect waarmee het emotionele en fysieke welzijn van een individu verbonden is. De risicoperceptie van een individu volgt uit de sociale constructie van de werkelijkheid door dat individu en is dus de beleefde realiteit voor dat individu en niet zomaar een imaginair idee.

Eventuele effecten op de menselijke fysiek worden niet bekeken binnen de sociale aspecten. Ze worden wel meegenomen binnen het aspect gezondheid (zie paragraaf 9.4).

Het studiegebied voor de sociale aspecten concentreert zich in de eerste plaats op de site waar het radioactief afval beheerd zal worden en op een ruimere (bovengrondse) perimeter errond. Aangezien de locatie van de site nog niet vaststaat, wordt er gewerkt met

typeomgevingen (zie paragraaf 5.3.2). Daarnaast werpt de studie ook nog een zeer ruime blik op de niet-locatiespecifieke sociale effecten.

Het tijdsperspectief dat gehanteerd zal worden, is in de eerste plaats dat van de korte termijn, vermits de effecten op de sociale aspecten primair verbonden zijn met de constructie en exploitatie van de bergings- of opslaginstallaties. Ten dele zullen deze effecten zich uiteraard ook op de lange termijn verderzetten.

9.5.1.2 Mogelijk significante effecten

Functiewijziging

Door de uitvoering van het Afvalplan zullen bestaande locatiegebonden functies en activiteiten worden beïnvloed. Deze functies kunnen zich situeren binnen verschillende maatschappelijke domeinen, zoals wonen, werken, recreatie, enzovoort. Het betreft de leefwereld van de doelgroepen en de belangrijkste functies daarbinnen. De verschillende beheeropties zullen hier vermoedelijk op een verschillende manier op ingrijpen.

Het verdwijnen, veranderen, beperken, toenemen, mogelijk maken en bijkomend creëren van functies en activiteiten worden beschouwd en er wordt nagegaan hoe deze functiewijzigingen het maatschappelijk functioneren beïnvloeden.

Er zijn geen concrete drempelwaarden voorhanden die de significantie van het effect bepalen. De beoordeling zal gebeuren door middel van een deels kwantitatief, deels kwalitatief expertenoordeel.

Bereikbaarheid / toegankelijkheid

Bij de beoordeling van dit effect wordt het mobiliteitsaspect bekeken en wordt er nagegaan in welke mate dit beïnvloed wordt door de verschillende beheeropties.

Er zijn geen concrete drempelwaarden voorhanden die de significantie van het effect bepalen. De beoordeling zal gebeuren door middel van een deels kwantitatief, deels kwalitatief expertenoordeel.

Risicoperceptie

Binnen dit effect wordt de perceptie van de bevolking besproken m.b.t. de gevaren die verbonden zijn aan de opslag of berging van radioactief afval. Hierbij wordt er dus gefocust op het subjectieve aspect, d.w.z. de beleving van individuen en groepen. Daarbij hoeft de relatie tussen objectief gevaar en subjectieve risicoperceptie niet één op één te zijn.

Er zijn geen concrete drempelwaarden voorhanden die de significantie van het effect bepalen. De beoordeling zal gebeuren door middel van een voornamelijk kwalitatief expertenoordeel.

Sociaal welzijn

Bij de bespreking van het sociaal welzijn wordt de invloed van het Afvalplan op het dagdagelijks functioneren van het individu in zijn/haar sociale setting bekeken. Daarbij komen aspecten aan bod zoals sociale netwerken, sociale cohesie, gemeenschapsidentificatie, sociale differentiatie en ongelijkheid en sociale spanning.

Bij de bespreking van het sociaal welzijn zal er vooral gekeken worden naar de omwonenden in de omgeving van de site.

Er zijn geen concrete drempelwaarden voorhanden die de significantie van het effect bepalen. De beoordeling zal gebeuren door middel van een voornamelijk kwalitatief expertenoordeel.

Leefbaarheid / kwaliteit van de leefomgeving

Bij de bespreking van de leefbaarheid worden de objectieve hinderaspecten zoals besproken in paragraaf 9.4 (d.w.z. biofysische veranderingen en impacts) vertaald naar sociale impacts en de invloed hiervan op het dagelijks functioneren van de mens.

De leefbaarheid is in se een locatiegebonden effect. Daarbij wordt dan ook gefocust op de omwonenden in de nabije omgeving van de beheersite.

Er zijn geen concrete drempelwaarden voorhanden die de significantie van het effect bepalen. Wel is de beoordeling afhankelijk van normoverschreidingen in andere disciplines.

9.5.2 Beschrijving van de effecten

9.5.2.1 Effecten die gelijkaardig zijn ongeacht de beheeroptie

Transport van radioactief afval

De effecten verbonden met de aanvoer van het radioactief afval doen zich voor elk van de beheeropties in gelijke mate voor. De impact van dit transport hangt af van de wijze van aanvoer: over de weg, per spoor (met of zonder combinatie met wegvervoer naargelang de ligging van de werfzones en aanwezigheid van spoorwegen), of een combinatie van vervoer per schip en wegvervoer.

Vermits de concrete locatie en dus ook de afstand tot de site niet gekend is, kunnen geen uitspraken gedaan worden over de omvang van de impact van het transport.

Risicoperceptie ten aanzien van radioactief afval

Hoewel de attitude van de bevolking ten aanzien van de verschillende beheeropties verschilt, is er daarnaast ook een algemene perceptie van de risico's die verbonden zijn met radioactief afval, los van de concrete beheeroptie. Deze wordt hier toegelicht.

Radioactief afval is een belangrijk aspect voor de attitude van de burger ten aanzien van kernenergie. In het kader van de Eurobarometer werd in 2005 (209) en 2008 (210) gepeild naar de houding van de EU-burgers over kernenergie en radioactief afval. Van de Belgen die momenteel tegen kernenergie zijn, zou 58% hun houding in positieve zin veranderen indien er een oplossing zou komen voor radioactief afval (210). Dit strookt ook met een andere studie waaruit blijkt dat meer dan 60% van de bevolking radioactief afval als gevaarlijk beschouwt (211). Dit percentage daalt wel tot minder dan 30% als gevraagd wordt naar het gevaar voor een gewone individuele burger (212). Hieruit kan afgeleid worden dat de bevolking radioactief afval als een gevaarlijk materiaal beschouwt, maar dat men de kans dat dit ook gevaar oplevert voor zichzelf relatief klein acht. De meeste burgers bevinden zich immers meestal niet in de nabijheid van radioactief afval. Deze these wordt ook bevestigd door een bevraging in 2002 (211) waaruit blijkt dat de overgrote meerderheid van de bevolking (94%) er niet mee zou instemmen om in de buurt van een beheersite voor radioactief afval te wonen. Slechts 5% zou er wel mee instemmen.

Bijna 60% van de bevolking meent ook dat er op beheersites voor radioactief afval een grote kans is op een ernstig ongeval of catastrofe (211). *“Het betreft eigenlijk een dubbel wantrouwen en een dubbele vraag om zekerheid. De oplossing moet veilig zijn in normale, maar ook in extreme omstandigheden”* (27). Hiermee verband houdend is het voor de bevolking ook belangrijk wie de site beheert en controleert (27). Daarbij wordt de voorkeur gegeven aan onafhankelijke instanties en wetenschappers.

Merk op dat in sommige enquêtes, zoals de Eurobarometers (209), (210), vragen over radioactief afval gecombineerd worden met vragen over kernenergie, terwijl het toch om twee verschillende onderwerpen gaat. Dit kan de resultaten enigszins beïnvloeden. Anderzijds is het aannemelijk dat veel mensen in hun perceptie van de risico's verbonden met radioactief afval ook de link leggen met kernenergie, zeker als de vraagstelling niet in een context gekaderd wordt. In de praktijk is het wellicht erg moeilijk om deze twee onderwerpen volledig los te koppelen in het onderzoek naar de risicoperceptie.

In het voorjaar van 2009 organiseerde NIRAS een maatschappelijke consultatie over het Afvalplan (27). Een lijst met de belangrijkste vragen en bekommernissen die in deze consultatie naar voren kwamen, is opgenomen in Bijlage A. De vragen tonen duidelijk aan dat het publiek risico's ziet in bepaalde aspecten van het beheer van radioactief afval. Enkele voorbeelden:

- Kunnen de beheeropties aangepast worden aan andere hoeveelheden en/of andere types afval?
- Financiële aspecten: dekken de momenteel voorziene financieringsmechanismen de volledige kosten van de beheeropties?
- Milieu- en veiligheidsaspecten: zijn de beheeropties bestand tegen natuurrampen?
- Maatschappelijke aspecten: is de beheeroptie flexibel op beslissingsniveau?

Impact op sociaal welzijn

Op een strategisch niveau is de impact op het sociaal welzijn van de omwonenden geen onderscheidend criterium voor de verschillende beheeropties. Het sociaal welzijn is namelijk niet zozeer afhankelijk van de specifieke beheeroptie, maar wel van de concrete inplantingslocatie.

Hoewel de verschillende beheeropties een verschillende oppervlakte-inname kennen, zijn deze verschillen niet van die aard dat er een verschil optreedt wat betyft de verstoring van de maatschappelijke relaties in de omgeving van de beheersite. Wel kan hierbij gesteld worden dat een inplanting van de site in een verstedelijkte omgeving een negatiever effect zal hebben op het sociaal welzijn in de nabije omgeving. Dit ligt niet alleen aan het aantal omwonenden, maar ook aan het aantal functionele en niet-functionele relaties die verstoord zouden worden door de beheersite ten gevolge van barrièrewerking en doorsnijding.

Daarnaast is het ook mogelijk dat ten gevolge van de risicoperceptie over de beheeroptie bepaalde bevolkingsgroepen wegtrekken uit de nabije omgeving van de site, waardoor er een verstoring van de sociale mix optreedt. Dit dient voldoende gemonitord te worden en er dienen gepaste maatregelen genomen te worden om de socio-culturele diversiteit in de omgeving te bewaken.

Impact op leefbaarheid / kwaliteit van de leefomgeving tijdens de operationele fase

Er wordt van uitgegaan dat de verschillende beheeropties in hun operationele fase voldoende veiligheid kunnen bieden voor de bevolking en de omwonenden. Vanuit die optiek zullen er ook geen restricties opgelegd moeten worden aan de activiteiten van de omwonenden

in de omgeving van de site en treedt er geen verstoring op van de kwaliteit van de leefomgeving. Rond de beheerinstallaties wordt er wel een perimeter ingesteld, maar deze zal deel uitmaken van de site.

Enkel indien zich incidenten zouden voordoen, zullen er beperkingen opgelegd moeten worden en kan de leefbaarheid in de omgeving in het gedrang komen.

9.5.2.2 Eeuwigdurende opslag

Deze beheeroptie wordt op de korte termijn op dezelfde wijze beoordeeld als de beheeroptie "langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden", zie paragraaf 9.5.2.5.

Voor de lange termijn worden de sociale aspecten niet in detail bestudeerd. Toch merken we op dat de oppervlakte-inname bij eeuwigdurende opslag steeds toeneemt omdat bij de herconditionering van het afval en het herbouwen van de opslaginstallaties ook radioactief afval geproduceerd wordt. De toename in oppervlakte zal echter gering zijn.

9.5.2.3 Geologische berging

Functiewijziging

De voetafdruk van een installatie voor geologische berging bedraagt enkele km² ondergronds. De oppervlakte-inname op maaiveldniveau is daarentegen veel beperkter: ongeveer 75 ha (zie Tabel 25). Een mogelijke invulling van deze oppervlakte kan teruggevonden worden in Figuur 34. Het effect inzake functiewijziging is iets groter dan bij langdurige of eeuwigdurende opslag, zie paragraaf 9.5.2.5. Wel kan het effect eventueel nog toenemen indien er beperkingen opgelegd worden aan het bodemgebruik boven de ondergrondse galerijen.

Na sluiting van de bergingsinstallatie kan de site aan de oppervlakte echter op termijn in principe wel een nabestemming krijgen voor andere functies.

Bereikbaarheid / toegankelijkheid

Voor deze beheeroptie wordt er globaal gerekend op ca. 75.000 transporten met vrachtwagens voor afvoer van het afgegraven materiaal en aanvoer van opvulmateriaal (zie Tabel 38). Deze transporten zijn echter gespreid over een lange periode, waardoor de impact beperkt blijft (zie paragrafen 9.4.1 en 9.4.2).

Daarnaast zal de oppervlakte van de site (ongeveer 75 ha, zie Tabel 25) ook zorgen voor een zeker barrière-effect, met afname van de toegankelijkheid in de omgeving indien bestaande wegen onderbroken zouden worden. Zeker als de site in een verstedelijkte omgeving ingeplant wordt, is dit waarschijnlijk.

Risicoperceptie

Op basis van de enquête naar risicoperceptie bij de Belgische bevolking in 2006 (212) kan afgeleid worden dat geologische berging van radioactief afval van categorieën B en C door een meerderheid van de bevolking verkozen wordt boven bovengrondse opslag. Meer dan 60% van de bevolking ging namelijk akkoord met de stelling dat zowel hoog- als laagactief afval ondergronds geborgen zou moeten worden. In een andere studie werd wel specifiek gepeild naar de berging van hoogradioactief afval. Daarbij ging ongeveer 40% van de Belgen akkoord met de stelling dat geologische berging de meest geschikte oplossing is

voor het langetermijnbeheer van hoogradioactief afval. Iets meer dan de helft ging niet akkoord met deze stelling en ongeveer 5% wist het niet (210).

Ook het Publieksforum van de Koning Boudewijnstichting (213) vindt de berging van hoogradioactief en/of langlevend afval in kleilagen een valabele optie. De deelnemers hebben er vertrouwen in, na het aanhoren van experts, dat kleilagen een goede bescherming bieden tegen radioactieve straling. Er is wel een belangrijke voorwaarde: ze stellen dat *“de vooropgestelde oplossing van NIRAS (berging in diepe kleilagen) valabel is op voorwaarde dat de federale regering de omkeerbaarheid voor een redelijke periode van minimum 100 jaren vanaf de berging garandeert”*. Onder omkeerbaarheid verstaat men de mogelijkheid om later zowel technisch als financieel te kunnen kiezen voor andere beheeropties. De volgende argumenten worden door het Publieksforum aangehaald (213):

“Waarom bevelen wij aan om de omkeerbaarheid te garanderen, gedurende een redelijke termijn:

- *Om toekomstige generaties de vrijheid te laten om zelf te kunnen gaan voor de oplossingen van hun keuze, gegeven dat technologieën voortdurend evolueren;*
- *Omdat een omkeerbare oplossing de robuustheid en de veiligheid ten goede komt, waardoor de samenleving zich blijvend met de problematiek moet bezighouden. Dit vereist ook meer flexibiliteit en dus meer operationele veiligheid;*
- *Omdat als we nu geen omkeerbaarheid vragen, later de financiële middelen niet zullen voorzien zijn om te gepasten tijde voor een omkeerbare oplossing te kiezen;*
- *Omdat als verder onderzoek uitwijst dat het toch niet de juiste oplossing is, we nog kunnen kiezen voor een andere oplossing.”*

Terugneembaarheid blijft in principe mogelijk bij geologische berging. De kosten die dit met zich meebrengt, stijgen wel in functie van de vordering van de sluiting van de verschillende onderdelen van de berging. Terugneembaarheid wordt geacht uitvoerbaar te zijn tot 100 jaar na het sluiten van de laatste bergingsgalerij. De hoofdgalerij en de schachten blijven op dat ogenblik nog open. Van zodra de hoofdgalerij en de schachten opgevuld worden, komt terugneembaarheid in feite neer op mijnbouw.

Hoewel uit studies blijkt dat van alle beheeropties geologische berging de meeste voorstanders onder de bevolking heeft, worden er toch nog belangrijke risico's aan verbonden door de bevolking. Volgens de Belg zijn de volgende risico's van belang in het kader van het bergen van radioactief afval in een geologische bergingsinstallatie vlakbij iemands woonplaats (210):

- De mogelijke effecten op het milieu en de gezondheid: 50%
- Het risico op radioactieve lekken gedurende de operationele fase: 33%
- Transport van afval naar de beheersite: 7%
- Risico ten gevolge van een terroristische aanslag: 5%
- Een aanzienlijke daling van de lokale vastgoedprijzen: 4%

Als er voor geologische berging gekozen wordt, dient een site afgebakend te worden. Een nieuw deel van de bevolking zal dus geconfronteerd worden met radioactief afval in de nabijheid van haar woonplaats. Dit zal een tijdelijke verhoging van de risicoperceptie als gevolg hebben, zeker op lokaal niveau.

Leefbaarheid / kwaliteit van de leefomgeving

Tijdens de aanleg zullen er verschillende activiteiten uitgevoerd worden die leiden tot hinder voor de nabije omgeving van de site. Het betreft onder meer het boren van de schachten en de galerijen, de afvoer van uitgegraven materiaal en de aanvoer van grondstoffen. Vooral in een verstedelijkte omgeving kan dit hinder veroorzaken.

Tijdens de exploitatie zijn er nog andere activiteiten met impact op de leefbaarheid, zoals de aanvoer van opvulmateriaal voor de galerijen en de schachten. Algemeen kan er aangenomen worden dat de exploitatiefase voor weinig hinder zal zorgen in de nabije omgeving (zie paragrafen 9.4.1 en 9.4.2).

9.5.2.4 Berging in diepe boorgaten

Functiewijziging

Voor de beheersite moet een ruimte gereserveerd worden van ongeveer 1260 ha (zie Tabel 25). Daarmee heeft deze beheeroptie het grootste ruimtegebruik. Het vinden van een dergelijke locatie in België zonder huidig menselijk gebruik is weinig waarschijnlijk. Vermoedelijk zullen een belangrijk aantal functies dus moeten verdwijnen.

Na sluiting van de boorgaten kan de site echter op termijn in principe wel een nabestemming krijgen voor andere functies.

Bereikbaarheid / toegankelijkheid

Op basis van berekeningen over het transport tijdens de aanlegfase (zie paragrafen 9.4.1 en 9.4.2) kan er geconcludeerd worden dat de verschillen met geologische berging niet zo uitgesproken zullen zijn.

Wel zal de aanzienlijke oppervlakte van de site (naar schatting 1260 ha) zorgen voor een sterke barrièrewerking voor de ruimere omgeving. Er kan verwacht worden dat een dergelijke omvang van de site leidt tot een sterke afname van de bereikbaarheid en toegankelijkheid, zeker als de site in een verstedelijkte omgeving ingeplant wordt.

Risicoperceptie

Er zijn geen specifieke gegevens bekend over de attitude en risicoperceptie van de bevolking ten aanzien van deze beheeroptie. Gezien de hoge mate aan onzekerheid (zie paragraaf 7.2.1.2) kan ingeschat worden dat deze beheeroptie zeer slecht scoort inzake risicoperceptie.

Als er voor berging in diepe boorgaten gekozen wordt, dient een site afgebakend te worden. Een nieuw deel van de bevolking zal dus geconfronteerd worden met radioactief afval in de nabijheid van haar woonplaats. Dit zal een tijdelijke verhoging van de risicoperceptie als gevolg hebben, zeker op lokaal niveau.

Leefbaarheid / kwaliteit van de leefomgeving

Bij berging in diepe boorgaten zijn de belangrijkste activiteiten die hinder veroorzaken tijdens de aanleg de afvoer van uitgegraven materiaal en de aanvoer van grondstoffen. Vooral in een verstedelijkte omgeving zal dit hinder kunnen veroorzaken.

Tijdens de operationele fase zijn er nog andere activiteiten met impact op de leefbaarheid, zoals de aanvoer van opvulmateriaal voor de boorgaten. Algemeen kan er aangenomen

worden dat de exploitatiefase voor weinig hinder zal zorgen in de nabije omgeving (zie paragrafen 9.4.1 en 9.4.2).

9.5.2.5 Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden

Functiewijziging

Er kan aangenomen worden dat voor deze beheeroptie een volledig nieuwe site ontwikkeld zal worden. Hierdoor is er in tegenstelling tot de status quo-optie wel sprake van nieuwe ruimte-inname, met wijziging van het bestaande bodemgebruik en verstoring van de bestaande functies.

Er wordt uitgegaan van een totaal ruimtebeslag van ongeveer 40 ha (zie Tabel 25). Op deze oppervlakte wordt zowel de beheerinstallatie voorzien als aanverwante installaties, zoals een fabriek voor de vervaardiging van (super)containers, een installatie voor post-conditionering, een tijdelijke opslaginstallatie en administratieve gebouwen.

Vanuit sociaal oogpunt valt de grootste impact van een functiewijziging te verwachten in een verstedelijkte en in mindere mate ook in een industriële omgeving. Deze beoordeling wordt ingegeven vanuit het aantal getroffen en ten gevolge van onteigening e.d. en de secundaire sociale gevolgen (sociale cohesie, netwerken, ...) die dit met zich meebrengt.

Bereikbaarheid / toegankelijkheid

De noodzakelijke grondwerken kunnen als niet onaanzienlijk beschouwd worden. Door de spreiding over een relatief korte periode (naar schatting 6 maanden) zal de impact groter zijn dan bij geologische berging en berging in diepe boorgaten, hoewel het totale aantal transporten kleiner is (zie paragrafen 9.4.1 en 9.4.2). Daarnaast zal er nog transport nodig zijn voor de aanvoer van bouwmaterialen.

Ten gevolge van deze transportbewegingen zal de bereikbaarheid in de omgeving van de site tijdens de aanlegfase vermoedelijk tijdelijk verstoord worden op bepaalde wegen.

Daarnaast zal de oppervlakte van de site (ongeveer 40 ha) ook zorgen voor een zeker barrière-effect, met afname van de toegankelijkheid in de omgeving indien bestaande wegen onderbroken worden. Zeker als de site in een verstedelijkte omgeving ingeplant wordt, is dit waarschijnlijk.

Risicoperceptie

Bij de langdurige opslag in afwachting van een definitieve beslissing gelden dezelfde overwegingen over risicoperceptie als bij de status quo-optie. Voor een bespreking wordt dan ook verwezen naar paragraaf 9.5.2.7. Wel kan gesteld worden dat langdurige opslag in afwachting van een definitieve beslissing vermoedelijk als iets robuuster wordt beschouwd door de bevolking en bijgevolg licht positiever scoort dan de status quo-optie.

Als er voor langdurige opslag gekozen wordt, dient een site afgebakend te worden. Een nieuw deel van de bevolking zal dus geconfronteerd worden met radioactief afval in de nabijheid van haar woonplaats. Dit zal een tijdelijke verhoging van de risicoperceptie als gevolg hebben, zeker op lokaal niveau.

Leefbaarheid / kwaliteit van de leefomgeving

Tijdens de aanleg zullen er verschillende activiteiten gebeuren die leiden tot hinder voor de dichte omgeving van de site. Het betreft onder meer grondwerken en grondverzet, aanvoer van bouwmaterialen en bouwactiviteiten. Vooral in een verstedelijkte omgeving zal dit hinder kunnen veroorzaken.

Tijdens de exploitatie zijn er nog andere activiteiten met impact op de leefbaarheid, zoals het onderhoud van de installaties. Algemeen kan er aangenomen worden dat de exploitatie voor weinig hinder voor de nabije omgeving zal zorgen.

9.5.2.6 Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

Deze beheeroptie wordt op de korte termijn op dezelfde wijze beoordeeld als de beheeroptie "langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden", zie paragraaf 9.5.2.5.

9.5.2.7 Status quo-optie

Functiewijziging

De status quo-optie heeft geen tot een zeer beperkte impact op het ruimtegebruik en de bestaande functies. In deze beheeroptie wordt het afval immers op de bestaande locaties opgeslagen. De capaciteit van de bestaande opslaggebouwen zou wel met 3 à 10% uitgebreid moeten worden, naargelang er wel of niet voor opwerking gekozen wordt. Dit komt overeen met een beperkte bijkomende ruimte-inname van ongeveer 8 ha (zie Tabel 25).

Bereikbaarheid / toegankelijkheid

Er treden geen significante effecten op naar bereikbaarheid en toegankelijkheid in de omgeving van de opslagsite ten opzichte van de huidige situatie.

Omdat er weinig tot geen extra ruimte-inname voor de opslagsite wordt voorzien, zullen ook geen bestaande wegen onderbroken of omgelegd dienen te worden.

Risicoperceptie

Van de Belgische bevolking vindt 96% dat er nu een oplossing voor hoogradioactief afval gevonden zou moeten worden en dat dit niet overgelaten mag worden aan toekomstige generaties (210). De status-quo optie voldoet niet aan deze verzuchting.

"Toch moeten we ook beseffen dat een gedeelte van de bevolking eigenlijk blijft hopen en desnoods ook wachten op een volstrekt zekere oplossing. Zij vinden concepten als risicopercentage, risicostatistieken in deze context eigenlijk niet geoorloofd" (27). Volgens 76% van de bevolking is er geen veilige manier om hoogradioactief afval te beheren (210).

Radioactief afval zou voor 65% van de bevolking op elk ogenblik teruggenomen moeten kunnen worden (212). De status-quo-optie voldoet hieraan.

De omwonenden van de huidige opslagsites zijn reeds gewend aan de aanwezigheid van radioactief afval en zullen naar verwachting de uitbreiding van de capaciteit niet als een erg groot bijkomend risico percipiëren. Anderzijds zou het niet nemen van een beslissing over

het langetermijnbeheer ertoe kunnen leiden dat de aanvaardbaarheid van de huidige situatie in vraag gesteld wordt, aangezien deze dan geen duidelijk eindpunt kent.

Leefbaarheid / kwaliteit van de leefomgeving

Bij de status quo-optie zijn er weinig tijdelijke effecten te verwachten door de aanleg van bijkomende voorzieningen. Gezien de beperkte nood aan uitbreiding van de bestaande capaciteit zal de hinder beperkt blijven.

9.5.3 Beoordeling van de effecten

In Tabel 50 wordt een overzicht gegeven van de beoordeling van de effecten.

Tabel 50: Beoordeling van de sociale aspecten

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Functiewijziging	-- Sterk negatief effect ten gevolge van de inname van ca. 40 ha die nu een andere functie hebben. Afhankelijk van de specifieke locatie kan dit effect sterker of zwakker worden beoordeeld.	-- Sterk negatief effect ten gevolge van de inname van ca. 75 ha die nu een andere functie hebben. Daarnaast kunnen er mogelijk ook beperkingen worden opgelegd in een bredere perimeter boven de ondergrondse galerijen over een oppervlakte van enkele km ² .	--- Zeer sterk negatief effect ten gevolge van de inname van ca. 1260 ha die nu een andere functie hebben.	-- Sterk negatief effect ten gevolge van de inname van ca. 40 ha die nu een andere functie hebben. Afhankelijk van de specifieke locatie kan dit effect sterker of zwakker worden beoordeeld.	0 Zeer beperkte negatief effect ten gevolge van de inrichting van nieuwe opslagcapaciteit op een oppervlakte van ca. 8 ha.
Bereikbaarheid / toegankelijkheid	- Negatief effect tijdens de aanlegfase op bepaalde locaties ten gevolge van de transportbewegingen van en naar de beheersite. Tijdens de exploitatiefase wordt de bereikbaarheid enkel verstoord ten gevolge van de eventuele barrièrewerking van de site zelf.	- Net zoals bij langdurige opslag een negatief effect tijdens de aanlegfase op bepaalde locaties ten gevolge van de transportbewegingen van en naar de beheersite. De uitgegraven grond wordt opgeslagen op de site zelf en zorgt dus niet voor bijkomend transport buiten de site. Tijdens de exploitatiefase wordt de bereikbaarheid enkel verstoord ten gevolge van de eventuele barrièrewerking van de site zelf.	-- Sterk negatief effect ten gevolge van het werftransport enerzijds en de grote barrièrewerking die uitgaat van de site zelf, met een beperking van de bereikbaarheid en toegankelijkheid in de omliggende regio.	- Negatief effect tijdens de aanlegfase op bepaalde locaties ten gevolge van de transportbewegingen van en naar de beheersite. Tijdens de exploitatiefase wordt de bereikbaarheid enkel verstoord ten gevolge van de eventuele barrièrewerking van de site zelf.	0 Geen significant effect

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Risicoperceptie	-- Sterk negatief effect, omwille van de algemene negatieve perceptie ten aanzien van radioactief afval door de bevolking. Wel is deze beheeroptie robuuster dan de status quo-optie, wat de risicoperceptie enigszins kan milderen. Anderzijds wordt er een nieuwe site ingericht, met een tijdelijke en lokale verhoging van de risicoperceptie als gevolg.	- Deze optie heeft de voorkeur van de bevolking voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval en scoort dus het beste van alle opties inzake risicoperceptie. De robuustheid is hoger dan bij opslag. Toch blijft het effect negatief, omwille van de algemene negatieve perceptie ten aanzien van radioactief afval door de bevolking. Er wordt een nieuwe site ingericht, met een tijdelijke en lokale verhoging van de risicoperceptie als gevolg.	--- Zeer sterk negatief effect omwille van de algemene negatieve perceptie ten aanzien van radioactief afval door de bevolking en de onzekerheid rond de veiligheid van deze optie. De robuustheid is minder hoog dan bij geologische berging. Er wordt een nieuwe site ingericht, met een tijdelijke en lokale verhoging van de risicoperceptie als gevolg.	-- Sterk negatief effect, omwille van de algemene negatieve perceptie ten aanzien van radioactief afval door de bevolking. Wel is deze beheeroptie robuuster dan de status quo-optie, wat de risicoperceptie enigszins kan milderen. Anderzijds wordt er een nieuwe site ingericht, met een tijdelijke en lokale verhoging van de risicoperceptie als gevolg.	--- Zeer sterk negatief effect, omwille van de algemene negatieve perceptie ten aanzien van radioactief afval door de bevolking en het feit dat in deze optie niet voor een definitieve oplossing wordt gekozen. De bestaande sites worden gebruikt. De omwonenden zijn gewend aan de aanwezigheid van radioactief afval, maar de aanvaardbaarheid van de huidige opslag kan wel in vraag gesteld worden als er geen beslissing genomen wordt over het langetermijnbeheer.
Leefbaarheid / kwaliteit van de leefomgeving	- Negatief effect, vooral tijdens de aanlegfase. Afhankelijk van de typeomgeving (verstedelijkt of niet) kan dit effect sterker worden of eerder geneutraliseerd worden.	- Negatief effect, vooral tijdens de aanlegfase. Afhankelijk van de typeomgeving (verstedelijkt of niet) kan dit effect sterker worden of eerder geneutraliseerd worden.	- Negatief effect, vooral tijdens de aanlegfase. Afhankelijk van de typeomgeving (verstedelijkt of niet) kan dit effect sterker worden of eerder geneutraliseerd worden.	- Negatief effect, vooral tijdens de aanlegfase. Afhankelijk van de typeomgeving (verstedelijkt of niet) kan dit effect sterker worden of eerder geneutraliseerd worden.	0 Zeer beperkte negatief effect ten gevolge van de inrichting van nieuwe opslagcapaciteit op een oppervlakte van 8ha.

De effecten hangen af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Hun omvang kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

9.6 Financieel-economische aspecten

9.6.1 Methodiek

Een volledige opsomming van alle relevante financieel-economische effecten die gepaard gaan met het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval is een uiterst complexe opdracht gezien de veelheid aan belangrijke directe en indirecte effecten waarmee rekening gehouden dient te worden. In dit stadium kan de financieel-economische impact van het beheer nog niet in detail beschreven worden.

Verskillende aspecten zijn van essentieel belang om een economische effectenanalyse tot een goed einde te brengen. Ze worden hieronder geformuleerd in de vorm van kernvragen.

- Vragen i.v.m. de afbakening van de kosteninschatting:
 - Op welke wijze worden de relevante kosten afgebakend en geïdentificeerd? Het betreft zowel directe, indirecte als potentieel vermeden kosten.
 - Zijn de kostenfactoren exhaustief geïdentificeerd?
- Vragen i.v.m. factoren die de kosteninschatting beïnvloeden:
 - Is er een nauwkeurige inschatting gebeurd van het (potentiële) volume afval dat beheerd zal moeten worden?
 - Zijn er voorzichtige aannames gehanteerd m.b.t. aspecten verbonden met de tijdschhorizon (o.a. discontovoet en “return on investment”)?
- Vragen i.v.m. de onzekerheid bij kosteninschatting:
 - Is er voldoende zekerheid ingebouwd bij het bepalen van de factoren die deel uitmaken van de kosteninschattingen?
 - Zijn gebeurtenissen met een beperkte kans op voorkomen maar met significante gevolgen voldoende in rekening gebracht?
 - Worden de kostenmodellen onderworpen aan gevoeligheidsanalyses?
- Vragen i.v.m. kostendekking en financiering:
 - Welke provisies moeten voorzien worden om de huidige en toekomstige kosten te dekken, gegeven dat een duurzaam beheer vereist is?
 - Is er een garantie dat toekomstige generaties niet op onrechtvaardige wijze met lasten geconfronteerd worden (intergenerationele billijkheid)?
 - Welke financieringsmechanismen zijn te overwegen en hoe kan gegarandeerd worden dat deze op lange termijn toereikend en voldoende stabiel zijn?

Hierna worden deze aspecten één voor één op voornamelijk kwalitatieve wijze besproken. Gedetailleerde (cijfer)gegevens zijn immers in deze strategische fase nog niet nodig. Slechts bij aanvang van het projectstadium zal aan de hand van economische vergelijkingsmethoden een afweging tussen de uitvoeringsvarianten kunnen gebeuren. Twee courante vergelijkingsmethoden die bij een dergelijke afweging van nut zullen zijn, zijn de welvaartsanalyse (bv. maatschappelijke kosten-batenanalyse) en de economische impactanalyse (EIA). Hoe concreter het project, hoe beter deze methoden tot hun recht komen.

De cijfergegevens die in de volgende paragrafen vermeld worden, moeten met de grootste voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Ze worden slechts bij wijze van voorbeeld gegeven :

ze zijn gebaseerd op gelijkaardige installaties (indien deze bestaan) in het buitenland en in België.

De cijfergegevens kunnen in geen geval een vergelijking tussen de verschillende beheeropties onderbouwen. Een van de belangrijkste redenen hiervoor is het feit dat een aantal beheeropties niet volledig zijn, in de zin dat ze op termijn de implementatie van een definitieve beheeroptie vereisen. De individuele kostenevaluaties houden eveneens diverse en weinig vergelijkbare onzekerheden in.

9.6.1.1 Afbakening van de kosteninschatting

Het is essentieel dat de kosten nu reeds zo exhaustief mogelijk opgelijst en onderzocht worden. Zo kunnen er voldoende provisies aangelegd worden om de kosten nu en in de toekomst te dekken. Een volledige kostenanalyse kan opgemaakt worden door de volledige levenscyclus van het radioactief afval in beschouwing te nemen:

- Kosten van ontwikkeling en bouw van de beheerinstallatie
- Kosten van behandeling en verpakking van het radioactief afval
- Transportkosten (inclusief eventuele kosten verbonden met tussentijdse stopplaatsen)
- Kosten van tijdelijke opslag van het radioactief afval op de site
- Kosten van monitoring en onderhoud (wanneer van toepassing)
- Kosten van toezicht en beveiliging
- Kosten van sluiting en ontmanteling (wanneer van toepassing)

Het dient opgemerkt dat deze lijst een sterk vereenvoudigd overzicht geeft van de kosten die verbonden zijn aan het langetermijnbeheer. Elk van deze stappen bevat in realiteit een veelheid van elementen waarmee rekening gehouden moet worden.

Evenzeer geldt dat aanvullende kostenposten in het overzicht ontbreken. We denken onder andere aan de meerwaardeprojecten die gerealiseerd kunnen worden in de gemeente en de regio waar de site zich zal bevinden.

Aan al deze stappen is ook werkgelegenheid gekoppeld. De omvang van de gegenereerde werkgelegenheid is afhankelijk van de beheeroptie.

9.6.1.2 Factoren die de kosteninschatting beïnvloeden

De kosteninschatting wordt beïnvloed door een aantal factoren, waaronder het volume te beheren afval en aspecten verbonden met de tijdshorizon.

In paragraaf 2.1 wordt een schatting gegeven van de hoeveelheid afval van categorieën B en C in een scenario van 40 jaar exploitatie van de Belgische kerncentrales (12), (34):

- Afval van categorie B:
 - Met opwerking van bestraalde splijtstof: 11.100 m³
 - Zonder opwerking van bestraalde splijtstof: 10.430 m³
- Afval van categorie C:
 - Met opwerking van bestraalde splijtstof: 600 m³
 - Zonder opwerking van bestraalde splijtstof: 4.500 m³

Een definitief antwoord op de vraag “welk volume afval zal beheerd dienen te worden?” hangt af van beslissingen in bepaalde belangrijke dossiers zoals bv. het statuut van de bestraalde splijtstof.

Een andere essentiële factor is de tijdshorizon, in casu de verdeling van de kosten over de korte termijn en de lange termijn. Het is duidelijk dat een beslissing om zo snel mogelijk een definitieve oplossing te implementeren een ander kostenprofiel zal kennen dan de keuze voor een niet-definitieve oplossing. Een aspect dat nauw verbonden is met de tijdshorizon is de discontovoet. De discontovoet geeft aan welk belang men hecht aan kosten die zich in de toekomst zullen voordoen. De keuze van de discontovoet heeft een wezenlijke impact op de berekening van de kosten en dus op de inschatting van de vereiste financieringsfondsen.

Daarnaast zijn de aanames met betrekking tot de “return on investment” (ROI) van de financieringsfondsen bepalend voor de berekening van de middelen die op korte termijn nodig zijn om op lange termijn de kosten te dekken.

9.6.1.3 Onzekerheid bij de kosteninschatting

Gegeven de veelheid aan kostenposten, de complexiteit van precieze schattingen en de extreme tijdshorizon zal elke kostenschatting een hoge mate van onzekerheid kennen. Hierna worden een aantal onzekerheden opgesomd waarmee rekening gehouden moet worden.

- Schattingen die niet het volledige te beheren afvalvolume in rekening brengen, lopen het risico om onvoorziene lasten over te dragen naar de toekomstige generaties. Er moet dus een marge gehanteerd worden inzake de volumes afval en de daarmee verbonden variabele kosten.
- Schattingen van de kosten van het langetermijnbeheer zijn gebaseerd op de huidige technologische know-how, de huidige kostencalculaties en aannames met betrekking tot de frequentie van bepaalde acties (bv. herconditionering). Schattingen van deze kosten zijn dan ook te interpreteren als grootte-orde.
- De kosten van ongevallen kunnen extreem hoog zijn, ook al is de kans op een ongeval zeer klein.
- De huidige generatie is slechts in beperkte mate in staat om de onzekerheid op lange termijn te modelleren. Eens een tijdsperiode van enkele honderden jaren in rekening gebracht wordt, dreigen zelfs basisaannames over de maatschappelijke en institutionele orde weinig relevantie te behouden. Op zeer lange termijn kunnen de cyclische, conjuncturele risico's uitgevlakt worden, maar de structurele onzekerheden nemen exponentieel toe. Met de tijd nemen bijgevolg meestal de (financiële) risico's toe.

Een voorzichtige benadering van de kosteninschattingen is dus aangewezen. Statistische programma's (onder andere de Monte Carlo-simulatietechnieken) kunnen gebruikt worden om de impact van onzekerheid op de totale verwachte kosten te analyseren.

9.6.1.4 Kostendekking en financiering

Voor een duurzaam langetermijnbeheer dienen d.m.v. een financieringsmechanisme voldoende middelen opzijgezet te worden (38). De United Nations Commission on Sustainable Development stelt dat de kosten van het beheer van radioactief afval zo veel mogelijk geïnternaliseerd moeten worden, d.w.z. gedragen moeten worden door hen die de voordelen van een bepaalde beslissing ondervinden (principe “de vervuiler betaalt”) (214).

Sinds de publicatie van het rapport “Costs and financing modes of geological disposal of radioactive waste” van de Europese Commissie in 1988 (215) is het standpunt van internationale experts m.b.t. de financieringsmechanismen voor het langetermijnbeheer van radioactief afval naar de volgende consensus geëvolueerd (216), (217), (218), (219), (220), (221), (222), (223), (224), (225), (226), (227):

- Het meest rechtvaardige mechanisme dat het principe “de vervuiler betaalt” en de intergenerationele billijkheid in acht neemt, is het toewijzen van financieringsmiddelen aan een beschermd fonds zo snel mogelijk na de productie van het afval.
- De evaluatie van de provisies die aangelegd moeten worden om de totale kosten te dekken steunt op actuariële benaderingstechnieken.
- De technieken van kapitalisatie en de actuariële benaderingstechnieken zijn enkel toepasbaar op de actieve fase van de berging of op een tijdelijke opslag (met andere woorden: op een beperkte tijdsperiode). De financiering van de kosten gedurende enkele honderden jaren lijkt realiseerbaar met behulp van een fonds van het eeuwigdurende type dat beheerd wordt in een zogenaamd “trust fund”.

In (227) wordt gewezen op de voordelen van een fonds als instrument voor de financiering tijdens de fase van institutionele controle na de sluiting van een bergingsinstallatie. De voorgestelde methode bestaat erin om een bepaalde kapitaalreserve te laten groeien conform de inflatiegraad. Om het risico tegen te gaan dat de beschikbare middelen voor andere doelen gebruikt worden, dienen bepaalde voorzorgsmaatregelen genomen te worden: voorzien van wettelijk bescherming (“ring fenced” structuur: de fondsvorming ligt buiten het faillissementsrisico van de vergunninghouder), beheer door een onafhankelijk managementcomité en supervisie door een ervaren auditcomité.

Met betrekking tot financieringsmechanismen voor zogenaamde “open-end” uitgaven (d.w.z. uitgaven die niet beperkt zijn in de tijd), die van toepassing zijn op eeuwigdurende opslag, wordt de volgende eerder ethische afweging gemaakt: *“gegeven de onmogelijkheid om over de stabiliteit van het maatschappelijk stelsel op lange termijn uitspraken te doen, kan men de beheeroptie eeuwigdurende opslag niet volledig vatten omdat de rechtvaardigheid ten opzichte van volgende generaties hierbij gevaar zou lopen”* (219), (220). De algemene consensus is inderdaad dat het zeer moeilijk of zelfs onmogelijk is om uitspraken te doen over de stabiliteit op lange termijn van ons huidig maatschappelijk stelsel (met inbegrip van economische, monetaire en financiële domeinen). Daardoor is het in de praktijk ook niet mogelijk om de kosten, waarvan de omvang heden in grote mate nog onbekend is, te dekken aan de hand van fondsen die door de huidige generatie voorzien worden.

Net zoals bij de inschatting van de kosten moet bij het aanleggen van een financieringsfonds rekening gehouden worden met een aantal onzekerheden.

- Het is weinig realistisch om te veronderstellen dat de financiële markten geen of weinig wijzigingen zullen ondergaan gedurende de levensduur van de beheeropties. Intrestvoeten en de mogelijkheden om geld te lenen zullen hoogstwaarschijnlijk veranderen op lange termijn. Voor de korte termijn kunnen we echter uitgaan van de veronderstelling dat de financiële markten gemiddeld stabiel zullen blijven.
- Schattingen voor de financiering op lange termijn zijn zeer gevoelig voor veranderingen in factoren zoals de inflatie en de intrestvoeten. Intrestvoeten en inflatiegraden over enkele tientallen jaren kunnen niet accuraat voorspeld worden (38). Daarom wordt gebruik gemaakt van een netto discontovoet gebaseerd op de eigenschappen van de economische groei.

Bij de schatting van de nodige fondsen voor het langetermijnbeheer is dus de nodige voorzichtigheid geboden.

9.6.2 Beschrijving van de financieel-economische aspecten

In deze paragraaf wordt een beknopte beschrijving gegeven van de financieel-economische aspecten van de verschillende beheeropties. De beschikbare kosteninschattingen worden gegeven, maar dienen met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden. Het gaat om gegevens uit binnen- en buitenland die uitgaan van verschillende volumes, uitvoeringsvarianten en referentie jaren. Ze kunnen dus niet gebruikt worden als kosteninschatting voor een specifiek project in de Belgische situatie.

Voor alle beheeropties maakt de “operating stand-by cost” een groot deel uit van de kosten in de operationele fase.

9.6.2.1 Eeuwigdurende opslag

Tot op heden zijn nog geen precieze kostenevaluaties gebeurd voor eeuwigdurende opslag, aangezien deze beheeroptie door geen enkel land weerhouden wordt.

De enige studie die hierover informatie geeft, is een Amerikaans milieueffectenrapport (205) waarin de kosten voor het beheer van het equivalent van 70.000 tons of Heavy Metal (tHM) hoogradioactief afval ingeschat worden voor twee scenario's: eeuwigdurende opslag (benaderd door langdurige opslag van 10.000 jaar) en opslag voor 100 jaar gevolgd door een verlies aan institutionele controle (34). In dit rapport wordt gesteld dat belangrijke onderhoudswerken aan de bestaande installaties nodig zijn om hun levensduur tot 100 jaar te verlengen. Elke 100 jaar zouden de installaties volledig vervangen moeten worden door nieuwe installaties in de directe omgeving. De volgende kostenramingen worden gemaakt (205):

- Korte termijn (eerste 100 jaar): 50 tot 60 G€⁸
- Lange termijn (aansluitende 9.900 jaar, met institutionele controle): 480 M€ tot 530 M€ per jaar.

Een financieringsmechanisme voor een project dat “oneindig lang” duurt, is nog nooit toegepast. Het wordt niet mogelijk geacht om de kosten van deze beheeroptie in te schatten.

9.6.2.2 Geologische berging

Door NIRAS werd een schatting gemaakt van de totale kosten van de geologische berging van het radioactief afval van categorieën B en C in de Boomse Klei (87). Er werd uitgegaan van de volgende randvoorwaarden:

- 40 jaar exploitatie van de Belgische kerncentrales
- Volledige opwerking van de bestraalde splijtstof
- Er wordt geen rekening gehouden met de kosten verbonden aan de implementatie van terugneembaarheid vanaf het moment dat de bergingsgalerijen opgevuld werden.

⁸ US \$ van 2001, toegepaste wisselkoers: 0,92 € = 1 US \$

- Er wordt geen rekening gehouden met de kosten verbonden aan monitoring na de sluitingsfase. Monitoring voor de sluitingsfase is voorzien voor een periode van 3 jaar voor afval van categorie B en voor een periode van 5 jaar voor afval van categorie C.

De totale kosten zouden ongeveer 3 miljard € bedragen, met een marge van 35% voor onvoorziene uitgaven. De personeelskosten gedurende de exploitatie van de bergingsinstallatie, die verscheidene decennia duurt, vormen meer dan 40% van de totale kosten. De constructiekosten maken minder dan 40% van de totale kosten uit en worden in belangrijke mate bepaald door de bouw van de bergingsgalerijen en de schachten. Daardoor zal de diepte van de bergingsinstallatie, afhankelijk van de locatie, een invloed hebben op de constructiekosten, maar de impact op de totale kosten is beperkt.

Ook een eventuele toename van de hoeveelheid afval van categorieën B en C zal een invloed hebben op de kosten. Indien de kerncentrales 10 jaar langer open blijven, neemt de hoeveelheid afval van categorie C toe met ongeveer 25%. Op basis van een eenvoudige extrapolatie van de kosten per afvalcategorie, waarbij verondersteld wordt dat ongeveer 40% van de totale kosten gekoppeld zijn aan het afval van categorie C, zou dit leiden tot een toename van de kosten tot ongeveer 3,3 miljard €.

Er is geen recente kostenevaluatie beschikbaar voor het scenario van stopzetting van de opwerking van bestraalde splijtstof. Een dergelijke gedetailleerde evaluatie is echter voorzien voor de komende jaren.

Door de arbeidsintensiviteit van de bouw van een geologische bergingsinstallatie kan men ervan uitgaan dat in de aanlegfase een aanzienlijke werkgelegenheid gecreëerd wordt. Zodra de bergingsinstallatie volledig afgesloten is, is er geen sprake meer van werkgelegenheid verbonden met onderhoud, maar monitoring is wel nog voorzien gedurende een bepaalde periode.

De kosteninschatting door NIRAS voor de referentie-optie (87) heeft het voorwerp uitgemaakt van een audit.

9.6.2.3 Berging in diepe boorgaten

Voor berging in diepe boorgaten zijn tot op heden slechts weinig kostenevaluaties gebeurd. Een studie voor het Nuclear Decommissioning Agency (NDA, Verenigd Koninkrijk) uit 2008 (103) geeft een idee van de grootte-orde van de kosten, al zijn de schattingen niet gebaseerd op een reëel project. De kostprijs van een eerste (pilot)boorgat worden op 32 miljoen US \$ geraamd. Bij de aanleg van de volgende boorgaten op eenzelfde site zouden aanzienlijke kostenbesparingen (tot 50%) gerealiseerd kunnen worden.

In paragraaf 7.2.1.2 werd vastgesteld dat er over de aanwezigheid van mogelijk geschikte gastformaties voor berging in diepe boorgaten in België praktisch niets geweten is. Het concept bevat daarenboven nog een aantal belangrijke technische onzekerheden. Voor de implementatie van deze beheeroptie zouden bijgevolg nog vele jaren onderzoek nodig zijn. Dit brengt ook kosten met zich mee.

Deze beheeroptie zal minder werkgelegenheid creëren dan geologische berging. Na de sluiting van de boorgaten valt de werkgelegenheid weg.

9.6.2.4 Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden

Installaties voor langdurige opslag met een levensduur van minstens 100 jaar zijn reeds ontworpen in Nederland, Frankrijk en de Verenigde Staten. In België hebben de huidige opslaggebouwen een voorziene levensduur van ca. 75 jaar. We geven een overzicht van de kostenramingen (34).

De **Nederlandse** HABOG-installatie voor hoogradioactief afval op de site van COVRA heeft een voorziene levensduur van 100 jaar. Deze kan verlengd worden tot 300 jaar mits onderhoud (afbreken en herbouwen van bepaalde delen van de installatie om de 100 jaar) en regelmatige controle. De additionele kosten voor de verlenging van de levensduur tot 300 jaar kunnen oplopen tot 90 M€ De jaarlijkse onderhoudskosten worden geschat op 0,2 M€ (147).

In **Frankrijk** heeft het Commissariat à l'Energie Nucléaire (CEA) heeft verscheidene studies uitgevoerd over langdurige opslag (300 ans) voor MAVL- en HAVL-afval (dit komt overeen met afval van categorieën B en C).

- De investeringskosten van de opslaginstallaties voor ongeveer 80.000 m³ afval van categorie B zouden oplopen tot ongeveer 1.500 M€, post-conditionering inbegrepen. De jaarlijkse kosten van het beheer van het gebouw worden op 4 tot 8 M€ geschat (122).
- Voor een installatie voor ca. 42.000 tHM bestraalde UOX-splijtstof wordt de investeringskost op 1.500 M€ geraamd, exclusief 800 M€ kosten voor de containers. De jaarlijkse kosten van het beheer van het gebouw worden op 5 tot 10 M€ geschat (122).

Ook in de **Verenigde Staten** werden de kosten van langdurige opslag geanalyseerd. De kosten verbonden zijn aan de korte termijn (eerste honderd jaar) kunnen hier als maatstaf gelden. Concreet betekent dit 50 tot 60 G€ voor het beheer van het equivalent van 70.000 tHM hoogradioactief afval⁹ (205).

Door toepassing van een eenvoudige evenredigheidsregel op de kosten berekend door het CEA bekomt men voor **België** de volgende schattingen voor een langdurige opslag van 300 jaar, inclusief post-conditionering (34):

- Afval van categorie B: 1.200 M€
- Afval van categorie C: 1.000 M€

In vergelijking met geologische berging zal de bouw van opslaggebouwen minder werkgelegenheid creëren. De beperkte levensduur van deze installaties en de noodzaak om het afval periodiek te herconditioneren maken wel dat op regelmatig terugkerende ogenblikken in de toekomst opnieuw werkgelegenheid gecreëerd wordt.

Deze beheeroptie impliceert dat op termijn nog een definitieve beheeroptie geïmplementeerd moet worden. De bovenstaande kostenramingen voor langdurige opslag houden hiermee echter geen rekening. De kosten verbonden met de definitieve beheeropties zijn aanzienlijk (zie paragrafen 9.6.2.1, 9.6.2.2 en 9.6.2.3).

⁹ US \$ van 2001, toegepaste wisselkoers: 0,92 € = 1 US \$

9.6.2.5 Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

De economische aspecten van deze beheeroptie zijn dezelfde als voor de langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden, zie paragraaf 9.6.2.4. De opmerking over de noodzaak om een definitieve beheeroptie te implementeren is ook hier van toepassing.

9.6.2.6 Status quo-optie

De bestaande opslaggebouwen voor afval van categorie B op de site van Belgoprocess hebben een totale capaciteit van 10.180 m³. Dit is net niet voldoende voor de totale verwachte hoeveelheid afval van categorie B. De capaciteit zou met 3 à 10% uitgebreid moeten worden, naargelang er wel of niet voor opwerking gekozen wordt.

In het geval van opwerking zou ook de capaciteit van gebouw B136 voor afval van categorieën B en C uitgebreid moeten worden. Concreet zouden respectievelijk één en vijf aanvullende modules van 500 m³ voorzien worden.

Deze uitbreiding houdt een bepaalde investering in. Uit een kostenraming in 2005 op basis van de reële constructiekosten van gebouw B136 bleek dat de totale investeringkosten voor deze modules kunnen oplopen tot ongeveer 90 M€ (228).

Als de bestraalde splijtstof niet opgewerkt wordt en opgeslagen blijft bij de kerncentrales, zal de capaciteit van de opslaggebouwen te Doel en Tihange vergroot moeten worden en zal hun levensduur (momenteel voorzien voor ca. 50 jaar) verlengd moeten worden (229). De kosten om de bestraalde splijtstof gedurende de volledige levensduur van de opslaggebouwen (50 jaar) te beheren (uitbreiding van de capaciteit, onderhoud, beheer, ...) bedragen in Doel ca. 500 M€ en in Tihange 400 M€ (34).

9.6.3 Beoordeling van de financieel-economische aspecten

In Tabel 51 wordt de beoordeling van de financieel-economische aspecten kort samengevat.

Tabel 51: Beoordeling van de financieel-economische aspecten

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Kosten (gegeven het volume afval en de tijdshorizon)	Deze beheeroptie impliceert belangrijke onderhouds- en monitoringskosten door de noodzaak om periodiek de installaties opnieuw te bouwen en het afval te herconditioneren.	Hoge initiële kosten maar lage langetermijnkosten.	Gedurende de ontwikkeling en de bouw van de opslaginstallatie dient rekening gehouden te worden met het voorlopige karakter van de opslag, wat de kosten doet toenemen.	De kosten van het huidige beheer lopen onverminderd door.
Kostendekking en financiering	Met de tijd stijgen de risico's verbonden aan het niet beschikbaar zijn van voldoende financieringsmiddelen. Bovendien neemt met de tijd het gevaar toe dat institutionele veranderingen met desastreuze effecten voor mens en milieu zich voordoen. De financiële implicaties kunnen aanzienlijk zijn. De notie van "eternal stewardship" verplicht ook de komende generaties om op adequate wijze het beheer te verzekeren.	De financiële verantwoordelijkheid moet gedragen worden door de huidige generatie. De huidige generatie kan de nodige fondsen aanleggen en is daardoor niet afhankelijk van toekomstige en dus per definitie minder zekere omstandigheden. De sluiting van de bergingsinstallatie draagt op essentiële wijze bij aan deze vanuit financieel oogpunt betrouwbare oplossing. Deze optie stelt weinig tot geen financiële eisen op lange termijn.	Een niet-definitieve beheeroptie legt aanzienlijke financiële lasten op aan toekomstige generaties. Het verschuiven van de tijdshorizon doet de onzekerheid over de toereikendheid van de toekomstige financieringsfondsen toenemen. Aanvullende financiële middelen zijn nodig om in de toekomst een definitieve beheeroptie te implementeren.	Aangezien een uitbreiding van de installaties noodzakelijk is, moet de huidige generatie hiervoor voldoende financiële middelen voorzien. Aanvullende financiële middelen zijn nodig om in de toekomst gevolg te geven aan de uitgestelde principebeslissing en om de gekozen beheeroptie te implementeren.

9.7 Ethische aspecten

9.7.1 Methodiek

9.7.1.1 Inleiding

De uitzonderlijk lange tijdshorizon, de complexiteit, de omvang van de mogelijke impact op de samenleving en de onzekerheden zijn inherent aan de keuze en de implementatie van een beheeroptie voor hoogradioactief en/of lanlgevend afval. Daarom gaat het over een principebeslissing die fundamenteel is voor de maatschappij en die niet enkel wetenschappelijk onderbouwd kan worden. Ethiek kan hiervoor een bijkomend beoordelingskader bieden.

Om de ethische aspecten van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval te kunnen bespreken, moet het begrip “ethiek” meer in detail omschreven worden. Ethiek betreft het handelen in het hic et nunc (230). Ethiek bepaalt hoe we verondersteld worden te handelen in situaties die betekenisvolle implicaties hebben voor menselijk en niet-menselijk leven en welzijn. (231).

Het in de eerste plaats belangrijk om het ethische gezichtspunt niet te vereenzelvigen met theorieën over dat ethische gezichtspunt. In zijn meest algemene betekenis is het ethische gezichtspunt niets anders dan het meest omvattende gezichtspunt dat we tegenover de wereld en tegenover personen, toestanden, gebeurtenissen en handelingen in die wereld kunnen innemen (230).

De ethische verantwoording of argumentatie, die de concretisering is van het ethische gezichtspunt, is dus steeds een “omvattende verantwoording” waarin rekening wordt gehouden met alle – of, realistischer, zoveel mogelijk – relevante aspecten van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in een bepaalde context. Een argumentatie waarin wordt gesteld: “ethisch gezien vind ik dat je X moet doen, maar technisch gezien wordt Y voorgeschreven en ik vind dat Y in dat geval prioriteit heeft” heeft daarom weinig zin. Indien men vindt dat Y prioriteit heeft, dan betekent dit dat men meent dat Y, ook ethisch gesproken, uitgevoerd moet worden. Wie daaraan twijfelt, ontkent dat het ethische gezichtspunt omvattend en onpartijdig kan zijn. Het ethische perspectief houdt juist een afweging van diverse benaderingswijzen van problemen in (232).

In de tweede plaats is het niet evident om het meest omvattende gezichtspunt te bereiken op grond waarvan we op de ethisch meest rationele manier zouden kunnen oordelen en handelen. In de praktijk zal steeds rekening gehouden moeten worden met de beperktheid van onze kennis en de moeilijkheden verbonden met het tijdsperspectief (hoe verder we gaan in de tijd, hoe hypothetischer voorspellingen worden). Dat neemt niet weg dat de ethische evaluatie ernaar streeft om zo omvattend mogelijk te zijn. Daarom zal ze zo veel mogelijk proberen om alle relevante variabelen te betrekken in een evaluatie van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Deze variabelen zullen hieronder verder besproken worden.

De discipline ethiek zal het ethische gezichtspunt omschrijven aan de hand van waarden of principes die fungeren als criteria waarmee men kan beoordelen of een handeling of houding als ethisch rechtvaardig gekwalificeerd kan worden.

9.7.1.2 Afbakening van de ethische dimensie

Sinds de verklaringen en publicaties van de Club van Rome in de jaren '70 is er een ecologisch bewustzijn ontstaan en is men zich in toenemende mate gaan buigen over de hiermee verbonden normen, waarden en rechten. Enkele sleutelbegrippen uit deze nieuwe ethiek worden gehanteerd in het onderzoek over het beheer van radioactief afval.

Het beheer van radioactief afval is een maatschappelijk vraagstuk. Het ethische gezichtspunt zal bestaan uit de ethische waarden en principes die van belang zijn om te kunnen beslissen over dit maatschappelijk vraagstuk. Deze ethische waarden en principes bestaan op hun beurt uit de ethische verantwoordingen die een beheeroptie ondersteunen.

Een omvattende verantwoording is een verantwoording die rekening houdt met zo veel mogelijk relevante informatie in een gegeven context. In die zin staat een omvattende verantwoording tegenover een particuliere verantwoording. Een particuliere verantwoording baseert zich steeds op een welbepaalde ken- of handelingsvorm. Zo zijn verantwoordingen als "economisch gezien", "juridisch gezien", "politiek gezien" steeds particuliere waarden en principes; zij gaan uit van welomschreven perspectieven, belangen of idealen.

Het ethische gezichtspunt – al dan niet te herleiden naar een ethische theorie – wordt gevoed door principes en waarden. Ethische waarden en principes zijn niet enkel particuliere en subjectieve beschouwingen. Er bestaat wel degelijk een verschil tussen maatschappelijke of particuliere aanvaardbaarheid en ethische aanvaardbaarheid (231). De feitelijke dimensie van de het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval kan dus niet alleen ingevuld worden door een democratisch debat over de normatieve implicaties (233).

Via retorische bewijsvoering tracht het ethische gezichtspunt te overtuigen met argumenten. Het maatschappelijk debat fungeert als referentiekader. Het is de bedoeling dat de discussie met andere theorieën verrijkt kan worden. In essentie kan het ethische gezichtspunt de argumentatie in het maatschappelijk debat niet verklaren, maar kan het verduidelijken of deze argumenten rechtvaardig zijn. Het gaat dus niet om de verklaringskracht, maar om het rechtvaardigingsvermogen. Verschillende ethische theorieën zijn verhelderend voor het preciseren of systematiseren van het ethische gezichtspunt.

Ethische theorieën

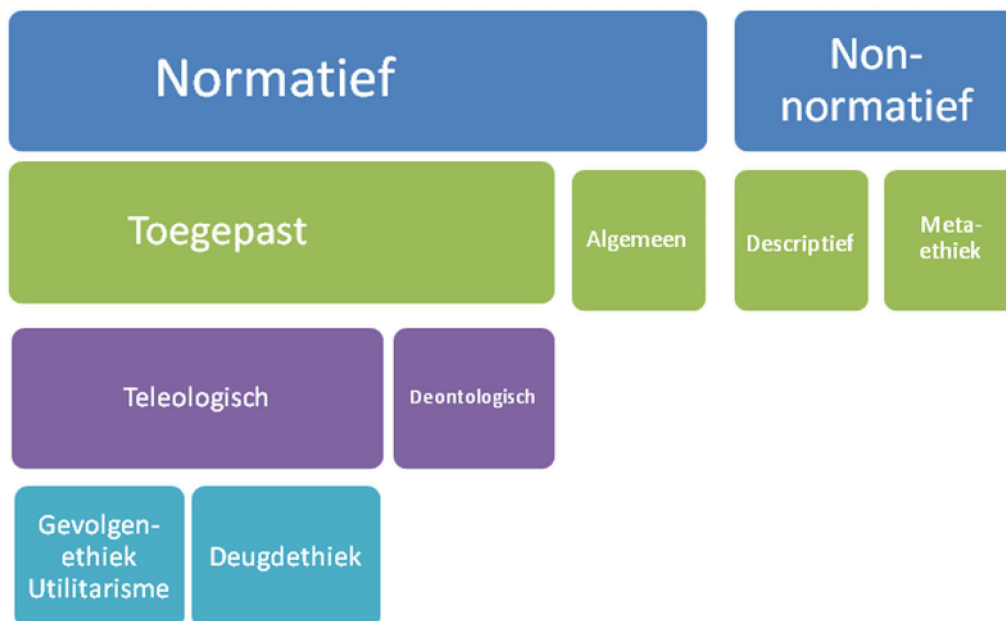
Ethische theorieën kunnen onderverdeeld worden in twee groepen, de normatieve en niet-normatieve theorieën. De niet-normatieve theorie beschrijft de opvattingen die bepaalde mensen op een bepaald moment hebben over goed en verkeerd. De descriptieve benadering, een onderdeel van deze theorie, probeert waarden van mensen, groepen en samenlevingen te ontdekken, te beschrijven en te rangschikken, terwijl de meta-ethische benadering zich richt op de beschrijving en vergelijking van de centrale begrippen van de ethiek. Aangezien de niet-normatieve ethiek echter geen morele posities inneemt en ook niet van toepassing is op milieuetiek, kunnen via deze theorieën geen principes afgeleid worden voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.

Het formuleren van een systeem op grond waarvan men mensen, daden en keuzes ethisch kan beoordelen, is wat de normatieve ethische theorie doet. De algemene normatieve benadering, één van de twee normatieve benaderingen, houdt zich bezig met het formuleren van morele basisprincipes en –waarden. In het kader van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval kunnen we principes echter het beste formuleren aan de hand van de toegepaste ethische benadering, de tweede vorm van normatieve ethiek. Deze benadering houdt zich bezig met concrete ethische afwegingen en concrete ethische beslissingen over specifieke problemen.

Deontologische, gevolgen- en deugdgerichte ethische theorieën zijn pogingen om de meest omvattende rationaliteit te verwoorden. Ze vormen de drie belangrijkste theorieën die gehanteerd worden in toegepaste ethiek.

- Volgens utilitaristen (gevolgenethiek) valt de omvattende rationaliteit samen met het grootste geluk voor het grootste aantal mensen, waarbij dat geluk nader kan worden gespecificeerd in termen van welvaart, welzijn of levenskwaliteit (234). De morele waarde van een handeling wordt afgemeten aan de bijdrage die de handeling levert aan het algemeen nut. Centraal staat de gedachte dat een rechtvaardige organisatie van de samenleving het totale welzijn van haar leden maximaliseert. Het gaat hier om een aggregatieve theorie: niet het geluk of het welzijn van het afzonderlijke individu, maar het totale geluk of welzijn van de samenleving is belangrijk.
- Volgens deugdethiek slaat de omvattende rationaliteit op de perfectibiliteit van de mens en zijn handelen (235). Deze deugdethiek krijgt een vertaling in rechtvaardigheidstheorieën die zich afzetten tegen de aggregatieve theorie. Zo is volgens de distributieve ethiek niet de totale omvang van het welzijn, maar de distributie van dit welzijn binnen de samenleving van belang. De nadruk komt te liggen op de relatieve grootte van het welzijn waar iedere persoon van kan genieten. Verschillende (toegang tot) welzijnsniveaus zijn een vorm van ongelijkheid en zijn bijgevolg onrechtvaardig.
- Volgens deontologen impliceert de meest omvattende (praktische) rationaliteit categorische imperatieven die een absoluut respect voor de menselijke waardigheid vertolken (236). De categorische imperatief is op een aantal manieren geformuleerd. Eén ervan is dat men alleen moet handelen volgens de waarden waarvan men tegelijkertijd zou willen dat ze een algemene wet worden. Met andere woorden: men moet handelen zoals men zou willen dat iedereen zou handelen. Een andere formulering is dat men zelf of via anderen de mensheid nooit slechts als middel maar tegelijkertijd altijd als doel moet beschouwen.

In Figuur 66 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste ethische theorieën.



Figuur 66: Overzicht van de belangrijkste ethische theorieën

Ethische rechtvaardiging

Wanneer fundamentele beleidskeuzes gemaakt moeten worden, is het belangrijk om die te onderbouwen met ethische waarden en principes. Publieke instellingen zoals NIRAS worden ondersteund door de funderende principes van de Belgische grondwet en het democratische proces dat de belangen van de burgers waarborgt in het belang van voormalige, huidige en toekomstige generaties. Het toepassen van deze verantwoordelijkheid moet de belangen van de burgers verzekeren en moet leiden tot een rechtvaardige en gebalanceerde verdeling van middelen en verantwoordelijkheden die gebaseerd is op een omvattende – en daarmee ethische – verantwoording. Hiervoor is het noodzakelijk om een publiek vertrouwen in de billijkheid en de integriteit van de beleidsmakers en het beslissingproces te garanderen. De principes die voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval gehanteerd zullen worden, zijn ontwikkeld door gebruik te maken van een omvattend en fundamenteel concept van rechtvaardigheid voor huidige en toekomstige generaties.

Rechtvaardigheid ligt aan de basis van veel verschillende ethische gezichtspunten en is bijgevolg een vaag begrip. Al eeuwenlang wordt er gedacht en gedebatteerd over de invulling van het begrip. Zo brengt men rechtvaardigheid in verband met het beschermen van fundamentele vrijheden of spreekt men over het toewijzen van kosten en baten (230).

Binnen de toegepaste ethiek zijn al heel wat pogingen ondernomen om een verzameling fundamentele principes te ontwerpen die gerechtvaardigd kunnen worden door ethische theorieën en die tegelijk aan de algemeen aanvaarde normen van de samenleving beantwoorden. Drie van dergelijke principes zijn ontstaan uit deze pogingen (237):

- Rechtvaardige verdeling van kosten en baten over de betrokkenen. Dit kan door rekening te houden met pariteit (gelijk verdelen), proportionaliteit (evenredig verdelen), verantwoordelijkheid (lasten gedragen door de verantwoordelijken), het voorzorgsprincipe (rechtvaardigheid bij technische en methodologische onzekerheid), het duurzaamheidsprincipe (geen belasting van huidige en

toekomstige generaties) en billijkheid (redelijkheid met betrekking tot de interpretatie of toepassing van het recht).

- Het maximaliseren van het welzijn van de betrokkenen: voorzien in het goede en beschermen tegen het kwade.
- De waardigheid en autonomie van de betrokkenen respecteren.

In een beslissingsproces zullen verschillende betrokkenen waarschijnlijk een verschillend gewicht geven aan verschillende ethische principes en waarden. Zo kunnen waarden, noden en belangen divergeren, maar het is algemeen bekend dat robuuste strategieën, die tegemoet komen aan verschillende ethische principes en waarden, een grotere kans hebben om algemene maatschappelijke aanvaarding te krijgen.

Bovendien leven we in een rechtssysteem, waardoor rechtvaardigheid de ethische fundering biedt voor billijke beslissingsprocessen voor huidige en toekomstige generaties. Alle systemen van recht zijn gebaseerd op varianten van het rechtvaardigheidsconcept. Daarom kunnen we stellen dat het fundamentele concept voor het ontwerpen van principes voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval het rechtvaardigheidsconcept is.

Rechtvaardigheidstheorie geeft aan hoe men op een gefundeerde manier ethische uitgangspunten kan verwerven en verdedigen. Hierbij kan de methode van het “reflectief evenwicht” worden gehanteerd. Door het zelfonderzoek dat noodzakelijk is bij het vormen van ethische oordelen bereikt men een reflectief evenwicht, d.w.z. een punt waarop men tot optimale overeenstemming van een weloverwogen oordeel met een bepaald ethisch beginsel gekomen is. Men krijgt dus bewust inzicht in het eigen rechtsgevoel. John Rawls, de grondlegger van deze methode, gaat via deze methode in tegen de kritiek dat rechtvaardigheidstheorie enkel een reconstructie van vooroordelen zou zijn (236).

Via de methode van het reflectief evenwicht en aan de hand van toegepaste ethische rechtvaardigheidstheorieën zal de discipline ethiek de concepten formuleren die nodig zijn om af te wegen in welke mate de beheeropties overeen stemmen met deze waarden en principes. Deze concepten zijn vertaald in vier fundamentele principes die relevant zijn om de beheeropties in het Afvalplan te beoordelen. Deze principes worden vaak gehanteerd in de milieuethiek en werden aangehaald in het besluitvormingsproces inzake het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in andere landen zoals Canada (238), de Verenigde Staten (239), het Verenigd Koninkrijk (132) en Zweden (130). Ze komen ook terug in internationale studies en verdragen.

9.7.1.3 Ethische principes en waarden ter beoordeling van de beheeropties

Voorzorgsprincipe

Bij processen van beleidsontwikkeling wordt er vaak vastgesteld dat wetenschappelijke feiten zelf niet volledig vaststaan en dus niet doorslaggevend zijn voor het beleid. Er kan niet van uitgegaan worden dat vooruitgang automatisch tot stand komt. Pogingen om sociale processen, economische systemen en het leefmilieu onder controle te houden kunnen ook falen, wat tot probleemsituaties kan leiden. De voorbije decennia is het besef van die altijd aanwezige onzekerheid stilaan gegroeid, in het bijzonder met betrekking tot milieuproblemen en dus ook tot het beheer van radioactief afval (240).

Omwille van de onvolmaaktheid van de wetenschap wordt er voorgesteld om bij beleidsbeslissingen rekening te houden met een extra element, het voorzorgsprincipe, dat de beslissingen die anders binnen het moderne model genomen worden (met wetenschap als enige bepalende factor voor het beleid) legitimeert en beschermt. Het andere model dat hier gepresenteerd wordt, introduceert het voorzorgsprincipe of de voorzorgsbenadering in

het moderne model, in het bijzonder zoals het principe in de Europese context wordt gehanteerd (241).

Het voorzorgsprincipe is terug te vinden in tal van overeenkomsten, reglementeringen en wetten, met name de Verklaring van Rio inzake milieu en ontwikkeling (1992). De concrete beschrijvingen van het voorzorgsprincipe lopen uiteen. Toch is de dubbele negatie in de formulering in Beginsel 15 van de Verklaring van Rio (26) typisch en verhelderend: “[...] *daar waar ernstige of onomkeerbare schade dreigt, dient het ontbreken van volledige wetenschappelijke zekerheid niet als argument te worden gebruikt voor het uitstellen van kosteneffectieve maatregelen om milieuaantasting te voorkomen.*”

In de mededeling van de Europese Commissie over het voorzorgsprincipe (241) wordt er verwezen naar wetenschappelijke onzekerheid, maar wordt er benadrukt: “*het voorzorgsbeginsel is vooral van belang voor risicobeheer*” en “*het voorzorgsbeginsel dat hoofdzakelijk door besluitvormers bij risicobeheersing gehanteerd wordt, mag niet worden verward met het voorzichtigheidsbeginsel dat de wetenschappers bij hun evaluatie van wetenschappelijke gegevens toepassen.*”

In dezelfde mededeling beklemtoont de Europese Commissie dat op een willekeurige wijze een beroep doen op voorzorgsmaatregelen niet ondersteund kan worden door het voorzorgsprincipe. Het voorzorgsprincipe kan enkel ingeroepen worden waar een wetenschappelijke evaluatie een gegrond risico heeft vastgesteld, en dan nog slechts voor zover de voorzorgsmaatregelen in overeenstemming zijn met het proportionaliteitsbeginsel (de verhouding kosten/baten) (241).

Het normatieve principe van voorzorg is in die zin ingebed en uitgedrukt in kwantitatieve, wetenschappelijke termen. Men kan zich afvragen wat in de praktijk het verschil is tussen het voorzorgsmodel en het moderne model, gegeven het feit dat wetenschappelijk bewijsmateriaal nooit “zeker” kan zijn. Het antwoord is dat er concrete en specifieke aanwijzingen zijn voor schade, maar dat de technische en methodologische onzekerheid groter is dan de conventies van de wetenschappelijke literatuur toelaten (doorgaans een vertrouwen van 95% in geval van statistische onzekerheid).

Het voorzorgsbeginsel zou vertaald kunnen worden als “*doe er in geval van twijfel alles aan om zo goed mogelijk te handelen*” en houdt meer bepaald het volgende in (28):

- Multidisciplinaire en tegensprekelijke wetenschappelijke expertise (waarbij onzekerheid doorgaans niet wijst op een gebrek aan kennis, maar wel op het bestaan van complexe situaties met gevolgen op lange termijn), die de uitvoering van onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's veronderstelt die een risicoanalyse, risicobeperking en evaluatie van alternatieven mogelijk moeten maken
- Een zo ruim mogelijk overleg, zo vroeg mogelijk, met alle betrokkenen, met inbegrip van het publiek in ruime zin, over de risico's, hun evaluatie en hun aanvaardbaarheid
- Een periodieke herevaluatie van de risico's en de onzekerheden op basis van de kennisevolutie

Door het langetermijnperspectief van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval en het daarmee samenhangende belang van de robuustheid van de beheeropties (zie hoofdstuk 10 en Bijlage C) is het voorzorgsprincipe ook een fundamenteel ethisch principe, vooral wanneer het gebruikt wordt in het kader van risico-evaluatie. Het voorzorgsprincipe wordt dan gehanteerd als een ontwerp-principe voor het vormgeven aan de omgang met zowel nieuwe als oude risico's (242). Bij het ontwerpen wordt tevens geanticipeerd op de uiteindelijke doorwerking van het gerealiseerde ontwerp. In de context van het beheer van radioactief afval heeft dit ook betrekking op maatschappelijke robuustheid (240).

Het voorzorgsprincipe is een concept waardoor er beslist kan worden, ondanks mogelijke bedreiging van wetenschappelijke kennis door belangenconflicten, onzekerheid en ambiguïteit. Met andere woorden, kansen en gevolgen blijven belangrijke dimensies, maar deze worden opgenomen in een bredere aanpak. Op die manier kan het voorzorgsprincipe gehanteerd worden als ontwerpprincipie voor het vormgeven aan de omgang van de risico's die verbonden zijn met het langetermijnbeheer van radioactief afval.

Duurzaamheidsprincipe

Het duurzaamheidsprincipe is afkomstig uit de milieuethiek. De basisdefinitie van het duurzaamheidsprincipe vinden we terug in een omschrijving van het concept duurzame ontwikkeling. Hiervoor grijpt men meestal terug naar het rapport "Our Common Future" (23), ook wel het Brundtland-rapport genoemd. Dit rapport werd in 1987 door de Wereldcommissie voor Milieu en Ontwikkeling van de Verenigde Naties gepubliceerd en legt een verband tussen economische groei, milieuproblemen, armoede en ontwikkeling.

Duurzame ontwikkeling wordt in het Brundtland-rapport gedefinieerd als *"een ontwikkeling die tegemoet komt aan de behoeften van de huidige generaties zonder de mogelijkheden van de toekomstige generaties in gevaar te brengen om hetzelfde te doen."*

Het Brundtlandt-rapport betoogt dus dat alle ontwikkeling zo dient te verlopen dat de mogelijkheden van toekomstige generaties niet in gevaar gebracht worden. Dit impliceert dat aandacht voor de lange termijn een wezenlijk onderdeel uitmaakt van het duurzaamheidsdenken.

In het kader van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval kunnen twee contrasterende visies over het duurzaamheidsprincipe onderscheiden worden:

- Een antropocentrische visie, die focust op menselijk welzijn. Deze visie impliceert dat men bronnen efficiënt moet gebruiken om aan menselijke noden en aspiraties te beantwoorden.
- Een ecocentrische visie, die de intrinsieke waarde van de natuur benadrukt, waarin de mens één van de vele levende wezens is.

Duurzame ontwikkeling deed haar intrede in de Belgische wetgeving met de stemming van de Wet van 5 mei 1997 betreffende de coördinatie van het federale beleid inzake duurzame ontwikkeling (24).

De verbintenissen die België op internationaal niveau onderschreef, berusten op een antropocentrische benadering van het duurzaamheidsprincipe. De internationale visie op duurzame ontwikkeling vormde de leidraad voor de overheid toen ze besloot drie soorten doelstellingen op te nemen in het eerste Federaal Plan inzake Duurzame Ontwikkeling:

- *"De economische doelstellingen van een duurzame ontwikkeling moeten het vooral mogelijk maken om de huidige noden te lenigen, zonder de toekomstige generaties in hun behoeftevoorziening te hinderen. Dat impliceert onder andere de aanvaarding van consumptie- en productiepatronen die in staat zijn de druk op het milieu te verminderen en te voorzien in de basisbehoeften van de mens."* (Agenda 21, 4.7; Federaal Plan inzake Duurzame Ontwikkeling 2000-2004, § 64).
- *"De sociale doelstellingen van een duurzame ontwikkeling worden niet alleen nagestreefd binnen samenlevingen maar ook ertussen. Ze moeten niet alleen de verdeling van de financiële middelen organiseren, maar ook die van natuurlijke rijkdommen en van culturele integratie. Deze doelstellingen moeten vooral prioriteit verlenen aan de essentiële noden van de minstbedeelden. De inspanningen moeten onder meer toelaten dat de minstbedeelden in zo groot mogelijke mate*

kunnen deelnemen aan het arbeidsproces." (Federaal Plan inzake Duurzame Ontwikkeling, § 65).

- *"De milieudoelstellingen van een duurzame ontwikkeling zijn vooral gedefinieerd opdat de grenzen van de natuurlijke hulpbronnen bij het beheer ervan gerespecteerd worden, door rekening te houden met technologische ontwikkelingen en institutionele structuren. [...] Tegelijk houden de doelstellingen er rekening mee dat de mogelijkheid van het leefmilieu om zich aan te passen beperkt is, zowel om in energie en grondstoffen te voorzien als om afvalstoffen en giftige uitstoot op te nemen."* (Federaal Plan inzake Duurzame Ontwikkeling, § 66).

Het streven naar de bevrediging van zowel de huidige als toekomstige menselijke behoeften staat in deze doelstellingen centraal.

Het begrip "menselijke behoeften" is veel minder beperkend dan het economische begrip "koopkrachtige vraag". Het natuurlijke en menselijke milieu duurzaam ontwikkelen impliceert respect voor het leven in al zijn vormen en dus het minimaliseren van schade aan mensen en andere levende wezens.

Intragerationele billijkheid

Intragerationele billijkheid sluit aan bij sociale billijkheid. Sociale billijkheid wordt gezien als een toestand waarin iedereen over dezelfde aanvangskansen beschikt (243). De Verklaring van Rio breidt dit begrip in feite uit tot de toekomstige generaties.

Intragerationele billijkheid kan dus iets ruimer opgevat worden omdat het concept meestal in één adem met intergenerationele billijkheid genoemd wordt. In deze ruimere opvatting creëert de aandacht voor de toekomstige generaties een nieuwe context waarin de besluitvormers de implicaties van acties en beslissingen voor de lange termijn moeten onderzoeken, zowel op milieuvlak als op sociaal-economisch vlak. Die benadering van de beslissing moet uiteraard gepaard gaan met een goede kortetermijnvisie over de rechtstreekse gevolgen van een beslissing.

Het begrip "menselijke behoefte" (26) verwijst naar een waarneembare werkelijkheid, maar ook naar waardeoordelen over het heden en de toekomst. Het is dus deels een subjectief begrip. Het zal echter altijd nuttig zijn om rekening te houden met de manier waarop een beslissing billijk kan tegemoetkomen aan de noden van de huidige en komende generaties, al was het maar om te leren wat de behoeftebevrediging mogelijk in de weg staat.

Intragerationele billijkheid houdt dus verband met de billijke verdeling van voor- en nadelen binnen eenzelfde generatie. In de context van het beheer van radioactief afval heeft dit principe betrekking op de lasten die een bepaalde groep burgers binnen onze maatschappij draagt of zou dragen als gevolg van de gekozen beheeroptie.

De volgende ethische criteria zitten vervat in het principe van intragenationele billijkheid:

- Pariteit stelt dat de lasten evenredig gedragen moeten worden.
- Proportionaliteit stelt dat diegenen die de voordelen krijgen ook de lasten moeten dragen.
- Verantwoordelijkheid houdt verband met het opnemen van verantwoordelijkheden ten opzichte van onszelf en de toekomstige generaties en met het omgaan met de problemen die we zelf gecreëerd hebben. Verantwoordelijkheid verwijst ook naar het principe "de vervuiler betaalt" en de allocatie van verantwoordelijkheid naar het nationale niveau.

- Waardigheid en autonomie impliceren in de eerste plaats rechtvaardigheid ten opzichte van groepen, regio's en generaties, in het bijzonder rekening houdend met de kwetsbaarheid van minderheden en gemarginaliseerde groepen. Het heeft ook betrekking op de billijkheid van het besluitvormingsproces, met name het participatieve karakter ervan.
- Welzijn van de gemeenschap gaat grotendeels uit van het utilitaire principe dat het grootst mogelijke voordeel aan zo veel mogelijk mensen gegeven moet worden. Het gaat ook om de veiligheid, het aantal mensen dat betrokken wordt en de sociale uitgaven.

Intergenerationele billijkheid

Als we intergenerationele billijkheid definiëren als de balans van de verdeling van rechtvaardigheid tussen huidige en toekomstige generaties, beschikken we over een concept dat theoretisch vanuit verschillende invalshoeken te benaderen is, maar tegelijkertijd moeilijk te operationaliseren en te kwantificeren is.

De rechtvaardigheidstheorieën geven aanleiding tot de volgende mogelijke visies.

- Het toepassen van het utilitarisme zou leiden tot een intergenerationele wereld met intergenerationeel welzijn. De accumulatie van het welzijn van iedere generatie kan gemaximaliseerd worden.
- Volgens de distributieve ethiek (deugdethiek) mag er niet minder worden getransfereerd naar een volgende generatie dan we zelf meekregen, maar tegelijk mag men niet meer overdragen. Als één generatie namelijk een surplus tegenover de vorige generatie heeft, dan moet zij dit verdelen onder de minderbedeelden van de huidige generatie in plaats van het over te dragen naar de volgende generatie. De intergenerationele transfer zou onrechtvaardig zijn tegenover de minderbedeelden van de huidige generatie.
- Volgens de coöperatieve ethiek baseert rechtvaardigheid naar volgende generaties zich op een indirecte reciprociteit. De reden waarom we verplichtingen tegenover volgende generaties zouden hebben, ligt bij de schuld tegenover vorige generaties. Datgene wat we van vorige generaties kregen, moeten we "afbetalen" naar volgende generaties toe. Met andere woorden: de output moet proportioneel verdeeld worden ten opzichte van de input van iedere partij.

Vanuit deze theorieën kunnen enkele ethische criteria afgeleid worden die het principe van intergenerationele billijkheid invullen:

- Pariteit veronderstelt dat de risico's gelijk verdeeld worden tussen huidige en toekomstige generaties. Een variant is dat toekomstige generaties dezelfde mogelijkheden moeten hebben als wij.
- Proportionaliteit stelt dat toekomstige generaties lagere risico's moeten ondervinden dan onze generatie omdat zij minder voordelen ondervinden dan wij.
- Verantwoordelijkheid gaat over de keuze om toekomstige generaties te beschermen tegen onomkeerbare gevolgen. Het gaat ook om het tijdsaspect van verantwoordelijkheid, dat men kan bekijken vanuit twee verschillende perspectieven:
 - Voortdurende verantwoordelijkheid gaat uit van de visie dat er geen rechtvaardiging is voor een arbitrair eindpunt in de toekomst waarop de verantwoordelijkheid van de huidige generatie stopt.

- Verminderende verantwoordelijkheid impliceert dat we zo veel mogelijk verantwoordelijkheid moeten nemen, maar tegelijk moeten beseffen dat ons vermogen om dit te realiseren zal verminderen in de toekomst.
- Waardigheid en autonomie impliceren dat toekomstige generaties de flexibiliteit moeten hebben om hun eigen beslissingen te nemen.
- Welzijn impliceert het verzekeren van de veiligheid en het voorkomen van financiële lasten voor toekomstige generaties.

Het concept intergenerationele billijkheid is een ethisch principe dat moeilijk om te zetten is in een hanteerbaar wettelijk instrument. Toch menen specialisten in het internationaal recht dat het juridisch mogelijk is om tot wetgeving over intergenerationele billijkheid te komen. Vanuit de redenering dat internationaal recht zich vaak buigt over rechtvaardigheidsvraagstukken, pleiten juristen al sinds het eerste uur voor een volkenrecht dat deze rechtvaardigheid niet alleen voorziet voor huidige, maar ook voor toekomstige generaties. De pionier van deze opvatting in internationaal recht is Weiss (244).

Aan de hand van een standaardwerk over intergenerationele billijkheid construeren we enkele visies op het ethische principe (245).

Heel wat onderzoekers benadrukken dat de verantwoordelijkheid ten opzichte van de toekomstige generaties vandaag nog belangrijker geacht moet worden dan vroeger. Steeds meer elementen uit relatie mens-milieu zijn binnen de sfeer van de menselijke controle getreden, waardoor ook de mogelijkheid om toekomstige gevaren en risico's te detecteren toeneemt. Vanuit die optiek is het uitbreiden van onze verantwoordelijkheden naar toekomstige generaties niet enkel een nobel, maar ook een steeds realistischer streven (246).

Niet alle onderzoekers vinden het idee van intergenerationele billijkheid even vanzelfsprekend. Zo wordt er vanuit rationalistische hoek geopperd dat rechtvaardigheid in de eerste plaats benaderd moet worden vanuit het perspectief van rechten voor mensen en instellingen. Nog niet bestaande individuen zouden geen aanspraak kunnen maken op het rechtvaardigheidsbeginsel. Ook zou het vrijwaren van de basisvrijheden belangrijker zijn dan sociaal-economische herverdeling binnen generaties of over de generaties heen (247).

Dit wordt op zijn beurt tegengesproken door de verdedigers van het concept intergenerationele billijkheid als primair principe. Zij poneren dat een goede theorie over intergenerationele billijkheid niet enkel kan uitgaan van rationele keuze en exclusief menselijk zelfbelang. Zij vinden moraal en ethiek essentieel om intergenerationele billijkheid te rechtvaardigen (248).

Ook de utilitaristische visie worstelt met het concept intergenerationele billijkheid. Als de huidige generatie bepaalde inspanningen doet met het oog op toekomstige generaties, betekent dit per definitie dat de huidige generatie zich bepaalde voordelen onttrekt en dus verlies lijdt binnen de utilitaristische logica? Kan men verwachten dat de risicohorizon van de huidige generatie verder reikt dan het eigen leven? Ook de invulling van het rechtvaardigheidsbeginsel zoals we dat kennen uit het liberalisme met zijn primaire focus op het bewaken van algemene, voor ieder rechtspersoon geldende principes, maakt het niet vanzelfsprekend om de tijdsdimensie in rekening te brengen. Daartegenover kan men echter het "principe van minimale onveranderlijke schade" stellen, dat zegt dat we vandaag de morele verplichting hebben om geen ernstige schade te berokkenen aan toekomstige generaties (249).

Een ander moeilijk punt bij intergenerationele billijkheid is dat van het afschuiven van verantwoordelijkheden op volgende generaties. In sommige gevallen, zoals bij

klimaatverandering, kan onze huidige visie kosten voor toekomstige generaties met zich meebrengen. Kosten die zij liever niet willen dragen, vooral omdat zij zelf de bijbehorende voordelen niet ondervonden hebben. Men argumenteert vaak dat men nu technisch of financieel niet in staat is om het probleem op te lossen en stelt dus alle hoop in de financiële draagkracht van de toekomstige generaties. Bovendien neemt men in kosten-batenanalyses zelden toekomstige generaties mee. Het afschuiven van verantwoordelijkheid naar volgende generaties gaat echter in tegen ethische rechtvaardigheidsprincipes en kan daardoor leiden tot een klimaat waarin we extreem kwetsbaar worden voor morele corruptie (250).

Zoals eerder vermeld is het zeer moeilijk om intergenerationele billijkheid te verankeren in wetgeving. Naast een aantal juridische obstakels is er ook een fundamenteel vraagstuk dat rechtstreeks voortvloeit uit het ambigue karakter van intergenerationele billijkheid. We krijgen hier te maken met de botsing tussen twee noties die per definitie tegengesteld zijn aan elkaar: verplichting en vrijstelling. Aan de ene kant impliceert intergenerationele billijkheid het bestaan van een aantal normen en waarden die universeel gelden. Aan de andere kant mogen deze normen de vrijheid van toekomstige generaties om hun eigen leefwereld vorm te geven niet belemmeren. Daarom is het nodig om een compromis te zoeken tussen een bepaalde vorm van “universele clausules” en de flexibiliteit die nodig is voor intergenerationele contracten (251).

Een belangrijke voorwaarde voor de realisatie van intergenerationele billijkheid situeert zich op het niveau van de besluitvorming. Een gebrek aan langetermijnvisie en een beperkte focus bij politici (in tijd, ruimte en agenda) kunnen struikelblokken vormen om intergenerationele billijkheid te integreren in wetten en beleid. Door de specificiteit van het democratische proces bevinden de institutionele determinanten zich in een moeilijke spreidstand tussen het eigenbelang van economische en politieke agenten enerzijds en intergenerationele billijkheid anderzijds. In deze uiterst gemediatiseerde tijd is het voor politici ook niet evident om het langetermijnperspectief onder de publieke aandacht te brengen. Het cultiveren van publieke schuld, waarbij ook individuen zich aangesproken voelen, zou een voorwaarde kunnen zijn om de rechten van toekomstige generaties te vrijwaren (252).

9.7.2 De ethische principes van het NEA van de OESO

In 1995 publiceerde het Radioactive Waste Management Committee van het Agentschap voor Kernenergie (NEA) van de OESO een gemeenschappelijk standpunt over de milieu- en ethische aspecten van geologische berging van hoogradioactief en/of langlevend afval. Dit document was het resultaat van een workshop die tot een ethische basis voor de strategie van geologische berging moest komen. Tot dan toe werd door NEA quasi geen aandacht besteed aan een ethische fundering (220).

De noodzaak om een dergelijke ethische basis te ontwikkelen, vloeide ook voort uit een groeiend internationaal bewustzijn over het belang van de bescherming van menselijke gezondheid en het milieu sinds de Brundtland-commissie en de conferentie van Rio de Janeiro.

9.7.2.1 Ethische principes

In haar visie over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval focust NEA op twee ethische premissen (220):

- Het bereiken van intergenerationele billijkheid door voor technologieën en strategieën te kiezen die de risico's en lasten die de huidige generatie aan de volgende generatie doorgeeft minimaliseren.

- Het bereiken van intragenerationele billijkheid, vertaald in een ethische aanpak binnen de huidige generatie.

Deze twee ethische premissen leiden tot enkele principes die gebruikt kunnen worden als leidraad voor het maken van ethische keuzes over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval:

- Producenten van radioactief afval moeten hun verantwoordelijkheid nemen. Zij moeten de middelen voorzien voor het beheer op een manier die ervoor zorgt dat er geen onomkeerbare lasten voor toekomstige generaties ontstaan.
- Het beheer van radioactief afval moet op een acceptabel niveau mens en milieu beschermen en moet toekomstige generaties eenzelfde vorm van bescherming kunnen bieden. Er is geen ethische basis waarop men kan steunen om in de toekomst grotere gezondheid- en milieुरisico's toe te laten.
- Een strategie voor het beheer van radioactief afval op lange termijn mag niet gebaseerd zijn op de veronderstelling dat er steeds een stabiele maatschappelijke structuur zal blijven bestaan in de toekomst, noch dat er blijvend technologische vooruitgang gemaakt zal worden. De strategie moet zich eerder richten op het bereiken van een passieve veiligheidssituatie die geen actieve institutionele controle vereist.

9.7.2.2 Ethische onderbouwing voor de te verkiezen beheeroptie

In sommige takken van het beheer van radioactief afval werd in het verleden werd soms de "uit het oog, uit het hart"-filosofie gehanteerd. Zo werd radioactief afval vroeger in zee gedumpt. Daarom willen internationale instellingen duidelijk maken dat zij handelen volgens principes en essentiële doelstellingen:

- Handelen volgens de ethische principes van inter- en intragenerationele billijkheid
- Verzekeren van technische vereisten en vertrouwen geven in huidige en toekomstige veiligheid
- Beschikbaarheid van de nodige technische bekwaamheid voor ontwikkeling en implementatie

NEA oordeelt dat geologische berging het grootste potentieel heeft als oplossing voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Het statement over geologische berging dat het Radioactive Waste Management Committee van het NEA in 2008 opstelde (134), integreert de evolutie van de visie op het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval sinds 1995. Naast andere argumenten die de voorkeur voor geologische berging onderschrijven, blijft dit document achter de ethische argumenten van het basisdocument van 1995 (220) staan:

- De optie om het afval op te slaan en blijvend te monitoren kan volgens sommigen wel in lijn zijn met het principe van duurzame ontwikkeling, aangezien ze gelijke keuzemogelijkheden geeft aan toekomstige generaties. Deze visie komt voort uit het idee dat de huidige generatie de verantwoordelijkheid heeft om de volgende generatie te voorzien van de deskundigheid, bronnen en mogelijkheden om met de problemen die ze doorgeeft om te gaan. Maar als de huidige generatie de constructie van installaties voor langetermijnbeheer uitstelt omdat ze wacht op nieuwe technologie, of omdat opslaan goedkoper is, dan wordt de verantwoordelijkheid voor echte actie doorgegeven, waardoor dit als onethisch gezien kan worden. Bovendien gaat langdurige opslag uit van de veronderstelling dat er in de toekomst samenlevingen zullen zijn die de nodige veiligheid en institutionele stabiliteit kunnen verzekeren. Er bestaat ook een natuurlijke tendens

in de samenleving dat men gewend raakt aan het bestaan en de nabijheid van beheerinstallaties. Zo kan men trapsgewijs de verbonden risico's gaan negeren en nalaten om de installatie behoorlijk te beheren.

- Scheiding en transmutatie kunnen eventueel mogelijk worden binnen enkele tientallen jaren, maar zelfs als de technologie dit toelaat, kan dit er niet voor zorgen dat alle hoogradioactief en/of langlevend afval geneutraliseerd wordt. Ethisch gezien kan men niet toestaan dat hierdoor de nood aan een beheeroptie op lange termijn genegeerd wordt. De kosten kunnen gedragen worden vanuit het principe "de vervuiler betaalt".
- De timing van de strategie van geologische berging is erg belangrijk. Het gaat namelijk om een incrementeel proces. Iedere fase van het proces biedt mogelijkheden om publiek debat en beslissingen op beleidsniveau te verzekeren. Gedurende het proces zal wetenschappelijke informatie die op de site verworven wordt, kunnen bijdragen tot een beter begrip van de regionale en lokale geologie en tot steeds gedetailleerdere capaciteitsonderzoeken.

9.7.2.3 De visie van NEA op terugneembaarheid

Terugneembaarheid impliceert dat er een evenwicht gezocht moet worden tussen het voorzorgsprincipe en intergenerationele billijkheid. Een verwant concept is omkeerbaarheid. NEA definieert omkeerbaarheid (Engels: reversibility) en terugneembaarheid (Engels: retrievability) als volgt: "*Reversibility implies a disposal programme that is implemented in stages and that keeps options open at each stage, and provides the capacity to manage the repository with flexibility over time; retrievability is the possibility to reverse the step of waste emplacement*" (253).

Het IAEA heeft een eigen definitie van deze concepten, zie paragraaf 9.7.3.3.

Terugneembaarheid is nauw verbonden met de veiligheid van een geologische bergingsinstallatie. Naarmate men overgaat van actief naar passief beheer wordt terugneembaarheid technisch moeilijker en stijgen de kosten, zie Tabel 52 (253).

Tabel 52: Beschrijving van terugneembaarheid in de verschillende fasen van geologische berging

TABLE 1: Waste retrievability stages, ease of retrieval, and specific elements of passive safety and active control.

Stage and Location of the Waste	Ease of Retrieval	Specific Elements of Passive Safety	Specific Elements of Active Control
1 Packaged waste in storage	Waste package retrievable by design	Waste form and its storage container	Active management of storage facility including security controlled area
2 Package in disposal cell*	Waste package retrievable by reversing the emplacement operation	Waste form and container Hundreds of meters of rock Engineered disposal cell	Active management (including monitoring) of disposal cells and disposal facility. Security controlled area
3 Package in sealed disposal cell	Waste package retrievable after underground preparations	As in previous stage, plus backfill/sealing of disposal cell	Monitoring of disposal cells possible. Active management of access ways to disposal cell seals. Security controlled area
4 Package in sealed disposal zone	Waste package retrievable after re-excavation of galleries	As in previous stage, plus backfill/sealing of cells and their access	Monitoring of disposal cells possible. Detailed records and institutional controls for at least several decades, including international safeguards.
5 Waste in closed repository	Waste package retrievable after excavating new accesses from surface. Ad-hoc facilities to be built to support retrieval.	Waste form and container Geology and man-made barriers ensure long term confinement of the waste within the underground facility.	Records keeping and maintenance. Regular oversight activities as long as possible, including monitoring, security controls and international safeguards.
6 Distant future evolution	Package degrading with time. Waste ultimately only recoverable by mining	Geology and man-made barriers Reduction in level of radioactivity.	Specific provisions for longer-term memory preservation, including site markers.

* Depending on the national programme and on the type of waste, the waste package emplacement room may be a vault, a cell, a section, etc. The term "cell" used here is generic to all these cases.

In Figuur 67 (253) wordt het verband gelegd tussen de fase van de berging en de kosten en de moeilijkheid van terugneembaarheid.

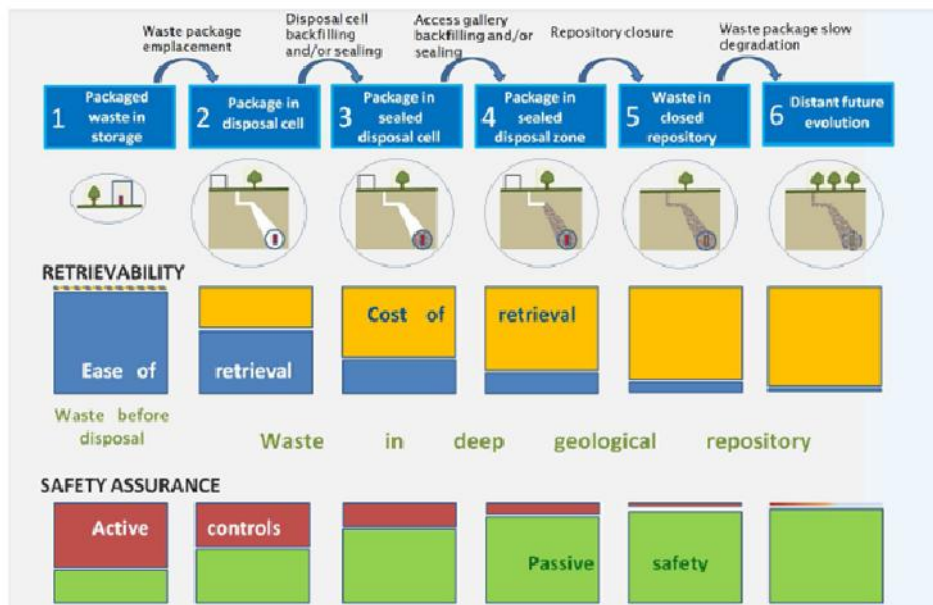


Fig. 4. Lifecycle stages of the waste, illustrating changing degree of retrievability, passive safety and active controls in a deep geological repository (actual size of boxes may vary depending on the repository design)

REVERSIBILITY AND RETRIEVABILITY APPLIED DURING THE OPERATIONAL PHASE OF A GEOLOGICAL REPOSITORY OF LONG-LIVED RADIOACTIVE WASTE TRANSLATE INTO PRACTICE A FLEXIBLE, PRECAUTIONARY APPROACH TO WASTE DISPOSAL. RETRIEVABILITY IS A MATTER OF DEGREE RATHER THAN OF THE PRESENCE OR ABSENCE OF THE POSSIBILITY TO RECOVER THE WASTE. EVEN THOUGH RETRIEVABILITY IS NOT PART OF THE LONG TERM SAFETY CONCEPT FOR DISPOSAL, THE WASTE CONTINUES TO BE RECOVERABLE, ALBEIT POSSIBLY AT GREAT EFFORT AND EXPENSE. RESEARCH AND

Figuur 67: Schematische voorstelling van terugneembaarheid in de verschillende fasen van geologische berging

9.7.3 De ethische principes van het IAEA

Het IAEA zorgde in 1997 voor het eerste verdrag inzake het beheer van radioactief afval (42). Enkele jaren later, in 2006, werd een nieuwe tekst gepubliceerd waarin 10 fundamentele veiligheidsprincipes (16) werden vastgelegd die van toepassing zijn op alle omstandigheden en activiteiten die stralingsrisico's inhouden. Deze principes zijn dus iets ruimer opgevat dan het beheer van radioactief afval en berusten meestal op voornoemde ethische principes.

9.7.3.1 De veiligheidsprincipes van het IAEA

Het IAEA onderzocht de ethische aspecten grondig en nam ze ook mee in de vele studies rond het onderwerp, onder meer in een studie over de mogelijkheid om opslagvoorzieningen op regionaal niveau te organiseren (254). De veiligheidsprincipes omvatten volgens het IAEA ook de verplichtingen die van toepassing zijn op het beheer van radioactief afval. De belangrijkste principes zijn (255):

- Verantwoordelijkheid voor veiligheid: deze berust bij de persoon of organisatie die verantwoordelijk is voor de installaties en activiteiten met stralingsrisico's
- Rol van de overheid: nood aan het ontwerpen van een efficiënt wettelijk en bestuurlijk kader voor veiligheid. Hiervoor moet een onafhankelijk regulerend orgaan opgericht en behouden worden.

- Veiligheidsbeleid: sites en activiteiten met stralingsrisico's moeten een efficiënt veiligheidsbeleid hebben
- Nood aan rechtvaardiging van siteselectie en andere activiteiten
- Optimalisatie van bescherming
- Bescherming van huidige en toekomstige generaties
- Preventie van ongevallen
- Voorbereid zijn en een antwoord hebben op mogelijke ongevallen

9.7.3.2 Intra- en intergenerationele billijkheid door publieke participatie

Een ander belangrijk punt voor het IAEA is dat landen de mogelijkheid tot publieke participatie moeten bieden. Deze visie houdt in dat beslissingen met een mogelijke impact op gezondheid, milieu en sociale structuren in overleg met mogelijke getroffen personen genomen moeten worden. Om deze stelling in te nemen baseert het IAEA zich op wat de Conventie van Aarhus zegt over duurzame ontwikkeling (256):

“In view of the long periods of time into the future that radioactive waste and spent fuel may have to be safely managed, sustainability considerations are relevant. There should therefore, be a focus on meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.”

9.7.3.3 De visie van het IAEA op terugneembaarheid

Recent publiceerde het IAEA een uitgebreide studie over terugneembaarheid in verschillende landen (192). Terugneembaarheid, omkeerbaarheid en flexibiliteit zijn belangrijke discussiepunten in de meeste landen door diverse sociale, economische en vooral ook ethische bezorgdheden (257), (136), (238).

Flexibiliteit heeft betrekking op de mate waarin men kan terugkomen op de in het verleden genomen beslissingen gedurende het proces van het beheer van radioactief afval.

Verwante begrippen zijn terugneembaarheid (Engels: retrievability) en omkeerbaarheid (Engels: reversibility), die doorgaans in deze context vooral aan argumenten van technische aard gekoppeld worden. Met omkeerbaarheid bedoelt men de technische mogelijkheid om het afval terug te halen uit de opslag- of bergingsinstallatie door gebruik te maken van dezelfde of gelijkaardige middelen waarmee men ze plaatste. Omkeerbaarheid kan dus niet meer gerealiseerd worden na de sluiting van een geologische bergingsinstallatie of een berging in diepe boorgaten. Terugneembaarheid is de mogelijkheid om het afval na sluiting van de opslag- of bergingsinstallatie terug te nemen. De recuperatie van het afval na de sluiting vereist specifieke uitrusting (258).

Flexibiliteit is een ruimer begrip: het gaat niet alleen over de terugneembaarheid of omkeerbaarheid van handelingen, maar ook van de beslissingen die aan de basis liggen van deze handelingen. Flexibiliteit is dus de mogelijkheid om de genomen acties in het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval terug te draaien. Met “terugdraaien” wordt bedoeld dat men de mogelijkheid heeft om één of meerdere stappen in de ontwikkeling van een beheeroptie ongedaan te maken. Dit impliceert dat men voorgaande beslissingen kan herzien of herevalueren en dat men over de technische middelen beschikt om de voorgaande stappen ongedaan te maken. In een vroeg stadium kan het gaan om het herzien van beslissingen betreffende de siteselectie of de keuze van een bepaalde uitvoeringsvariant. Gedurende de operationele fase kan het gaan om het voorzien van componenten in het beheersysteem die toelaten om het afval terug te nemen (259).

Het belangrijkste ethische aspect bij terugneembaarheid en flexibiliteit is de spanning tussen het voorzorgsprincipe en intergenerationele billijkheid. Aangezien het langdurig beschermen van de menselijke gezondheid en het milieu centraal staat in het ontwikkelen van een beheeroptie, moet men rekening houden met het voorzorgsprincipe (zie paragraaf 9.7.1.3). Terugneembaarheid zou een mogelijk middel zijn om dit voorzorgsprincipe te implementeren. Het is een voorzichtige houding ten opzichte van de onzekerheden betreffende het langetermijnperspectief van het beheer van radioactief afval. Maar tegelijk kan het voorzorgsprincipe in de weg staan van intergenerationele billijkheid. Het open houden van een bergingsinstallatie kan onevenredige lasten voor toekomstige generaties opleveren door onder meer negatieve impact op de veiligheid op korte en lange termijn en kostenimplicaties.

Het IAEA heeft hierover geen uitgesproken mening, maar vermeldt wel de mogelijke voor- en nadelen van terugneembaarheid en spoort ook aan om hierover uitgebreide studies te maken vooraleer er een beslissing genomen wordt.

Voordelen:

- Mogelijkheid om in de toekomst gebruik te maken van het afval als dat economisch haalbaar en technisch mogelijk is
- Mogelijkheid voor toekomstige generaties om het afval te beheren met nieuwe, betere technologieën
- Mogelijkheid om correcties uit te voeren als het beheer niet voldoet
- Mogelijkheid om toekomstige generaties zelf te laten beslissen over het beheer
- Voorzichtige aanpak voor de korte termijn

Nadelen:

- Het terugnemen van afval kan een negatieve invloed hebben op zowel de conventionele als de radiologische veiligheid. Scenario's met een relatief vroege sluiting van de installatie bieden meer veiligheid aan diegenen die betrokken zijn bij de operationele fase.
- De veiligheid op lange termijn wordt verminderd. Wanneer de kunstmatige barrières na een tijd degraderen, zorgt een niet afgesloten installatie voor meer stralingsrisico's.
- Onstabiele socio-economische en politieke situaties kunnen leiden tot het verwaarlozen van de installatie, zowel voor de sluiting als erna. Dit heeft negatieve implicaties voor veiligheid op lange termijn.
- Onzekerheden over het moment van de sluiting kunnen het moeilijker maken om de veiligheid te garanderen.
- De mogelijkheid van terugneembaar afval kan de keuze voor efficiënte veiligheidsmaatregelen compliceren.
- Terugneembaarheid weegt economisch zwaarder door de bijkomende kosten van de infrastructuur en de blijvende monitoring.

9.7.4 Beschrijving van de ethische aspecten

In deze paragraaf zal het ethische gezichtspunt beschreven worden aan de hand van waarden of principes die fungeren als criteria waarmee men kan beoordelen of een handeling of houding als ethisch rechtvaardig gekwalificeerd kan worden.

9.7.4.1 Ethische aspecten die gelijkaardig zijn voor alle beheeropties

Besluitvormingsproces

Intragenerationele billijkheid heeft ook betrekking op de billijkheid van het besluitvormingsproces. Dit heeft te maken met de vertegenwoordiging van gemeenschappen en met diegenen die de macht hebben om beslissingen te nemen.

De betrokkenheid van het publiek bij milieuvraagstukken is het voorwerp van het Verdrag van Aarhus dat door België op 21 januari 2003 werd geratificeerd (256). In het kader van de betrokkenheid van alle belanghebbenden bij beslissingen over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval heeft het Agentschap voor Kernenergie (NEA) van de OESO drie principes geformuleerd:

- De besluitvorming dient te gebeuren in stapsgewijze processen die de flexibiliteit verschaffen om zich aan te passen aan een wijzigende maatschappelijke context
- Een maatschappelijk leerproces dient aangemoedigd en vergemakkelijkt te worden
- De betrokkenheid van de bevolking in de besluitvorming dient aangemoedigd en vergemakkelijkt te worden

De timing van de uitvoering van de beheeropties is erg belangrijk. Het gaat namelijk om een incrementeel proces met een getrapte aanpak. Iedere fase van het proces biedt mogelijkheden om een publiek debat te voeren en beslissingen op beleidsniveau te nemen. Gedurende het proces zal wetenschappelijke informatie kunnen bijdragen tot een beter begrip van de beheeroptie.

Volgens het aspect welzijn en volgens de utilitaristische rechtvaardigheidstheorie zou men kunnen stellen dat sleutelbeslissingen geratificeerd moeten worden door democratisch verkozen organen. Wanneer sleutelbeslissingen genomen worden, moet men de inclusiviteit en de integriteit van het proces kunnen garanderen, zoals dat hoort in een democratische samenleving. Daarnaast kan de kwestie van de vertegenwoordiging van de gastgemeenschappen verder meegenomen worden in het implementatieproces.

Toch is het ontwerpen van rechtvaardige beslissingsprocessen niet zonder problemen. Een grote moeilijkheid ontstaat door de veronderstelling dat de beslissing genomen wordt tijdens de discussies met stakeholders. Sowieso zijn er partijen die niet direct betrokken worden in deze discussies, waarvan de belangen toch meegenomen moeten worden. Voor deze partijen moeten oplossingen gezocht worden voor representatie. Deze oplossing kan worden geboden door het in acht nemen van ethische principes en aspecten van rechtvaardigheid.

Transport

Het transport van radioactief afval wordt als gevaarlijk ervaren omdat ongevallen een risico vormen voor de menselijke gezondheid en omdat de beveiliging tegen terrorisme moeilijk kan verzekerd worden (150). Rekening houdend met het welzijn en dus de veiligheid zou men kunnen stellen dat het afval opgeslagen moet worden op de sites waar het zich nu bevindt.

Deze visie op transport kan verlaten worden als men op een andere manier beter denkt rekening te houden met het welzijnsaspect. Men kan immers ook stellen dat de veiligheid het beste gegarandeerd kan worden door de site in een verlaten of dunbevolkt gebied te lokaliseren; de risico's van het transport wegen dan minder zwaar. Wanneer er rekening gehouden wordt met de typeomgevingen uit paragraaf 5.3.2, kan men stellen dat stedelijke gebieden geen voorkeur genieten.

Merk op dat er in de toekomst onvermijdelijk nog volksverhuizingen zullen zijn. Gebieden die vandaag dunbevolkt zijn, zullen dus in de toekomst mogelijk wel meer bewoning kennen. Bovendien zijn er in België weinig dunbevolkte gebieden, dus stelt zich de vraag of hiermee überhaupt rekening gehouden kan worden.

Compenseren van gemeenschappen

Het basisprincipe is hier de intragenerationele billijkheid. Dit principe gaat ervan uit dat het onrechtvaardig is om bepaalde individuen of groepen binnen deze generatie meer lasten te doen dragen dan andere. Om het ethische gezichtpunt te bepalen, kunnen enkele aspecten van het principe intragenerationele billijkheid belicht worden:

- Pariteit: het delen van de lasten tussen verschillende plaatsen
- Proportionaliteit: diegenen die de voordelen krijgen, moeten ook de lasten dragen
- Verantwoordelijkheid: indien mogelijk kan men het afval beheren op een site die reeds verantwoordelijkheid draagt
- Waardigheid en autonomie: participatie in het beslissingsproces en aandacht voor kwetsbare gemeenschappen
- Welzijn: compenseren van gemeenschappen. Er wordt uitgegaan van het utilitaire principe dat het grootst mogelijke voordeel aan zo veel mogelijk mensen gegeven moet worden. Dit betekent dat de site bij voorkeur in een dunbevolkte regio gezocht moet worden, of dat men beter het afval beheert waar het zich nu bevindt om transport te vermijden. Een andere aanpak kan zijn dat men de site zoekt die de grootste publieke ondersteuning en aanvaarding geniet.

De conclusie is dat rechtvaardigheid in verband met het bepalen van een site enkel bereikt kan worden als men het welzijn van het publiek voor ogen houdt. Er moet voor gezorgd worden dat de site gekozen wordt op basis van bereidheid om te participeren. De betrokken gemeenschappen moeten het recht behouden om zich terug te trekken in de loop van de zoektocht naar een site.

Wanneer een gemeenschap bereid is om te participeren in het siteselectieproces rijzen opnieuw ethische issues met betrekking tot de compensatie. De verantwoordelijkheid moet gedragen worden in naam van de hele maatschappij. De compensatie mag niet gezien worden in termen van financiële beloning, omdat dit ingaat tegen het idee om niet de meest kwetsbaren te belasten. Ze moet eerder in de bredere context van het ontwikkelen van een regio nu en in de toekomst beschouwd worden.

9.7.4.2 Eeuwigdurende opslag

Vorzorgsprincipe

Bij actief beheer kunnen voorzorgsmaatregelen zodanig uitgevoerd worden dat ze in regel zijn met het proportionaliteitsbeginsel.

Eeuwigdurende opslag gaat echter uit van de veronderstelling dat er in de toekomst samenlevingen zullen zijn die de nodige veiligheid en institutionele stabiliteit kunnen verzekeren. Er bestaat ook een natuurlijke tendens in de samenleving dat men gewend raakt aan het bestaan en de nabijheid van opslaginstallaties. Zo kan men trapsgewijs de verbonden risico's gaan negeren en nalaten om de installatie behoorlijk te monitoren.

Duurzaamheidsprincipe

Vandaag bestaan de kennis en de capaciteit om een definitieve oplossing te ontwikkelen die de lasten van het beheer voor de toekomstige generaties minimaliseert. Daarom is het rechtvaardig om nu een definitieve oplossing te kiezen.

Langdurige of eeuwigdurende opslag is in lijn met duurzame ontwikkeling, aangezien het gelijke mogelijkheden zou geven aan toekomstige generaties. Deze visie komt voort uit het idee dat de huidige generatie de verantwoordelijkheid heeft om de volgende generatie te voorzien van de deskundigheid, bronnen en mogelijkheden om met de problemen om te gaan die de huidige generatie doorgeeft.

Eeuwigdurende opslag is echter moeilijk te verzoenen met het efficiënt gebruiken van hulpbronnen. Om de 100 à 300 jaar moet de opslaginstallatie volledig herbouwd worden. Dat levert niet enkel bijkomend afval op, maar het brengt ook significante kosten met zich mee.

Deze beheeroptie is ook problematisch t.o.v. het aspect “verminderende verantwoordelijkheid”. Deze vorm van verantwoordelijkheid heeft de visie dat de samenleving meer belang hecht aan de eerstvolgende generatie omdat zij er invloed op kan uitoefenen en er belang bij heeft. Verantwoordelijkheid is echter moeilijk vol te houden voor de zeer verre toekomst.

Intragerationele billijkheid

Het verantwoordelijkheidsprincipe wordt vertaald in het principe “de vervuiler betaalt”. De verantwoordelijkheid voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval ligt bij diegenen die voordelen ondervonden van kernenergie. Op dit moment nemen de producenten hun verantwoordelijkheid door de bijdrage aan provisies voor het langetermijnbeheer. Dit moet ervoor zorgen dat er geen lasten naar toekomstige generaties overgedragen worden. Het is echter moeilijk om alle toekomstige economische en maatschappelijke kosten voor de bouw van nieuwe opslaginstallaties nu in rekening te brengen, waardoor deze optie als minder rechtvaardig beschouwd kan worden voor wat betreft het principe “de vervuiler betaalt”.

Deze beheeroptie voldoet wel aan het ethische gezichtspunt van pariteit, proportionaliteit en welzijn.

Intergenerationele billijkheid

De keuze voor actief beheer veronderstelt in de eerste plaats een flexibele beheeroptie. Daardoor voldoet deze optie aan de ethische benadering m.b.t. waardigheid en autonomie (zie de beschrijving van intergenerationele billijkheid in paragraaf 9.7.1.3). De toekomstige generaties zijn verzekerd van de mogelijkheid om hun eigen keuzes te maken. Er wordt rekening gehouden met de overdracht van verantwoordelijkheden. Deze generatie draagt dan de middelen en nodige vaardigheden over aan de volgende generatie.

Met betrekking tot het idee van pariteit wordt soms gesteld dat terugneembaarheid verzekerd moet worden in het kader van de veiligheid. Als er zich problemen voordoen, moet er immers ingegrepen kunnen worden. Bovendien zorgt actief beheer ervoor dat de kennis bewaard moet blijven en behoudt de beheeroptie en een zekere visibiliteit.

Deze visie doet echter afbreuk aan het ethische concept van proportionaliteit van risico's en het welzijn van de gemeenschap. Volgens de gevolgenethiek is het minimaliseren van de schadelijke effecten van radioactief afval in de vorm van pijn, ziekte en dood voor alle

betrokkenen, inclusief toekomstige generaties, de fundamentele kwestie die hier geldt. De voorkeur moet dus uitgaan naar veiligheid.

Tussen de bouw en exploitatie van een opslaginstallatie en het vrijkomen van radionucliden bevinden er zich mogelijk honderden intermediaire generaties. De verantwoordelijkheid tot aan de laatste generatie die schade kan ondervinden van het radioactief afval zal niet alleen afhangen van de huidige generatie, maar ook van alle intermediaire toekomstige generaties. Daarom moet men rekening houden met mogelijk instabiele maatschappelijke omstandigheden in de toekomst en kan men er niet van uitgaan dat de toekomstige generaties over voldoende kennis over (het beheer van) hoogradioactief en/of langlevend afval zullen beschikken. Bovendien is het niet zeker dat de technologische kennis op het huidige niveau blijft en er voor eeuwigdurende opslag voldoende fondsen beschikbaar zullen blijven om de monitoring te verzekeren.

Voor actief beheer is dus een minimale politieke stabiliteit vereist. Aangezien deze stabiliteit niet gegarandeerd kan worden op lange termijn, voldoet deze beheeroptie niet aan de ethische aspecten van proportionaliteit en welzijn.

De keuzevrijheid kan overigens ook niet ondersteund worden door het concept van proportionaliteit. Aangezien de gevolgen van het niet of verkeerd ingrijpen bij problemen veel groter zijn bij actief beheer, beperkt dit de keuzevrijheid van toekomstige generaties mogelijk onomkeerbaar. De keuze voor een passieve beheeroptie kan moeilijker worden na problemen met het actieve beheer.

9.7.4.3 Geologische berging

Vorzorgsprincipe

Deze beheeroptie komt volledig tegemoet aan het voorzorgsprincipe, want ze zorgt ervoor dat er geen onomkeerbare schade aangericht kan worden. Het systeem herstelt zichzelf en de natuurlijke barrière (de gastformatie) biedt extra veiligheid.

Duurzaamheidsprincipe

Vandaag is er de kennis en de capaciteit om een definitieve oplossing te ontwikkelen die de lasten van het beheer wegneemt voor de toekomstige generaties. Daarom is het rechtvaardig om nu een definitieve oplossing te kiezen. Een aantal landen (o.a. Zweden) halen dit argument aan als rechtvaardiging voor de keuze voor een passieve beheeroptie voor de lange termijn (zie Bijlage B).

Intragegenerationele billijkheid

Het verantwoordelijkheidsprincipe wordt vertaald in het principe “de vervuiler betaalt”. De verantwoordelijkheid voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval ligt bij diegenen die voordelen ondervonden van kernenergie. Op dit moment nemen de producenten hun verantwoordelijkheid door de bijdrage aan provisies voor het langetermijnbeheer. Dit moet ervoor zorgen dat er geen lasten naar toekomstige generaties overgedragen worden. Doordat er echter nog geen definitieve beheeroptie gekozen is, is dit moeilijk te garanderen.

Met de vervuiler bedoelt men meestal de producenten van kernenergie, maar dit kunnen bv. ook de consumenten van kernenergie, de producenten van uitrustingen en materialen of de gemeenten met kerncentrales zijn. Vanuit dit ethisch gezichtspunt kan men stellen dat er een gemeenschappelijke verantwoordelijkheid of een allocatie van de verantwoordelijkheid naar het nationale niveau opgenomen moet worden. Vanuit een idee van voortdurende

verantwoordelijkheid kan men stellen dat de lasten van het beheer niet doorgegeven mogen worden aan volgende generaties; het afval moet vandaag definitief geborgen worden.

Intergenerationele billijkheid

Volgens het verantwoordelijkheidsprincipe mag een strategie voor het langetermijnbeheer niet gebaseerd zijn op de veronderstelling dat er steeds een stabiele maatschappelijke structuur zal blijven bestaan in de toekomst, noch dat er blijvend technologische vooruitgang zal gemaakt worden. De strategie moet zich eerder richten op het bereiken van een passieve veiligheidssituatie die geen actieve institutionele controle meer vereist.

Volgens het principe van intergenerationele billijkheid kan men stellen dat het omwille van de veiligheid noodzakelijk is om ervoor te zorgen dat het radioactief afval geborgen wordt. Het afval moet geïsoleerd worden van mens en milieu, zodat de mens er niet meer mee in contact kan komen, of het nu opzettelijk is of niet.

Bij geologische berging is de autonomie en dus de keuzevrijheid voor toekomstige generaties slechts beperkt. Zo is terugneembaarheid wel mogelijk, maar nemen de moeilijkheidsgraad en de kosten sterk toe wanneer de toegangsschachten opgevuld zijn en de installatie volledig afgesloten is.

Sommigen stellen dat men zich moet hoeden voor het fenomeen “uit het oog, uit het hart”. De kennis over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval kan verloren gaan en passieve beheeropties zijn minder zichtbaar, waardoor de betekenis van de locatie vergeten kan worden. Toch moet men er rekening mee houden dat ook passieve beheersystemen nog gedurende enkele honderden jaren na sluiting van de site gemonitord kunnen worden om alle risico's uit te sluiten (233). Er bestaat ook een natuurlijke tendens in de samenleving dat men gewend raakt aan het bestaan en de nabijheid van beheerinstallaties. Zo kan men trapsgewijs de verbonden risico's gaan negeren en nalaten om de installatie behoorlijk te beheren. Bij actieve beheersystemen houdt dit veel meer risico's in dan bij de passieve variant, aangezien deze laatste zichzelf kan herstellen.

9.7.4.4 Berging in diepe boorgaten

Voorzorgsprincipe

Deze beheeroptie zorgt ervoor dat er geen onherstelbare schade aangericht kan worden, omdat het systeem zichzelf kan herstellen. De beheeroptie stemt ook overeen met het proportionaliteitsbeginsel, maar biedt niet dezelfde mate van technologische en methodologische zekerheid als geologische berging doordat er veel minder onderzoek uitgevoerd is over berging in diepe boorgaten.

Duurzaamheidsprincipe

Vandaag is er de kennis en de capaciteit om een definitieve oplossing te ontwikkelen die de lasten van het beheer wegneemt voor de toekomstige generaties. Daarom is het rechtvaardig om nu een definitieve oplossing te kiezen. Een aantal landen (o.a. Zweden) halen dit argument aan als rechtvaardiging voor de keuze voor een passieve beheeroptie voor de lange termijn (zie Bijlage B).

Intragegenerationele billijkheid

Hiervoor kan hetzelfde ethische gezichtspunt worden geformuleerd als voor geologische berging (zie paragraaf 9.7.4.3).

Intergenerationele billijkheid

Hiervoor kan hetzelfde ethische gezichtspunt worden geformuleerd als voor geologische berging (zie paragraaf 9.7.4.3).

9.7.4.5 Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden

Vorzorgsprincipe

Deze beheeroptie is in strijd met het voorzorgsprincipe dat omgaan met risico's rechtvaardiger maakt. Voorzorgsmaatregelen maken het mogelijk om beslissingen te nemen, ook wanneer er nog een mate van wetenschappelijke of methodologische onzekerheid is. Door het uitstellen van de beslissing bestaat het risico om onomkeerbare schade aan te richten.

De focus op risico's die deze optie zou rechtvaardigen, kan moeilijk ethisch onderbouwd worden. De focus op risico's zorgt ervoor dat men zich vooral richt op de lasten, terwijl met die lasten een aantal voordelen samenhangen. Vaak worden bij de focus op de lasten ook vooral de directe lasten voor een beperkt aantal betrokkenen in rekening gebracht, terwijl men de voordelen beschouwt als iets dat gelijkmatig over de samenleving verdeeld moet worden (233). Op dezelfde manier dienen deze risico's bekeken te worden naar volgende generaties toe. Tenslotte dient men bij het in rekening brengen van bepaalde risico's in het achterhoofd te houden dat het vandaag nemen van kleine risico's ons ervoor kan behoeden om in de toekomst blootgesteld te worden aan grotere risico's.

Duurzaamheidsprincipe

Deze beheeroptie stemt overeen met de antropocentrische visie op het duurzaamheidsprincipe. Ze streeft naar meer welzijn en efficiënt gebruik van de beschikbare hulpbronnen en kennis. Technologische vooruitgang kan leiden tot betere beheeropties. Uitstellen van de keuze over een definitieve beheeroptie kan het maatschappelijk draagvlak vergroten en zorgen dat de meest duurzame oplossing wordt gekozen. Daar staat tegenover dat er lasten doorgeschoven worden naar de volgende generaties.

Niet-definitieve beheeropties betekenen dat men opteert om later te beslissen. Deze visie reflecteert het ethische principe van waardigheid en autonomie, waarbij keuzevrijheid van toekomstige generaties belangrijk is. Dit ethische gezichtspunt erkent zowel de rechten van toekomstige generaties als een verantwoordelijkheid van het heden. Zo kan men vandaag alle informatie verschaffen op basis waarvan men in de toekomst zijn verantwoordelijkheid kan nemen. Deze generatie kan zo geen onomkeerbare beslissingen nemen die ervoor zorgen dat toekomstige generaties echte keuzes ontnomen worden.

Intragegenerationele billijkheid

Deze beheeroptie heeft een grote mate van aanpasbaarheid en kan daardoor reageren op nieuwe kennis. Ze veronderstelt dat er nu nog te grote technische en methodologische onzekerheden zijn om reeds te beslissen. Zij gaat ervan uit dat er in de toekomst onvermijdelijk nieuwe kennis zal ontstaan die misschien betere oplossingen kan bieden.

Het niet-definitieve karakter van deze beheeroptie onderschrijft het ethische aspect van welzijn. Door het uitstellen van de beslissing kan er een groter draagvlak gezocht worden om de definitieve beslissing te ondersteunen. Op die manier kunnen meer mensen betrokken worden bij het beslissingsproces.

Als de huidige generatie de constructie van installaties voor langetermijnbeheer uitstelt omdat ze wacht op nieuwe technologie, of omdat tijdelijke opslag goedkoper is, dan wordt de verantwoordelijkheid voor echte actie doorgegeven, waardoor dit als onethisch gezien kan worden. Deze opties gaan in tegen de benadering van verantwoordelijkheid, die stelt dat de huidige generatie een oplossing moet vinden voor een probleem dat ze zelf gecreëerd heeft.

Intergenerationele billijkheid

Dit principe is niet van toepassing voor de niet-definitieve beheeropties.

9.7.4.6 Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

Hiervoor kan hetzelfde ethische gezichtspunt worden geformuleerd als voor langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden (zie paragraaf 9.7.4.5).

9.7.4.7 Status quo-optie

Voorzorgsprincipe

Als er oplossingen voorhanden zijn, moeten we volgens het voorzorgsprincipe doen wat we kunnen doen. Op lange termijn is de status quo-optie dus in strijd met de milieuwetgeving die het voorzorgsprincipe bevat. Die wetgeving stelt dat wanneer mogelijk sprake kan zijn van ernstige effecten op het milieu, maatregelen moeten worden genomen, ook al is er nog sprake van een beperkte mate van wetenschappelijke onzekerheid

Duurzaamheidsprincipe

De status quo-optie houdt in dat men ervoor kiest om nu niet te beslissen. Deze visie reflecteert het ethische principe van waardigheid en autonomie, waarbij keuzevrijheid belangrijk is. Deze positie erkent zowel de rechten van toekomstige generaties als een vorm van verantwoordelijkheid van het heden. Zo kan men vandaag alle informatie verschaffen op basis waarvan men in de toekomst zijn verantwoordelijkheid kan nemen.

Toch is de huidige oplossing behouden is geen duurzame oplossing. Het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval betreft het beheer van goederen en handelingen van het type "eerst voordelen, later kosten". Bovendien mag men verwachten dat iedere generatie geneigd is om goederen met "eerst voordelen" overvloedig te consumeren, terwijl goederen die "later voordelen" opleveren niet voldoende geconsumeerd worden. Op die manier zijn er geen spill-over-voordelen voor volgende generaties. Daarom is deze optie in strijd met pariteit, proportionaliteit en welzijn.

Intragegenerationele billijkheid

De huidige opslag wordt voortgezet op de bestaande sites. Voor de huidige generatie verandert er dus in de praktijk niets aan de verdeling van de lusten en de lasten van het beheer.

Intergenerationele billijkheid

Dit principe is niet van toepassing voor de niet-definitieve beheeropties.

9.7.5 Beoordeling van de ethische aspecten

In Tabel 53 wordt een overzicht gegeven van de beoordeling van de ethische aspecten voor de verschillende beheeropties.

Tabel 53: Beoordeling van de ethische aspecten

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Vorzorgsprincipe	- Vorzorgsmaatregelen kunnen zodanig uitgevoerd worden dat ze in regel zijn met het proportionaliteitsbeginsel. Toch bestaat er een risico om onomkeerbare schade aan te richten wanneer het actief beheer wegvalt.	+++ Deze beheeroptie zorgt ervoor dat er geen onomkeerbare schade aangericht kan worden omdat het systeem op passieve wijze de veiligheid garandeert. Dit stemt overeen met de interpretatie van het proportionaliteitsbeginsel in internationale verdragen en in de Belgische wetgeving.	+ Deze beheeroptie zorgt ervoor dat er geen onomkeerbare schade aangericht kan worden omdat het systeem op passieve wijze de veiligheid garandeert. Dit stemt overeen met de interpretatie van het proportionaliteitsbeginsel in internationale verdragen en in de Belgische wetgeving. De technologische en methodologische zekerheid is minder groot dan bij geologische berging.	-- Het voorzorgsprincipe maakt het omgaan met risico's rechtvaardiger en maakt het mogelijk om beslissingen te nemen, ook wanneer er nog wetenschappelijke onzekerheid is. Deze beheeropties gaan hieraan voorbij, waardoor het risico bestaat om onomkeerbare schade aan te richten door het uitstellen van de beslissing.	--- Vergroot de risico's op korte termijn en is zelfs in strijd met milieuwetgeving op lange termijn.
Duurzaamheidsprincipe	-- Periodiek herbouwen van de opslaginstallatie draagt niet bij tot duurzaam gebruik van hulpbronnen. Monitoring kan bijdragen tot het doorgeven van kennis, maar worstelt met verminderde verantwoordelijkheid.	+++ Lasten worden niet naar volgende generaties overgedragen.	+++ Lasten worden niet naar volgende generaties overgedragen.	- Nieuwe technologieën kunnen zorgen voor afname van de hoeveelheid afval, maar kunnen het niet volledig elimineren. Er moet nog een duurzame definitieve oplossing gekozen worden. Dit betekent een last voor de toekomstige generaties.	--- De huidige oplossing behouden is geen duurzame oplossing.

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Intragenerationele billijkheid	<p>+</p> <p>Stemt overeen met het verantwoordelijkheidsprincipe. De nood aan periodiek herbouwen van de opslaginstallaties is niet in overeenstemming met de ruime opvatting van het principe "de vervuiler betaalt" door de moeilijkheid om de kosten te berekenen.</p>	<p>++</p> <p>Stemt overeen met het verantwoordelijkheidsprincipe. Komt ook tegemoet aan de ruime opvatting van het principe "de vervuiler betaalt".</p>	<p>++</p> <p>Stemt overeen met het verantwoordelijkheidsprincipe. Komt ook tegemoet aan de ruime opvatting van het principe "de vervuiler betaalt".</p>	<p>-</p> <p>De verantwoordelijkheid wordt doorgegeven. Er is een grote flexibiliteit, wat tegemoetkomt aan waardigheid en autonomie.</p> <p>Wachten op een definitieve beheeroptie kan het draagvlak vergroten, waardoor er een grotere betrokkenheid is bij het beslissingproces.</p>	<p>0</p> <p>Voor de huidige generatie blijft de situatie dezelfde.</p>
Intergenerationele billijkheid	<p>-</p> <p>Er wordt wel flexibiliteit geboden aan de toekomstige generaties, maar die is beperkt door de hogere risico's. De beheeroptie voldoet niet aan de vereiste proportionaliteit en welzijn (veiligheid) op lange termijn omdat het systeem zichzelf niet kan herstellen.</p>	<p>++</p> <p>Voldoet aan het welzijnsprincipe en het verantwoordelijkheidsprincipe: de veiligheid wordt op passieve wijze gegarandeerd en er wordt niet gerekend op maatschappelijke stabiliteit in de toekomst. De huidige generatie beslist om alle lasten op zich te nemen en baten over te dragen.</p>	<p>+</p> <p>Gelijkaardig met geologische berging, maar minder methodologische en technologische zekerheid.</p>	<p>(Niet van toepassing: geen definitieve beheeroptie)</p>	<p>(Niet van toepassing: geen definitieve beheeroptie)</p>

9.8 Beveiliging en safeguards

De aspecten beveiliging en safeguards nemen in deze SEA een bijzondere plaats in. Het zijn immers geen effecten van het beheer van radioactief afval. Het zijn belangrijke vereisten voor de beheeropties, die bijgevolg belangrijke aandachtspunten kunnen zijn bij het nemen van de principebeslissing.

9.8.1 Methodiek

Beveiliging

Voor de beschrijving en beoordeling van het aspect beveiliging wordt er nagegaan in welke mate de verschillende beheeropties effectief beveiligd kunnen worden tegen de gevolgen van diefstal van nucleair materiaal of sabotage van nucleair materiaal of nucleaire installaties. Punten die bij de beschrijving aan bod komen, zijn o.a.:

- De aantrekkelijkheid of vatbaarheid voor kwaadwillige acties
- De mogelijke radiologische gevolgen
- De mogelijke beveiligingsmaatregelen

Hieruit wordt dan per beheeroptie een globaal expertenoordeel over het aspect beveiliging afgeleid.

Voor de korte termijn wordt telkens een vergelijking gemaakt met het nulalternatief, d.w.z. de status quo-optie. Aangezien de operationele fase een aantal stappen omvat die dezelfde zijn ongeacht de beheeroptie (bv. transport, post-conditionering), zullen de verschillen tussen de beheeropties niet zo groot zijn.

Het is zinvol om het aspect beveiliging ook op lange termijn te bestuderen omdat kwaadwillige acties tegen beheeropties voor hoogradioactief en/of langlevend afval ook na zeer lange tijd nog radiologische gevolgen zouden kunnen hebben. Voor de lange termijn is er geen nulalternatief (zie paragraaf 7.2.3) en worden de beheeropties actief beheer en passief beheer enkel onderling vergeleken.

De effectbeoordeling gebeurt in de vorm van een kwalitatief expertenoordeel, onderbouwd door de relevante literatuur.

Safeguards

Het aspect safeguards wordt beschreven en beoordeeld door te onderzoeken in welke mate de verschillende beheeropties effectieve en efficiënte safeguards-inspecties toelaten. Punten die bij de beschrijving aan bod komen, zijn o.a.:

- De mogelijkheden voor het afleiden van nucleair materiaal naar niet-gedeclareerde nucleaire activiteiten
- De mogelijke technieken voor safeguards-inspecties

Hieruit wordt dan per beheeroptie een globaal expertenoordeel over het aspect safeguards afgeleid.

De mogelijke gevolgen van falende safeguards worden hier niet besproken. In het slechtste geval leidt dit tot het gebruik van nucleair materiaal voor de vervaardiging van een kernbom en wordt deze daadwerkelijk tot ontploffing gebracht. De gevolgen voor o.a. de menselijke

gezondheid en de maatschappij zijn in dat geval zeer ernstig, maar dit valt buiten de scope van deze SEA. Bovendien is deze impact dezelfde voor alle bestudeerde beheeropties.

Voor de korte termijn wordt telkens een vergelijking gemaakt met het nulalternatief, d.w.z. de status quo-optie. Aangezien de operationele fase een aantal stappen omvat die dezelfde zijn ongeacht de beheeroptie (bv. transport, post-conditionering), zullen de verschillen tussen de beheeropties niet zo groot zijn.

Het is zinvol om het aspect safeguards ook op lange termijn te bestuderen omdat er in de safeguards agreement met het IAEA (68) geen einddatum gegeven wordt, zodat de ondertekenende landen mogelijk ook op de lange termijn nog safeguards zullen moeten accepteren.

Voor de lange termijn is er geen nulalternatief (zie paragraaf 7.2.3) en worden de beheeropties actief beheer en passief beheer enkel onderling vergeleken.

De effectbeoordeling gebeurt in de vorm van een kwalitatief expertenoordeel, onderbouwd door de relevante literatuur.

9.8.2 Aannames

We gaan uit van de veronderstelling dat bestraalde splijtstof ook het voorwerp zal uitmaken van het langetermijnbeheer door NIRAS. Dit betekent dat de beheeropties onderworpen zijn aan safeguards (72). Bestraalde splijtstof wordt in categorie II ingedeeld volgens het Verdrag over de fysieke bescherming van nucleair materiaal (62). De definitie van nucleair materiaal van categorie II en de vereiste maatregelen van fysieke bescherming worden kort beschreven in paragraaf 6.10.1.

Ander radioactief afval kan ook onderworpen blijven aan de vereisten van safeguards en beveiliging, naargelang de hoeveelheid en de vorm van de aanwezige splijtstoffen (zie paragraaf 6.10.2). De vraag naar safeguards en beveiliging stelt zich echter eerst en vooral voor de bestraalde splijtstof.

We veronderstellen dat de beheeropties volledig afgestemd zijn op safeguards en op een beveiliging in overeenstemming met op de risico's verbonden aan nucleair materiaal van categorie II.

9.8.3 Beschrijving voor de korte termijn

Hieronder worden eerst de beveiligingsaspecten en de safeguards van post-conditionering en transport besproken. Deze activiteiten bevinden zich bovengronds en zijn dezelfde voor alle beheeropties. Daarna volgt een bespreking per beheeroptie die zich concentreert op de activiteiten en installaties die wel onderscheidend zijn, namelijk de opslaginstallatie, de geologische bergingsinstallatie of de diepe boorgaten.

9.8.3.1 Transport en post-conditionering

Voor het aspect safeguards is de post-conditioneringsinstallatie het meest relevant. Voor het aspect beveiliging worden de post-conditionering en het transport beschouwd.

Beveiliging

Transport wordt door het IAEA beschouwd als de fase waarin nucleair materiaal het meest kwetsbaar is voor diefstal of sabotage (63). De aantrekkelijkheid van een transport van

radioactief afval als doelwit voor kwaadwillige activiteiten hangt af van het motief van de groep in kwestie (150), (260), (261):

- Diefstal van een afvalcontainer tijdens het transport met het oog op het fabriceren van een kernbom wordt onwaarschijnlijk geacht wegens de omvang en het gewicht van de afvalcontainers.
- Het veroorzaken van dood en vernieling in de omgeving is een ander mogelijk motief, dat echter moeilijk te bereiken is door een aanval op een transport van radioactief afval. Een aanval met zware wapens zou wel kunnen leiden tot het vrijkomen van een beperkte hoeveelheid bestraalde splijtstof in de vorm van kleine deeltjes die door de mens ingeademd kunnen worden.
- Als het doel is om publieke angst te veroorzaken, kan een transport van radioactief afval wel een aantrekkelijk doelwit zijn, aangezien een aanval zich op het publieke domein voordoet.

In de IAEA-aanbevelingen (63) worden een aantal maatregelen voorgesteld om de beveiliging tijdens het transport te verzekeren, o.a. minimaliseren van het aantal en de duur van de transporten, vermijden van regelmatige transportuurroosters en beperken van de voorkennis over het transport tot zo weinig mogelijk personen. Ook de keuze van de transportmodus speelt een rol. Transport over het spoor is gemakkelijker te beveiligen dan wegtransport doordat de toegang van het publiek tot spoorlijnen beperkt is en doordat het vervoer beter te controleren is (150).

Een installatie voor post-conditionering is weinig aantrekkelijk als doelwit voor kwaadwillige activiteiten (150), (260):

- De aanwezige hoeveelheid bruikbaar nucleair materiaal (in de praktijk: bestraalde splijtstof die nog geen post-conditionering ondergaan heeft) is klein in vergelijking met de hoeveelheid in kerncentrales of opslaginstallaties. Daarom wordt diefstal onwaarschijnlijk geacht.
- Om diezelfde reden biedt een installatie voor post-conditionering weinig mogelijkheden voor het veroorzaken van dood en vernieling in de omgeving.
- Voor het veroorzaken van publieke angst is een installatie voor post-conditionering een minder aantrekkelijk doelwit dan bv. een kerncentrale of een transport van radioactief afval.

Het IAEA beveelt aan om bij het ontwerp van nucleaire installaties een "Design Basis Threat" (DBT) te definiëren op basis van een evaluatie van het risico van diefstal of sabotage. De DBT omvat een aantal scenario's waartegen de installatie bestand moet zijn (63). Hoewel het risico bij een post-conditioneringsinstallatie minder groot is dan bij een kerncentrale of een opslaginstallatie, zou de installatie toch voorzien kunnen worden van gelijkaardige beveiligingsmaatregelen, met als doel om potentiële indringers te ontmoedigen. Voorbeelden zijn dubbele en verstevigde barrières aan de toegangen, dubbele omheiningen, bewaking met closed circuit TV en controle van in- en uitgaande voertuigen en personeel (150).

Safeguards

Er wordt uitgegaan van een generieke beschrijving van een post-conditioneringsinstallatie (262). Wanneer de bestraalde splijtstof in de installatie aankomt, wordt ze indien nodig tijdelijk opgeslagen. Na inspectie wordt de transportcontainer geopend en wordt de bestraalde splijtstof eruit gehaald en eventueel geconditioneerd. Ze wordt in een bergingscontainer geplaatst en omgeven met opvulmateriaal. De bergingscontainer wordt gesloten, dichtgelast, geïnspecteerd, in een transportcontainer geplaatst en naar de bergingsinstallatie vervoerd.

Op basis van deze beschrijving kunnen een aantal mogelijkheden geïdentificeerd worden voor afleiding van nucleair materiaal uit een installatie voor post-conditionering (263), (264).

- Het afleiden van een volledige container kan tijdens het transport naar de installatie gebeuren, maar wordt veel moeilijker zodra de container zich in de installatie bevindt doordat de ruimte beperkt is.
- Op het moment dat de transportcontainer geopend wordt en de bestraalde splijstof eruit gehaald wordt, kan men een deel van de bestraalde splijstof in de container laten en de “lege” container wegbrengen.
- Een cruciale fase is de (optionele) conditionering van de bestraalde splijstofelementen. De twee mogelijkheden voor conditionering van bestraalde splijstof zijn ofwel de conditionering van de brandstofbundels in hun geheel, ofwel het uit elkaar halen van de brandstofbundels. Deze tweede mogelijkheid is echter niet voorzien.
- Wanneer de (eventueel geconditioneerde) bestraalde splijstof in de bergingscontainer geplaatst wordt, kan er eveneens materiaal afgeleid worden.
- Vanaf het moment dat de bergingscontainer gesloten wordt, is rechtstreekse toegang tot de bestraalde splijstof praktisch onmogelijk. Het afleiden van een volledige container is dan de enige mogelijkheid.

Beschadigingen aan de containers, inconsistenties in de gemeten dosisdebieten, deels gevulde containers, beschadigingen aan bestraalde splijstofelementen, niet-gedeclareerde toegangen tot de installatie of niet-gedeclareerde handelingen kunnen wijzen op een (poging tot) afleiding van nucleair materiaal tijdens de post-conditionering (263), (264).

Safeguards-inspecties in een post-conditioneringsinstallatie kunnen gebeuren met gekende technieken en stellen weinig problemen. Er dient wel opgemerkt te worden dat het zeer moeilijk wordt om de bergingscontainers met bestraalde splijstof te inspecteren nadat ze gesloten zijn. Daarom zijn zogenaamde “containment and surveillance”-maatregelen aangewezen. Bij dit soort maatregelen wordt het nucleair materiaal niet rechtstreeks geïnspecteerd, maar wordt de container verzegeld en wordt er gecontroleerd of het zegel intact blijft. Op die manier overtuigt men zich ervan dat er niet aan het nucleair materiaal in de container geraakt is. Dit wordt “continuity of knowledge” genoemd.

Ook “Design Information Verification” of DIV is van belang bij een post-conditioneringsinstallatie. DIV heeft als doel om te verzekeren dat de installatie gebouwd wordt conform het ontwerp dat aan het IAEA voorgelegd is en dat er tijdens de werking geen veranderingen aan de installatie gebeuren die niet in overeenstemming zijn met het ontwerp. De mogelijke technieken voor DIV van een post-conditioneringsinstallatie zijn vrij eenvoudig: visuele inspectie, videobewaking, controleren van afmetingen e.d. Met ultrasone inspectie kunnen verborgen ruimten of leidingen opgespoord worden (263).

9.8.3.2 Eeuwigdurende opslag

Eeuwigdurende opslag bestaat uit opeenvolgende cycli (100 à 300 jaar) van langdurige opslag. Binnen de korte termijn (100 jaar) is eeuwigdurende opslag dus hetzelfde als langdurige opslag. Voor de beschrijving van het aspect beveiliging en safeguards voor eeuwigdurende opslag verwijzen we daarom naar paragraaf 9.8.3.5.

9.8.3.3 Geologische berging

De korte termijn komt ongeveer overeen met de operationele fase van geologische berging. In deze fase bevinden veel activiteiten zich nog bovengronds. Het aspect beveiliging en safeguards voor transport en post-conditionering wordt besproken in paragraaf 9.8.3.1.

Hierna wordt het aspect beveiliging en safeguards besproken voor de geologische bergingsinstallatie zelf. Tegen het einde van de korte termijn (d.w.z. na ongeveer 100 jaar) zullen een aantal bergingsgalerijen reeds opgevuld en afgesloten zijn (zie paragraaf 7.2.1.2), maar er wordt aangenomen dat de installatie nog niet volledig gevuld is met radioactief afval en dat de hoofdgalerij en de toegangsschachten nog open zijn. Het geval van een geologische bergingsinstallatie die volledig afgesloten is, wordt behandeld in de bespreking voor de lange termijn (zie paragraaf 9.8.5.2).

Beveiliging

De geologische bergingsinstallatie is wegens de ondergrondse ligging minder aantrekkelijk als doelwit voor kwaadwillige activiteiten dan de post-conditioneringsinstallatie (150), (260), (38):

- Zodra het radioactief afval zich in de installatie bevindt, worden de mogelijkheden voor diefstal zeer beperkt. Doordat de installatie zich ondergronds bevindt, kunnen onbevoegde personen zich praktisch onmogelijk toegang verschaffen.
- Ook het veroorzaken van dood en vernieling in de omgeving door een aanval op een geologische bergingsinstallatie heeft door de ondergrondse ligging weinig kans op slagen. Sabotage van de toegangsschacht zou geen radiologische gevolgen hebben.
- Voor het veroorzaken van publieke angst is dit een minder aantrekkelijk doelwit dan bv. een kerncentrale of een transport van radioactief afval.

Net zoals bij de post-conditioneringsinstallatie moet het ontwerp van de geologische bergingsinstallatie gebaseerd zijn op een "Design Basis Threat" (63). De ondergrondse ligging van de installatie zal de beveiligingsfuncties deels reeds vervullen. Toch is het voor de korte termijn aangewezen om beveiligingsmaatregelen te treffen conform de IAEA-aanbevelingen voor sites waar nucleair materiaal van categorie II (zie paragraaf 9.8.2) aanwezig is. Hieronder worden een aantal voorbeelden van maatregelen gegeven (63):

- De site moet onder toezicht staan, met o.a. controle van voertuigen, personen en ladingen die binnenkomen of buitengaan.
- De betrouwbaarheid van personen die toegang hebben tot de site moet vastgesteld worden. Occasionele bezoekers (bv. reparatiediensten) moeten geëscorteerd worden. Codes en sleutels moeten gecontroleerd worden en vernieuwd worden wanneer er aanwijzingen zijn van ongeoorloofd gebruik.
- Aan de fysieke barrière rond de site moeten mogelijke indringers gedetecteerd worden met sensoren. Het aantal mogelijke toegangen tot de site moet maximaal beperkt worden.
- Er moet een permanent bemand centraal alarmstation zijn, waar de informatie van de detectiesensoren geëvalueerd wordt en waar desgevallend de vereiste respons gecoördineerd wordt. De transmissie- en communicatiesystemen moeten voorzien zijn van een noodvoeding.

Safeguards

In de geologische bergingsinstallatie wordt het afval in de transportcontainers eerst naar beneden gebracht via de toegangsschacht en indien nodig tijdelijk opgeslagen. Via de galerijen wordt de container naar zijn plaats in de bergingsinstallatie gebracht. De transportcontainer wordt verwijderd en terug naar boven gebracht. Het afval in de bergingscontainer wordt in een bergingsgalerij geplaatst. Na het plaatsen van een aantal bergingscontainers kan de ruimte errond opgevuld worden. Als een bergingsgalerij volledig gevuld is, wordt ze afgesloten en verzegeld (263), (264).

Op basis van de bovenstaande beschrijving kunnen een aantal mogelijkheden geïdentificeerd worden voor afleiding van nucleair materiaal uit een geologische bergingsinstallatie die nog niet gesloten is (263), (265).

- Tijdens het transport van de post-conditioneringsinstallatie naar de bergingsinstallatie kan een volledige container afgeleid worden. We gaan er echter van uit dat de post-conditionering op de site zelf gebeurt. Daardoor is de transportafstand zeer beperkt en is de kans op afleiding klein.
- Het afleiden van een container kan ook gebeuren wanneer de transportcontainers nog tijdelijk opgeslagen worden aan de oppervlakte, hoewel dit moeilijker wordt doordat de ruimte beperkt is.
- Nadat de transportcontainer via de schacht naar de bergingsinstallatie gebracht is, wordt afleiding nog moeilijker doordat de schacht nu de enige mogelijke in- of uitgang is.
- Na plaatsing van de bergingscontainer in de galerij kan deze er terug uit gehaald worden. Hij kan naar boven gebracht worden via een al dan niet gedeclareerde schacht, of het nucleair materiaal kan uit de container gehaald worden en in kleine hoeveelheden vervoerd worden in "lege" transportcontainers.
- Niet-gedeclareerde opwerking kan ook ondergronds gebeuren in een ruimte die zich bevindt in of toegankelijk is vanuit de geologische bergingsinstallatie.

Niet-gedeclareerde mijnbouwactiviteiten, opwerkingsinstallaties of toegangsschachten, deels gevulde containers en inconsistenties in de gemeten dosisdebieten kunnen wijzen op (pogingen tot) afleiding van nucleair materiaal uit de geologische bergingsinstallatie (263), (265).

Safeguards-inspecties in een geologische bergingsinstallatie zijn fundamenteel verschillend van de safeguards-inspecties in bestaande nucleaire installaties. De ondergrondse ligging is tegelijk een voordeel (moeilijke toegang voor kwaadwillige handelingen) en een nadeel (moeilijke toegang voor inspectie). Implementeert men een vorm van terugneembaarheid van het geborgen afval, dan vergroot dit de toegankelijkheid van het afval voor inspectie, maar ook voor kwaadwillige handelingen.

Het is praktisch onmogelijk om de bergingscontainer te inspecteren nadat hij in de bergingsinstallatie geplaatst is. De safeguards-inspecties zullen dus moeten steunen op "containment and surveillance"-maatregelen met het oog op het verzekeren van de "continuity of knowledge" (263).

"Design Information Verification" (DIV) is eveneens van groot belang bij de safeguards-inspecties van een geologische bergingsinstallatie. Zeker als de installatie nog uitgebreid wordt tijdens de operationele fase is voortdurende DIV nodig. Naast de klassieke technieken voor DIV (o.a. visuele inspectie, videobewaking en controle van afmetingen) kunnen meer geavanceerde technieken nuttig zijn (263).

- Met satellietmonitoring kunnen in principe niet-gedeclareerde mijnbouwactiviteiten opgespoord worden. De resolutie van de beschikbare civiele satellieten is goed genoeg, maar de detectie kan gehinderd worden door weersomstandigheden, andere industriële activiteiten in de omgeving e.d.
- Door metingen van seismische signalen (hetzij natuurlijk, hetzij gegenereerd door bv. explosies) kunnen holten en uitrusting opgespoord worden. Deze technieken worden al gebruikt in harde gastgesteenten en evaporietgesteenten, maar zijn minder bruikbaar in klei aangezien de signalen in dit medium te veel gedempt worden.
- Ook Ground Penetrating Radar is vooral bruikbaar in harde gastgesteenten.
- Metingen van milieuparameters in de omgeving van bergingsinstallatie kunnen informatie opleveren over niet-gedeclareerde opwerkingsprocessen. De aanwezigheid van ⁸⁵Kr kan wijzen op opwerking, maar kan ook het gevolg zijn van (legitieme) post-conditionering.
- De druk in het poriënwater wordt beïnvloed door grondwerken in de buurt. Metingen kunnen dus informatie opleveren over niet-gedeclareerde uitgravingen.

9.8.3.4 Berging in diepe boorgaten

Gedurende de korte termijn bevinden veel activiteiten bij deze beheeroptie zich nog bovengronds. Het aspect beveiliging en safeguards voor transport en post-conditionering wordt besproken in paragraaf 9.8.3.1.

Hierna wordt het aspect beveiliging en safeguards besproken voor berging in diepe boorgaten. Tegen het einde van de korte termijn (d.w.z. na ongeveer 100 jaar) zullen een aantal boorgaten reeds opgevuld en afgesloten zijn. Toch zullen er nog een aantal open, niet of deels gevulde boorgaten zijn. Het geval van boorgaten die volledig afgesloten zijn, wordt behandeld in de bespreking voor de lange termijn (zie paragraaf 9.8.5.2).

Beveiliging

In diepe boorgaten zit het radioactief afval veel dieper dan in een geologische bergingsinstallatie. Het is dus nog minder aantrekkelijk als doelwit voor kwaadwillige handelingen:

- Diefstal van radioactief materiaal uit de boorgaten is praktisch uitgesloten.
- Gezien de grote diepte waarop het afval zich bevindt, lijkt het niet mogelijk om met een aanval aan de oppervlakte dood en vernieling te veroorzaken in de omgeving. Ook sabotage van het boorgat zal naar verwachting geen radiologische gevolgen hebben.
- Voor het veroorzaken van publieke angst is een site voor berging in diepe boorgaten als doelwit vergelijkbaar met een site voor geologische berging. Wel is het een minder aantrekkelijk doelwit dan bv. een kerncentrale of een transport van radioactief afval.

Voor het ontwerp van de boorgaten kan men een "Design Basis Threat" (63) definiëren. De grote diepte zal naar verwachting de beveiligingsfunctie naar behoren vervullen: zowel de waarschijnlijkheid van kwaadwillige handelingen als de gevolgen worden sterk beperkt (106). Toch is het voor de korte termijn aangewezen om beveiligingsmaatregelen te treffen conform de IAEA-aanbevelingen voor sites waar nucleair materiaal van categorie II (zie paragraaf 9.8.2) aanwezig is. Enkele voorbeelden worden in paragraaf 9.8.3.3 gegeven.

Safeguards

In vergelijking met geologische berging (paragraaf 9.8.3.3) lijken de mogelijkheden voor afleiding van nucleair materiaal bij berging in diepe boorgaten beperkter.

- Tijdens het transport van de post-conditioneringsinstallatie naar de bergingsinstallatie kan een volledige container afgeleid worden.
- Dit kan ook gebeuren wanneer de containers voor de plaatsing in de installatie nog tijdelijk opgeslagen worden aan de oppervlakte, hoewel het moeilijker wordt doordat de ruimte beperkt is.
- Eenmaal de containers zich op grote diepte in het boorgat bevinden, is het redelijkerwijze niet meer mogelijk om ze terug naar boven te halen.
- Er kan gedacht worden aan de mogelijkheid van een vals boorgat, dat in plaats van enkele kilometers diep slechts enkele tientallen of honderden meters diep is en in verbinding staat met een ondergrondse installatie voor opwerking.

Aanwijzingen voor (pogingen tot) afleiding van nucleair materiaal bij berging in diepe boorgaten zijn vooral niet-gedeclareerde mijnbouwactiviteiten, opwerkingsinstallaties of toegangsschachten.

De safeguards-inspecties bij berging in diepe boorgaten kennen dezelfde bijzonderheden als bij geologische berging. De diepte verhindert de toegang voor zowel inspectie als kwaadwillige handelingen. "Containment and surveillance" lijkt hier de aangewezen benadering voor de safeguards-inspecties. Klassieke "Design Information Verification" door o.a. visuele inspectie is niet mogelijk in de boorgaten. Satellietmonitoring kan gebruikt worden om niet-gedeclareerde mijnbouwactiviteiten op te sporen, maar de andere geavanceerde technieken beschreven in paragraaf 9.8.3.3 lijken niet realistisch gezien de grote diepte van de boorgaten.

9.8.3.5 Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden

Ook deze beheeroptie vereist voor de plaatsing van het afval in de opslaginstallatie nog een aantal handelingen, met name transport en post-conditionering (zie paragraaf 9.8.3.1).

Hierna worden de beveiligingsaspecten en de safeguards voor de opslaginstallatie zelf beschreven.

Beveiliging

Een opslaginstallatie wordt niet als een aantrekkelijk doelwit voor kwaadwillige handelingen beschouwd (150), (260), (266):

- Diefstal van bestraalde splijtstof uit de containers vereist gespecialiseerde uitrusting en vraagt veel tijd. De kans dat men betrapt wordt, is dus groot.
- Het veroorzaken van dood en vernieling in de omgeving heeft weinig kans op slagen door de eigenschappen van het gebouw en de container. Een aanval op een opslaginstallatie zou niet noodzakelijk leiden tot stralingsdoses in het omringende milieu.
- Voor het veroorzaken van publieke angst is de opslaginstallatie een minder aantrekkelijk doelwit dan bv. een kerncentrale of een transport van radioactief afval.

Toch is het IAEA van oordeel dat installaties voor langdurige opslag door hun bovengrondse ligging kwetsbaarder zijn voor aanvallen dan geologische bergingsinstallaties (38).

Bij het ontwerp van de opslaginstallatie moet er een "Design Basis Threat" (DBT) gedefinieerd worden op basis van een evaluatie van het risico van diefstal of sabotage. De DBT omvat een aantal scenario's waartegen de installatie bestand moet zijn (63). De eisen aan het gebouw zullen hoog zijn. Er is immers geen gastgesteente dat in belangrijke mate de beveiligingsfunctie verzorgt, zoals bij geologische berging en berging in diepe boorgaten. Beveiligingsmaatregelen moeten conform zijn met de IAEA-aanbevelingen (63) voor sites waar nucleair materiaal van categorie II (zie paragraaf 9.8.2) aanwezig is. In paragraaf 9.8.3.3 worden enkele voorbeelden gegeven.

Safeguards

Het afleiden van een container met bestraalde splijtstof kan gebeuren tijdens het transport van de post-conditioneringsinstallatie naar de opslaginstallatie of na plaatsing in de opslaginstallatie. Dit laatste is wel moeilijker door de beperkte ruimte.

Aanwijzingen voor (pogingen tot) afleiding van een container zijn o.a. niet-gedeclareerde toegangen, handelingen of opwerkingsinstallaties.

Voor opslaginstallaties aan de oppervlakte zijn de technieken voor safeguards-inspecties gekend en beproefd (38). Er worden dan ook geen moeilijkheden verwacht. "Containment and surveillance"-maatregelen zijn bruikbaar, net zoals klassieke "Design Information Verification"-technieken zoals visuele inspectie, videobewaking en controle van afmetingen. Meting van milieuparameters kan aanwijzingen geven over niet-gedeclareerde opwerkingsprocessen (zie ook paragraaf 9.8.3.3).

Daarnaast kunnen bij opslag de containers zelf gemakkelijker geïnspecteerd worden dan bij geologische berging of berging in diepe boorgaten. Het openen van de containers wordt praktisch niet haalbaar geacht, maar weging, meting van de warmte-afgifte en meting van het dosisdebiet behoren tot de mogelijke technieken voor safeguards-inspecties (263).

9.8.3.6 Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

Wat betreft het aspect beveiliging en safeguards verschilt deze beheeroptie niet van de beheeroptie "langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden". Voor de beschrijving van het aspect beveiliging en safeguards voor deze beheeroptie verwijzen we daarom naar paragraaf 9.8.3.5.

9.8.3.7 Status quo-optie

Wat betreft het aspect beveiliging en safeguards verschilt deze beheeroptie slechts weinig van de beheeroptie "langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden". Voor de beschrijving van het aspect beveiliging en safeguards voor deze beheeroptie verwijzen we daarom naar paragraaf 9.8.3.5. We merken enkel op dat de bestaande opslaggebouwen niet ontworpen zijn voor een levensduur van 100 jaar, waardoor ze mogelijk tegen het einde van de korte termijn niet meer bestand zullen zijn tegen de "Design Basis Threat" (zie ook paragraaf 10.1.6).

9.8.4 Beoordeling voor de korte termijn

Op basis van de beschrijving in paragraaf 9.8.3 komen we tot de volgende beoordeling van het aspect beveiliging en safeguards op de korte termijn.

Wat betreft beveiliging zijn de verschillen tussen de beheeropties niet zo groot: de korte termijn omvat immers in alle gevallen nog activiteiten voorafgaand aan de eigenlijke opslag of berging (in het bijzonder transport en post-conditionering) die aantrekkelijker zijn als doelwit voor kwaadwillige handelingen. Tussen de verschillende beheeropties met opslag zien we weinig verschil wat betreft beveiliging. Geologische berging en berging in diepe boorgaten krijgen een iets gunstiger beoordeling omdat een deel van het radioactief materiaal zich tegen het einde van de korte termijn ondergronds bevindt, waardoor kwaadwillige handelingen moeilijker te realiseren zijn en minder radiologische impact kunnen hebben.

Wat betreft safeguards zijn er evenmin verschillen tussen de beheeropties met opslag. Geologische berging en berging in diepe boorgaten vereisen echter een fundamenteel andere aanpak van de safeguards-inspecties. Het afleiden van bestraalde splijtstof voor niet-vreedzame doeleinden is bij deze twee beheeropties weliswaar moeilijker dan bij de overige beheeropties (dit sluit in feite aan bij de beoordeling van de beveiligingsaspecten), maar de technieken voor safeguards-inspecties van een geologische bergingsinstallatie lijken minder zekerheid te bieden dan de meer gangbare technieken voor opslaginstallaties. Dit geldt a fortiori voor berging in diepe boorgaten: door de veel grotere diepte zijn een aantal technieken niet bruikbaar. In dit laatste geval bestaat er ook geen enkele manier om nog rechtstreeks toegang te krijgen tot de containers, terwijl dat bij geologische berging desnoods wel mogelijk is. Het verschil tussen geologische berging en berging in diepe boorgaten lijkt ons voldoende significant om berging in diepe boorgaten als nog ongunstiger te beoordelen voor het aspect safeguards.

Tabel 54: Beoordeling van het aspect beveiliging en safeguards voor de korte termijn

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden	Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Beveiliging	0	+	+	0	0	0
Safeguards	0	-	--	0	0	0

9.8.5 Beschrijving voor de lange termijn

9.8.5.1 Actief beheer

Actief beheer komt in de praktijk neer op eeuwigdurende opslag, in de vorm van steeds herhaalde cycli van langdurige opslag (zie paragraaf 7.2.1.1). Paragraaf 9.8.3.5 kan dus ook dienen als een beschrijving van het aspect beveiliging en safeguards voor actief beheer op de lange termijn. Wel dient er opgemerkt dat door radioactief verval de activiteit van het afval afneemt (weliswaar pas na zeer lange tijd), zodat het materiaal minder bruikbaar wordt voor kernwapens en een aanval minder radiologische risico's met zich meebrengt.

9.8.5.2 Passief beheer

Voor passief beheer gaan we uit van een volledig gesloten geologische bergingsinstallatie of volledig gesloten diepe boorgaten.

Beveiliging

De beschrijving van de beveiligingsaspecten van geologische berging (zie paragraaf 9.8.3.3) en berging in diepe boorgaten (zie paragraaf 9.8.3.4) kan hier als basis dienen. Met het vorderen van de tijd wordt een site met passief beheer nog minder aantrekkelijk voor kwaadwillige handelingen:

- Het afval is na sluiting van de geologische bergingsinstallatie of de boorgaten nog moeilijker toegankelijk
- De activiteit neemt af door natuurlijk radioactief verval, zodat het materiaal minder bruikbaar wordt voor kernwapens en minder radiologische risico's met zich meebrengt
- De aanwezigheid van radioactief materiaal op de site is misschien niet meer bekend bij de bevolking, zodat het element van publieke angst wegvalt

Van kunstmatige barrières kan moeilijk verwacht worden dat ze na tienduizenden of honderdduizenden jaren nog aan de "Design Basis Threat" kan weerstaan. Het gastgesteente zal dus volledig de beveiligingsfunctie moeten invullen.

Safeguards

Het IAEA stelt expliciet dat afgesloten geologische bergingsinstallaties die bestraalde splijtstof bevatten onderworpen blijven aan safeguards, als er tenminste nog een safeguards agreement van kracht is (72).

De mogelijkheden om na sluiting van een geologische bergingsinstallatie nucleair materiaal af te leiden voor niet-vreedzame doeleinden zijn beperkt. De oorspronkelijke toegangsschacht kan heropend worden, er kan een nieuwe schacht gegraven worden of de installatie kan benaderd worden via een tunnel vanuit een mijn in de buurt. In plastische gastgesteenten, zoals weinig verharde klei, is het graven van een nieuwe schacht eenvoudiger dan het verwijderen van het opvulmateriaal (o.a. beton) uit de oorspronkelijke schacht. Dit lijken erg tijdrovende handelingen, maar met de vooruitgang in mijnbouwtechnologie wordt deze beperking steeds minder (263). Voor berging in diepe boorgaten bestaan dezelfde mogelijkheden, maar door de grotere diepte is de kans kleiner dat ze zich voordoen.

Het zullen dus voornamelijk niet-gedeclareerde mijnbouwactiviteiten zijn die kunnen wijzen op (pogingen tot) afleiding van nucleair materiaal.

Safeguards-inspecties kunnen niet meer met de gangbare technieken gebeuren. Er wordt van uitgegaan dat er op termijn geen monitoring meer gebeurt in een geologische bergingsinstallatie. De ondergrondse ligging is tegelijk een voordeel (moeilijke toegang voor kwaadwillige handelingen) en een nadeel (moeilijke toegang voor inspectie). De geavanceerde technieken voor “Design Information Verification” uit paragraaf 9.8.3.3 kunnen toegepast worden, voor zover dit niet verhinderd wordt door de diepte. Met name satellietmonitoring kan bijdragen tot het opsporen van niet-gedeclareerde mijnbouwactiviteiten.

Het landgebruik op de site kan de safeguards-inspecties bemoeilijken. Het is erg moeilijk in te schatten hoe lang men de site onder toezicht (met inbegrip van safeguards-inspecties) zal kunnen houden. Daarom moet de veronderstelling gemaakt worden dat de site op termijn vrijgegeven wordt of vrijkomt voor gebruik door de mens (263).

9.8.6 Beoordeling voor de lange termijn

Op basis van de beschrijving in paragraaf 9.8.5 komen we tot de volgende beoordeling van het aspect beveiliging en safeguards op de lange termijn.

Wat betreft beveiliging krijgt passief beheer een gunstiger beoordeling dan actief beheer. Het radioactief afval bevindt zich ondergronds, waardoor het minder gemakkelijk toegankelijk is dan afval in een opslaginstallatie aan de oppervlakte. De radiologische gevolgen bij een aanval op de installatie zullen daardoor ook beperkter zijn.

Wat betreft safeguards is actief beheer gunstiger dan passief beheer. Bij actief beheer kunnen de gangbare technieken gebruikt worden, terwijl bij passief beheer een fundamenteel andere aanpak nodig is. Daar staat tegenover dat het afleiden van nucleair materiaal voor niet-vreedzame doeleinden bij passief beheer moeilijker is door de ondergrondse ligging (dit sluit aan bij de beoordeling van de beveiligingsaspecten).

Tabel 55: Beoordeling van het aspect beveiliging en safeguards voor de lange termijn

	Actief beheer	Passief beheer
Beveiliging	Minder gunstig dan passief beheer	Gunstiger dan actief beheer
Safeguards	Gunstiger dan passief beheer	Minder gunstig dan actief beheer



10. **ROBUUSTHEID VAN DE BEHEEROPTIES**

Robuustheid hebben we in paragraaf 5.3.4 gedefinieerd als de mate waarin de beheeropties minder of meer beïnvloed worden door (de onzekerheid van) verschillende soorten veranderingen:

- Natuurlijke evoluties
- Veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit van het systeem
- Externe niet-natuurlijke gebeurtenissen
- Maatschappelijke evoluties

In paragraaf 5.3.4 en in Bijlage C wordt er dieper ingegaan op deze veranderingen.

In dit hoofdstuk wordt de robuustheid van de beheeropties uit paragraaf 7.2 beoordeeld. Telkens worden daarbij de bovenstaande vier types veranderingen beschouwd. Het belangrijkste punt in de beoordeling is de invloed van deze veranderingen op de radiologische effecten van de beheeropties, aangezien de radiologische effecten rechtstreeks verbonden zijn met de doelstelling van bescherming van mens en milieu.

Zowel voor de korte termijn als voor de lange termijn wordt de robuustheid beschreven en beoordeeld in termen van de waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling in het geval dat de hierboven genoemde veranderingen zich voordoen. Daarna wordt in het kort ook de invloed van deze veranderingen op de niet-radiologische effecten van de beheeropties besproken.

10.1 **Beschrijving van de robuustheid voor de korte termijn**

In deze paragraaf wordt er nagegaan hoe de radiologische effecten van de beheeropties (meer precies: de waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling) beïnvloed kunnen worden door veranderingen die zich binnen de korte termijn kunnen voordoen. Een samenvattende beoordeling volgt in Tabel 56.

De korte termijn is een operationele fase, waarin de beheeropties heel wat overeenkomsten zullen vertonen. In alle gevallen, behalve de status quo-optie, zijn de volgende activiteiten te voorzien:

- Plaatsing van het afval in een container voor opslag of berging
- Tijdelijke opslag
- Transport
- Bouw van de installatie voor langdurige opslag of berging

Pas naar het einde van de korte termijn toe worden de verschillen tussen de beheeropties groter (bv. bij geologische berging en bij berging in diepe boorgaten zal meer en meer radioactief afval zich al ondergronds bevinden en dus niet meer beïnvloed worden door de operationele activiteiten).

10.1.1 Eeuwigdurende opslag

Eeuwigdurende opslag bestaat uit opeenvolgende cycli (100 à 300 jaar) van langdurige opslag. Binnen de korte termijn (100 jaar) is eeuwigdurende opslag dus hetzelfde als langdurige opslag (zie paragraaf 7.2.1.1). Voor de beschrijving van de robuustheid verwijzen we dan ook naar paragraaf 10.1.4.

10.1.2 Geologische berging

Robuustheid t.o.v. natuurlijke evoluties

Er wordt van uitgegaan dat de installaties verbonden aan de operationele fase (voor post-conditionering en tijdelijke opslag) even robuust zijn als bij langdurige opslag. Het feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het afval zich reeds ondergronds bevindt, wordt hier als gunstig beoordeeld. Oppervlakkige natuurlijke fenomenen zoals overstromingen en extreme weersomstandigheden hebben dan immers geen invloed meer. De waarschijnlijkheid van een impact op mens en natuur daalt quasi evenredig met het aandeel van het afval dat zich nog bovengronds bevindt. Zelfs als de operationele fase onderbroken werd door bv. extreme weersomstandigheden, zou de invloed op de bergingsinstallatie gering zijn. De te nemen maatregelen zijn gelijkaardig met de maatregelen voor de preventie van ongevallen.

In overeenstemming met de aanbevelingen van de internationale instellingen (o.a. IAEA) moet het gastgesteente zo gekozen worden dat het zo weinig mogelijk beïnvloed wordt door seismische of tektonische activiteit. Het Belgische onderzoek naar geologische berging heeft aangetoond dat de bescherming van mens en milieu bij allerlei natuurlijke evoluties toch gegarandeerd blijft in geval van berging in de Boomse Klei (7). Voor ondergrondse structuren blijken de effecten van aardbevingen verwaarloosbaar (267). Vulkanische activiteit is onbestaande in de Belgische ondergrond en moet in deze context niet beschouwd worden (268).

Verder zijn er processen aan de oppervlakte die tot op een zekere diepte een impact hebben. Voorbeelden zijn klimaatverandering en stijging of daling van het zeeniveau. Voor de meeste van deze fenomenen wordt de impact beperkt tot enkele tientallen meters of tot de watervoerende lagen. Voor vrij ondoorlatende lagen op grotere diepte, zoals de Boomse Klei, is de impact gering (269), (268). Meer onderzoek wordt uitgevoerd om dit verder te onderbouwen.

Tenslotte is het belangrijk om in gedachten te houden dat de beschouwde geologische lagen al miljoenen jaren oud zijn en gedurende al die tijd reeds onderworpen zijn aan de hierboven beschreven mogelijke invloeden (268). Het is dus nuttig dat geologen zo nauwkeurig mogelijk de impact van dergelijke fenomenen in het verleden op de eigenschappen van het gastgesteenten beschrijven.

Robuustheid t.o.v. veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit

De supercontainers (voor afval van categorie C) en monolieten (voor afval van categorie B) zijn ontworpen voor een levensduur die veel langer is dan 100 jaar in de te verwachten omstandigheden van geologische berging. Voor enkele duizenden jaren sluiten ze de radionucliden in. Als de supercontainers aan de oppervlakte blijven staan en niet opzettelijk geopend of beschadigd worden, zal de functie van insluiting gedurende enkele honderden jaren gegarandeerd zijn (270). Met de nodige maatregelen is het mogelijk om o.a. gasontwikkeling in de installatie maximaal te beperken (7).

Het feit dat het (gedeeltelijk nog actieve) beheer tegen het einde van de korte termijn deels ondergronds zal gebeuren, wordt hier als enigszins ongunstig beoordeeld: daarmee is immers in de praktijk nog weinig ervaring. Anderzijds dalen de kans op radiologische blootstelling van mens en natuur en de impact ervan quasi evenredig met het aandeel van het afval dat zich nog bovengronds bevindt.

Robuustheid t.o.v. externe niet-natuurlijke gebeurtenissen

De bovengrondse installaties (voor post-conditionering en tijdelijke opslag) zullen naar verwachting ontworpen zijn om dezelfde bescherming te bieden als in het geval van langdurige opslag. ANDRA bestudeerde een aantal ongevalsscenario's voor geologische berging (bv. brand, val van afvalcontainer). Deze ongevallen zullen niet leiden tot een vrijzetting van radioactiviteit naar de omgeving omwille van de voorgenomen veiligheidsvoorzieningen (150).

Het feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het afval zich reeds ondergronds bevindt, wordt hier als gunstig beoordeeld. Externe niet-natuurlijke gebeurtenissen zijn immers van menselijke oorsprong en zullen zich dus doorgaans bovengronds voordoen. De kans op radiologische blootstelling van mens en natuur en de impact ervan dalen dus quasi evenredig met het aandeel van het afval dat zich nog bovengronds bevindt.

Een onopzettelijke exploratieboring dwars door de bergingsinstallatie (zie (7)) is op de korte termijn zeer onwaarschijnlijk aangezien de site door de aanwezigheid van de bovengrondse installaties nog gekend zal zijn. Om de kans op een dergelijke exploratieboring te beperken, beveelt het IAEA aan om een site te kiezen in een regio waar geen waardevolle exploiteerbare grondstoffen in de diepe ondergrond aanwezig zijn (45).

Maatschappelijke robuustheid

Voor de bovengrondse installaties (voor post-conditionering en tijdelijke opslag) geldt hetzelfde als voor de status quo-optie en voor langdurige opslag: zonder deskundig menselijk toezicht of bij extreme maatschappelijke instabiliteit kunnen zich na enkele jaren onaantoonbare gevolgen voordoen (86), (271).

Het feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het afval zich reeds ondergronds bevindt, wordt hier als gunstig beoordeeld. De invloed van maatschappelijke evoluties op de performantie van een geologische berging en dus op de radiologische blootstelling van mens en natuur wordt immers beperkt geacht (7), (271). Dankzij het feit dat openingen in de weinig verharde klei zich snel opnieuw sluiten, is de bescherming van mens en milieu ook gegarandeerd als een deel van de bergingsinstallatie open blijft (7).

Het blijft mogelijk om tijdens de operationele fase het afval terug te nemen, op voorwaarde dat de nodige kennis voorhanden is. De moeilijkheidsgraad en de kosten stijgen wel naarmate de bergingsinstallatie opgevuld en afgesloten wordt.

10.1.3 Berging in diepe boorgaten

Robuustheid t.o.v. natuurlijke evoluties

Er wordt van uitgegaan dat de installaties verbonden aan de operationele fase (voor post-conditionering en tijdelijke opslag) even robuust zijn als bij langdurige opslag. Het feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het afval zich reeds ondergronds bevindt, wordt hier als gunstig beoordeeld. Oppervlakkige natuurlijke fenomenen zoals overstromingen en extreme weersomstandigheden hebben dan immers geen invloed meer.

Het gastgesteente wordt zo gekozen dat het zo weinig mogelijk beïnvloed wordt door seismische of tektonische activiteit.

Robuustheid t.o.v. veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit

Er wordt aangenomen dat de afvalcontainers ontworpen zijn voor een levensduur van minstens 100 jaar, zoals bij langdurige opslag. De technologie met betrekking tot de boorgaten zelf is echter een onzekere factor. Er is een vrij grote kans dat de afvalcolli beschadigd raken wanneer ze neergelaten worden in het boorgat. De mogelijkheid tot interventie is in dat geval nihil. Ook kan de grote druk van het gesteente op grote diepte ervoor zorgen dat de afvalcontainers en het opvulmateriaal snel beschadigd raken. Op korte termijn zal dat niet leiden tot een verhoogde radiologische blootstelling van mens en milieu omdat de afstand tot de biosfeer dusdanig groot is dat het duizenden jaren duurt voor de radioactiviteit het milieu kan bereiken. De afvalcontainer kan echter geblokkeerd geraken op een niet ideale locatie en kan zo eventueel beschadigd worden. Als dit gebeurt op geringe diepte en in de buurt van breuken en watervoerende lagen, dan zou dat kunnen leiden tot verhoogde radiologische blootstelling van mens en milieu.

Robuustheid t.o.v. externe niet-natuurlijke gebeurtenissen

De bovengrondse installaties (voor post-conditionering en tijdelijke opslag) zullen naar verwachting ontworpen zijn om dezelfde bescherming te bieden als in het geval van langdurige opslag. Het feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het afval zich reeds ondergronds bevindt, wordt hier als gunstig beoordeeld. Externe niet-natuurlijke gebeurtenissen zijn immers van menselijke oorsprong en zullen zich dus doorgaans bovengronds voordoen. Een onopzettelijke exploratieboring dwars door de diepe boorgaten waarin het afval geborgen wordt, is zeer onwaarschijnlijk aangezien de site door de aanwezigheid van de bovengrondse installaties nog gekend zal zijn.

Maatschappelijke robuustheid

Voor de bovengrondse installaties (voor post-conditionering en tijdelijke opslag) geldt hetzelfde als voor de status quo-optie en voor langdurige opslag: zonder deskundig menselijk toezicht of bij extreme maatschappelijke instabiliteit kunnen zich na enkele jaren onaantoonbare gevolgen voordoen (86), (271).

Het feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het afval zich reeds ondergronds bevindt, wordt hier als gunstig beoordeeld. Maatschappelijke ontwikkelingen kunnen op dit afval redelijkerwijze geen invloed meer hebben.

Daar staat tegenover dat het afval niet meer teruggenomen kan worden eenmaal het in het boorgat geplaatst is.

10.1.4 Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden

Robuustheid t.o.v. natuurlijke evoluties

Bij het ontwerp en de bouw van gebouwen voor langdurige opslag wordt er rekening gehouden met natuurlijke fenomenen die zich binnen de levensduur van 100 à 300 jaar kunnen voordoen. Onderzoek wijst uit dat het mogelijk is om opslaggebouwen te ontwerpen die bestand zijn tegen bv. bepaalde aardbevingen en windhozen. Door verbeterde technologieën zullen deze opslaggebouwen beter bestand zijn tegen natuurfenomenen dan de bestaande opslaggebouwen, met als gevolg een verminderde kans op verspreiding van radioactiviteit in vergelijking met de status quo-optie.

Bij het ontwerp van deze gebouwen moet men bovendien rekening houden met de te verwachten natuurlijke evoluties m.b.t. deze fenomenen. Bij onverwachte natuurlijke evoluties (bv. onverwachte zwaardere windhozen door klimaatverandering) geldt in principe hetzelfde als voor de status quo-optie. Indien de evolutie zich geleidelijk voordoet, bestaat de mogelijkheid om de gebouwen aan te passen en eventueel zelfs om het afval te verplaatsen.

Voor de bescherming tegen overstromingen zal de sitekeuze ook een rol spelen (37), maar deze kan zeker geoptimaliseerd worden t.o.v. de status quo-optie. Als de kans op overstroming van de site om een of andere reden plots toeneemt, is er misschien niet genoeg tijd om het afval te verplaatsen naar een nieuwe opslaginstallatie op een andere locatie. In dat geval is een verhoogde corrosie van de containers mogelijk. Als het om trage processen gaat (bv. stijging van de zeespiegel door klimaatverandering) is dit wel mogelijk. Omdat de conditionering van het radioactief afval geacht wordt geoptimaliseerd te zijn t.o.v. de status quo-optie, wordt de vrijzetting van radioactiviteit en dus ook de impact op mens en milieu geringer geacht.

Robuustheid t.o.v. veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit

Dit aspect van robuustheid hangt vooral af van de verpakking van het afval en van de opslaggebouwen. Onderzoek bevestigt dat het mogelijk zou zijn om containers te fabriceren die de insluiting van de radionucliden gedurende 100 à 300 jaar verzekeren (272). Ook de technologie m.b.t. betonconstructies zou ver genoeg gevorderd zijn om opslaggebouwen met een levensduur van minstens 100 jaar te ontwerpen en te bouwen. Er is echter nog niet aangetoond dat een levensduur van 300 jaar mogelijk zou zijn voor gewapend beton (86), (109), (111), (112), (113). Mochten de gebouwen en bijhorende infrastructuur niet meer voldoende bescherming bieden, dan kan men veranderingen aanbrengen, de installatie volledig vernieuwen of desnoods verplaatsen.

Robuustheid t.o.v. externe niet-natuurlijke gebeurtenissen

Gebouwen voor langdurige opslag worden ontworpen en gebouwd om bestand te zijn tegen allerlei externe gebeurtenissen gedurende 100 à 300 jaar. Bij beschadiging van het gebouw zorgt de afvalcontainer nog voor de insluiting van de radionucliden. Uit onderzoek blijkt dat de stralingsdoses in allerlei ongevalsscenario's (bv. neerstortend vliegtuig) beperkt zouden blijven (37). Omdat de conditionering van het radioactief afval, de containers en de gebouwconstructie geacht wordt geoptimaliseerd te zijn t.o.v. de status quo-optie, wordt de vrijzetting van radioactiviteit en dus ook de impact op mens en milieu geringer geacht. Toch kunnen bepaalde evoluties (bv. steeds groter wordende vliegtuigen) het veiligheidsniveau in het gedrang brengen. Een aangepast inspectie- en upgradingprogramma kan voor een oplossing zorgen.

Het feit dat al het afval zich bovengronds bevindt, beschouwen we als een nadeel tegenover geologische berging. Externe niet-natuurlijke gebeurtenissen zijn immers van menselijke oorsprong en zullen zich dus doorgaans bovengronds voordoen, met een grotere kans op radiologische blootstelling van mens en natuur in geval van een grootschalig incident.

Maatschappelijke robuustheid

Wat betreft de maatschappelijke robuustheid verschilt langdurige opslag niet veel van de status quo-optie. Ook hier zullen onaanvaardbare gevolgen optreden als het beheer enkele jaren wegvalt. Jaren zonder deskundig menselijk beheer zouden kunnen leiden tot een geleidelijke desintegratie van de installatie, zodat de insluiting van de radionucliden niet meer gegarandeerd is (86), met mogelijk verhoogde gevolgen voor mens en milieu. Toch lijkt het vrij onwaarschijnlijk dat dit beheer op korte termijn wegvalt. Bij extreme maatschappelijke

instabiliteit (bv. oorlogen, terroristische aanslagen) kan het moeilijk worden om de veiligheid van de installatie te waarborgen (271). De gevolgen van een grootschalig incident (bv. terroristische aanslag) op het leefmilieu kunnen van een enorme omvang zijn.

De terugneembaarheid van het afval blijft verzekerd, maar technische kennis en een stabiele maatschappij zijn nodig om dit op een veilige manier te kunnen uitvoeren.

10.1.5 Opslag in afwachting van de industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën

Deze beheeroptie gaat uit van nieuw te bouwen opslaggebouwen die ontworpen zijn voor een levensduur van honderd jaar of meer (zie paragraaf 7.2.2.2). Voor wat betreft de robuustheid komt deze beheeroptie dus op hetzelfde neer als de langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden (zie paragraaf 10.1.4).

10.1.6 Status quo-optie

Robuustheid t.o.v. natuurlijke evoluties

In de status quo-optie wordt de huidige opslag voortgezet. De bestaande opslaggebouwen van Belgoprocess zijn ontworpen voor een levensduur van ca. 75 jaar. De levensduur van het splijfstofcontainmentgebouw (SCG) in Doel en van het gebouw DE te Tihange is slechts 50 jaar. Een deel van deze levensduur is bovendien al voorbij. De korte termijn die in deze SEA gehanteerd wordt (ca. 100 jaar) overstijgt dus de levensduur van de bestaande opslaggebouwen. Bij het ontwerp en de bouw is er rekening gehouden met natuurlijke evoluties die zich tijdens de levensduur van de installaties zouden kunnen voordoen. De natuurlijke evoluties die zich in de bijkomende decennia zullen voordoen, zullen naar verwachting van dezelfde aard en omvang zijn als de evoluties die ingecalculeerd zijn bij het ontwerp van de gebouwen. Toch kan men zich afvragen of de gebouwen ook over honderd jaar nog de nodige bescherming zullen bieden. De nodige acties zullen ondernomen moeten worden om de integriteit van de gebouwen te verzekeren. Van alle bestaande gebouwen zou enkel de levensduur van gebouw B136 van Belgoprocess relatief eenvoudig opgetrokken kunnen worden tot 100 jaar (34).

Bij onverwachte, niet beschouwde natuurlijke evoluties (bv. overstroming) is er de mogelijkheid om de installatie te verplaatsen, als deze evoluties tenminste geleidelijk gebeuren. Elke verplaatsing houdt echter een kans op ongevallen in. Bij een snelle evolutie is verplaatsing niet mogelijk. Een overstroming van de installatie kan bijvoorbeeld leiden tot een verhoogde corrosie van de kunstmatige barrières, met mogelijk een verhoogde vrijzetting van radionucliden als gevolg. Merk op dat een overstroming niet noodzakelijk leidt tot een hogere blootstelling van mens en milieu. Er kan ook een vermindering van de impact zijn als er een sterke verdunning is. Hiervan gaat men o.a. uit bij de Drigg-site in het Verenigd Koninkrijk, die dicht bij de kust ligt. Wanneer de overstroming gebeurt op het ogenblik dat de installatie nog veel warmte afgeeft door radioactief verval, dan zal het water opwarmen en kan onder bepaalde omstandigheden zelfs stoom gevormd worden, wat de degradatie van de afvalcontainers nog zal bespoedigen. Daardoor vergroot de kans op migratie van radionucliden en bijgevolg ook de impact voor mens en natuur.

COVRA (Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval in Nederland) voerde scopingsberekeningen uit om de invloed van overstromingen op de dispersie van radionucliden uit een installatie voor langdurige opslag in te schatten. Men kwam tot de conclusie dat overstromingen maar een beperkt effect zullen hebben op de vrijgezette concentraties van radionucliden in de biosfeer (273). Voor de COVRA-site werd de

overstroming bovendien niet als een probleem beschouwd omwille van de gunstige sitekeuze (37).

Robuustheid t.o.v. veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit

Dit aspect van robuustheid hangt vooral af van de verpakking van het afval en van de opslaggebouwen. Bij het ontwerp en de bouw zijn uiteraard de nodige veiligheidsvereisten opgelegd, maar de gebouwen zijn niet ontworpen voor een levensduur van 100 jaar. De huidige conditionering is waarschijnlijk evenmin bepaald voor een levensduur van 100 jaar. Er is dus een kans op verlies aan integriteit van de containers, waardoor er meer kans is op vrijkomen van radionucliden en verhoogde impact op mens en natuur.

Mocht blijken dat de conditionering niet meer voldoet, dan is er bij actief beheer van de installatie natuurlijk steeds de mogelijkheid om de situatie te optimaliseren. Mochten de gebouwen en bijhorende infrastructuur niet meer voldoende bescherming bieden dan kan men ook hier veranderingen aanbrengen, de installatie volledig vernieuwen of desnoods verplaatsen.

Robuustheid t.o.v. externe niet-natuurlijke gebeurtenissen

Sommige van de huidige opslaggebouwen zijn ontworpen om bestand te zijn tegen bepaalde externe niet-natuurlijke invloeden zoals het neerstorten van een vliegtuig. In het geval van het SCG in Doel wordt deze bescherming niet door het gebouw, maar door de containers verzekerd. De doses die men ten gevolge van deze extreme ongevallen kan oplopen blijven echter binnen de opgelegde limieten. In het geval van een vliegtuigimpact op het SCG gaat het om een theoretische berekende dosis van maximaal 2 mSv voor het kritisch individu (274). Rekening houdend met de ingebouwde marges en de extreem lage waarschijnlijkheid van een dergelijk ongeval (grootte-orde 10^{-7} /jaar) wordt dit aanvaardbaar geacht.

Toch kan men zich afvragen of de gebouwen deze bescherming over honderd jaar nog steeds zullen bieden, gezien de beperkte levensduur en de eventuele evolutie van de risico's (bv. steeds groter wordende vliegtuigen). Een aangepast inspectie- en upgradingprogramma kan voor een oplossing zorgen, maar dit zou belangrijke wijzigingen aan de huidige installaties vergen.

Maatschappelijke robuustheid

De status quo-optie vergt voortdurend actief beheer en is daardoor kwetsbaar voor maatschappelijke veranderingen, zeker als die ertoe zouden leiden dat het beheer wegvalt of de technische kennis verloren gaat. Jaren zonder deskundig beheer zouden kunnen leiden tot een geleidelijke desintegratie van de installatie, zodat de insluiting van de radionucliden niet meer gegarandeerd is (86), met mogelijk verhoogde gevolgen voor mens en milieu. Toch lijkt het vrij onwaarschijnlijk dat het beheer op korte termijn wegvalt. Bij extreme maatschappelijke instabiliteit (bv. oorlogen, terroristische aanslagen) kan het moeilijk worden om de veiligheid van de installatie te waarborgen (271), temeer daar ze slechts ontworpen is voor een levensduur van 75 jaar. De gevolgen van een grootschalig incident (bv. terroristische aanslag) op het leefmilieu kunnen van een enorme omvang zijn.

Daar staat tegenover dat het afval steeds teruggenomen kan worden en verplaatst naar een andere installatie als men vaststelt dat het beheer niet meer voldoende bescherming biedt. Toch zijn dergelijke beslissingen en handelingen alleen mogelijk in een voldoende stabiele maatschappij waar de nodige technische kennis bewaard gebleven is.

10.2 Beoordeling van de robuustheid voor de korte termijn

In Tabel 56 wordt een overzicht gegeven van de robuustheid van de verschillende beheeropties voor de korte termijn. De beoordeling gebeurt in termen van waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling en is daardoor te interpreteren als een beoordeling van de radiologische effecten van de beheeropties in het geval dat er zich allerlei veranderingen voordoen. De beoordeling bij normale evolutie vindt men in Tabel 44.

Tabel 56: Beoordeling van de robuustheid voor de korte termijn

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Robuustheid t.o.v. natuurlijke evoluties	Vrij hoog tot hoog Opslaggebouwen kunnen ontworpen worden zodanig dat ze bestand zijn tegen natuurfenomenen. Door vorderende technologie geoptimaliseerd t.o.v. status quo-optie. Optimalisatie m.b.t. sitekeuze mogelijk t.o.v. status quo-optie. Daarom geringere vrijzetting van radioactiviteit en geringere impact op mens en natuur t.o.v. status quo-optie verwacht.	Hoog Gebouwen voor tijdelijke opslag en (post-)conditionering kunnen ontworpen worden zodanig dat ze bestand zijn tegen natuurfenomenen. Feit dat op het einde van de korte termijn een deel van het radioactief afval reeds geborgen is, resulteert in verlaagde waarschijnlijkheid van impact op mens en natuur t.o.v. langdurige opslag.	Hoog Gebouwen voor tijdelijke opslag en (post-)conditionering kunnen ontworpen worden zodanig dat ze bestand zijn tegen natuurfenomenen. Feit dat op het einde van de korte termijn een deel van het radioactief afval reeds geborgen is, resulteert in verlaagde waarschijnlijkheid van impact op mens en natuur t.o.v. langdurige opslag.	Vrij hoog tot hoog Opslaggebouwen kunnen ontworpen worden zodanig dat ze bestand zijn tegen natuurfenomenen. Door vorderende technologie geoptimaliseerd t.o.v. status quo-optie. Optimalisatie m.b.t. sitekeuze mogelijk t.o.v. status quo-optie. Daarom geringere vrijzetting van radioactiviteit en geringere impact op mens en natuur t.o.v. status quo-optie verwacht.	Matig Bestaande gebouwen en verpakking zijn ontworpen rekening houdend met de natuurlijke evoluties voor een levensduur voor 75 jaar, waarvan al een deel verstreken is. Vraag is of deze infrastructuur ook nog bescherming biedt binnen 100 jaar (bv. in geval van overstromingen).

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Robuustheid t.o.v. veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit	<p>Hoog</p> <p>Gebouwen kunnen ontworpen worden voor levensduur van minstens 100 jaar, containers voor een levensduur van enkele honderden jaren.</p> <p>Kans op vrijzetting van radioactiviteit door desintegratie van de kunstmatige barrières met kans op verhoogde radiologische impact op mens en natuur is dus zeer klein.</p>	<p>Hoog</p> <p>Gebouwen kunnen ontworpen worden voor levensduur van minstens 100 jaar, containers voor een levensduur van enkele honderden jaren.</p> <p>Kans op vrijzetting van radioactiviteit door desintegratie van de kunstmatige barrières met kans op verhoogde radiologische impact op mens en natuur is dus zeer klein.</p> <p>Het feit dat tegen het einde van korte termijn een deel van het afval reeds geborgen is, verlaagt de waarschijnlijkheid van impact op mens en natuur t.o.v. langdurige opslag.</p>	<p>Vrij hoog</p> <p>Gebouwen kunnen ontworpen worden voor levensduur van minstens 100 jaar, containers voor een levensduur van enkele honderden jaren.</p> <p>Het afval kan vast komen te zitten op een niet ideale locatie en de container kan beschadigd worden. Als dit gebeurt op geringe diepte en in de buurt van breuken en watervoerende lagen, dan zou dat kunnen leiden tot verhoogde radiologische blootstelling voor mens en natuur.</p> <p>Het feit dat tegen het einde van korte termijn een deel van het afval reeds geborgen is, verlaagt de waarschijnlijkheid van impact op mens en natuur t.o.v. langdurige opslag.</p>	<p>Hoog</p> <p>Gebouwen kunnen ontworpen worden voor levensduur van minstens 100 jaar, containers voor een levensduur van enkele honderden jaren.</p> <p>Kans op vrijzetting van radioactiviteit door desintegratie van de kunstmatige barrières met kans op verhoogde radiologische impact op mens en natuur is dus zeer klein.</p>	<p>Vrij laag</p> <p>Bestaande gebouwen en verpakking ontworpen voor een levensduur voor 75 jaar, waarvan al een deel verstreken is. Barrières blijven dus mogelijk niet intact, met mogelijke vrijzetting van radioactiviteit en dus mogelijk verhoogde radiologische impact op mens en natuur.</p>

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Robuustheid t.o.v. externe niet-natuurlijke gebeurtenissen	<p>Vrij hoog</p> <p>Gebouwen en verpakking zijn ontworpen om aan een externe gebeurtenis te weerstaan.</p> <p>Kans op vrijzetting van radioactiviteit door desintegratie van de barrières met dus kans op verhoogde radiologische impact op mens en natuur is dus klein.</p>	<p>Hoog</p> <p>Gebouwen en verpakking zijn ontworpen om een externe gebeurtenis te weerstaan.</p> <p>Kans op vrijzetting van radioactiviteit door desintegratie van de kunstmatige barrières met kans op verhoogde radiologische impact op mens en natuur is dus zeer klein.</p> <p>Het feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het afval reeds geborgen is, verlaagt de waarschijnlijkheid van impact op mens en natuur t.o.v. langdurige opslag.</p>	<p>Hoog</p> <p>Gebouwen en verpakking zijn ontworpen om een externe gebeurtenis te weerstaan.</p> <p>Kans op vrijzetting van radioactiviteit door desintegratie van de kunstmatige barrières met kans op verhoogde radiologische impact op mens en natuur is dus zeer klein.</p> <p>Het feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het afval reeds geborgen is, verlaagt de waarschijnlijkheid van impact op mens en natuur t.o.v. langdurige opslag.</p>	<p>Vrij hoog</p> <p>Gebouwen en verpakking zijn ontworpen om aan een externe gebeurtenis te weerstaan.</p> <p>Kans op vrijzetting van radioactiviteit door desintegratie van de barrières met dus kans op verhoogde radiologische impact op mens en natuur is dus klein.</p>	<p>Vrij laag</p> <p>Bestaande gebouwen en verpakking zijn ontworpen voor een levensduur voor 75 jaar, waarvan al een deel verstreken is. Dit betekent dat barrières na 100 jaar mogelijk niet meer bestand zijn tegen externe gebeurtenissen, wat leidt tot mogelijke vrijzetting van radioactiviteit en dus mogelijk verhoogde radiologische impact op mens en natuur.</p>

	Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Maatschappelijke robuustheid	<p>Laag</p> <p>Als maatschappelijke veranderingen leiden tot wegvallen van actief beheer of verloren gaan van technische kennis, dan kan dit leiden tot niet meer gegarandeerde insluiting van radioactiviteit en verhoogde blootstelling van mens en natuur.</p> <p>Bij extreme maatschappelijke instabiliteit kan het moeilijk worden om de veiligheid van de installatie te waarborgen. Gevolgen van een grootschalig incident op mens en natuur kunnen van een enorme omvang zijn.</p>	<p>Vrij laag</p> <p>Als maatschappelijke veranderingen leiden tot wegvallen van actief beheer of verloren gaan van technische kennis, dan kan dit leiden tot niet meer gegarandeerde insluiting van radioactiviteit en verhoogde blootstelling van mens en natuur.</p> <p>Bij extreme maatschappelijke instabiliteit kan het moeilijk worden om de veiligheid van de installatie te waarborgen. Gevolgen van een grootschalig incident op mens en natuur kunnen van een enorme omvang zijn.</p> <p>Feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het radioactief afval reeds geborgen is, verlaagt de waarschijnlijkheid van impact op mens en natuur t.o.v. langdurige opslag.</p>	<p>Vrij laag</p> <p>Als maatschappelijke veranderingen leiden tot wegvallen van actief beheer of verloren gaan van technische kennis, dan kan dit leiden tot niet meer gegarandeerde insluiting van radioactiviteit en verhoogde blootstelling van mens en natuur.</p> <p>Bij extreme maatschappelijke instabiliteit kan het moeilijk worden om de veiligheid van de installatie te waarborgen. Gevolgen van een grootschalig incident op mens en natuur kunnen van een enorme omvang zijn.</p> <p>Feit dat tegen het einde van de korte termijn een deel van het radioactief afval reeds geborgen is, verlaagt de waarschijnlijkheid van impact op mens en natuur t.o.v. langdurige opslag.</p>	<p>Laag</p> <p>Als maatschappelijke veranderingen leiden tot wegvallen van actief beheer of verloren gaan van technische kennis, dan kan dit leiden tot niet meer gegarandeerde insluiting van radioactiviteit en verhoogde blootstelling van mens en natuur.</p> <p>Bij extreme maatschappelijke instabiliteit kan het moeilijk worden om de veiligheid van de installatie te waarborgen. Gevolgen van een grootschalig incident op mens en natuur kunnen van een enorme omvang zijn.</p>	<p>Laag</p> <p>Als maatschappelijke veranderingen leiden tot wegvallen van actief beheer of verloren gaan van technische kennis, dan kan dit leiden tot niet meer gegarandeerde insluiting van radioactiviteit en verhoogde blootstelling van mens en natuur.</p> <p>Bij extreme maatschappelijke instabiliteit kan het moeilijk worden om de veiligheid van de installatie te waarborgen. Gevolgen van een grootschalig incident op mens en natuur kunnen van een enorme omvang zijn.</p>
Globaal oordeel over robuustheid	Matig	Vrij hoog	Matig	Matig	Laag

De robuustheid hangt af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Ze kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

10.3 Robuustheid voor de korte termijn en niet-radiologische effecten

In paragrafen 10.1 en 10.2 werd er nagegaan in hoeverre de goede werking (d.w.z. de radiologische veiligheid) van de beheeropties gegarandeerd blijft bij natuurlijke evoluties, veranderingen in de interne fysische en technische stabiliteit, externe niet-natuurlijke gebeurtenissen en maatschappelijke evoluties.

Hierna wordt er kort ingegaan op de invloed van de bovenstaande veranderingen op de niet-radiologische effecten en aspecten die in deze SEA onderzocht worden.

De belangrijkste vaststelling is dat de invloed beperkt is. Heel wat effecten voor de korte termijn zijn rechtstreekse gevolgen van de aanlegwerkzaamheden. Als er eenmaal voor een bepaalde beheeroptie gekozen is, zullen de aanlegwerkzaamheden zich zeker voordoen. Het is mogelijk dat ze opgeschort worden naar aanleiding van ongunstige gebeurtenissen (bv. extreme weersomstandigheden), maar men kan verwachten dat het werk op zeker moment hervat wordt. Volledige stopzetting lijkt gezien het grote maatschappelijke belang en de enorme investering heel onwaarschijnlijk.

Mogelijke toekomstige veranderingen zorgen dus niet voor veel extra onzekerheid in de beoordeling van de "klassieke" effecten. Tijdelijke opschorting van de werkzaamheden voor de aanleg leidt tot een grotere spreiding van het effect in de tijd, terwijl bij stopzetting van de aanleg de effecten ten dele wegvallen. Er lijkt dus weinig kans te zijn dat toekomstige veranderingen ervoor zorgen dat de effecten negatiever zijn dan ze nu ingeschat worden. Normen voor milieukwaliteit zullen naar verwachting strenger worden, maar blijven naar verwachting haalbaar dankzij de technologische vooruitgang. De onzekerheid verbonden met toekomstige veranderingen wordt voor de korte termijn globaal als minder significant beoordeeld dan de onzekerheid die voortkomt uit het feit dat de locatie niet gekend is.

Maatschappelijke evoluties lijken het meest bepalend voor de aanleg en de exploitatie van de beheeropties op korte termijn te beïnvloeden. Naar verwachting zal de effectbeoordeling echter in grote lijnen geldig blijven omdat de invloed van maatschappelijke evoluties vaak gelijkaardig zal zijn voor alle beheeropties. Het is echter denkbaar dat een bepaalde maatschappelijke evolutie vooral invloed heeft op één enkele beheeroptie, bv.

- Ontstaan van publieke angst en ongerustheid over een bepaalde beheeroptie die voorheen wel aanvaard werd
- Versoepeling van de safeguards voor geologische bergingsinstallaties
- ...

10.4 Beschrijving van de robuustheid voor de lange termijn

In deze paragraaf wordt er nagegaan hoe de radiologische effecten van de beheeropties (meer precies: de waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling) beïnvloed kunnen worden door veranderingen die zich op lange termijn kunnen voordoen. Een samenvattende beoordeling volgt in Tabel 57.

10.4.1 Actief beheer

Robuustheid t.o.v. natuurlijke evoluties

Eeuwigdurende opslag bestaat uit opeenvolgende cycli (100 à 300 jaar) van langdurige opslag. Voor langdurige opslag werd de robuustheid t.o.v. natuurlijke evoluties als vrij hoog tot hoog beoordeeld (zie Tabel 56). De opslaggebouwen zijn immers ontworpen om weerstand te bieden tegen natuurlijke evoluties die zich op een termijn van enkele eeuwen kunnen voordoen. Conditioneringswijzen en infrastructuur zullen waarschijnlijk steeds verbeteren of op zijn minst geoptimaliseerd of aangepast worden, zodat verwacht kan worden dat de routine-emissies eerder afnemen dan toenemen, met een verminderde blootstelling van mens en milieu als gevolg. De mate waarin deze daling zal optreden, is echter moeilijk te voorspellen.

Met het vorderen van de tijd kunnen zich natuurlijke evoluties voordoen die nu moeilijk te voorspellen zijn. Het feit dat de installatie elke 100 à 300 jaar opnieuw gebouwd moet worden, biedt echter de kans om andere of bijkomende voorwaarden op te leggen aan het ontwerp. Ook de locatiekeuze kan herzien worden als dat nodig is (bv. als de oorspronkelijke locatie door een stijging van de zeespiegel bedreigd wordt).

Robuustheid t.o.v. veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit

Bij langdurige opslag worden afvalcontainers en installaties met een levensduur van 100 à 300 jaar voorzien. De degradatie zal toenemen in functie van de tijd, met een verhoogde kans op radioactieve lozingen. Voor bestraalde splijtstof werd de geleidelijke degradatie van de splijtstofbundels reeds aangetoond (34). De integriteit van de installatie is echter in principe minstens verzekerd voor de levensduur.

Bij het begin van elke cyclus van langdurige opslag moet het afval opnieuw geconditioneerd worden. Daarbij kan men ervan uitgaan dat het personeel een bepaalde dosis zal ontvangen, zelfs al ligt die onder de geldende limieten. Ook tussentijdse interventies zijn mogelijk, bv. voor het herstellen van aangetaste containers en installaties, maar leiden tot een verhoogde dosis voor de werknemers en een verhoogd risico op ongevallen. Het US-DOE (205) schat dat er in geval van institutionele controle gedurende de periode van 100 tot 10000 jaar na de ingebruikname van de opslaginstallatie 10 slachtoffers onder de werknemers en 3 slachtoffers onder de bevolking zullen vallen ten gevolge van radiologische blootstelling.

Robuustheid t.o.v. externe niet-natuurlijke gebeurtenissen

We kunnen uitgaan van de robuustheid van de installaties voor langdurige opslag (zie paragraaf 10.1.4). De opslaggebouwen zijn in principe ontworpen om weerstand te bieden tegen bepaalde externe niet-natuurlijke gebeurtenissen. Het is nagenoeg onmogelijk om de aard van deze gebeurtenissen op lange termijn in te schatten. Bij een correct uitgevoerd actief beheer kunnen we er echter van uitgaan dat elk ontwerp rekening zal houden met de situatie op dat tijdstip. Tussentijdse evoluties kunnen opgevangen worden door tussentijdse aanpassingen.

Het feit dat het afval zich bovengronds bevindt, wordt als een nadeel tegenover passief beheer beschouwd. Externe niet-natuurlijke gebeurtenissen zijn immers van menselijke oorsprong en zullen zich dus doorgaans bovengronds voordoen.

Maatschappelijke robuustheid

Op lange termijn zullen zich zeker maatschappelijke veranderingen voordoen. Het is onzeker of de financiële middelen voorhanden zullen blijven om een goed beheer te garanderen. Bij ingrijpende veranderingen in de maatschappij kan het actief beheer in gebreke blijven of zelfs volledig wegvallen, wat tot onaantvaardbare gevolgen voor mens en milieu kan leiden.

De andere aspecten van de robuustheid van deze beheeroptie tonen de noodzaak van de institutionele controle aan. Het US-DOE (205) schat dat het aantal slachtoffers onder de bevolking op lange termijn (100 tot 10000 jaar na de ingebruikname) ongeveer 3300 zou bedragen indien de institutionele controle, om welke reden dan ook, na de korte termijn zou eindigen. Ter vergelijking: als de institutionele controle wel gehandhaafd blijft, worden er 10 slachtoffers onder de werknemers en 3 slachtoffers onder de bevolking verwacht. Bij een compleet verlies van de afscherming komt men in bepaalde gevallen zelfs tot acuut letale doses, wat uiteraard ontoelaatbaar is. Eeuwigdurende opslag zonder eeuwigdurende institutionele controle is bijgevolg geen optie.

10.4.2 Passief beheer

Robuustheid t.o.v. natuurlijke evoluties

De veiligheid moet gegarandeerd worden gedurende een periode van honderdduizenden jaren. Over dergelijke termijnen wordt de aardoppervlakte onderworpen aan enorme veranderingen. Een aantal natuurlijke evoluties hebben slechts aan de oppervlakte of tot op een zekere diepte een impact (bv. orkanen, overstromingen, stijging van de zeespiegel, erosie). Voor de meeste van deze fenomenen wordt de impact beperkt tot enkele tientallen meters of tot de watervoerende lagen. Voor **geologische berging** in vrij ondoordringbare lagen op enkele honderden meters diepte is de impact dus heel gering (269), (7), (268).

Geologische tijdsschalen worden uitgedrukt in miljoenen jaren, en fenomenen in de ondergrond (bv. diagenese, gebergtevorming) verlopen extreem traag in vergelijking met de evolutie van de biosfeer. In een sedimentair milieu wordt de voortdurende evolutie gekarakteriseerd door variaties in het zeeniveau. Als deze evolutie sinds miljoenen jaren stationair blijkt te zijn en de geologische geschiedenis (die goed gekend is) geen aanwijzingen geeft dat deze stationaire toestand ter discussie gesteld moet worden, wordt het mogelijk geacht om de toekomstige evolutie gedurende enkele honderdduizenden jaren te voorspellen (275), (276). Men stelt immers zelden aanzienlijke veranderingen vast binnen een periode van een miljoen jaar in geologische omgevingen van dit type (d.w.z. eenvoudige sedimentaire bekken). In het kader van hun respectievelijke veiligheidsstudies hebben NAGRA (124) en ANDRA (122) aangetoond dat de Opalinusklei en de kleien uit het Callovo-Oxfordiaan een voldoende geologische stabiliteit hebben. Voor de weinig verharde klei in België stelt men vast dat ze sinds hun afzetting steeds dieper begraven zijn, met uitzondering van enkele kleinere variaties in de diepte. Deze evolutie, die voor de Boomse Klei bijna 30 miljoen jaar en voor de Leperiaanklei bijna 50 miljoen jaar geduurd heeft, heeft de kleilagen tot op hun huidige diepte gebracht, die tevens de maximale diepte is (277). Deze studie is gebaseerd op gebeurtenissen die in deze periodes vastgesteld zijn en maakt het onrealistisch en niet opportuun om geologische processen te beschouwen die de stabiliteit op lange termijn van de weinig verharde kleien in de diepe ondergrond in België in gevaar kunnen brengen.

Een diepe gastformatie die als stabiel erkend wordt, zal fysische en chemische omstandigheden verzekeren die relatief onveranderd blijven gedurende honderdduizenden jaren. Die stabiliteit vertaalt zich in een lage waarschijnlijkheid van seismische of vulkanische activiteit, in hydrogeologische eigenschappen die de circulatie van water tegengaan en in mechanische eigenschappen die gunstig zijn voor de bouw, de exploitatie en de sluiting van

een bergingsinstallatie. Dankzij die stabiele context zal de gastformatie slechts in beperkte mate beïnvloed worden door de geosfeer en de oppervlakte en zal ze bijgevolg de installatie tegen deze invloeden beschermen (275), (276). Deze stabiele omstandigheden zijn van cruciaal belang: het veiligheidsdossier zal immers meer vertrouwen krijgen als de omgeving relatief onveranderd blijft dan als de omgeving fysische en chemische omstandigheden vertoont die nu of in de toekomst onbepaald zijn of die snel kunnen evolueren. Bovendien kunnen slechts in een stabiele en goed gekarakteriseerde omgeving duurzame en optimale technische keuzes gemaakt worden. Het IAEA beveelt daarom aan om homogene gastformaties met uniforme eigenschappen uit te kiezen voor geologische berging. Dit vergemakkelijkt immers de karakterisering van de gastformatie en de voorspelling van de evolutie ervan (92).

Naast de diepte en de geologische stabiliteit, die de isolatie van het afval t.o.v. de biosfeer verzekeren, heeft geologische berging ook als functie om contact van water met het afval te verhinderen of te beperken. Via oplossing in het grondwater en vervolgens transport door de verschillende geologische lagen migreren de radionucliden uit het afval immers in de loop van de tijd naar de oppervlakte. Het type bergingsinstallatie hangt af van het gastgesteente, maar het doel is steeds om het vrijkomen van radionucliden tegen te gaan. In het geval van een bergingsinstallatie in een kleiformatie is de installatie zo ontworpen en gebouwd dat ze gedurende tienduizenden jaren kan weerstaan aan corrosie door water en de insluiting van de radionucliden verzekert (124), (122). Complementair aan deze eerste barrière vervult de kleiformatie nog twee barrièrefuncties die de migratie van radionucliden tegengaan. Deze zijn gebaseerd op de inherente eigenschappen van de klei, die sinds miljoenen jaren onveranderd gebleven is. Ten eerste heeft het gastgesteente een zeer lage hydraulische geleidbaarheid, wat een voornamelijk diffusief en dus extreem traag transport van radionucliden garandeert. Bovendien bezit de klei, samen met zijn geochemische omgeving, gunstige eigenschappen m.b.t. sorptie, ionenwisseling en neerslag van elementen. Deze processen verminderen sterk de concentratie van de radionucliden die naar de oppervlakte migreren en vertragen hun beweging aanzienlijk. De richtlijnen van het IAEA over de sitekarakterisatie voor geologische berging (92) bevelen aan om al deze hydrogeologische parameters te bestuderen, teneinde aan te tonen dat hun combinatie daadwerkelijk het vrijkomen van radionucliden in het milieu beperkt.

Aangezien de weinig verharde kleiformaties in België zich bevinden in een geofysisch stabiele omgeving, wordt er geen seismische of magmatische activiteit verwacht in de periodes die relevant zijn voor de veiligheid op lange termijn. Toch zijn uit voorzorg scenario's van activatie van een breuk met impact op de bergingsinstallatie bestudeerd in het kader van de veiligheidsevaluaties uitgevoerd door NIRAS (7), (267), (278). Deze studies hebben aangetoond dat de radiologische impact van deze extreme en weinig waarschijnlijke gebeurtenissen in dezelfde grootte-orde ligt als die van het normale-evolutiescenario en dat de performantie van het bergingssysteem dezelfde blijft. Deze resultaten zijn te danken aan de plasticiteit van de weinig verharde klei, die ervoor zorgt dat eventuele breuken en barsten zich zeer snel opnieuw sluiten en dus slechts gedurende zeer korte tijd een mogelijke preferentiële migratieweg vormen voor radionucliden naar de oppervlakte.

De klimaatverandering op een tijdsschaal van de grootte-orde van een miljoen jaar wordt gekenmerkt door een opeenvolging van ijstijden en interglacialen. De interglacialen, zoals de periode die we nu kennen, geven aanleiding tot variaties in het zeeniveau. Deze variaties hebben een significante impact op de biosfeer, maar beïnvloeden de geosfeer slechts in beperkte mate. De ijstijden worden gekenmerkt door erosie van de bodem door gletsjers. Geologische studies tonen aan dat tijdens het Kwartair (ongeveer de laatste twee miljoen jaar) nooit een ijsskap België bereikt heeft.

De huidige theorieën over klimaatverandering op lange termijn steunen op de orbitaaltheorie van Milankovitch, die stelt dat klimaatpatronen bepaald worden door cyclische variaties in de

positie van de aardas en de baan van de aarde rond de zon. De orbitaaltheorie wordt bevestigd door stratigrafisch en paleomagnetisch onderzoek (279). Op basis van deze theorie wordt er de komende 800.000 jaar geen extreme ijstijd verwacht. Wel worden glaciële periodes vergelijkbaar met het minder extreme Weichseliaan (20.000 jaar geleden) verwacht na 60.000, 102.000, 419.000, 433.000, 467.000 en 694.000 jaar (280). Tijdens het Weichseliaan waren België en Nederland niet door een ijsskap bedekt.

Uiteraard is de onzekerheid verbonden met voorspellingen over het klimaat op lange termijn aanzienlijk. Het is niet mogelijk om nauwkeurig de variatie van het klimaat in de ruimte en in de tijd te voorspellen, maar wel om de klimatologische extremen te schatten die een bepaalde regio in de toekomst kan kennen. Zelfs tijdens extreme ijstijden zullen er volgens de modellen in België geen gletsjers aanwezig zijn (281). Bovendien zouden de ijstijden minstens in de komende honderdduizend jaar zeer beperkt moeten zijn door het broeikas-effect (282), (283).

Mocht er toch een ijsskap gevormd worden in het gebied van de berging, dan kunnen er vlak voor het ijsfront "bulldozer"-effecten optreden die een diepte van meer dan honderd meter kunnen bereiken. Als er zich in de zeer verre toekomst een extreme ijstijd voordoet en het gastgesteente geërodeerd wordt, zal de radiologische impact beperkt blijven doordat de activiteit van het afval tegen die tijd al sterk verminderd is (7). De verwachte resultaten van de "Safety and Feasibility Case I" bevestigen dat de impact van een ijstijd zeer beperkt is.

Het Zwitserse agentschap voor radioactief afval NAGRA (284) beschouwt het uitpersen van water uit de kleifformatie ten gevolge van de verhoogde druk door het gewicht van de ijsskap; dit fenomeen heeft echter slechts een beperkt effect op de performantie van het geologische bergingssysteem.

Tijdens een toekomstige ijstijd kan er wel permafrost optreden in België. Dit kan een vermindering van de infiltratiesnelheid naar de watervoerende lagen als gevolg hebben en bijgevolg leiden tot een kleinere verdunning in deze lagen. De resulterende licht verhoogde concentraties zullen echter niet leiden tot potentiële effecten op mens en natuur. Anderzijds zal het koude klimaat met permafrost een sterke invloed hebben op de biosfeer.

Er zijn ook een aantal geologische processen die in principe zowel op korte termijn als op lange termijn een impact kunnen hebben op de berging, zoals aardbevingen en vulkanische activiteit. Voor ondergrondse structuren zijn de effecten van aardbevingen verwaarloosbaar (267), (278). De impact van naburige vulkanische activiteit in de komende miljoen jaar op de performantie van het gastgesteente en het bergingssysteem zijn ook verwaarloosbaar (268).

Al de hierboven opgesomde studies tonen dus aan dat natuurlijke evoluties een zeer geringe verandering blijken teweeg te brengen in een geologische berging in weinig verharde klei. Het is dus zeer onwaarschijnlijk dat deze natuurlijke veranderingen de radiologische blootstelling van mens en milieu zullen verhogen.

Berging in diepe boorgaten lijkt mogelijk meer onderhevig aan extreme natuurlijke fenomenen dan geologische berging. Onderzoek in Zweden geeft aan dat de grondwaterbeweging op grotere diepte sterk beïnvloed kan worden door een ijstijd: stagnerende grondwaterlagen zouden aldus gemobiliseerd kunnen worden. Granietlagen waarin geologische berging zal plaatsvinden, zullen minder aan verandering ten gevolge van glaciatie onderhevig zijn. In Zweden komen aardbevingen vaker voor op grotere diepte (2,5-6 km) dan in de meer oppervlakkige lagen (1-2 km). Een berging in diepe boorgaten zal dus meer onderhevig zijn aan aardbevingen dan een geologische berging. Aardbevingen zullen leiden tot nieuwe breuken en transportwegen voor het diepe grondwater naar de oppervlakte. Theoretisch kan een aardbeving zelfs leiden tot een direct transport van diep grondwater (en de radionucliden erin) naar de oppervlakte (105).

De bovenstaande uitspraken gelden echter niet noodzakelijk voor België. Zoals hoger besproken wordt er in de komende 800.000 jaar geen extreme ijstijd verwacht met een ijskap die België bedekt. De Belgische ondergrond op enkele kilometers diepte is nog nooit door middel van boringen onderzocht, zodat men weinig kennis heeft over de eigenschappen van de mogelijke gastgesteenten en over de manier waarop ze beïnvloed kunnen worden door natuurlijke evoluties op de lange termijn.

Robuustheid t.o.v. veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit

Door de ligging in een diepe en stabiele geologische laag is het risico op beschadiging van een **geologische bergings**installatie door veranderingen in de installatie minder groot dan bij opslag aan de oppervlakte. De langzame degradatie van de kunstmatige barrière onder invloed van water is weliswaar onvermijdelijk, maar zeer langzaam en perfect te beheersen door de goed gekarakteriseerde en stabiele geologische omgeving. De evolutie van de kunstmatige barrière maakt het voorwerp uit van diepgaande studies. In deze context beveelt het IAEA aan om goed gekende technieken en materialen te gebruiken bij het ontwerpen van de kunstmatige barrières (19). De mate van degradatie en de minimale duur van de insluitingscapaciteit hangen af van de samenstelling en van de fysische en chemische omstandigheden van de omgeving. Johnson et al. (272) rapporteren een geschatte levensduur van 1200 tot 7000 jaar voor titaniumcontainers en van 30000 jaar voor kopercontainers. Ook in de dossiers van POSIVA (96), SKB (95), NAGRA (124), ANDRA (122) en NIRAS (7) worden kunstmatige barrières besproken die gedurende duizenden tot tienduizenden jaren de insluiting van radionucliden verzekeren.

Net zoals in de studies over migratie van radionucliden in de gastformatie worden in de hierboven beschreven inschattingen overdreven pessimistische situaties beschouwd en conservatieve aannames gemaakt. In de werkelijkheid zal het verlies van insluiting nooit ogenblikkelijk en volledig zijn. Bovendien bezitten een aantal elementen van de kunstmatige barrières gunstige eigenschappen m.b.t. de retentie van radionucliden; deze worden opzettelijk genegeerd in de berekeningen voor de veiligheidsevaluaties. Het is zeer waarschijnlijk dat de installatie zelfs in sterk gedegradeerde toestand nog een residuele barrièrefunctie zal vervullen na de periode waarvoor ze ontworpen is.

Een slechte afdichting van galerijen en schachten heeft, mits een goede keuze van het gastgesteente, slechts een miniem effect (7). Versnelde corrosie en desintegratie van de containers zal evenmin leiden tot een verhoogde blootstelling daar de dikke kleilaag de belangrijkste barrière is (183).

De thermische impact, die nu reeds in detail bestudeerd wordt (285), zal zijn maximum bereiken enkele honderden jaren na de plaatsing van het afval in de bergingsinstallatie. De opwarming van de weinig verharde klei blijkt van een dergelijke grootte-orde dat de functies van isolatie en vertraagde vrijgave niet in het gedrang komen.

Bij **berging in diepe boorgaten** kan een container vast komen te zitten op een niet ideale locatie en kan hij beschadigd raken. De hoge temperatuur en druk op grote diepte en het hoge zoutgehalte van het grondwater kunnen leiden tot een versnelde desintegratie van het opvulmateriaal en de container. Loskomende rotsdelen kunnen ook de container beschadigen. Aldus is berging in diepe boorgaten eerder een één-barrièresysteem: enkel de bovenliggende rotsmassa vormt een barrière. Als het boorgat, het opvulmateriaal en de afvalcontainer beschadigd zijn, dan kan het boorgat een transportweg worden voor radionucliden naar de oppervlakte (105), met mogelijk verhoogde blootstelling van mens en natuur als gevolg.

Robuustheid t.o.v. externe niet-natuurlijke gebeurtenissen

Externe niet-natuurlijke gebeurtenissen blijken slechts een beperkt effect te hebben op de performantie van een **geologische berging** (122), (7), (271). Bij een boring doorheen de geologische bergingsinstallatie wordt er gerekend op de eigenschappen van het gastgesteente om de migratie van radionucliden te beperken. Dankzij de plasticiteit van de weinig verharde klei sluiten openingen zich zeer snel, zodat de natuurlijke barrière hersteld wordt (7). Enkel voor personen die in aanraking komen met radionucliden in de boorkernen kan er een significante impact zijn. Om de kans op een dergelijke exploratieboring te beperken, kiest men bij voorkeur een site in een regio waar geen waardevolle exploiteerbare grondstoffen in de diepe ondergrond aanwezig zijn (45).

De impact van dergelijke externe niet-natuurlijke gebeurtenissen lijkt voor **berging in diepe boorgaten** nog kleiner dan voor geologische berging door de grote diepte.

Maatschappelijke robuustheid

Bij passief beheer zijn geen menselijke handelingen nodig om de bescherming van mens en milieu te garanderen. De invloed van maatschappelijke evoluties op de performantie van een bergingssysteem en dus op de radiologische blootstelling van mens en natuur aan de oppervlakte wordt zeer gering geacht (7), (271), zeker in vergelijking met actief beheer aan de oppervlakte.

10.5 Beoordeling van de robuustheid voor de lange termijn

In Tabel 57 wordt een overzicht gegeven van de robuustheid van de verschillende beheeropties voor de lange termijn. De beoordeling gebeurt in termen van waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante blootstelling en is daardoor te interpreteren als een beoordeling van de radiologische effecten van de beheeropties in geval van gewijzigde evolutie. De beoordeling in geval van normale evolutie vindt men in Tabel 45.

Tabel 57: Beoordeling van de robuustheid voor de lange termijn

	Actief beheer	Passief beheer	
		Geologische berging	Berging in diepe boorgaten
Robuustheid t.o.v. natuurlijke evoluties	<p>Vrij hoog</p> <p>Opslaggebouwen kunnen ontworpen worden zodanig dat ze bestand zijn tegen natuurfenomenen. Verbeterde technologie voor opslag en conditionering wordt verondersteld te leiden tot verdere vermindering van radiologische emissies, resulterend in verlaagde waarschijnlijkheid van impact op mens en natuur.</p> <p>Aanpassingen aan technologie in de loop der eeuwen zijn mogelijk. Optimalisatie van de sitekeuze is mogelijk. Geringere vrijzetting van radioactiviteit en resulterende impact naar mens en natuur verwacht.</p>	<p>Hoog</p> <p>Bergingsinstallatie wordt meestal weinig beïnvloed door natuurlijke fenomenen aan de oppervlakte. Een extreme ijstijd met ijskapvorming in België en mogelijke bulldozereffecten wordt niet in de eerste 800.000 jaar verwacht. Tegen die tijd is de radioactiviteit van het afval reeds sterk verminderd.</p> <p>Tektonische activiteit heeft weinig impact op ondergrondse structuren en op de performantie van klei als gastformatie (eventuele barsten dichten snel door de plasticiteit). Verhoogde blootstelling van mens en natuur door natuurlijke evoluties is daarom weinig waarschijnlijk.</p>	<p>Vrij hoog tot hoog</p> <p>Berging in diepe boorgaten lijkt meer onderhevig aan extreme natuurlijke fenomenen dan geologische berging. Glaciatie zou de grondwaterbeweging op grotere diepte sterk kunnen beïnvloeden. Aardbevingen komen vaker voor op grotere diepte. Aardbevingen kunnen leiden tot nieuwe breuken en transportwegen voor het diepe grondwater naar de oppervlakte en dus tot een verhoogde blootstelling van mens en natuur.</p> <p>Daar de probabilliteit van voorkomen van deze fenomenen laag geacht wordt, wordt de waarschijnlijkheid van afwezigheid van significante effecten op mens en natuur als vrij hoog tot hoog ingeschat.</p>
Robuustheid t.o.v. veranderingen in de interne fysische en technische stabiliteit	<p>Matig</p> <p>Bij langdurige opslag worden afvalcontainers en installaties met een levensduur van 100 à 300 jaar voorzien. De kans op degradatie zal toenemen in de tijd, met een verhoogde kans op radioactieve lozingen als gevolg. Bij elke herconditionering is er kans op een ongeval met mogelijk verhoogde radiologische blootstelling voor mens en natuur als gevolg.</p>	<p>Hoog</p> <p>Containers kunnen ontworpen worden voor een levensduur van meer dan 1000 jaar.</p> <p>Kans op vrijzetting van radioactiviteit door desintegratie van de barrières met dus kans op verhoogde radiologische impact op mens en natuur is dus zeer klein temeer daar de dikke kleilaag de belangrijkste barrière is.</p>	<p>Matig</p> <p>De afvalcontainer kan vast komen te zitten op een niet ideale locatie en kan beschadigd raken. Mogelijk versnelde corrosie door extreme omstandigheden op grote diepte. Losgekomen rotsdelen kunnen de afvalcontainer beschadigen. Als boorgat, opvulmateriaal en afvalcontainer beschadigd zijn, dan kan het boorgat een transportweg worden voor radionucliden naar de oppervlakte, met mogelijk verhoogde blootstelling van mens en natuur als gevolg.</p>

	Actief beheer	Passief beheer	
		Geologische berging	Berging in diepe boorgaten
Robuustheid t.o.v. externe niet-natuurlijke gebeurtenissen	<p>Vrij hoog</p> <p>Gebouwen en verpakking zijn ontworpen om een externe impact te weerstaan. Deze technologie kan nog verbeteren.</p> <p>Kans op vrijzetting van radioactiviteit door desintegratie van de barrières met dus kans op verhoogde radiologische impact op mens en natuur is daardoor klein.</p> <p>Feit dat het afval zich bovengronds bevindt, wordt als nadeel beschouwd t.o.v. geologische berging.</p>	<p>Hoog</p> <p>Externe niet-natuurlijke gebeurtenissen hebben slechts een zeer beperkte invloed op de globale performantie van een geologische berging. Bij een boring doorheen het gastgesteente wordt er gerekend op de eigenschappen van het gastgesteente om de migratie te beperken.</p> <p>Waarschijnlijkheid van radiologische blootstelling van mens en natuur wordt dus nauwelijks beïnvloed door externe niet-natuurlijke gebeurtenissen.</p>	<p>Hoog</p> <p>Externe niet-natuurlijke gebeurtenissen hebben slechts een zeer beperkte invloed op globale performantie van een berging in diepe boorgaten. Bij een boring doorheen het gastgesteente wordt er gerekend op de eigenschappen van het gastgesteente om de migratie te beperken.</p> <p>Waarschijnlijkheid van radiologische blootstelling van mens en natuur wordt dus nauwelijks beïnvloed door externe niet-natuurlijke gebeurtenissen.</p>
Maatschappelijke robuustheid	<p>Laag</p> <p>Als maatschappelijke veranderingen leiden tot wegvallen van actief beheer of verloren gaan van technische kennis, kan dit de insluiting van radionucliden verminderen en leiden tot een verhoogde blootstelling van mens en natuur. Garantie van financiële middelen onzeker.</p> <p>Bij extreme maatschappelijke instabiliteit kan het moeilijk worden om de veiligheid van de installatie te waarborgen. Gevolgen van een grootschalig incident op mens en natuur kunnen van een enorme omvang zijn.</p>	<p>Hoog</p> <p>Bij passief beheer zijn geen menselijke handelingen nodig om de bescherming van mens en milieu te garanderen. De invloed van maatschappelijke evoluties op de performantie van een bergingssysteem en dus op de radiologische blootstelling van mens en natuur wordt zeer gering geacht, zeker in vergelijking met actief beheer.</p>	<p>Hoog</p> <p>Bij passief beheer zijn geen menselijke handelingen nodig om de bescherming van mens en milieu te garanderen. De invloed van maatschappelijke evoluties op de performantie van een bergingssysteem en dus op de radiologische blootstelling van mens en natuur wordt zeer gering geacht, zeker in vergelijking met actief beheer.</p>
Globaal oordeel over robuustheid	Laag	Hoog	Vrij hoog

De robuustheid hangt af van de locatie en van de technische uitvoering van de beheeropties. Ze kan dus in dit stadium niet in detail ingeschat worden.

10.6 Robuustheid voor de lange termijn en niet-radiologische effecten

Voor de lange termijn spelen de radiologische effecten de hoofdrol in de effectbeoordeling. Toch zijn er in hoofdstuk 9 ook een aantal niet-radiologische effecten bestudeerd die betrekking hebben op de lange termijn.

De langetermijneffecten op het landschap zijn het gevolg van een permanente ruimte-inname in geval van actief beheer. Bij passief beheer daarentegen is het op termijn mogelijk om een andere bestemming aan de site te geven. Of dat werkelijk gebeurt, zal vooral afhangen van maatschappelijke factoren. Ondanks deze onzekerheid lijkt het niet waarschijnlijk dat de impact op het landschap bij passief beheer groter wordt dan bij actief beheer. Relatief gezien zal de effectbeoordeling dus geldig blijven.

Bij geologische berging is er in het begin van de lange termijn een thermische impact op de gastformatie te verwachten. De grondwaterlagen in de buurt van de opslag- of bergingsinstallatie zullen waarschijnlijk niet meer geëxploiteerd mogen worden. Er zijn veranderingen denkbaar die de omvang van deze effecten wijzigen, maar dit zal geen invloed hebben op de relatieve effectbeoordeling: passief beheer zal nog steeds minder goed scoren dan eeuwigdurende opslag.

De bespreking van de ethische aspecten is gebaseerd op principes die op dit moment belangrijk gevonden worden. Voor de lange termijn is dit het principe van intergenerationele billijkheid. Maatschappelijke veranderingen zullen ongetwijfeld leiden tot andere ethische visies. Het is mogelijk dat het principe van intergenerationele billijkheid anders geïnterpreteerd wordt of dat men er meer of minder belang aan hecht dan vandaag. Dit verandert echter niets aan het fundamentele verschil tussen actief en passief beheer in de ethische context: bij actief beheer worden er telkens lasten overgedragen naar de volgende generaties, terwijl dat bij passief beheer op termijn niet meer het geval is. De beoordeling van de mate waarin de beheeropties voldoen aan het principe van intergenerationele billijkheid zal dus geldig blijven, maar in de toekomst kan men er mogelijk wel meer of minder belang aan hechten dan nu.

Het aspect beveiliging en safeguards wordt vooral beïnvloed door maatschappelijke evoluties. Beveiliging zal echter in principe altijd gemakkelijker blijven bij passief beheer dan bij actief beheer; de beoordeling blijft dus geldig. Safeguards-inspecties zijn op dit moment moeilijker te realiseren voor passief beheer doordat het radioactief afval zich ondergronds bevindt, maar daar kan verandering in komen door technologische ontwikkelingen of door versoepeling van de verplichtingen. Het is in principe mogelijk dat safeguards-inspecties voor passief beheer in dat geval gemakkelijker te realiseren worden dan voor actief beheer.

11. VOORSTEL VOOR MITIGERENDE MAATREGELEN

In dit hoofdstuk worden een aantal mitigerende maatregelen beschreven, die als doel hebben om de milieueffecten in de mate van het mogelijke te beperken. Voor de principebeslissing zullen de mitigerende maatregelen van weinig belang zijn aangezien ze deels locatie- en/of projectspecifiek zijn. In dit stadium kunnen ze dus nog niet volledig uitgewerkt worden, maar in latere fasen van de getrapte aanpak (zie paragraaf 5.2.1) zullen ze meer in detail onderzocht worden.

11.1 Natuur

Nagaan van de mogelijkheden van ecotoopherstel / nieuwe ecotopen

De verschillende beheeropties kennen een grote ruimte-inname. Na de aanlegfase moet er nagegaan worden in welke mate ecotoopherstel of de realisatie van nieuwe ecotopen mogelijk is voor de niet-bebouwde ruimten.

Indien hoogopgaande vegetatietypes op het terrein uitgesloten zijn, kan er bijvoorbeeld gekozen worden voor verschillende graslandtypes die weinig onderhoud vergen.

Voorzien van migratiemogelijkheden

Bij de keuze voor een bepaalde beheeroptie moet er voldoende aandacht uitgaan naar het herstellen van de migratiemogelijkheden. Hierbij dient niet enkel het herstel van de migratie binnen de site nagestreefd te worden, maar moeten er ook mogelijkheden voorzien worden voor fauna (voornamelijk mobiele fauna zoals vogels en insecten) om de ruimere omgeving te doorkruisen zonder grote onderbrekingen in de ecologische infrastructuur tegen te komen. Het is noodzakelijk om een netwerk van groenstroken (inheemse, standplaatsgeschikte soorten) aan te leggen. Waar mogelijk dient hierbij de momenteel aanwezige vegetatie behouden te blijven.

Verminderen van verstoring door gewijzigde luchtkwaliteit, gewijzigde waterhuishouding of geluid

Gezien de omvang van de werkzaamheden is het volledig vermijden van enige geluids- of andere verstoring tijdens langere aaneengesloten periodes (bv. broedperiodes) niet realistisch. De volgende voorzorgsmaatregelen moeten daarom genomen worden, voor zover relevant in de betreffende type-omgeving:

- Gedurende het broedseizoen moeten geluidswerende maatregelen genomen worden. Zowel tijdens de aanleg als tijdens de exploitatiefase zal apparatuur met sterk geluiddempende systemen gebruikt worden. De milderende maatregelen voorgesteld bij discipline geluid (zie paragraaf 11.4.2) zijn daarnaast ook onverminderd van toepassing.
- Vegetatie moet gekapt worden voor het begin of na het einde van het broedseizoen (voor maart of na augustus).
- Poelen en grachten moeten drooggelegd worden voor de voortplantingsperiode van amfibieën (voor einde maart).
- Weilanden moeten gefreesd worden voor het broedseizoen, zodat er geen nestmogelijkheid bestaat.

Dit neemt niet weg dat alle geluidsverstoringen bij voorkeur ook steeds buiten het broedseizoen (maart t.e.m. augustus) gebeuren.

Verminderen van verstoring door lichthinder

De volgende maatregelen kunnen genomen worden om de lichthinder te verminderen.

- Verlichting concipiëren volgens maximale efficiëntie en minimale lichthinder
- Decentraliseren: verschillende lokale lichtbronnen i.p.v. één grotere lichtbron
- Rechtstreeks opwaarts licht vermijden
- Enkel afgeschermd armaturen gebruiken, waarvan de lichtbundel uitsluitend op de beheerinstallatie gericht is
- De verlichting moet beperkt zijn tot de beheerinstallatie. Doorstraling naast of doorheen de installaties moet vermeden of geblokkeerd worden.
- Uitvoeren van de beheerinstallatie in gematteerde (niet-reflecterende) materialen
- Hoeveelheid weerkaatst licht beperken
- Uitsluitend het doelgebied aanstralen
- Niet hoger dan 20° onder het horizontale vlak aanstralen (tegen verblinding)
- Gebruik van blauw en wit licht beperken om aantrekking van insecten te verminderen
- Lichten doven wanneer er geen activiteiten plaatsvinden

Verminderen van verstoring door blootstelling aan radioactiviteit of toxische chemische stoffen

Voor de bescherming van de mens en de natuur tegen de risico's verbonden met hoogradioactief en/of langlevend afval steunen de beheeropties op een strategie van concentreren en insluiten van de radionucliden die in het afval aanwezig zijn (zie paragraaf 2.2). Het ontwerp en de bouw van de barrières die deze insluiting moeten verzekeren en het correct uitbaten van de beheerinstallatie zijn daarbij van essentieel belang.

Uit de bespreking van de impact op de natuur (paragrafen 9.1.2 en 9.1.3) blijkt dat voor het normale-evolutiescenario de impact van ioniserende straling en toxische componenten op de natuur beperkt tot verwaarloosbaar is in vergelijking met de natuurlijke achtergrondwaarden.

De exploitant (NIRAS) moet dit aantonen door een zeer uitgebreid en gedetailleerd veiligheidsdossier in te dienen bij het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC), dat optreedt als vergunningverlenende overheid voor de implementatie van een beheeroptie voor hoogradioactief en/of langlevend afval op een bepaalde site.

Voor sommige beheeropties is er echter een risico op verhoogde vrijzetting naar het milieu bij bepaalde extreme gebeurtenissen van natuurlijke of niet natuurlijke aard of bij maatschappelijke instabiliteit. Mitigatie bij contaminatie van terrestriële en aquatische ecosystemen is zelden mogelijk zonder secundaire impact op het milieu (bv. afvoeren van besmette bodem en vegetatiebodem, verwijderen van gecontamineerde sedimenten). Onaanvaardbare verhoging van de concentratie van radionucliden of andere toxische componenten in het grondwater kan eventueel gemitigeerd worden door bv. de techniek van permeabele reactieve wanden zonder een noemenswaardige impact op het milieu.

11.2 Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

De impact op landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie is sterk afhankelijk van de sitekeuze (zie paragraaf 9.2). Heel wat effecten kunnen immers voorkomen worden door een goede sitekeuze, waarbij in eerste instantie erfgoedschade wordt voorkomen. Er dient m.a.w. voldoende rekening gehouden te worden met de aanwezigheid van landschappelijke en erfgoedwaarden.

Verder dient bij de aanleg en de exploitatie de nodige aandacht te gaan naar proceseffecten (bv. zetting door variaties in de grondwatertafel).

Het effect van het uitzetten van de kleilagen onder invloed van de warmteafgifte door het afval bij geologische berging kan gemilderd worden door de afstand tussen de bergingsgalerijen groter te maken.

11.3 Grondstoffen

11.3.1 Bodem

Verschillen in effecten op de bodem tussen de beheeropties hebben in hoofdzaak te maken met oppervlakten verstoorde bodem en volumes grondverzet. Optimalisaties inzake zuinig ruimtegebruik, hergebruik van gronden of optimaal bodembeheer kunnen een negatieve beoordeling allicht omzetten in een minder negatieve score. Vooral het vrijkomen van valoriseerbare delfstoffen in het geval van geologische berging en berging in diepe boorgaten en de bovengrondse opslag ervan op de site blijkt de beoordeling van deze beheeropties in vergelijking tot de beheeropties met opslag in negatieve zin te beïnvloeden. Nuttig intern of extern hergebruik van deze grondstoffen kan ervoor zorgen dat het onderscheid tussen de verschillende beheeropties voor deze criteria veel kleiner wordt of zelfs verdwijnt.

De beoordeling van de impact op de bodem zal verder sterk bepaald worden door locatiegebonden kenmerken. Naast zuinig ruimtegebruik kan bij de verdere zoektocht naar een geschikte locatie de voorkeur gegeven worden aan bodems die in het recente verleden reeds een fysische of chemische verstoring ondergaan hebben. Ongestoorde natuurlijke of waardevolle bodems zijn te vermijden.

Door de afstanden tussen de galerijen en tussen de containers in een galerij te vergroten kan men de impact van het thermisch front aanzienlijk verminderen.

11.3.2 Water

Conform de Europese en nationale wetgeving betreffende Integraal Waterbeleid mogen problemen niet afgewenteld worden. Er moet ruimte gemaakt worden voor water. Dit houdt onder andere in dat elke toename van verhard oppervlak gecompenseerd moet worden. De watertoets is één van de instrumenten die de overheid gebruikt om dit te bereiken. Via de watertoets adviseert de vergunningverlener bij uitbreiding van verhard oppervlak om "waterneutraal" te bouwen. Waterneutraal bouwen houdt in dat de initiatiefnemer afdoende maatregelen neemt om de versnelde afvoer voor elke toename van verhard oppervlak te compenseren, zodat het watersysteem niet zwaarder belast wordt. In de eerste plaats dient dit te gebeuren door infiltratiebevorderende maatregelen te nemen (bv. doorlatende verhardingen) en door hergebruik van hemelwater afkomstig van daken te integreren in het ontwerp. Indien infiltratie niet zinvol of mogelijk is, dienen retentiemaatregelen (bufferen van

afstromend hemelwater) voorzien te worden om een vertraagde afvoer naar het oppervlaktewater te realiseren. Hierdoor zal het onderscheid in impact op het ontvangend oppervlaktewater tussen enerzijds de bergingsopties en anderzijds de beheeropties met opslag grotendeels verdwijnen.

De kans op hydraulisch contact tussen aquifers bij de bergingsopties (of bij ondergrondse opslag) kan geminimaliseerd worden door een aangepaste en correcte uitvoering van de boringen, maar het risico blijft groter dan bij opslag aan de oppervlakte.

Ten aanzien van wijzigingen in grondwaterstanden en –stromingen, die vooral bij ondergrondse opslag verwacht worden, kunnen eveneens gepaste technische maatregelen genomen worden om verdrogende of vernattende effecten te vermijden of te compenseren.

11.4 Menselijke gezondheid

11.4.1 Lucht

Er kan aangenomen worden dat de werken niet zullen leiden tot overschrijdingen van luchtkwaliteitsdoelstellingen (zie paragraaf 9.4.1). In die zin zou men dan ook kunnen stellen dat er strkit genomen geen milderende maatregelen nodig zijn.

Gezien de negatieve impact van stofdepositie en van fijn stof, zelfs als er voldaan wordt aan de luchtkwaliteitsdoelstellingen, worden er toch een aantal projectgerelateerde milderende maatregelen voorgesteld tijdens de aanleg. Door het toepassen van milderende maatregelen kan de impact immers nog verlaagd worden. De volgende milderende maatregelen zijn mogelijk:

- Beperken van de snelheid van het werfverkeer
- Spreiden van het werfverkeer nabij het projectgebied (uiteraard dienen woonkernen zo veel mogelijk vermeden te worden)
- Frequent reinigen van wegen en werfwegen als bronmaatregel
- Natspuiten van wegen en werfwegen bij droog en winderig weer
- Gebruik van wielwasinstallaties bij het verlaten van de werf
- Indien grondwerken bij droog en winderig weer uitgevoerd moeten worden, kunnen sproei-installaties verstuiving voorkomen
- Algemeen toepassen van goed vakmanschap
- Afscherming bij afbraak
- Bevochtiging bij afbraak
- Bij inzetten van de nieuwste types van werfmachines met de laagste emissieniveaus kan de impact beperkt worden. Hierbij kan er verwezen worden naar de op Europees niveau goedgekeurde emissiedoelstellingen voor deze machines.

11.4.2 Geluid

In paragraaf 9.4.2 is aangegeven welke factoren een rol spelen bij de geluidsoverlast: aard van het materieel (geluidsvermogeniveau), duur en tijdstip van de werken, afstand tot de bewoners, frequentie waarmee de geluidshinder voorkomt, bestemmingsgebied van de site en de omgeving.

In de milieu-akoestiek geldt als algemeen principe dat een lawaaioprobleem het efficiëntst aangepakt wordt zo dicht mogelijk bij de bron. Voordat men het plaatsen van een geluidsmaatregel in de geluidsoverdrachtsweg overweegt, dient men dus steeds na te gaan of er geen mogelijkheden bestaan om de **geluidsproductie aan de bron zelf te verminderen**, zoals inzet van geluidsarm materieel of materieel waarbij geluidsbeperkende maatregelen toegepast zijn (bv. bulldozer met akoestisch dempingsrooster aan de luchttoevoer, geluidsisoleerde motorcompartimenten e.d.).

Tevens kunnen maatregelen getroffen worden op het vlak van de **bestemming van de zone**. Het toewijzen van een gebied aan een bepaalde activiteit (bv. industrie, handel, kantoor) of aan de woonfunctie, of aan een mix van functies, is uiteraard bepalend voor het type van geluid dat voortgebracht wordt door deze activiteiten en de geluidsomgeving van deze plaats. Het verkeer (drukke, samenstelling) en de bebouwde omgeving (plaats, type en hoogte van de gebouwen) zijn elementen die het geluid in een omgeving beïnvloeden. Op deze wijze kan een onderzoek ingesteld worden naar een hinderbeperkende inplanting van de inrichting, waarbij het specifieke geluid van de inrichting gemaskeerd wordt door het aanwezige omgevingsgeluid. Een geluid is gemaskeerd wanneer het geluidsniveau 10 dB(A) lager is dan het geluidsniveau van een ander geluid dat tegelijkertijd geproduceerd wordt. Dit houdt in dat een waarnemer, in de aanwezigheid van meerdere geluiden, een bepaald geluid slechts zal horen wanneer het geluidsniveau ervan ten minste 10 dB(A) hoger ligt dan het geluidsniveau van de andere geluidsbronnen.

Transporten door **landelijke woonkernen** moet zoveel mogelijk vermeden worden. De werfwegen buiten de site kunnen best zo snel mogelijk geïntegreerd worden met de (geluidsbelastende) hoofdwegen.

Voor de vaste geluidsbronnen binnen het projectgebied (zoals technische installaties) kunnen de **obstakels** (gebouwen) zo opgesteld worden dat deze het geluid naar de omgeving afbuigen en/of doorlaten en het tegelijkertijd afzwakken. Door te spelen met de hindernissen binnen het projectgebied kan men de omgeving beschermen tegen de geluidsbronnen.

Bij de aanlegwerkzaamheden is het aangewezen om **geen werkzaamheden tijdens de verstoringsevoelige periodes** (avond- en nachtperiode, weekends en feestdagen) uit te voeren.

11.4.3 Radiologische effecten

Voor de bescherming van de mens en zijn omgeving tegen de risico's verbonden aan hoogradioactief en/of langlevend afval steunen de beheeropties op een strategie van concentreren, insluiten en isoleren van de radionucliden die in het afval aanwezig zijn (zie paragraaf 2.2).

Het ontwerp en de bouw van de barrières die deze insluiting moeten bewerkstelligen en het correct uitbaten van de beheerinstallatie zijn daarbij van essentieel belang. Een doorgedreven kwaliteitsbeheersysteem binnen elke fase van het project is bijgevolg essentieel. Hierin zullen de principes van de stralingsbescherming steeds centraal staan:

- Afscherming en insluiting:
 - Inkapselen of insluiten van radioactieve stoffen gaat de verspreiding ervan tegen
 - Beperking van de dosis aan de bron
 - Water, glas, lood, beton en veel andere materialen schermen straling doeltreffend af. De dikte en aard van het scherm hangen af van de soort straling en de bronsterkte.
- Duur van de blootstelling beperken:
 - Hoe korter de blootstellingsduur, hoe kleiner de stralingsdosis.
 - De duur van de werkzaamheden met radioactieve stoffen nauwkeurig plannen
- Afstand tot de bron: hoe verder de radioactieve bron verwijderd is, hoe kleiner de dosis. De dosis verandert kwadratisch met de afstand tot de bron. Op 2 m ontvangt men viermaal minder straling dan op 1 m.

Uit de bespreking van de radiologische effecten op de mens (paragraaf 9.4.3) en op de natuur (paragraaf 9.1.2) blijkt dat, naargelang de gekozen beheeroptie, de impact voor mens en natuur beperkt tot zelfs verwaarloosbaar is in vergelijking met de natuurlijke achtergrondwaarden.

De exploitant (NIRAS) moet dit aantonen door een zeer uitgebreid en gedetailleerd veiligheidsdossier in te dienen bij het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC), dat optreedt als vergunningverlenende overheid voor de implementatie van een beheeroptie voor hoogradioactief en/of langlevend afval op een bepaalde site.

Ondanks de verwaarloosbare impact zal monitoring in elke fase van het project noodzakelijk zijn (zie paragraaf 12.4.3).

Om eventuele ongevallen het hoofd te bieden dient de uitbater een noodplan op te stellen dat goedgekeurd moet worden door de overheid. In elke fase van het project en voor elk van de mogelijke ongevallen, zelfs die welke niet tot de ontwerpongevallen behoren, dient men de nodige technische middelen en mankracht te voorzien om de gevolgen te beperken. De noodplanorganisatie moet regelmatig geoefend worden en indien nodig verbeterd worden. Bovendien organiseert de overheid een extern noodplan om de gevolgen van een ongeval buiten de site te beperken. Het externe noodplan heeft tot doel om de maatregelen te coördineren die bij een radiologische noodtoestand genomen moeten worden om de bevolking en het milieu te beschermen.

11.5 Sociale aspecten

Vanuit sociaal oogpunt kunnen verschillende milderende maatregelen geformuleerd worden. Het zijn in de eerste plaats aanvullende niet-infrastructuurgebonden maatregelen die de risicoperceptie, het wantrouwen en het onveiligheidsgevoel bij de bevolking moeten wegnemen. In dat kader stelt het Publieksforum het volgende: *“Net omwille van de complexiteit van deze problematiek is er veel dat wij als burger niet weten, wat leidt tot vrees. De genomen beslissing zal goed zijn als ze die vrees weet om te zetten in vertrouwen”* (213).

- De lokale bevolking moet informatie en inspraak krijgen over radioactief afval en de algemene nucleaire problematiek. Maar liefst 52% van de Belgen zou graag

rechtstreeks geconsulteerd worden in het kader van het beslissingsproces over geologische berging nabij de woonplaats (209), (210). Uit een ander onderzoek (212), (211) blijkt dat 75% van de respondenten vindt dat de lokale bevolking zou moeten participeren in het beslissingsproces betreffende een bergingsinstallatie voor radioactief afval (10% is het hier niet mee eens). Hierbij dient wel vermeld te worden dat uit onderzoek (286) blijkt dat een publiek debat vaak uitdraait op een principediscussie tussen de voor- en tegenstanders van het beheer van radioactief afval. In de buurt van locaties waar momenteel reeds radioactief afval beheerd wordt, blijkt deze dialoog wel meer genuanceerd te verlopen.

- Participatie lijkt vaak verengd te worden tot socio-economische thema's. In een participatief proces kan echter veel meer aan bod komen. De volgende vragen en thema's zijn van belang (286):
 - Voelen de mensen zich veilig en hebben ze vertrouwen in het beheer?
 - Kan men nee zeggen tegen beheeropties die men niet vertrouwt?
 - Opbouw van legitieme kennis, waarbij technische kennis niet los gezien kan worden van de sociale, economische, politieke en regelgevende context
 - Complexe oplossingen, niet enkel vanuit technisch perspectief, maar ook vanuit sociaal, politiek en economisch oogpunt.
- Elke vorm van communicatie met het grote publiek moet objectief zijn en verstaanbaar voor iedereen. Ze moet dus vereenvoudigd worden, zonder betekenisverlies (213). Andere hinderpalen voor een participatief proces met lokale actoren en stakeholders zijn eventueel de middelen en de capaciteit van de bevolking, het kennis- en competentieniveau, het procesontwerp en de begeleiding, de feedback naar de stakeholders, de vertegenwoordiging van de achterban en de algemene politiek (286).
- Er is nood aan een blijvende aanwezigheid van deskundig personeel om het radioactief afval veilig te beheren. Daarbij wenst men ook het beheer en/of het toezicht in handen te leggen van onafhankelijke instanties of personen zoals een comité van wetenschappelijke experts of de overheid (211), (213).
- Bij de realisatie van de beheeroptie moet een passend controleprogramma worden uitgewerkt en uitgebouwd. De controle op radiologische besmetting van de omgeving (lucht, water, bodem, fauna en flora, ...) moet op een kwaliteitsvolle wijze voortgezet worden. De resultaten moeten aan de lokale hulpdiensten meegedeeld worden.
- Er dient voldoende studiewerk verricht te worden over de gezondheidstoestand van de bevolking en de radiologische referentiewaarde, zodat tijdens de exploitatie nagegaan kan worden of het beheer een impact heeft op de blootstelling aan radioactieve straling.
- De noodplanning moet geoptimaliseerd worden en moet een brede bekendheid krijgen bij de bevolking. Bovendien moet de overheid ervoor zorgen dat de lokale hulpdiensten kunnen beschikken over voldoende opgeleid personeel en het nodige materiaal om bij een nucleair incident efficiënt in te grijpen. De bestaande hulpdiensten (brandweer, politie, medische sector, ...) en de medische infrastructuur moeten in functie hiervan geoptimaliseerd worden.
- Het noodplan moet een communicatiestrategie omvatten die snelle, efficiënte en geografisch (lokaal, nationaal, internationaal) aangepaste communicatiestromen garandeert (213).
- Bij de inplanting van de beheersite moet het verlies aan huidige functies (bv. natuurwaarden) zo veel mogelijk beperkt worden en waar nodig gecompenseerd

worden. In dit kader gaat 70% van de Belgische bevolking akkoord met het idee dat de regio waar het afval beheerd wordt een economische compensatie moet krijgen. Meer dan 50% vindt dat deze betaald moeten worden door alle verbruikers van elektriciteit (24% gaat hiermee niet akkoord) (212), (211).

- *“Eis om garanties in te bouwen, opdat latere generaties zich het nodige zouden herinneren en over een werkbaar collectief geheugen zouden beschikken, met het oog op hun veiligheid en die van alweer de volgende generaties na hen. (...) Bij wat allemaal onthouden moet worden vermelden de deelnemers aan de maatschappelijke consultatie: welk afval waar geborgen of opgeslagen is; welke gevaren het inhoudt in welke omstandigheden; hoe het behandeld, verpakt, opgeslagen... is; de kennis waarover wij nu beschikken; waarom en hoe het er gekomen is,” (27).*

11.6 Beveiliging en safeguards

Bij het aspect beveiliging en safeguards gaat het niet om effecten die gemilderd moeten of kunnen worden. Beveiliging is in feite zelf een maatregel die bepaalde (potentiële) effecten moet voorkomen of verminderen. Hieronder wordt een korte beschrijving gegeven van de generieke aanpak bij de beveiliging van een nucleaire installatie (150).

Beveiliging berust op in belangrijke mate op een systeem van fysieke bescherming van de installatie. Hiervoor zijn een aantal internationale verdragen en aanbevelingen van toepassing (zie paragraaf 6.10.1). In het algemeen moet een systeem voor fysieke bescherming de volgende functies vervullen:

- **Afschrikking:** het systeem van fysieke bescherming moet ervoor zorgen dat ontvreemding van nucleair materiaal of sabotage te moeilijk te realiseren wordt.
- **Detectie:** elke (poging tot) kwaadwillige intrusie moet ontdekt worden door bewakers of met behulp van sensors. De frequentie van “vals alarm” moet zo klein mogelijk zijn. Een centraal alarmstation moet alle detectiemeldingen ontvangen en evalueren.
- **Evaluatie:** de detectiemeldingen moeten geëvalueerd worden door visuele inspectie en/of closed circuit television (CCTV). Zo kan de oorzaak van het alarm bepaald worden en wordt de nodige informatie verzameld over de aard van de eventuele intrusie.
- **Vertragen** van de indringers, zodat er tijd gewonnen wordt om versterking te halen. Dit kan gebeuren door middel van allerlei barrières zoals hekken, muren, sloten e.d.
- **Respons** door getrainde en indien nodig gewapende personen.

Naast de fysieke bescherming, die specifiek is voor elke installatie, is ook inlichtingenwerk van belang bij de beveiliging. Het is vooral de taak van de inlichtingendiensten om informatie te verzamelen en te analyseren over groepen of individuen die intenties hebben om nucleair materiaal te ontvreemden of nucleaire installaties te saboteren. In België is de Veiligheid van de Staat bevoegd voor de opvolging van een aantal dreigingen, waaronder terrorisme en proliferatie van kernwapens (287).

12. VOORSTEL VOOR MONITORINGSMATREGELEN

12.1 Natuur

Fysische effecten

Aangezien de bepaling van de impact op de natuur samenhangt met de effectbeoordeling van een aantal andere disciplines (bodem, water, geluid, ...), gelden de monitoringsvoorstellen voor deze disciplines ook als relevant voor het onderdeel natuur.

Gezien het ontbreken van locatiespecifieke gegevens en de als gevolg hiervan eerder kwalitatieve effectbeoordeling, is het niet mogelijk om op dit moment meer specifieke voorstellen voor monitoring te doen.

Radiologische effecten en effecten van toxische chemische componenten

De algemene doelstelling voor een toezichts- of monitoringsprogramma voor het aspect natuur is het verzamelen van gegevens voor het verzekeren van de afwezigheid van een impact op het leefmilieu ten gevolge van de vrijzetting van radioactieve en toxische stoffen uit de beheerinstallatie. Eens de site en de beheeroptie gekozen zijn, zal de monitoring sterk samengaan met het monitoringsprogramma voor het opvolgen van de mogelijke impact van de vrijzetting van radioactieve en toxische stoffen op de bevolking.

Het radiologisch toezichtsprogramma zal verschillend zijn voor iedere periode en fase in de levensduur van de beheerinstallatie. Zo dient er onderscheid gemaakt te worden tussen (288), (289):

- een toezichtsprogramma tijdens de operationele fase en de constructiefase
- een toezichtsprogramma tijdens de operationele fase
- een toezichtsprogramma tijdens de sluitingsfase (indien van toepassing)
- een toezichtsprogramma tijdens de controlefase of de fase na de sluiting (indien van toepassing)

Voor de bescherming van de mens en het milieu tegen de risico's verbonden aan hoogradioactief en/of langlevend afval steunen de beheeropties op een strategie van concentreren en insluiten van de radionucliden die in het afval aanwezig zijn (19). Een groot deel van de aandacht in de voorgestelde monitoringsprogramma's gaat dan ook naar dit aspect (288), (289). Door de strategie van concentreren en insluiten is de vrijgave van radionucliden en toxische componenten van het afval naar de biosfeer uiterst beperkt (19) en is er minder aandacht voor het detailleren van monitoringsprogramma's voor het leefmilieu. Op basis van de huidige stelling van de ICRP (18) en het IAEA (290) dat het milieu voldoende beschermd is als de mens voldoende beschermd is (19), is er ook geen directe nood aan bijkomende monitoring voor de garantie van het bewaren van de integriteit van het leefmilieu en zijn componenten.

Monitoring in de omgeving van de beheerinstallatie behelst dus, zoals voor een op de mens gericht monitoringsprogramma, een monitoring van lucht, grondwater, bodem en oppervlaktewater in de nabijheid van de site. Enkel wanneer in deze media een merkbare verhoging ten opzichte van de achtergrondconcentraties optreedt, dient men een sitespecifiek monitoringsprogramma op te stellen naar andere componenten van het leefmilieu. Voor het project i.v.m. berging van afval van categorie A worden in het

monitoringsprogramma wel metingen in vegetatie, fauna en flora op halfjaarlijkse basis voorgesteld (289).

12.2 Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

Om schade aan het bouwkundig en archeologisch erfgoed te voorkomen, dient er nauwgezet toegezien te worden op de evolutie van de grondwaterstanden in de omgeving van de site, eenmaal deze gekozen is. Indien nodig dienen bijkomende maatregelen genomen te worden om de impact van de grondwaterstandverlagingen tegen te gaan.

12.3 Grondstoffen

12.3.1 Bodem

Monitoring hangt vooral samen met eventuele leemten in de kennis die het moeilijk of onmogelijk gemaakt hebben om de verschillende beheeropties te vergelijken in hun mogelijke impact op de bodem. Aangezien dit niet het geval is, worden – althans op dit strategische niveau van de milieueffectbeoordeling – geen specifieke voorstellen voor monitoring gedaan. Los daarvan wordt er aanbevolen om de mogelijkheden inzake hergebruik van vrijkomende delfstoffen bij geologische berging en berging in diepe boorgaten te onderzoeken.

12.3.2 Water

Ook voor het aspect water werden geen moeilijkheden ondervonden om de diverse beheeropties te vergelijken volgens hun potentiële impact op grondwater en oppervlaktewater. Monitoring zal zeker nuttig en noodzakelijk worden voor het aspect grondwater eens de principebeslissing genomen is en een geschikte locatie gevonden is. In alle tussenliggende stappen kan de inzet van een specifiek grondwatermodel aanbevolen worden om effecten te voorspellen en proactief milderende maatregelen te simuleren.

12.4 Menselijke gezondheid

12.4.1 Lucht

Voor het aspect lucht wordt monitoring niet noodzakelijk geacht.

12.4.2 Geluid

De in paragraaf 9.4.2 gegeven beschrijving van de impact op het geluidsklimaat is volledig kwalitatief en is gebaseerd op een aantal aannames, die getoetst dienen te worden.

Door de onzekerheden over de geluidsemissie, de locatie en de uitvoeringstermijnen van de werkzaamheden wordt er voorgesteld om bij aanvang van de werkzaamheden een geluidsinventarisatie uit te voeren. Op basis van de meetresultaten van de inventarisatie kan

zo nodig een bijgestuurde impactbepaling bekomen worden om aldus de eventuele milderende maatregelen concreter in te vullen.

12.4.3 Radiologische effecten

Onder monitoring verstaat men het continu of regelmatige observeren en meten van bepaalde parameters die het mogelijk maken om het gedrag van de verschillende componenten van het beheersysteem en/of de impact ervan op de omgeving op te volgen.

Uit de bespreking van de radiologische effecten op de mens (paragraaf 9.4.3) en op de natuur (paragraaf 9.1.2) blijkt dat, naargelang de gekozen beheeroptie, de impact voor mens en natuur beperkt tot zelfs verwaarloosbaar is in vergelijking met de natuurlijke achtergrondwaarden. Deze evaluaties gaan uit van een correct ontwerp en een normale evolutie in de tijd en veronderstellen dat er monitoring gebeurt. Naargelang de gekozen beheeroptie zullen de prioriteiten en bijgevolg de te monitoren parameters verschillen. Zo zal de nadruk voor de actieve beheeropties liggen op een monitoring van de kunstmatige barrières. Deze prioriteiten, in combinatie met een aantal randvoorwaarden (bv. wetgeving, internationale standaarden, werkhypothesen, economische haalbaarheid, ...) zullen uiteindelijk uitmonden in een bepaalde strategie. Deze strategie is projectafhankelijk en dient vastgelegd te worden in overleg met de overheid.

Monitoring begint reeds tijdens de karakterisering van de site, teneinde de referentieomstandigheden te kennen, en gaat zo lang als mogelijk (en minstens tot het einde van de institutionele controle) verder na de definitieve keuze van de beheeroptie.

Het IAEA (106) geeft een voorbeeld van een monitoringprogramma in de verschillende fasen van het project.

- Tijdens de pre-operationele monitoring legt men de referentiesituatie vast teneinde tijdens het verdere verloop van het project veranderingen gemakkelijk te kunnen opmerken. Deze monitoring gebeurt voorafgaand aan de operationele periode en moet minstens één jaar in beslag nemen teneinde in de 4 seizoenen te kunnen meten. Voorbeelden van te monitoren parameters zijn:
 - Meteorologische data
 - Seismische data
 - Oppervlaktemetingen, zoals activiteitsmetingen in de lucht, de bodem en het oppervlaktewater met identificatie van de voornaamste radionucliden, inclusief radon. De metingen moeten gebeuren op en aan de grens van de gekozen site, maar ook op bepaalde specifieke locaties zoals woonkernen, natuurgebieden en grondwaterputten.
 - Metingen van het grondwater rondom de bergingsinstallaties aan de hand van boorgaten
 - ...
- Tijdens de operationele periode zal de pre-operationele monitoring uitgebreid worden met bijvoorbeeld:
 - Monitoring van het personeel (individuele monitoring en area monitoring)
 - Monitoring van aangevoerde afvalcontainers (aanvaardingscriteria)
 - Monitoring van eventuele contaminatie van uitrusting
 - Monitoring van de lucht in de gebouwen waar het afval behandeld wordt

- Monitoring van de bodem in de buurt van de beheerinstallatie na plaatsing van het afval om eventuele contaminatie vast te stellen
- Monitoring van niet-radiologische parameters in de beheerinstallatie zoals temperatuur, vochtigheid, aanwezigheid van chlorides of ontvlambare gassen
- ...
- In de periode met institutionele controle na de sluiting van een passieve beheerinstallatie komt de monitoring grotendeels overeen met deze tijdens de pre-operationele periode
- Voor het verzekeren van de veiligheid van een passieve beheerinstallatie op lange termijn (d.w.z. na de periode van institutionele controle) steunt men op de natuurlijke en kunstmatige barrières en neemt men aan dat deze niet gegarandeerd kan worden door middel van monitoring door de toekomstige generaties. Dit betekent echter niet noodzakelijk dat het monitoringprogramma stopgezet dient te worden. Zo wordt het aangeraden om de kortetermijnmonitoring verder te zetten gedurende een bepaalde periode nadat de sluitingsfase beëindigd is.

12.5 Sociale aspecten

Vanaf het moment dat er een beslissing genomen is over de locatie is monitoring van de socio-demografische samenstelling van de bevolking in de omgeving gewenst om eventuele wijzigingen en de daarbij horende sociale problemen tijdig te detecteren en aan te pakken.

Daarnaast is het ook belangrijk om door middel van consultatie de risicoperceptie van de bevolking, het sociaal welzijn en de leefbaarheid op te volgen bij de bevolking die in de nabijheid van de beheersite woont en leeft.

12.6 Beveiliging en safeguards

Safeguards-inspecties houden steeds een monitoring van de installatie in. De centrale doelstelling is om te verzekeren dat nucleair materiaal niet gebruikt wordt voor niet-vreedzame doeleinden. Naargelang de beheeroptie zijn verschillende technieken voor safeguards-inspecties mogelijk. Deze werden reeds beschreven in paragraaf 9.8.

13. **LEEMTEN IN DE KENNIS**

13.1 **Algemeen**

Een belangrijke leemte in de kennis voor deze SEA is het ontbreken van een ruimtelijke afbakening. Dit is ten dele opgevangen door het gebruik van typeomgevingen (zie paragraaf 5.3.2). Deze kunnen echter niet in dezelfde mate van detail beschreven worden als een reële omgeving, waardoor de effectbeschrijving en –beoordeling vaak generiek en kwalitatief van aard is.

Zodra de site gekozen is, kunnen de relevante omgevingsfactoren onderzocht worden. Naarmate men vordert in de getrapte aanpak van de milieueffectenbeoordeling (zie paragraaf 5.2.1) kan de informatie over de site gebruikt worden om de effecten steeds meer in detail te beschrijven en te beoordelen. Er valt te verwachten dat aan het einde van het proces, wanneer de locatie en de uitvoeringsvariant vaststaan en een project-MER de vergunningverlening mogelijk moet maken, de milieueffecten in grote mate van detail en op kwantitatieve wijze beschreven kunnen worden. Deze leemte in de kennis zal dus in de getrapte aanpak steeds meer weggewerkt worden.

Van een heel andere orde is de onzekerheid over toekomstige evoluties die kunnen interfereren met de beheeropties, zeker op de lange termijn (zie paragraaf 5.3.4). Er valt niet te verwachten dat de kennis hierover significant zal groeien naarmate het beslissingsproces vordert en de site en de beheeroptie meer in detail bestudeerd worden. Deze leemte in de kennis zal dus grotendeels blijven bestaan in de volgende stappen van de getrapte aanpak.

De uitwerking van het concept robuustheid (zie paragraaf 5.3.4) biedt hier een uitweg. De beoordeling van de robuustheid van de beheeropties (zie hoofdstuk 10) laat toe om in te schatten hoe goed de verschillende beheeropties bestand zijn tegen allerlei veranderingen.

13.2 **Natuur**

Fysische effecten

Aangezien voor de bepaling van de impact op de natuur input van andere disciplines noodzakelijk is, gelden de ontbrekende gegevens voor deze disciplines ook als leemten voor het onderdeel natuur.

Daarnaast kan het ontbreken van locatiespecifieke gegevens beschouwd worden als de grootste leemte in de basisgegevens. Hoewel in de effectbespreking getracht wordt om zo veel mogelijk de theoretische ecologische potenties van een site in te schatten, heeft het ontbreken van een aantal basisgegevens tot gevolg dat de effectbeoordeling hier noodgedwongen een kwalitatief karakter heeft.

Hieruit volgen ook leemten in de voorspellingsmethoden en leemten in het inzicht.

Radiologische effecten en effecten van toxische chemische componenten

Voor de radiologische effecten en de effecten van toxische chemische componenten in het radioactief afval of in de kunstmatige barrières kunnen de volgende leemten in de kennis geïdentificeerd worden:

- Er is nog geen eenduidigheid in de normen ter bescherming van het milieu tegen ioniserende straling. Er is ook onvoldoende kennis om een realistisch dosisdebiet voor te stellen waarbij men significante effecten op het leefmilieu (ecosysteemintegriteit, beschermde soorten) kan verwachten. Verder bestudeert het merendeel van de studies de effecten op individueel niveau en zijn er dus extrapolaties nodig voor het inschatten van de effecten op populatie- en ecosysteemniveau.
- Er is een groot gebrek aan parameterwaarden om de impact op het milieu te kunnen evalueren. Eén van de belangrijke parameterwaarden gebruikt in de radiologische impactmodellen voor het milieu is de transferfactor, gedefinieerd als de ratio van de concentratie van een bepaald radionuclide in het organisme en de concentratie in het milieu (bodem, sediment, water, lucht). Voor de meeste combinaties radionuclide-organisme is er geen informatie beschikbaar over deze transferfactor.
- Door het gebrek aan kennis en informatie worden de blootstellingroutes zeer summier beschouwd. Actuele blootstellingmodellen zijn bovendien gebaseerd op een aantal belangrijke aannames, zoals een homogene distributie van de activiteit in de organismen en in het milieu (bodem, sediment). Er is geen kennis met betrekking tot de biologische effectiviteit van verschillende stralingsvormen voor de meerderheid van de organismen.
- Het ontbreken van een locatie heeft tot gevolg dat de effecten op het leefmilieu niet in detail bepaald kunnen worden (zie paragraaf 13.1).

13.3 Landschap, bouwkundig erfgoed en archeologie

Een belangrijke leemte in de kennis houdt verband met de tijdschaal waarmee er gewerkt wordt. Het waarderen van erfgoed en landschap is immers sterk tijdsgebonden en evolueert mee met de maatschappelijke ontwikkelingen. De moderne monumentenzorg vindt zijn oorsprong in de Franse revolutie en is bijgevolg nog maar 200 jaar oud. Omdat niet te voorspellen is op welke wijze men in de toekomst met erfgoedwaarden zal omgaan, zijn we genoodzaakt om te vertrekken vanuit de huidige maatschappijvisie. Dit is relevant, voor zover er binnen afzienbare tijd een definitieve oplossing gekozen wordt. Indien men echter nog geen keuze wenst te maken, zullen de conclusies van dit onderzoek te zijner tijd opnieuw geëvalueerd moeten worden.

13.4 Grondstoffen

De leemten in de kennis voor wat betreft de impact op grondstoffen (bodem en water) zijn terug te voeren op het feit dat de locatie niet gekend is (zie paragraaf 13.1).

13.5 Menselijke gezondheid

13.5.1 Lucht

Er zijn geen concrete meetwaarden m.b.t. de luchtkwaliteit bekend voor het projectgebied. Aangezien de locatie nog niet vastligt, kan de actuele luchtkwaliteit ook niet nauwkeurig

ingeschat worden. Er kan aangenomen worden dat vooral de achtergrondconcentraties bepalend zullen zijn.

De uit te voeren werken zijn van een dergelijke aard en duur dat een kwantitatieve beoordeling van de impact niet mogelijk is. De impact wordt dan ook voornamelijk kwalitatief beoordeeld.

13.5.2 Geluid

De in paragraaf 9.4.2 gegeven beschrijving van de impact op het geluidsklimaat is volledig kwalitatief en is gebaseerd op een aantal aannames, die getoetst dienen te worden. Modellerings zal in het geval van een latere project-m.e.r. nodig zijn als men de geluidsoverlast in exacte termen wil uitdrukken en deze wil toetsen aan de geldende criteria voor milieuhinder. Op lange termijn kunnen deze toetsingscriteria samen met het beleidskader evolueren.

13.5.3 Radiologische effecten

De volgende leemten in de kennis zijn van belang:

- Omwille van de zeer lange tijdshorizon is het onmogelijk om een inschatting te geven van de impact van toekomstige evoluties (bv. klimaatverandering, maatschappelijke evoluties, ...). In hoofdstuk 10 wordt de robuustheid daarom enkel op een kwalitatieve manier besproken. De conclusie is dat de passieve beheeropties met passief beheer minder beïnvloed worden door deze onzekerheden dan de actieve beheeropties.
- De impact wordt besproken voor de normale situatie, maar voor ongevalssituaties (zelfs voor de ontwerpongevallen) is momenteel weinig kwantitatieve informatie beschikbaar.
- Het feit dat de locatie niet gekend is, heeft als gevolg dat de radiologische impact op de bevolking in zijn geheel (collectieve dosis) momenteel niet bepaald kan worden. De ICRP stelt dat de blootstelling van de bevolking tot een minimum herleid moet worden, zonder een specifieke limiet te vermelden (ALARA-principe (17), (18)). De collectieve effecten kunnen daarom een rol spelen in de locatiekeuze, maar niet in de keuze van de beheeroptie.

13.6 Sociale aspecten

Op dit ogenblik kunnen de volgende leemten in de kennis vermeld worden:

- Risicoperceptie van de verschillende beheeropties: slechts voor enkele beheeropties zijn er gegevens voorhanden over de risicoperceptie, zoals bv. voor de geologische berging
- Risicoperceptie van laag- versus hoogradioactief afval: bij de studies in verband met risicoperceptie is er niet steeds een duidelijk onderscheid gemaakt tussen hoog- en laagactief afval of worden er slechts vragen gesteld over één van beide types. Ook daarover ontbreekt dus nog bepaalde kennis.
- Eventuele beperkingen inzake bodemgebruik voor de oppervlakten die zich bevinden boven de ondergrondse galerijen bij geologische berging.

- Eventuele beperkingen inzake bodemgebruik voor de site van een berging in diepe boorgaten na afsluiting.

Daarnaast maakt het strategische niveau van deze SEA dat er weinig in detail ingegaan wordt op de uitvoeringsmodaliteiten van de verschillende beheeropties.

13.7 Beveiliging en safeguards

Er bestaat enige onzekerheid over de implementatie van safeguards in geval van passief beheer. Tot nader order is de "policy paper" van het IAEA van toepassing, die stelt dat bestraalde splijtstof in een geologische bergingsinstallatie onderworpen is aan safeguards, ook na de sluiting van de installatie (72). Het is echter mogelijk dat deze verplichting versoepeld wordt naarmate de kennis, de ervaring en het vertrouwen in geologische berging toenemen. De ontwikkeling van nieuwe technieken voor safeguards-inspecties zou hier ook toe kunnen bijdragen.

14. **BESLUIT**

Deze Strategic Environmental Assessment (SEA) ondersteunt een principebeslissing over het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Een aantal beheeropties voor de korte termijn (de eerste honderd jaar) en de lange termijn (tot tienduizenden of honderdduizenden jaren) worden beschreven en beoordeeld op hun effecten op mens en milieu. Er wordt niet enkel gekeken naar de milieueffecten *sensu stricto*, maar ook naar o.a. sociale, economische en ethische aspecten. De beoordeling steunt op een uitgebreide nationale en internationale kennisbasis.

Door het strategische niveau van de te nemen principebeslissing is ook deze SEA strategisch van aard. Dit betekent dat de beheeropties nog niet in grote mate van detail beschreven zijn en dat de locatie niet vaststaat. Daardoor is de effectbeschrijving en –beoordeling vooral kwalitatief en kan er niet gesteund worden op precieze kennis over de ontvangende omgeving. Meer gedetailleerde uitspraken over de omvang van de effecten zijn pas in latere stadia aan de orde, wanneer milieueffectenbeoordelingen opgemaakt zullen worden voor welbepaalde sites en/of uitvoeringsvarianten. Toch laat de effectbeoordeling op strategisch niveau nu reeds toe om een aantal conclusies te trekken over de verschillende beheeropties.

Radiologische impact

De radiologische impact op mens en natuur op korte termijn is naar verwachting in normale omstandigheden zeer beperkt en is gelijkaardig voor alle beheeropties. Enkel de status quo-optie is minder performant doordat de levensduur van de bestaande opslaginstallaties en de conditionering beperkt is.

Ook op lange termijn is in normale omstandigheden geen grote kans op significante blootstelling te verwachten. Bij actief beheer bieden de kunstmatige barrières en deskundig beheer de nodige bescherming. Bij passief beheer verzekert de gastformatie de veiligheid.

De verschillen tussen de beheeropties worden duidelijker als men kijkt naar de robuustheid, m.a.w. naar de mate waarin de beheeropties bestand zijn tegen allerlei veranderingen. Op korte termijn zijn de verschillen nog niet erg groot; een minder grote robuustheid is te verklaren door de beperkte levensduur van de opslaginstallaties (status quo-optie) of door technologische onzekerheden (berging in diepe boorgaten). Vooral maatschappelijke veranderingen kunnen op korte termijn een ongunstige invloed hebben op de beheeropties.

Op lange termijn is passief beheer (d.w.z. berging) zeer robuust. Natuurlijke evoluties, veranderingen in de installatie zelf, externe niet-natuurlijke gebeurtenissen of maatschappelijke evoluties hebben weinig tot geen invloed op de veiligheid van geologische berging of berging in diepe boorgaten. Actief beheer (eeuwigdurende opslag) is echter veel kwetsbaarder voor maatschappelijke veranderingen. Zonder deskundige menselijke handelingen is de kans op significante blootstelling groot. Ook de periodieke herconditionering van het afval brengt onvermijdelijk een zekere blootstelling met zich mee voor de werknemers.

Effecten van de aanleg

Alle beheeropties zullen op korte termijn een significante impact op het milieu hebben. Het gaat immers om grote bouwprojecten, waarvoor een site van minstens enkele tientallen hectare ingrijpende veranderingen zal ondergaan. De verstoring van de bodem, de fauna en de flora, het landschap en de aanwezige menselijke activiteiten is aanzienlijk. De verschillen tussen de beheeropties worden vooral bepaald door de verschillen in ruimte-inname. Voor

berging in diepe boorgaten blijkt een veel grotere site nodig te zijn dan voor geologische berging en voor langdurige of eeuwigdurende opslag doordat een zekere afstand tussen de boorgaten in acht genomen moet worden. Voor de status quo-optie is slechts een beperkte uitbreiding op de bestaande site nodig en is de verstoring bijgevolg beperkt.

Naast de ruimte-inname zijn ook de aanlegwerkzaamheden zelf bepalend voor de impact. Vooral geologische berging en in mindere mate berging in diepe boorgaten impliceren een aanzienlijk grondverzet. De daarmee verbonden vrachtwagentransporten zorgen voor luchtverontreiniging, geluidshinder en mobiliteitshinder voor de omwonenden. Voor langdurige of eeuwigdurende opslag en voor de status quo-optie is het grondverzet minder groot, maar zijn de werken geconcentreerd in een veel kortere periode, wat tijdelijk resulteert in een hogere intensiteit van de transporten. Voor eeuwigdurende opslag zijn de effecten recurrent. Een ernstig risico voor de gezondheid zou evenwel niet aan de orde zijn.

De site op lange termijn

Een groot verschil tussen actief beheer en passief beheer is de mate waarin de site op termijn gebruikt of ontwikkeld kan worden. Bij actief beheer blijven er “voor eeuwig” bovengrondse installaties aanwezig en wordt de site permanent ingenomen. Bij passief beheer daarentegen is het in principe op termijn mogelijk om de bovengrondse installaties te verwijderen. Daardoor is een gunstige natuurlijke of landschappelijke ontwikkeling mogelijk of kan de site opnieuw voor bepaalde menselijke activiteiten gebruikt worden.

Kosten en financiering

Alle beheeropties brengen aanzienlijke kosten met zich mee. Voor geologische berging en berging in diepe boorgaten is het mogelijk om nu de nodige fondsen aan te leggen. Op lange termijn stellen deze beheeropties immers weinig of geen financiële eisen. De nood aan periodieke herconditionering bij eeuwigdurende opslag maakt het in de praktijk onmogelijk om een adequaat financieringsmechanisme op te zetten. Dit betekent dat aanzienlijke financiële lasten doorgegeven worden aan de toekomstige generaties. Hetzelfde geldt voor de niet-definitieve beheeropties: de kosten voor de implementatie van een definitieve beheeroptie worden in dat geval immers doorgeschoven.

Ethische aspecten

Ethische argumenten op basis van internationaal aanvaarde principes zoals het voorzorgsprincipe, duurzame ontwikkeling, intra- en intergenerationele billijkheid resulteren in een voorkeur voor de passieve beheeropties. De verantwoordelijkheid wordt in dat geval binnen de huidige generatie opgenomen en er worden geen overmatige lasten naar de toekomstige generaties doorgegeven. De financiering wordt verzorgd door de huidige vervuilers, o.a. de producenten van elektriciteit uit kernenergie. De flexibiliteit en dus de keuzevrijheid voor de toekomstige generaties zijn echter groter bij actief beheer.

Beveiliging en safeguards

Installaties voor langdurige opslag of berging van radioactief afval worden niet beschouwd als erg aantrekkelijke doelwitten voor kwaadwillige handelingen. De ondergrondse ligging in geval van geologische berging of berging in diepe boorgaten is een extra voordeel. Dit neemt niet weg dat de nodige beveiligingsmaatregelen getroffen moeten worden op de site.

Controles door het IAEA en EURATOM in het kader van safeguards kunnen voor opslaginstallaties met klassieke technieken gebeuren. Voor geologische berging en berging in diepe boorgaten zijn complexere technieken nodig. Ontvreemden van nucleair materiaal is echter veel moeilijker door de ondergrondse ligging.



REFERENTIES

1. Koninklijk besluit van 30 maart 1981 houdende bepaling van de opdrachten en de werkingsmodaliteiten van de openbare instelling voor het beheer van radioactief afval en splijtstoffen. *Belgisch Staatsblad*. 5 mei 1981.
2. Brief van de voogdijminister van NIRAS aan NIRAS: dossier langetermijnbeheer afval van de categorieën B en C. 19 november 2004. MV/DO/19.11.04-017276.
3. **NIRAS**. *Ontwerpplan. Ontwerpplan voor het langetermijnbeheer van hoogactief en/of langlevend afval. Versie bestemd voor de eerste overhandiging bij het SEA-Adviescomité*. 2009. Versie bestemd voor de eerste overhandiging bij het SEA-Adviescomité..
4. Wet van 13 februari 2006 betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's en de inspraak van het publiek bij de uitwerking van de plannen en programma's in verband met het milieu. *Belgisch Staatsblad*. 10 maart 2006.
5. Richtlijn 2001/42/EG van het Europees Parlement en de Raad van 27 juni 2001 betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's. *PB L 197*. 21 juli 2001.
6. **NIRAS**. *Afvalplan in ontwikkeling. Werkdocument voor de maatschappelijke consultatie georganiseerd door NIRAS in het voorjaar van 2009*. 2009.
7. —. *SAFIR 2: Safety Assessment and Feasibility Interim Report 2*. 2001. Rapport NIROND 2001-06 E.
8. **GEMIX groep**. *Wat is de ideale energiemix voor België tegen 2020 en 2030? Eindverslag*. 30 september 2009.
9. Wet van 31 januari 2003 houdende de geleidelijke uitstap uit kernenergie voor industriële elektriciteitsproductie. *Belgisch Staatsblad*. 28 februari 2003.
10. Resolutie 541/9-91/92 van de Belgische Kamer van Volksvertegenwoordigers betreffende het gebruik van plutonium- en uraniumhoudende brandstoffen in Belgische kerncentrales en de opportuniteit van de opwerking van nucleaire brandstof. 22 december 1993.
11. **NIRAS**. *Estimation au 31/12/2008 des volumes de déchets radioactifs conditionnés attendus dans le cadre du programme de référence et en cas de prolongation de la durée de vie des centrales électronucléaires*. 2009. Nota NIROND 2009-2416.
12. —. *The wastes of categories B&C - general overview*. 2010. Nota NIROND 2010-0998.
13. **Umicore**. Relaties met de omgeving: Olen. Radioactiviteit: UMTRAP. [Online] <http://www.communityrelations.umicore.com/nl/olen/olenUMTrap.htm>.
14. **Verenigde Naties**. *Report of the United Nations conference on Environment and Development (Earth Summit), Rio de Janeiro (Brasil, 3-14 June 1992*. 1992. A/CONF.151/26 (Vol. I).
15. **IAEA**. *The Principles of Radioactive Waste Management*. 1995. Safety Series No. 111-F.
16. —. *Fundamental Safety Principles*. 2006. Safety Fundamentals No. SF-1.

17. **ICRP.** Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste (Publication 81). *Ann. ICRP.* 1998, Vol. 28, 4.
18. —. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Publication 103). *Ann. ICRP.* 2007, Vol. 37, 2-4.
19. **IAEA.** *Geological Disposal of Radioactive Waste: Safety Requirements.* 2006. Safety Standards Series No. WS-R-4.
20. **NIRAS.** *Technisch overzicht van het SAFIR 2-rapport: Safety Assessment and Feasibility Interim Report.* 2001. Rapport NIROND 2001-05 N.
21. —. *Naar een duurzaam beheer van radioactief afval: context van het SAFIR 2 rapport.* 2001. Rapport NIROND 2001-07 N.
22. **LONDO.** *Duurzame ontwikkeling: een multidisciplinaire visie.* Leuven : Acco, 2009.
23. **Verenigde Naties.** *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.* 1987. Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427 - Development and International Co-operation: Environment.
24. Wet van 5 mei 1997 betreffende de coördinatie van het federale beleid inzake duurzame ontwikkeling. *Belgisch Staatsblad.* 18 juni 1997.
25. **Verenigde Naties.** *Report of the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg (South Africa), 26 August - 4 September 2002.* 2002. A/CONF.199/20**.
26. —. *Programme Agenda 21 "A Blueprint for Sustainable Development", United Nations Conference on Environment and Development (Earth Summit), Rio de Janeiro (Brasil), 3-14 June 1992.* 1992.
27. **DLC.** *Rapport Maatschappelijke Consultatie: beheer op lange termijn van hoogactief en langlevend afval. Een consultatie georganiseerd door NIRAS in het voorjaar van 2009.* 2009.
28. **Kourilsky, P.** *Du bon usage du principe de précaution.* Paris : Editions Odile Jacob, 2002.
29. **FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, DG Energie en Federaal Planbureau.** *Ontwerp van studie over de perspectieven van elektriciteitsbevoorrading 2008-2017.* 2009.
30. **ARCADIS.** *Strategische milieubeoordeling van de studie over de perspectieven van elektriciteitsbevoorrading 2008-2017.* 28 juni 2009. In opdracht van FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie.
31. Koninklijk Besluit van 28 november 2008 tot aanstelling van een groep van experts betreffende de energiemix van België. *Belgisch Staatsblad.* 2 december 2008.
32. **Koning Boudewijnstichting.** *Hoe beslissen over het langetermijnbeheer van hoogradioactief en langlevend afval?* 2009. Informatiebrochure voor de deelnemers aan het Publieksforum.
33. **IAEA.** *"Reference Biospheres" for solid radioactive waste disposal. Report of BIOMASS Theme 1 of the BIOSphere Modelling and ASSESSment (BIOMASS) Programme.* 2003. IAEA-BIOMASS-6.

34. **NIRAS.** *Etude de trois options d'entreposage. Version 2.* 2010. Nota NIROND 2010-0014 FR.
35. —. *Conditioes voor implementatie van een geologische berging.* 2010. Nota NIROND 2010-0116.
36. —. *Conditions de mise en oeuvre : forages profonds.* 2010. Nota NIROND 2010-1095.
37. **KEMA.** *Beschrijving van een langdurige bovengrondse opslag van laag radioactief afval.* 1997.
38. **IAEA.** *The Long Term Storage of Radioactive Waste: Safety and Sustainability. A Position Paper of International Experts.* 2003.
39. **OESO - NEA.** *Post-closure safety case for geological repositories.* 2004.
40. **Walker, L. J. en Johnston, J.** *Guidelines for the Assessment of Indirect and Cumulative Impacts as well as Impact Interactions.* Luxemburg : European Commission, DG Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, 1999.
41. Koninklijk Besluit van 20 juli 2001 houdende algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van ioniserende stralingen. *Belgisch Staatsblad.* 30 augustus 2001.
42. **IAEA.** *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management.* 1997.
43. Wet van 2 augustus 2002 houdende de instemming met het Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval, gedaan te Wenen op 5 september 1997. *Belgisch Staatsblad.* 25 december 2002.
44. **Vandenbergh, N. en Laga, P.** *De aarde als fundament. Een inleiding tot de geologie voor ingenieurs.* Leuven : Acco, 1996.
45. **Wouters, L. en Vandenbergh, N.** *Geologie van de Kempen. Een synthese.* Brussel : NIRAS, 1994.
46. Educypedia. [Online] <http://www.educypedia.be/general/belgie.htm>.
47. **Vlaamse Milieumaatschappij.** Milieurapport Vlaanderen. [Online] <http://www.milieurapport.be>.
48. **Région Wallonne.** L'état de l'environnement wallon. [Online] <http://etat.environnement.wallonie.be/>.
49. **Degans, H., et al.** *Milieurapport Vlaanderen 2007: achtergronddocument verstoring van de waterhuishouding.* 2007.
50. **OESO.** *Environmental Performance Reviews: Belgium.* 2007.
51. Titel II van het VLAREM. Besluit van de Vlaamse Regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne. *Belgisch Staatsblad.* 31 juli 1995.
52. **Vlaamse Milieumaatschappij.** *MIRA-T 2008: Milieurapport Vlaanderen: Indicatorenrapport.* 2008.

53. **Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu, Natuur en Energie.** Rekenmodellen geluidsbelasting. [Online] <http://www.lne.be/themas/hinder-en-risicos/geluidshinder/beleid/eu-richtlijn/goedgekeurde-geluidskaarten/goedgekeurde-geluidskaarten>.
54. **Studiedienst van de Vlaamse Regering.** *Beleving van geluidshinder in Vlaanderen*. 2009.
55. **Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.** *Ioniserende straling*. [Online] <http://www.rivm.nl/milieuportaal/onderwerpen/straling-en-EM-velden/ioniserende-straling/>.
56. **Harju-Autti, P. en Volckaert, G.** *Evaluation of the chemical-toxic consequences of geological disposal of radioactive waste*. 1995. SCK-CEN R-3051.
57. **Vanmarcke, H., et al.** *Milieurapport Vlaanderen 2007: achtergronddocument ioniserende straling*. 2007.
58. **Interenvironnement Wallonie.** [Online] <http://www.iewonline.be>.
59. **WHO.** *Guidelines for community noise*. 1999.
60. **SCK.** *Opleiding stralingsdeskundige, module 7: wet- en regelgeving*. 2009.
61. **FOD Economie, KMO, Middenstand en Energie, Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie.** Statistieken. [Online] <http://www.statbel.fgov.be>.
62. **IAEA.** *The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material*. 1980. INFCIRC/274.
63. —. *The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities*. 1999. INFCIRC/225/Rev.4.
64. —. *Conference to consider and adopt proposed amendments to the Convention on the Physical Protection of Nuclear Matter*. 2005. CPPNM/AC/L.1/1.
65. —. *Code of conduct on the safety and security of radioactive sources*. 2004.
66. **Verenigde Naties.** *International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism*. 2005.
67. —. *Treaty on the non-proliferation of nuclear weapons*. 1968. INFCIRC/140.
68. **IAEA.** *The structure and content of agreements between the Agency and states required in connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons*. 1972. INFCIRC/153.
69. **Euratom.** *Verdrag van 25 maart 1957 tot oprichting van de Europese Gemeenschap voor Atoomenergie (Euratom)*. 1957.
70. *Verordening (Euratom) Nr. 302/2005 van de Commissie van 8 februari 2005 betreffende de toepassing van de veiligheidscontrole van Euratom. PB L 54. 28 februari 2005.*
71. **IAEA.** *Agreement between Belgium, Denmark, the Federal Republic of Germany, Ireland, Italy, Luxembourg, the Netherlands, the European Atomic Energy Community and the IAEA in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons*. 1973. INFCIRC/193.

72. —. *Safeguards for final disposal of spent fuel in geological repositories*. 1997. IAEA Policy Paper No. 15.
73. —. *Model Additional Protocol additional to the Agreement(s) between State(s) and the International Atomic Energy Agency for the application of safeguards*. 1997.
74. —. *The Safeguards System of the International Atomic Energy Agency*. 200*.
75. **NIREX**. *The viability of a phased geological repository concept for the long-term management of the UK's radioactive waste*. 2005. NIREX Report N/122.
76. **Dutton, M., et al.** *The comparison of alternative waste management strategies for long-lived radioactive wastes*. 2004. EUR 21021 EN.
77. **LISTO**. *Comparative Assessment of Long-Term Waste Management Options for High-Level and/or Long-Lived Radioactive Waste in Belgium. Volume II - Exploring the path towards long-term radioactive waste management*. 2008.
78. **NIRAS**. *De oppervlakteberging, op Belgisch grondgebied, van laagactief afval en afval met korte halveringstijd: synthese en aanbevelingen*. 1994. Rapport NIROND 94-04.
79. **IMO**. *Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter (1972 London Convention and 1996 Protocol Thereto)*. 1972.
80. **OSPAR-commissie**. *Verdrag inzake de bescherming van het mariene milieu in het noordoostelijk deel van de Atlantische Oceaan*. 22 september 1992.
81. **OESO - NEA**. *Feasibility of Disposal of High-Level Radioactive Waste into the Seabed*. 1988.
82. **Verenigde Naties**. *Treaty on Principles Governing the Activity of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies*. 27 januari 1967.
83. —. *Antarctisch Verdrag*. 1 december 1959.
84. **IAEA**. *Classification of Radioactive Waste: A Safety Guide*. 1994. Safety Series No. 111-G-1.1.
85. **Cheung, Y.** *Direct Injection*. 2004. CoRWM Document No. 623.
86. **Devezeaux de Lavergne, J. G. en Lièven, T.** *L'entreposage industriel est-il apte à gérer la longue durée?* 2006. Clefs CEA No. 53.
87. **NIRAS**. *Cost evaluation of Geological Disposal of Category B&C Waste for the Long Term Fund (revision 2009)*. 2009. Rapport NIROND TR-2009-15 E.
88. **Van Humbeeck, H., De Bock, C. en Bastiaens, W.** *Demonstrating the Construction and Backfilling Feasibility of the Supercontainer Design for HLW. Radioactive Waste Disposal in Geological Formations (Reposafe 2007) International Conference, Braunschweig, November 6-9, 2007*. 2007.
89. **Van Geet, M., et al.** *RESEAL II - A large-scale in situ demonstration test for repository sealing in an argillaceous host rock - Phase II. Final Report*. Luxembourg : European Commission, 2009. EUR 24161.

90. **NWMO.** *Choosing a Way Forward: The Future Management of Canada's Used Nuclear Fuel.* 2005.
91. **Defra en BERR.** *Managing Radioactive Waste Safely: A Framework for Implementing Geological Disposal. A white paper by Defra, BERR and the devolved administrations for Northern Ireland.* 2008.
92. **IAEA.** *Siting of Geological Disposal Facilities: A Safety Guide.* 1994. Safety Series No. 111-G-4.1.
93. **United States Department of Energy.** *Title 40 CFR Part 191 Subparts B and C Compliance Recertification Application for the Waste Isolation Pilot Plant, Carlsbad, New Mexico.* 2009. http://www.wipp.energy.gov/library/CRA/2009_CRA/CRA-2009.xml.
94. **NIRAS.** *Description of the evaporitic rocks of Belgium.* 2007. Nota NIROND 2007-1403.
95. **SKB.** *Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar - a first evaluation. Main report of the SR-CAN project.* 2006. SKB TR-06-09.
96. **POSIVA Oy.** *Safety Assessment for a KBS-3H Spent Nuclear Fuel Repository at Olkiluoto: Radionuclide Transport Report.* 2007. POSIVA Report 2007-07.
97. **NIRAS.** *Description of the crystalline rocks occurring in Belgium.* 2007. Nota NIROND 2007-1405.
98. —. *Assessment of the schistes as potential host formations for high-level and/or long-lived radioactive waste disposal in Belgium.* 2010. Nota NIROND 2010-0898.
99. **OESO - NEA.** *SAFIR 2: Belgian R&D Programme on the Deep Disposal of High-level and Long-lived Radioactive Waste: An International Peer Review.* 2003.
100. **NIRAS.** *The Ypresian Clays as Possible Host Rock for Radioactive Waste Disposal: An Evaluation.* 2005. Rapport NIROND TR-2005-01.
101. **Marivoet, J., et al.** *Impact of Advanced Fuel Cycle Scenarios on Geological Disposal. Euradwaste '08: 7th EC Conference on the Management and Disposal of Radioactive Waste, 20-22 October 2008, Luxembourg.* Luxembourg : European Commission, 2009. pp. 141-151. EUR 24040.
102. **NIREX.** *A Review of the Deep Borehole Disposal Concept for Radioactive Waste.* 2004. Nirex Report N/108.
103. **Beswick, J.** *Status of Technology for Deep Borehole Disposal.* 2008.
104. **NEDRA.** *Characterisation of crystalline rocks in deep boreholes. The Kola, Krivoy Rog and Tyrnauz boreholes.* 1992. SKB TR-92-39.
105. **KASAM.** *Deep boreholes: an alternative for final disposal of spent nuclear fuel? Report from KASAM's question-and-answer session on 14-15 March 2007.* 2007.
106. **IAEA.** *Borehole Disposal Facilities for Radioactive Waste: Safety Guide.* 2009. Safety Standards Series No. SSG-1.
107. **SKB.** *Förvarsalternativet djupa borrhål. Innehåll och omfattning av FUD-program som krävs för jämförelse med KBS-3-metoden.* 2000. SKB R-00-28.

108. **ONWI.** *Very deep hole systems engineering studies.* Battelle Laboratories, Columbus, Ohio : US Office of Nuclear Waste Isolation, 1983. Report ONWI-226.
109. **Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et déchets radioactifs.** *Rapport d'évaluation 11, Chapitre 5, Axe 3 : Conditionnement et entreposage de longue durée.* 2005.
110. **NIRAS.** *Beschrijving van de opslaggebouwen voor geconditioneerd afval op site 1 van BELGOPROCESS.* 2002. Nota NIROND 2002-1044.
111. **Baroghel-Bouny, V., Nguyen, T. Q. en Dangla, P.** Assessment and prediction of RC structure service life by means of durability indicators and physical/chemical models. *Cement & Concrete Composites.* 2009, Vol. 31, pp. 522-534.
112. **Kari, O.-P. J. en Puttonen, J. A.** *Modelling the durability of concrete for nuclear waste disposal facilities. RILEM Workshop on Long-Term Performance of Cementitious Barriers and Reinforced Concrete in Nuclear Power Plants (NUCPERF 2009), March 30 - April 2, 2009, Cadarache, France.* 2009.
113. **Andrade, C., et al.** Some principles of service life calculation of reinforcements and in situ corrosion monitoring by sensors in the radioactive waste containers of El Cabril disposal (Spain). *Journal of Nuclear Materials.* 2006, Vol. 358, pp. 82-95.
114. **United States Department of Energy.** Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, U. S. Department of Energy: Advisory Committee Charter. 2010.
115. **Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et déchets radioactifs.** *Rapport d'évaluation no. 2.* 2008.
116. **Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs.** *Rapport global d'évaluation.* 2006.
117. **IAEA.** *Status and advances in MOX fuel technology.* 2003. Technical Reports Series No. 415.
118. **OESO - NEA.** *Nuclear energy outlook.* 2008. Rapport NEA No. 6348.
119. —. *Advanced Nuclear Fuel Cycles and Radioactive Waste Management.* 2006. Rapport NEA No. 5990.
120. **von Lensa, W., et al.** *Red-Impact: Impact of Partitioning, Transmutation and Waste Reduction Technologies on the Final Nuclear Waste Disposal (Synthesis Report).* 2008. FZ Jülich, Series Energy & Environment, Vol. 15.
121. **Dufek, J., Arzhanov, V. en Gudowski, W.** *Nuclear spent fuel management scenarios: Status and assessment report.* 2006. SKB R-06-61.
122. **ANDRA.** *Evaluation de la faisabilité du stockage géologique en formation argileuse.* 2005.
123. —. *Intérêt des formations granitiques pour le stockage géologique.* 2005.
124. **NAGRA.** *Entsorgungsnachweis.* 2002. Rapport NTB 02-05.
125. **Yang, W. S., et al.** Long-lived fission product transmutation studies. *Nuclear science and engineering.* 2004, Vol. 146, 3, pp. 291-318.

126. **OESO - NEA.** *Actinide and fission product partitioning and transmutation. Status and assessment report.* 1999.
127. **Cunado, M.** *Final report on waste composition and waste package description for each selected equilibrium scenario. Red-Impact Deliverable 3.7.* 2007.
128. **SCK-CEN.** MYRRHA: Multi-purpose hybrid research reactor for high-tech applications - a European XT-ADS at Mol. [Online] 2010. <http://myrrha.sckcen.be/en>.
129. **OESO - NEA.** *Accelerator-driven systems (ADS) and fast reactors (FR) in advanced nuclear fuel cycles.* 2002.
130. **KASAM.** *Nuclear Waste State-of-the-Art Report 2007: responsibility of current generation, freedom of future generations.* 2007.
131. **POSIVA Oy.** *The final disposal facility for spent nuclear fuel: environmental assessment report.* 1999.
132. **CoRWM.** *Managing our Radioactive Waste Safely: CoRWM's Recommendations to Government.* 2006. CoRWM Document No. 700.
133. **Defra.** *Response to the Report and Recommendations from the Committee on Radioactive Waste Management (CoRWM) by the UK Government and the devolved administrations.* 2006.
134. **OESO - NEA.** *Moving forward with geological disposal of high-activity radioactive waste: a collective statement of the NEA RWMC.* 2008.
135. **Der Schweizerische Bundesrat.** Kernenergieverordnung von 10. Dezember 2004, Art. 5, Sachplan geologische Tiefenlager, gestützt auf Artikel 101 Absatz 1 des Kernenergiegesetzes vom 21. März 2003 (KEG). SR 732.1.
136. **Wildi, W., et al.** *Disposal Concepts for Radioactive Waste: Final Report.* 2000. Expert Group on Disposal Concepts for Radioactive Waste (EKRA) on behalf of the Federal Department for the Environment, Transport, Energy and Communication.
137. **Office fédéral de l'énergie.** *Plan Sectoriel "Dépôts et couches géologiques profondes": conception générale.* 2008.
138. **NUMO.** *The NUMO Structured Approach to HLW Disposal in Japan: Staged Project Implementation at Volunteer Sites Utilising a Requirements Management System.* 2007.
139. **République Française.** Loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs ("loi Bataille"). *JORF n° 1.* 1 janvier 1992.
140. —. Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. 2006.
141. **Bataille, C. en Birraux, C.** *Rapport sur l'état d'avancement et perspectives des recherches sur la gestion des déchets radioactifs.* Paris : Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 2005. Sénat No. 250 et Assemblée Nationale No. 2159.
142. **STUK.** *Radiation and Nuclear Safety Authority.* [Online] <http://www.stuk.fi>.
143. **SKB.** *Site investigation Forsmark 2002-2007.* 2007.

144. —. *Site investigation Oskarshamn 2002-2007*. 2007.
145. **CDU, CSU und FDP**. Wachstum, Bildung, Zusammenhalt: Koalitionsvertrag 17. Legislaturperiode. 2009.
146. **Ministerio de Industria, Turismo y Comercio**. *Sixth General Radioactive Waste Plan*. 2006.
147. **CORA**. *Terugneembare berging, een begaanbaar pad? Onderzoek naar de mogelijkheden van terugneembare berging van radioactief afval in Nederland*. 2001.
148. **Staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer**. Brief aan de voorzitter van de tweede kamer der staten-generaal. 11 november 2002.
149. **Boutellier, C. en McCombie, C.** Multinational repositories: ethical, legal and political/public aspects. *Int. J. Nuclear Law*. 2006, Vol. 1, 1, pp. 36-48.
150. **Sumerling, T.** *Safety and Security of Regional Repositories, Strategic Action Plan for Implementation of European Regional Repositories: Stage 2 (SAPIERR II)*. 2008.
151. **Werkgroep Lichthinder, Vereniging voor Sterrenkunde vzw**. Verlicht waar nodig, zoveel als nodig en wanneer nodig! [Online] <http://www.lichthinder.be>.
152. **Cinzano, P., et al.** The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite Operational Linescan System measurements. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2000, Vol. 318, pp. 641-657.
153. **AECL**. *Environmental impact statement on the concept for disposal of Canada's nuclear fuel waste*. 1994. AECL-10711.
154. **UNSCEAR**. *Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly, with scientific annex. Fifty-first Session, Supplement No. 46*. New York : United Nations, 1996. A/51/46, UN sales publication E.96.IX.3.
155. **IAEA**. *Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards*. 1992. Technical Reports Series No. 332.
156. **Garnier-Laplace, J. en Gilbin, R. (eds.)**. *Derivation of Predicted-No-Effects-Dose-Rate values for ecosystems (and their sub-organisational levels) exposed to radioactive substances. ERICA (contract number: FI6R-CT-2004-508847)*. 2006.
157. **ICRP**. Environmental Protection: the concept and use of reference animals and plants (Publication 108). *Ann. ICRP*. 2008, Vol. 38, 4-6.
158. **UNSCEAR**. *Effects of ionizing radiation on non-human biota. Fifty-sixth session, Vienna, 10-18 July 2008*. New York : United Nations, 2008. A/AC.82/R.672.
159. **Garnier-Laplace, J., et al.** First derivation of predicted-no-effect values for freshwater and terrestrial ecosystems exposed to radioactive substances. *Environmental Science and Technology*. 2006, Vol. 40, pp. 6498-6505.
160. **Andersson, P., et al.** *Numerical benchmarks for protecting biota against radiation in the environment: proposed levels and underlying reasoning. Deliverable 5B (draft) of the EC EURATOM PROTECT project (contract number: 036425 (FI6R))*. 2008.

161. **European Chemicals Bureau.** *Technical Guidance Document in Support of the Commission Directive 93/67/EEC, Commission Regulation (EC) No. 1488/94, Directive 98/8/EC. Part II.* Luxemburg : Office for Official Publication of the European Communities, 2003. EUR 20418 EN/2.
162. **Brown, J. E., et al.** Radiation doses to aquatic organisms from natural radionuclides. *Journal of Radiological Protection.* 2004, Vol. 24, pp. A63-A77.
163. **Beresford, N. A., et al.** Background exposure rates of terrestrial wildlife in England and Wales. *Journal of Environmental Radioactivity.* Vol. 99, 9, pp. 1430-1439.
164. **Belgoproces.** *Duurzaamheidsrapport - jaarverslag 2008.* 2009.
165. **Antoine, P.** *Toezietsprogramma radioactiviteit in de omgeving van het SCK-CEN, 2002-2003.* 2005. IDPBW 05/010.
166. **Vanmarcke, H., et al.** *Exposure of the Belgian population to ionizing radiation. IRPA 11, Madrid.* 2004.
167. **Robé, M. C., Rannou, A. en Le Bronec, J.** Radon measurement in the environment in France. *Radiation Protection Dosimetry.* 1992, Vol. 45, 1/4, pp. 455-457.
168. **Environment Canada en Health Canada.** *Second priority substances list assessment report (PSL2). Releases of radionuclides from nuclear facilities (impact on non-human biota).* Ottawa : Environment Canada and Health Canada, 2003.
169. **Jones, D. S. en Schofield, P. A.** *Implementation and Validation of a DOE Standardized Screening Method for Evaluating Radiation Impacts to Biota at Long-Term Stewardship sites.* Oak Ridge National Laboratory : United States Department of Energy, 2003. ORNL/TM-2003/76.
170. **United States Department of Energy.** *A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota.* Washington : United States Department of Energy, 2002. DoE-STD-1153-2002.
171. **Marivoet, J., et al.** *Testing Safety and Performance Indicators for a Geological Repository in Clay: Results obtained by SCK-CEN in the framework of WP3.4 of the EC PAMINA Project.* 2010. SCK-CEN ER-xx (in preparation).
172. **Brown, J. E., et al.** The ERICA tool. *Journal of Environmental Radioactivity.* 2008, Vol. 99, pp. 1371-1383.
173. **Marivoet, J. en Weetjens, E.** *The importance of mobile fission products for long-term safety in the case of disposal of vitrified high-level waste and spent fuel in a clay formation.* Paris : OESO - NEA, 2009. pp. 31-42, Proc. International workshop mofap2007, La Baule, 16-19 January 2007.
174. **Amiro, B. D. en Zach, R.** A method used to assess environmental acceptability of releases of radionuclides from nuclear facilities. *Environment International.* 1993, Vol. 19, pp. 341-358.
175. **Brown, J. E.; Thorrying, H.; Hosseini, A. (eds.).** *The "EPIC" impact assessment framework: towards the protection of the Arctic environment from the effects of ionising radiation. EC Contract No. ICA2-CT-2000-10032.* 2003.

176. **Brown, J., et al.** *Handbook for Assessment of the Exposure of Biota to Ionising Radiation from Radionuclides in the Environment. Deliverable 5, FASSET Contract No. FIGE-CT-2000-00102.* 2003.
177. **Smith, K. en Robinson, C.** *Assessment of doses to non-human biota: review of developments and demonstration assessment for Olkiluoto repository.* Olkiluoto : POSIVA Oy, 2006. Working report 2006-112.
178. **Garisto, N. C.** *Appendix D of A Risk-Based Monitoring Framework for Used Fuel Management, Radiological Benchmarks for Non-human Biota.* Canada : SENES Consultants Ltd, 2004. Report 33826.
179. **Garisto, N. C., Cooper, F. en Fernandes, S. L.** *No-effect concentrations for screening assessment of radiological impacts on non-human biota.* Ontario : NWMO, 2008. NWMO TR-2008-02.
180. **Punt, A., Smith, G. en Jackson, D.** *Assessment of Post-closure Impact of Yucca Mountain on Non-Human Biota.* 2003. Report EPRI-6543B-1, Vol. 1.
181. **Jones, S. R., et al.** Generic performance assessment for a deep repository for low and intermediate level waste in the UK - a case study in assessing radiological impacts on the natural environment. *Journal of Environmental Radioactivity.* 2003, Vol. 66, pp. 89-119.
182. **Arnold, B. W., et al.** Into the deep. *Nuclear Engineering International.* 2010, Vol. February 2010, pp. 18-20.
183. **Becker, D.-A. (ed.), et al.** *Safety indicators and performance indicators. D-No. 3.4.2, PAMINA Performance Assessment Methodologies In Application to Guide the Development of the Safety Case (contract number: FP6-036404).* 2006.
184. **IAEA.** *Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation.* 2004. Technical Reports Series No. 419, STI/DOC/010/419.
185. **Henning-de Jong, I., et al.** *Report on the impact of an additional ecotoxicity test when deriving environmental quality standards. D.4.1.8.* 2008.
186. **WHO.** *Guidelines for drinking water quality, third edition, incorporating first and second addendum. Vol. 1: recommendations.* Genève : WHO, 2008.
187. **Environment Australia.** The Environmental Risk Assessment Process. [Online] <http://www.environment.gov.au/ssd/research/ecol-risk.html>.
188. **Beaugelin-Seiler, K., et al.** *Contribution à l'évaluation du risque environnemental associé aux rejets d'uranium dans le bassin versant du Ritord.* 2008. Rapport DEI/SECRE no. 08-040.
189. **Zonneveld, J. I. S.** *Levend Land.* Utrecht : Bohn, Scheltema & Holkema, 1985.
190. **Sillen, X. en Marivoet, J.** *Thermal impact of a HLW repository in clay. Deep disposal of vitrified high-level waste and spent fuel.* 2007. SCK-CEN ER-38.
191. **Pescatore, C. en Mays, C.** Geological disposal of radioactive waste: records, markers and people. *NEA News.* 2008, Vol. 26.

192. **IAEA.** *Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological implications for retrievability.* 2009.
193. —. *Records for radioactive waste management up to repository closure: Managing the primary level information (PLI) set.* 2004. IAEA-TECDOC-1398.
194. **Van Eetvelde, V. en Antrop, M.** *Towards landscape characterization of Belgium. A new typology. ELCAI – Workshop Évora, 2-4 June 2004.* Gent : Geography Department, Ghent University, 2004.
195. **Afdeling Land en Bodembescherming, Ondergrond en Natuurlijke Rijkdommen.** *Project Waardevolle Bodems in Vlaanderen. LA BOD/STUD 2004 0102.* 2006. p. 208 p.
196. **Bernier, F., et al.** *The PRACLAY experiments: A large scale heater test in Boom Clay. Proceedings from DisTec 2004, International Conference on Radioactive Waste Disposal, April 26-28, 2004, Berlin - Germany.* 2004.
197. **Noynaert, L., et al.** *The CERBERUS project: final report for the period November 1, 1986 - June 30, 1998.* 1998. Report R-3293, 1998. SCK-CEN R-3293.
198. *Atlas of Geothermal Resources in Europe.* 1994.
199. **Marivoet, J. en Weetjens, E.** *Impact of advanced fuel cycles on geological disposal. Proc. Internat. Symposium "Scientific Basis for Radioactive Waste Management XXXIII", Saint Petersburg, 24-29 May 2009.* 2009.
200. **Vlaamse Overheid.** *Minaplan 3+ - doelstelling van het milieubeleid 2008-2010.* 2007.
201. **IBGE - BIM.** *Basisbegrippen van de akoestiek.* 200*.
202. **ICRP.** 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Publication 60). *Ann. ICRP.* 1991, Vol. 21, 1-3.
203. —. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5 - Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients (Publication 72). *Ann. ICRP.* 1996, Vol. 26, 1.
204. **Wolf, J., et al.** *Safety and performance indicators for repositories in salt and clay formations.* Braunschweig : Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, 2008. GRS-240.
205. **United States Department of Energy.** *Final Environmental Impact Statement for a Geological Repository for the Disposal of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste at Yucca Mountain. Volume I: Impact Analyses.* 2002. DOE/EIS-0250.
206. **OESO - NEA.** *Reversibility and Retrievability in Geologic Disposal of Radioactive Waste. Reflections at the International Level.* 2001.
207. **Wollrath, J., et al.** *Numerical assessment of the long-term safety of the Morsleben repository for low- and intermediate-level radioactive waste.* 2010. Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management ICEM2009, October 11-15, 2009, Liverpool, UK.
208. **Becker, H. A. en Vanclay, F.** *The International Handbook of Social Impact Assessment: Conceptual and Methodological Advances.* 2003.

209. **Europese Commissie.** *Radioactive waste: Special Eurobarometer 227.* 2005.
210. —. *Attitudes towards radioactive waste: Special Eurobarometer 297.* 2008.
211. **Carlé, B. en Hardeman, F.** *Veiligheid en risicoperceptie. Resultaten van de opiniepeiling van november 2002 in België.* Mol : SCK-CEN, 2003.
212. **Van Aeken, K., et al.** *Risk perception of the Belgian population. Results of the public opinion survey in 2006.* Mol : SCK-CEN, 2007.
213. **Koning Boudewijnstichting.** *Publieksforum "Hoe beslissen over het langetermijnbeheer van hoogradioactief en langlevend afval?": verslag.* 2010.
214. **United Nations Economic and Social Council.** *Report of the Commission on Sustainable Development on its Second Session, 16-27 May 1994.* Official Records of the Economic and Social Council, Supplement No. 15 (E/1994/33).
215. **Europese Commissie.** *Costs and Financing Modes of Geological Disposal of Radioactive Waste.* 1988. EUR 11837.
216. —. *Schemes for Financing Radioactive Waste Storage and Disposal.* 1999. EUR 18185.
217. **OESO - NEA.** *Cost of the Disposal of Spent Fuel and Reprocessing Wastes in Geological Repositories.* 1993.
218. —. *The economics of the nuclear fuel cycle.* 2004.
219. —. *Environmental and ethical aspects of long-lived radioactive waste disposal. Proceedings of an international workshop organised by the Nuclear Energy Agency in co-operation with the Environment Directorate, Paris, 1-2 September 2004.* 2004.
220. —. *The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Wastes – A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee.* 1995.
221. —. *Future Liabilities Arising From Nuclear Activities.* 1996.
222. —. *The Costs of the Low-Level Waste Repositories.* 1999.
223. —. *Electricité nucléaire : quels sont les coûts externes ?* 2003. OECD 4373.
224. —. *Financement du démantèlement : éthique, mise en oeuvre, incertitudes. Rapport de synthèse.* 2007. OECD 5997.
225. **IAEA.** *Institutional framework for long term management of high level waste and/or spent nuclear fuel.* 2002. IAEA-TECDOC-1323.
226. —. *Considerations in the Development of Near Surface Repositories for Radioactive Waste.* 2002. Technical Reports Series No. 417.
227. —. *Cost Considerations and Financing Mechanisms for the Disposal of Low and Intermediate Level Radioactive Waste.* 2007. IAEA-TECDOC-1552.
228. **NIRAS.** *Entreposage dans le bâtiment B136: tarification pour la période 2006-2008.* 2005. Nota NIROND 2005-1991.

229. **Belgatom**. *Interim storage of spent fuel in Belgium*. 1998.
230. **Hare, R. M.** *Moral thinking, its levels, method and point*. Oxford : Oxford University Press, 1981.
231. **Rawles, K.** *Ehtical Issues in the Disposal of Radioactive Waste*. 2000.
232. **Raes, K.** *Tegen beter wetten in. Het ethische gehalte van recht*. 1997.
233. **Gosseries, A.** *Radiological Protection and Intergenerational Justice. Ethics and Radiological Protection Conference, 27/05/2005*. 2005.
234. **Griffin, J.** Well being. Its meaning, measurement and moral importance. [red.] A. Sen en M. Nussbaum. *The quality of life*. 1986.
235. **Thys, W.** *De deugd weer in het midden. Van homo moralis naar homo ethicus*. 1989.
236. **Rawls, J.** *A Theory of Justice (revised edition)*. Oxford : Oxford University Press, 1999.
237. **Bay, I. en Oughton, D.** *Principle-Based Ethics and the Clean Development Mechanism. Proceedings, VALDOR 2003 Conference, Stockholm, Sweden June 9-13, 2003*. 2003.
238. **NWMO**. *Roundtable on Ethics: Ethical and Social Framework*. 04/03/2005.
239. **United States Department of Energy**. *Deciding for the Future: Balancing Risks, Costs and Benefits Fairly Across Generations*. 1997.
240. **Rip, A. en Smit, W. A.** *Het risicobegrip vanuit een wetenschapsfilosofisch en sociologisch perspectief*. 2002.
241. **Europese Commissie**. *Mededeling van de Commissie over het voorzorgsbeginsel*. 2000. COM(2001)1.
242. **Rip, A.** *Contributions from Social Studies of Science and Constructive Technology Assessment. Final Report for the ESTO project on Technological Risk Management of Uncertainty, commissioned by the Forward Studies Unit of the European Commission, Twente University*. 1999.
243. **Clerc, D.** *Dictionnaire des questions économiques et sociales*. Paris : Atelier / Editions Ouvrières, 1997.
244. **Weiss, E. B.** *Environmental Change and International Law*. Tokyo : UN University Press, 1992.
245. **Tremmel, J. C. (ed.)**. *Handbook of Intergenerational Justice*. Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2006.
246. **Birnbacher, D.** Responsibility for future generations – scope and limits. [red.] J. C. Tremmel. *Handbook of Intergenerational Justice*. Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2006.
247. **Becherman, W.** The impossibility of a theory of intergenerational justice. [red.] J. C. Tremmel. *Handbook of intergenerational justice*. Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2006.

248. **Dierksmeier, C.** John Rawls on the rights of future generations. [red.] J. C. Tremmel. *Handbook of Intergenerational Justice*. Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2006.
249. **Wallack, M.** Justice between generations: the limits of procedural justice. [red.] J. C. Tremmel. *Handbook of Intergenerational Justice*. Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2006.
250. **Gardiner, M.** Protecting future generations: intergenerational buck-passing, theoretical ineptitude and a brief for a global core precautionary principle. [red.] J. C. Tremmel. *Handbook of Intergenerational Justice*. Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2006.
251. **Häberle, P.** A consitutional law for future generations – the "other" form of social contract: the generation contract. [red.] J. C. Tremmel. *Handbook of Intergenerational Justice*. Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2006.
252. **Tremmel, J. C.** Establishing intergenerational justice in national consitutions. *Handbook of Intergenerational Justice*. Cheltenham : Edward Elgar Publishing, 2006.
253. **OESO - NEA.** *International understanding of reversibility of decisions and retrievability of waste in geological disposal, draft version 01 March 2010*. 2010.
254. **IAEA.** *Technical, economic and institutional aspects of regional spent fuel storage facilities*. 2005. IAEA-TECDOC-1482.
255. —. *Policies and Strategies for Radioactive Waste Management*. 2009.
256. Verdrag van Aarhus (aangenomen op 25 juni 1998) inzake toegang voor het publiek tot milieu-informatie, inspraak bij het besluitvormingsproces en toegang tot de rechter voor milieuaangelegenheden. 1998.
257. **SKN.** *Ethical Aspects of Nuclear Waste. Some salient points discussed at a seminar in Stockholm on ethical action in face of uncertainty*. 1987. SKN Rep. 29.
258. **NIRAS.** *Rapport de mission. Deuxième reunion du groupe de travail Reversibiity-Retrievability sous l'égide de l'AEN*. 2009. Nota NIROND 2009-1843.
259. **FANC.** *Dépôts définitifs de déchets radioactifs. Note stratégique et politique d'instruction des demandes d'autorisation*. 2007. Note no. 007-020-F.
260. **United States National Academies Board on Radioactive Waste Management.** *Safety and Security of Commercial Spent Nuclear Fuel Storage: Public Report*. 2006.
261. **Sandia National Laboratory.** *Projected Source Terms for Potential Sabotage Events Related to Spent Fuel Shipments*. June 1999. SAND 99-0963.
262. **Lockheed Martin Energy Systems, Inc.** *Conditioning Facility Generic Description (SAGOR Activity 1a)*. 1997.
263. **van der Meer, K. en Verstricht, J.** *State-of-the-art of safeguards of a geological repository*. 2007. SCK-CEN R-4481.
264. **Wuschke, D. M.** *A reference repository for the development of safeguards for disposal of spent fuel*. 1996.
265. **Lockheed Martin Energy Systems, Inc.** *Reference volume for safeguards for the final disposal of spent fuel in geological repositories (SAGOR activities)*. 1998.

266. **United States General Accounting Office.** *Spent Nuclear Fuel: Options Exist to Further Enhance Security. Report to the Chairman, Subcommittee on Energy and Air Quality, Committee on Energy and Commerce, United States House of Representatives.* July 2003.
267. **Belgatom.** *Uitvoerbaarheid van de berging van radioactief afval in Mol en Dessel. Invloed van een aardbeving op een concept voor diepe berging in Mol - Dessel.* 2003. Nota Belgatom NTE-N03-003.
268. **NIRAS.** *Long-term Geological Evolution of NE-Belgium: a Geoprospective Study regarding Seismicity, Celestial Bodies, Climate and Volcanism.* 2006. Rapport NIROND TR 92-39.
269. **Marivoet, J., et al.** *A Palaeohydrogeological study of the Mol site (Phymol project).* 2000. EUR 19146EN.
270. **Kursten, B.** *Uniform Corrosion Rate Data of Carbon Steel in Cementitious Environments relevant to the Supercontainer Design (4th draft).* 2010. SCK-CEN ER-xx (to be published).
271. **National Research Council.** *Disposition of High-Level Waste and Spent Nuclear Fuel: The Continuing Societal and Technical Challenges.* 2001. ISBN 0-309-56764-5.
272. **Johnson, L. H., et al.** Lifetimes of titanium and copper containers for the disposal of used nuclear fuel. *Materials Research Society Symposium Proceedings.* 1992, Vol. 257, pp. 439-446.
273. **CORA.** *Retrievable disposal of radioactive waste in The Netherlands: a summary.* 2001.
274. **Tractebel.** *SCG: droge opslag van verbruikte splijtstof in Doel: doses aan de limieten van de vestigingsplaats in normale omstandigheden en bij ongeval.* 2005.
275. **OESO - NEA.** *The Evolving Roles of Geoscience in the Safety Case: Responses to the AMIGO Questionnaire. A report of the NEA Working Group on Approaches and Methods for Integrating Geological Information in the Safety Case (AMIGO).* 2008. NEA/RWM/IGSC(2008)2, JT03249160.
276. —. *Approaches and Challenges for the Use of Geological Information in the Safety Case for Deep Disposal of Radioactive Waste. Third AMIGO Workshop Proceedings, Nancy, France, 15-17 April 2008.* 2009.
277. **Mertens, J., Wouters, L. en Van Marcke, P.** *Burial History of Two Potential Clay Host Formations in Belgium. Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-Term Isolation of Radioactive Waste: Application to Argillaceous Media. IGSC Geosphere Workshop, Braunschweig, 9-11/12/2003.* 2003.
278. **EURIDICE.** *Invloed van aardbevingen op het ondergronds onderzoekslaboratorium HADES te Mol, versie 2.0.* 2003. Nota EURIDICE EUR03-161.
279. **Hays, J. D., Imbrie, J. en Shackleton, N. J.** Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages. *Science.* 1976, Vol. 194, 4270, pp. 1121-1132.
280. **BIOCLIM.** *Global climatic features over the next million years and recommendations for specific situations to be considered. BIOCLIM deliverable D3.* 2001.

281. **Huybrechts.** *Vulnerability of an underground radioactive waste repository in northern Belgium to glaciotectonic and glaciofluvial activity during the next 1 million years.* Brussel : VUB, Departement Geografie, 2010. Report 10/01.
282. **Berger, A. en Loutre, M. F.** *Climate 400000 years ago, a key to the future? In: Earth's Climate and Orbital eccentricity: The marine Isotope Stage 11 Question.* 2003. Geophysical Monograph 137, American Geophysical Union 10.1029/137GM02.
283. —. An Exceptionally Long Interglacial Ahead? *Science.* 2002, Vol. 297, 5585, pp. 1287-1288.
284. **NAGRA.** *Project Opalinus Clay: Safety Report.* Wetingen : NAGRA, 2002. Technical report 02-05.
285. **Ecorem.** *Impact of a long-term thermal stress on an aquifer.* 2008.
286. **Bergmans, A., et al.** *Wanting the unwanted: effect of public stakeholder involvement in the long-term management of radioactive waste and the siting of repository facilities. Final report CARL project.* 2007.
287. Wet van 30 november 1998 houdende regeling van de inlichtingen- en veiligheidsdienst. *Belgisch Staatsblad.* 18 december 1998.
288. **URS.** *Long-term testing and monitoring strategy. Final report.* 2009. NOCA 2208-1132, Issue No 1 436413390//SNL-URS.
289. **NIRAS.** *Globaal toezichtsprogramma van de toekomstige oppervlakteberging site ingebed in het geïntegreerd categorie A project: project voor de oppervlakteberging van categorie A-afval in Dessel.* 2010. Rapport NIROND TR-2010-xx.
290. **IAEA.** *International Basic Safety Standards for Protection against Ionising Radiation and for the Safety of Radiation Sources.* 1996. Safety Series No. 115.
291. —. *National Reports for Review Meetings Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management.* 2009.
292. **United States Nuclear Waste Technical Review Board.** *Survey of National Programs for Managing High-Level Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel. A Report to Congress and the Secretary of Energy.* 2009.
293. **World Nuclear Association.** *WNA Nuclear Century Outlook, Nuclear Electricity Generation 2008.* 2009.
294. **NWMO.** *Fact Sheet: The NWMO Study Process.* 2005.
295. —. *Implementing Adaptive Phased Management 2010 to 2014. Draft for review.* November 2009.
296. —. *Meeting of Ethical Expert Roundtable. Overview of Activities.* 17/01/2004.
297. **Bredberg, I, et al.** *State and Development of Nuclear Energy Utilization in the Federal Republic of Germany 2008.* 2010.
298. **Kaijser, A. en Högselius, P.** *Resource or Waste? The politics surrounding the management of spent nuclear fuel in Finland, Germany, Russia and Japan.* 2007.

299. **BfS.** *Konzeptionelle und sicherheitstechnische Fragen der Endlagerung radioaktiver Abfälle.* 2005.
300. —. BfS stellt Ergebnis des Optionenvergleichs zur Schliessung der Asse vor. 15/01/2010.
301. **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.** Endlager für Abfälle Morsleben (ERAM), stand: Januar 2010. 2010.
302. Interview mit dem niedersächsischen Ministerpräsident Ernst Albrecht über Atomstrom, Wiederaufbereitung und Entsorgung. *Bonner Energie-Report.* 6 juni 1983, Vol. 10, 4, pp. 18-21.
303. **Lüttig, G. et al.** *Bericht der Arbeitsgruppe Barrieren. Niedersächsisches Umweltministerium: internationale Endlagerhearing, 21-23 September 1993, Braunschweig.* 1993.
304. **BfS en GRS.** *Radioactive Waste Disposal in Geological Formations. International Conference Braunschweig, 6-9 November 2007.* 2007.
305. **BfS.** *Anforderungen an die Gestaltung der Öffentlichkeitsbeteiligung im Endlagerauswahlverfahren.* 2007.
306. **Beckmerhagen, I., Berg, H.-P. en Brennecke, P. W.** *Recent Waste management Related Developments in Germany.* 2003.
307. **STUK.** *Radioactive waste management programmes in OECD/NEA member countries. Finland, national nuclear energy context.* 2008.
308. **République française.** *Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs 2007-2009.* 2006.
309. **ANDRA.** *L'histoire de l'ANDRA ou l'invention d'un métier.* 2008.
310. **Bataille, C.** *La gestion des déchets nucléaires de haute activité.* Paris: Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 1990. Assemblée Nationale No. 1839 et Sénat No. 184.
311. **Ministerio de Industria y Energia.** *Fifth General Radioactive Waste Plan.* 1999.
312. **Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.** *Second Spanish National Report (2003) and Third Spanish National Report (2006), Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management.* 2003-2006.
313. **United States Senate.** *A New Era of Responsibility: The 2010 USA Budget.* 2009.
314. *Nuclear waste won't be going to Nevada's Yucca Mountain, Obama official says.* **Herbert, H. J.** 6 March 2009, Chicago Tribune.
315. **United States House of Representatives, Committee on Appropriations.** House Passes Energy and Water Appropriations Bill, Votes to Oppose Administration Stance on Yucca Mountain. 17/07/2009.
316. **United States Department of Energy.** U.S. Department of Energy Motion to Withdraw. 3/03/2010.

317. **United States Department of Energy, Carlsbad Area Office.** *Pioneering Nuclear Waste Disposal*. 2000. DOE/CAO-00-3124.
318. **United States Senate, Committee on Environment and Public Works.** *The Most Studied Real Estate on the Planet. White paper Yucca Mountain*. 2006.
319. **United States Nuclear Regulatory Commission.** [Online] <http://www.nrc.gov/>.
320. **United States Department of Energy.** Yucca Mountain Repository. [Online] 2009. <http://www.rw.doe.gov/repository/index.shtml>.
321. —. Nature and Engineering Working Together For a Safe Repository. [Online] 2009. <http://www.rw.doe.gov/repository>.
322. **State of Nevada, Agency for Nuclear Projects.** *What's Wrong With Putting Nuclear Waste in Yucca Mountain?* 2003.
323. **Rawles, K.** *CoRWM Ethical Workshop: Key issues*. 2005.
324. **Wilkinson, P.** *Environmental Principles for Radioactive Waste Management*. 2005.
325. **SKB.** *Final Disposal of Nuclear Waste. The Swedish National Council for Nuclear Waste's Review of the Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co's RD&D Programme 2007*. 2008.
326. —. SKB selects Forsmark for the final repository for spent nuclear fuel. [Online] 2009. http://www.skb.se/Templates/Standard____26400.aspx.
327. **SKN.** *Ethics and nuclear waste*. 1987.
328. **KASAM.** *Risk perspective on final disposal of nuclear waste – individual, society and communication. An in-depth report supplementing KASAM's Nuclear Waste State of the Art Report 2007*. 2007.
329. **Andersson, K.** *Making the decision-making basis for nuclear waste management transparent. Pre-study report*. 2007.
330. **AGNEB.** *Jahresbericht 2008*. 2009.
331. **Stirling, A.** *On Science and Precaution in the Management of Technological Risk. Volume 1: a synthesis report of case studies*. Brussels/Luxembourg : European Commission, 1999.
332. **Funtowicz, S., et al.** *Wetenschap, maatschappij, politiek: wie stuurt wie?* 2007.
333. **van der Meulen, B. J. R., et al.** *Berging van afval in de diepe ondergrond? Analyse en evaluatie van de inspraakprocedure*. 1992.
334. **POSIVA Oy.** *Disposal canister for spent nuclear fuel - design report*. Olkiluoto : POSIVA Oy, 2005. POSIVA Report 2005-02.
335. **Director of National Intelligence.** *Global Trends 2025: A Transformed World*. Washington : National Intelligence Council, 2008. NIC 2008-003, ISBN 978-0-16-081834-9.
336. **National Intelligence Council.** *Mapping The Global Future 2020*. 2004.

337. **INDEX.** Future Scenarios. [Online]
http://www.index2005.dk/events_2005/future_scenarios.
338. **Studiedienst van de Vlaamse Regering.** *Algemene omgevingsanalyse voor Vlaanderen.* 2009.
339. **European Environment Agency.** *Prospective Environmental Analysis of Land Use Development in Europe.* 2006.
340. **The Millennium Project.** Global future studies and research. [Online] 2009.
<http://www.millennium-project.org/>.
341. **Vincke, J.** *Sociologie: een klassieke en hedendaagse benadering.* 2002.
342. **Neerdael, B.** *IAEA's involvement in multinational back-end initiatives. SAPIERR II closing seminar, Brussels, 27/01/2009.* 2009.
343. **Webster, S.** *A technology platform in geological disposal. SAPIERR II closing seminar, Brussels, 27/01/2009.* 2009.
344. **Richter, D. K.** The Agency's activities in radioactive waste management. *IAEA Bulletin.* 1981, Vol. 23, 2.
345. **Europese Commissie.** *Strategic Action Plan for Implementation of European Regional Repositories: Stage 2 (SAPIERR II). Work Package Public and Political Attitudes.* 2008.
346. **McCombie, C.** *ERDO Working Group: ERDO > ERO, Moving Ahead. SAPIERR II closing seminar, Brussels, 27/01/2009.* 2009.
347. **McCombie, C. en Chapman, N.** *Progress Towards International Repositories. WM'02 Conference, February 24-28, 2002, Tucson, AZ.* 2002.
348. **IAEA.** *Costing of Spent Nuclear Fuel Storage.* 2009. IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-3.5.
349. **Kang, J.** *Potential Regional Nuclear Spent Fuel Management and Regional Uranium Enrichment / Reprocessing Paths for Asia. CISAC Stanford University, 2007 AES Meeting.* 2007.
350. **McCombie, C.** *Multinational Repository Initiatives: Recent Global Developments. SAPIERR II closing seminar, Brussels, 27/01/2009.* 2009.
351. **Verhoef, E., McCombie, C. en Chapman, N.** *Shared, regional repositories: developing a practical implementation strategy. ICM 2009.* 2009.
352. **EURATOM.** Council Directive 2006/117/EURATOM on supervision and control of shipments of radioactive waste and spent fuel. 20 November 2006 .
353. **Risoluti, P., et al.** *Legal and Business Options for Developing a Multinational/Regional Repositor. Strategic Action Plan for Implementation of European Regional Repositories: Stage 2 (SAPIERR II).* 2008.
354. **Chapman, N., McCombie, C. en Richardson, P.** *Economic Aspects of Regional Repositories. SAPIERR II project information.* 2008.

355. **SKB**. *Plan 2003. Costs for management of the radioactive waste products from nuclear power stations*. 2003. SKB Technical Report TR-03-11.
356. **NAGRA**. *Konzept für die Anlage und den Betrieb eines geologischen Tiefenlagers*. Wettingen : NAGRA, 2002. Report NTB 02-02.
357. **OESO - NEA**. *Low-Level Radioactive Waste Repositories - An Analysis of Costs*. 1999.
358. **IAEA**. *Factors affecting public and political acceptance for the implementation of geological disposal*. 2007. IAEA-TECDOC-1566.
359. **OESO - NEA**. *Fostering a Durable Relationship between a Waste Management Facility and its Host Community: Adding Value Through Design and Process*. 2007. NEA Report no. 6176.
360. **Martell, D. en Russie, M.** *Public and Political Attitudes. SAPIERR II closing seminar, Brussels, 27/01/2009*. 2009.
361. **Hocke-Bergler, P., Stolle, M. en Gloede, F.** *Auszug aus Ergebnisse der Bevölkerungsumfragen, der Medienanalyse und der Evaluation der Tätigkeit des AkEnd. Endbericht ITAS, Karlsruhe im Oktober 2003*. 2003.
362. **IAEA**. *Developing Multinational Radioactive Waste Repositories: Infrastructural Framework and Scenarios of Cooperation*. 2004. IAEA-TECDOC-1413.
363. —. *Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle, Expert Group Report to the Director General of the IAEA*. 2009. IAEA-TECDOC-1413.
364. **Europese Commissie**. *A European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan): Towards a low carbon future*. 2007. COM(2007) 723 final.
365. —. *Council Resolution on Spent Fuel and Radioactive Waste Management*. 2009. Presidency Note, ATO 133, 17438/1/08 REV. 1.
366. —. *Proceedings of Euradwaste 2008 Conference*. [Online] 2008. <http://cordis.europa.eu/fp7/euratomfission/>.
367. **EDRAM**. *Views on the concept of shared multinational approaches to the geological disposal of radioactive waste. Draft version*. 2010.



BIJLAGE A ANTWOORDEN OP VRAGEN EN BEKOMMERNISSEN DIE VOORTKOMEN UIT DE MAATSCHAPPELIJKE CONSULTATIE

Uit de maatschappelijke consultatie kwamen een aantal vragen, bekommernissen en waarden naar voren die belangrijk bleken voor het publiek (27). Bij het opstellen van het Afvalplan en de SEA is met deze vragen rekening gehouden. In Tabel 58 worden de belangrijkste vragen opgelijst, wordt er een kort antwoord gegeven en wordt er aangegeven in welke paragrafen men meer informatie kan vinden.

Tabel 58: Vragen en bekommernissen uit de maatschappelijke consultatie en verwijzing naar elementen van antwoord

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Technische en wetenschappelijke dimensie						
1	Welke types installaties zijn vereist voor de uitvoering van deze optie?	Cycli van langdurige opslag in gebouwen ontworpen voor levensduur van 100-300 jaar. Na elke cyclus moeten de installaties opnieuw gebouwd worden en moet het afval opnieuw geconditioneerd worden. Ook installaties voor post-conditionering zijn nodig. Paragraaf 7.2.2.1	Eén bergingsinstallatie met galerijen en toegangsschachten op enkele honderden meters diepte in geschikte geologische gastformatie. Ook installaties voor post-conditionering zijn nodig. Paragraaf 7.2.1.2	Tientallen boorgaten van enkele kilometers diep in geschikte geologische gastformatie. Ook installaties voor post-conditionering zijn nodig. Paragraaf 7.2.1.2	Opslaggebouwen ontworpen voor levensduur van 100-300 jaar. Ook installaties voor post-conditionering zijn nodig. Paragraaf 7.2.2.1	Huidige opslaggebouwen voor hoogradioactief en/of langlevend afval, met uitbreiding van de capaciteit wanneer nodig. Paragraaf 7.2.3
2	Aan welke criteria moeten de sites waar deze optie zou kunnen worden uitgevoerd, voldoen?	Site moet geotechnisch geschikt zijn voor de bouw van de installatie en mag geen risico op overstromingen inhouden. Paragraaf 7.2.2.1	Aanwezigheid van geschikte gastformatie is cruciaal. Risico op verstoring van de gastformatie door gebeurtenissen van natuurlijke of menselijke oorsprong (bv. aardbeving, exploitatie van grondstoffen) moet beperkt zijn. Paragraaf 7.2.1.2	Site moet geotechnisch geschikt zijn voor de bouw van de installatie en mag geen risico op overstromingen inhouden. Paragraaf 7.2.2.1	De huidige site wordt gebruikt. Er is voldoende plaats voor uitbreiding van de capaciteit. Paragraaf 7.2.3	
3	Vergroot de uitvoering van deze optie de globale hoeveelheid te beheren radioactief afval?	Ja, elke cyclus van herbouw van de installatie en herconditionering genereert bijkomend radioactief afval. Paragraaf 7.2.1.1	Nee			

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Technische en wetenschappelijke dimensie						
4	Kan deze optie worden toegepast voor alle afval van categorieën B en C (of slechts voor een deel ervan)?	Ja	Ja	Ja, maar wordt vooral beschouwd als mogelijke oplossing voor kleine volumes (bv. voor radioactieve bronnen). Paragraaf 7.2.1.2	De opslag zelf kan voor al het afval toegepast worden. De geavanceerde nucleaire technologieën kunnen echter niet toegepast worden op het bestaande en toekomstige ultieme afval. Paragraaf 7.2.2.2	Ja, als de capaciteit van de huidige installaties uitgebreid wordt. Paragraaf 7.2.3
5	In welke mate biedt deze optie de mogelijkheid afval van categorie B, categorie C en bestraalde splijtstof apart en volgens hun specifieke karakter te beheren?	Verschillende types afval zullen in aparte gebouwen opgeslagen worden, zoals nu reeds gebeurt.	Een geologische bergingsinstallatie bevat aparte galerijen voor verschillende types afval. Paragraaf 7.2.1.2	Verschillende types afval kunnen in verschillende boorgaten geplaatst worden, afhankelijk van o.a. de afmetingen van de containers.	Verschillende types afval zullen in aparte gebouwen opgeslagen worden, zoals nu reeds gebeurt.	Verschillende types afval worden in aparte gebouwen opgeslagen. Paragraaf 7.2.3

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Technische en wetenschappelijke dimensie						
6	Welk tijdschema wordt voorzien voor de uitvoering van deze optie (na de vergunningverlening)?	Bouw van de installatie duurt ca. 10 jaar. Opeenvolgende cycli (100 à 300 jaar) van langdurige opslag. Paragrafen 7.2.2.1 en 7.2.1.1	Bouw van de installatie duurt ca. 20 jaar, exploitatie ca. 30 jaar, afsluiting ca. 10 jaar. Deze drie fasen worden niet in een aaneengesloten periode uitgevoerd, maar verspreid over ongeveer 80 jaar. De volledige sluiting van de installatie kan gedurende een bepaalde periode uitgesteld worden (eventuele vereisten van monitoring en terugneembaarheid). Paragraaf 7.2.1.2	Aanleg van de boorgaten duurt ca. 20 jaar, exploitatie ca. 30 jaar, afsluiting ca. 10 jaar. Paragraaf 7.2.1.2	Bouw van de installatie duurt ca. 10 jaar. Duur van de opslag is afhankelijk van latere beslissingen en technologische ontwikkelingen. Paragrafen 7.2.2.1 en 7.2.2.2	Voortzetting van de huidige opslag in de bestaande gebouwen. Bouw van extra capaciteit duurt enkele jaren. Paragraaf 7.2.3

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Technische en wetenschappelijke dimensie						
7	<p>Is deze optie voldoende gekend (in België en het buitenland) om een gegronde principebeslissing te kunnen nemen?</p> <p>Wordt deze optie ondersteund door internationale aanbevelingen?</p>	<p>Opslaggebouwen met levensduur van ca. 100 jaar bestaan al.</p> <p>Internationaal is deze beheeroptie als definitieve oplossing verlaten.</p> <p>Paragraaf 7.2.2.1, Bijlage B</p>	<p>Uitvoerig bestudeerd, maar nog weinig praktijkervaring. Weinig verharde klei is in België grondig onderzocht als mogelijke gastformatie.</p> <p>Internationaal aanvaard als definitieve beheeroptie die mens en milieu goed beschermt. Alle landen die al een keuze gemaakt hebben m.b.t. het langetermijnbeheer hebben voor geologische berging gekozen.</p> <p>Paragraaf 7.2.1.2, Bijlage B</p>	<p>Veel minder bestudeerd dan geologische berging. Nauwelijks informatie over potentiële gastformaties in België. Technologie voor boring nog deels te ontwikkelen.</p> <p>Internationaal alleen beschouwd en toegepast voor zeer kleine hoeveelheden afval.</p> <p>Paragraaf 7.2.1.2, Bijlage B</p>	<p>Opslaggebouwen met levensduur van ca. 100 jaar bestaan al.</p> <p>Internationaal heel wat aandacht voor langdurige opslag in afwachting van een definitieve beheeroptie.</p> <p>Paragraaf 7.2.2.1, Bijlage B</p>	<p>Voortzetting van de huidige opslag.</p> <p>Het ontbreken van een beleid voor de lange termijn wordt internationaal niet aanvaard.</p> <p>Paragraaf 7.2.3, Bijlage B</p>
8	<p>Kunnen de onzekerheden betreffende het afval (hoeveelheid, kenmerken, tijdschema voor de overname door NIRAS) de keuze van deze optie beïnvloeden?</p>	<p>Beheeroptie is zeer flexibel t.a.v. deze onzekerheden.</p>	<p>Uitbreiding van de capaciteit na de aanlegfase is complexer dan bij opslag, maar is wel mogelijk.</p> <p>Beheeroptie is ook vrij flexibel t.a.v. de andere onzekerheden, maar bijkomend onderzoek kan nodig zijn.</p>	<p>Uitbreiding van de capaciteit is vrij eenvoudig.</p> <p>Beheeroptie is ook vrij flexibel t.a.v. de andere onzekerheden.</p>	<p>Beheeroptie is zeer flexibel t.a.v. deze onzekerheden.</p>	<p>Er is voldoende plaats op de site voor uitbreiding van de capaciteit van de bestaande gebouwen.</p> <p>Beheeroptie is ook zeer flexibel t.a.v. de andere onzekerheden.</p>

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Technische en wetenschappelijke dimensie						
9	Biedt de beheeroptie de mogelijkheid rekening te houden met latere technologische evoluties (nieuwe materialen, enz.)?	Ja	Optimalisatie van de exploitatiefase zal rekening houden met nieuwe technologieën en materialen. Dit geldt niet meer voor het afval dat reeds geborgen is.	Optimalisatie van de exploitatiefase zal rekening houden met nieuwe technologieën en materialen. Dit geldt niet meer voor het afval dat reeds geborgen is.	Ja	Ja
10	Laat deze optie het terugnemen van het afval toe? Gedeeltelijk of volledig? Gedurende welke periode?	Het afval kan steeds teruggenomen worden.	Terugneembaarheid kan geïmplementeerd worden, maar wordt steeds moeilijker en duurder naarmate de installatie stapsgewijs afgesloten wordt. Paragraaf 7.2.1.2	Terugneembaarheid is praktisch niet meer mogelijk. Paragraaf 7.2.1.2	Het afval kan steeds teruggenomen worden.	Het afval kan steeds teruggenomen worden.

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Financiële en economische dimensie						
11	Welke factoren bepalen de kostprijs van deze beheeroptie? Met welke precisie kan de kostprijs worden geraamd (welke kosten kunnen niet worden geraamd omdat er op dat vlak nog te veel onzekerheden bestaan)?	Bouw, onderhoud en monitoring zijn bepalend voor de kosten. Kostenraming voor de eerste cyclus van langdurige opslag is mogelijk, maar inschatting van de totale kosten is praktisch niet mogelijk aangezien deze optie een open einde heeft. Paragraaf 9.6	Aanleg en exploitatie zijn bepalend voor de kosten. De kosten van monitoring zijn zeer beperkt ten opzichte van de kosten van aanleg en exploitatie. De totale kosten kunnen ingeschat worden omdat het actief beheer op termijn beëindigd wordt. Paragraaf 9.6	Aanleg en exploitatie zijn bepalend voor de kosten. Deze kosten liggen lager dan bij geologische berging. De kosten van monitoring zijn zeer beperkt ten opzichte van de kosten van aanleg en exploitatie. De totale kosten kunnen ingeschat worden omdat het actief beheer op termijn beëindigd wordt. Paragraaf 9.6	Bouw, onderhoud en monitoring zijn bepalend voor de kosten. Bij de kostenraming moet er rekening gehouden worden met het voorlopige karakter van de opslag: er moet immers nog een definitieve beheeroptie gekozen en geïmplementeerd worden. Dit doet de kosten toenemen. Paragraaf 9.6	De kosten die gepaard gaan met het huidige beheer lopen onverminderd door en kunnen toenemen indien er aanpassingen nodig zijn. Bij de kostenraming moet er rekening gehouden worden met het voorlopige karakter van de opslag: er moet immers nog een definitieve beheeroptie gekozen en geïmplementeerd worden. Dit doet de kosten toenemen. Paragraaf 9.6

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Financiële en economische dimensie						
12	Dekken de momenteel voorziene financieringsmechanismen de redelijkerwijze te voorziene kosten verbonden aan deze optie? Zullen de voorzieningen toereikend en beschikbaar zijn voor de verschillende fasen van de uitvoering van de optie? Welke financiële risico's impliceert de uitvoering van deze optie voor toekomstige generaties? Vereist deze optie een langdurige financiering?	Het ontwerpen van een financieringsmechanisme voor eeuwigdurende opslag gebaseerd op het principe "de vervuiler betaalt" blijkt niet mogelijk. Met de tijd stijgen de risico's verbonden aan het niet beschikbaar zijn van voldoende financieringsmiddelen. Daardoor zullen toekomstige generaties onvermijdelijk verplicht zijn om de nodige financiering te voorzien. Paragraaf 9.6	Het huidige financieringsmechanisme, met ingebouwde herberekening van de kosten, is ontworpen om alle kosten van geologische berging te dekken. De producenten van radioactief afval zijn verantwoordelijk voor het aanleggen van de nodige fondsen (principe "de vervuiler betaalt"). Paragraaf 9.6	Het financieringsmechanisme voor geologische berging kan mits beperkte aanpassingen toegepast worden op berging in diepe boorgaten.	Langdurige opslag kan gedekt worden door het huidige financieringsmechanisme voor geologische berging, mits belangrijke aanpassingen door het feit dat de definitieve beheeroptie nog onbekend is en later geïmplementeerd zal worden. Een niet-definitieve oplossing schuift de hoge investeringskost verbonden aan een definitieve beheeroptie voor zich uit en legt dan ook aanzienlijke financiële lasten op aan toekomstige generaties. Het verschuiven van de tijdshorizon doet de onzekerheid over de toereikendheid van de toekomstige financieringsfondsen voor de definitieve beheeroptie toenemen. Paragraaf 9.6	De huidige opslag wordt volledig gedekt door de bestaande financieringsmechanismen. Een niet-definitieve oplossing schuift de hoge investeringskost verbonden aan een definitieve beheeroptie voor zich uit en legt dan ook aanzienlijke financiële eisen op aan toekomstige generaties. Het verschuiven van de tijdshorizon doet de onzekerheid over de toereikendheid van de toekomstige financieringsfondsen voor de definitieve beheeroptie toenemen. Paragraaf 9.6

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Financiële en economische dimensie						
13	Zijn de financiële middelen toereikend voor de dekking van de risico's en voor eventuele extreme gebeurtenissen?	<p>Een kostenberekening kan rekening houden met de normale evolutie en met een aantal mogelijke verstoringen, maar kan geen rekening houden met alle mogelijke extreme gebeurtenissen.</p> <p>Nucleaire ongevallen worden tot een bepaald bedrag gedekt.</p> <p>De gevolgen van bepaalde extreme gebeurtenissen kunnen veel ingrijpender zijn dan enkel de radiologische impact als gevolg van deze gebeurtenis (bv. inslag van een grote meteoriet).</p>				
14	Zou de uitvoering van deze optie het gebruik van bepaalde nog niet geëxploiteerde natuurlijke rijkdommen kunnen hypothekeren?	<p>De overheid kan eventueel beperkingen opleggen aan de exploitatie van aquifers voor drinkwaterproductie in de buurt van de site.</p> <p>Paragraaf 9.3.2</p>	<p>De site wordt bij voorkeur gekozen op een locatie waar geen exploiteerbare natuurlijke rijkdommen aanwezig zijn.</p> <p>Het bergingssysteem moet in staat zijn om de omgeving, met inbegrip van het grondwater, afdoende te beschermen.</p> <p>De overheid kan eventueel beperkingen opleggen aan de exploitatie van aquifers voor drinkwaterproductie in de buurt van de site.</p> <p>Paragrafen 7.2.1.2 en 9.3.2</p>	<p>De overheid kan eventueel beperkingen opleggen aan de exploitatie van aquifers voor drinkwaterproductie in de buurt van de site.</p> <p>Paragraaf 9.3.2</p>		

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Milieu- en veiligheidsdimensie						
15	Hoe kwetsbaar is deze optie bij blootstelling aan natuurrampen? Aan klimaatveranderingen? Aan terrorisme? Aan maatschappelijke veranderingen (oorlog, invoeren van een dictatuur, enz.)?	<p>Door het ontwerp van de gebouwen en de conditionering is deze beheeroptie vrij robuust t.o.v. natuurlijke evoluties, veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit en externe niet-natuurlijke gebeurtenissen.</p> <p>De maatschappelijke robuustheid is echter laag. Zeker op lange termijn is er veel kans dat het actief beheer wegvalt, met mogelijk onaanvaardbare gevolgen voor mens en natuur.</p> <p>Hoofdstuk 10, Bijlage C</p>	<p>De kunstmatige en natuurlijke barrières zorgen ervoor dat deze beheeroptie robuust is t.o.v. natuurlijke evoluties, veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit en externe niet-natuurlijke gebeurtenissen. Enkel in geval van onopzettelijke menselijke indringing kan het bergingssysteem in bepaalde mate verstoord worden. Voor berging in diepe boorgaten is de kans hierop zeer klein.</p> <p>De maatschappelijke robuustheid is vrij laag op korte termijn (operationele fase, weinig verschil met opslag). Op lange termijn wordt deze beheeroptie niet beïnvloed door maatschappelijke evoluties.</p> <p>Hoofdstuk 10, Bijlage C</p>	<p>Door het ontwerp van de gebouwen en de conditionering is deze beheeroptie vrij robuust t.o.v. natuurlijke evoluties, veranderingen in de intrinsieke fysische en technische stabiliteit en externe niet-natuurlijke gebeurtenissen.</p> <p>De maatschappelijke robuustheid is echter laag. Als het actief beheer wegvalt (bv. door oorlog), leidt dit mogelijk tot onaanvaardbare gevolgen voor mens en natuur.</p> <p>Hoofdstuk 10, Bijlage C</p>	<p>De gebouwen en de conditionering zijn bestand tegen bepaalde veranderingen, maar zijn slechts ontworpen voor een levensduur van 75 jaar (waarvan een deel al voorbij is). De robuustheid is dus lager dan bij langdurige opslag.</p> <p>De maatschappelijke robuustheid is echter laag. Als het actief beheer wegvalt (bv. door oorlog), leidt dit mogelijk tot onaanvaardbare gevolgen voor mens en natuur.</p> <p>Hoofdstuk 10, Bijlage C</p>	

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Milieu- en veiligheidsdimensie						
16	Moeten de installaties verbonden aan de optie worden gecontroleerd om de veiligheid van mens en milieu op korte en lange termijn te verzekeren? Zo ja, gedurende welke periode? Kan de implementatie van deze optie op korte en lange termijn worden gecontroleerd?	Ja, actief beheer is nodig om de veiligheid van mens en milieu te verzekeren. Monitoring en correctieve maatregelen zijn steeds mogelijk. Paragraaf 7.2.2.1, hoofdstuk 10, Bijlage C	Nee, actief beheer is na sluiting van de installatie niet nodig om de veiligheid van mens en milieu te verzekeren. De volledige sluiting van de installatie kan gedurende een bepaalde periode uitgesteld worden (eventuele vereisten van monitoring en terugneembaarheid). Paragraaf 7.2.1.2, hoofdstuk 10, Bijlage C	Nee, actief beheer is na sluiting van de boorgaten niet nodig om de veiligheid van mens en milieu te verzekeren. Na sluiting van de boorgaten is monitoring slechts op afstand en in zeer beperkte mate mogelijk. Paragraaf 7.2.1.2, hoofdstuk 10, Bijlage C	Ja, actief beheer is nodig om de veiligheid van mens en milieu te verzekeren. Monitoring en correctieve maatregelen zijn steeds mogelijk. Paragraaf 7.2.2.1, hoofdstuk 10, Bijlage C	Ja, actief beheer is nodig om de veiligheid van mens en milieu te verzekeren. Monitoring en correctieve maatregelen zijn steeds mogelijk. Paragraaf 7.2.3, hoofdstuk 10, Bijlage C
17	Vergemakkelijkt deze optie de naleving van de eisen van het Non-proliferatieverdrag - of niet?	Veiligheidscontrole (safeguards-inspecties) is mogelijk met klassieke technieken en methoden. Indien het actief beheer wegvalt, is toegang voor kwaadwillige individuen of groepen vrij gemakkelijk. Paragraaf 9.8	Zeker op lange termijn zijn de meeste gangbare technieken en methoden voor veiligheidscontrole (safeguards-inspecties) moeilijker toe te passen door de ondergrondse ligging. Nieuwe technieken zijn deels nog in ontwikkeling. Na plaatsing van het afval is het relatief ontoegankelijk voor kwaadwillige individuen of groepen. Paragraaf 9.8	Zeker op lange termijn zijn de meeste gangbare technieken en methoden voor veiligheidscontrole (safeguards-inspecties) niet bruikbaar door de ondergrondse ligging. Nieuwe technieken zijn deels nog in ontwikkeling. Na plaatsing van het afval is het ontoegankelijk voor kwaadwillige individuen of groepen. Paragraaf 9.8	Veiligheidscontrole (safeguards-inspecties) is mogelijk met klassieke technieken en methoden. Indien het actief beheer wegvalt, is toegang voor kwaadwillige individuen of groepen vrij gemakkelijk. Paragraaf 9.8	

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Milieu- en veiligheidsdimensie						
18	Bij uitvoering van deze optie, waarvan is de veiligheid van mens en milieu dan in hoofdzaak afhankelijk op korte en lange termijn en op kleine, middelgrote en grote ruimtelijke schaal?	De veiligheid van mens en milieu steunt op voortdurende menselijke handelingen (actief beheer) om de insluiting en de afzondering van het afval in stand te houden. Paragraaf 7.2.2.1	Op korte termijn (d.w.z. tijdens de exploitatie) is er nog actief beheer, maar op termijn is er geen menselijke tussenkomst meer nodig om de veiligheid van mens en milieu te garanderen door een passieve insluiting en afzondering. Paragraaf 7.2.1.2	De veiligheid van mens en milieu steunt op voortdurende menselijke handelingen (actief beheer) om de insluiting en de afzondering van het afval in stand te houden. Paragraaf 7.2.2.1	De veiligheid van mens en milieu steunt op voortdurende menselijke handelingen (actief beheer) om de insluiting en de afzondering van het afval in stand te houden. Paragraaf 7.2.3	
19	Welke mogelijke belangrijke milieueffecten heeft de uitvoering van de optie op korte en lange termijn?	Radiologische effecten naar verwachting binnen de aanvaarde limieten en lager dan bij status quo. Enkel als het actief beheer wegvalt, kan men aanzienlijke radiologische effecten verwachten. "Klassieke" milieueffecten in de omgeving van de site ten gevolge van de aanlegwerkzaamheden. Paragrafen 9.1 t.e.m. 9.5	Radiologische effecten naar verwachting binnen de aanvaarde limieten en lager dan bij status quo. Thermische impact op de omgeving als gevolg van de berging van warmte-afgevend afval. "Klassieke" milieueffecten in de omgeving van de site ten gevolge van de aanlegwerkzaamheden (minder dan bij opslag door grotere spreiding in de tijd). Paragrafen 9.1 t.e.m. 9.5	Radiologische effecten naar verwachting binnen de aanvaarde limieten en lager dan bij status quo. Enkel als het actief beheer wegvalt, kan men aanzienlijke radiologische effecten verwachten. "Klassieke" milieueffecten in de omgeving van de site ten gevolge van de aanlegwerkzaamheden. Paragrafen 9.1 t.e.m. 9.5	Radiologische effecten naar verwachting binnen de aanvaarde limieten. "Klassieke" milieueffecten in de omgeving van de site ten gevolge van de aanlegwerkzaamheden (beperkt doordat er slechts weinig bijkomende oppervlakte ingenomen wordt). Paragrafen 9.1 t.e.m. 9.5	
20	Stoelt de veiligheid van mens en milieu op de overdracht van kennis bij uitvoering van deze optie? Zo ja, hoe kan deze kennisoverdracht dan worden verzekerd?	Kennis moet naar de volgende generaties doorgegeven worden en moet dus telkens bewaard worden in een leesbare en bruikbare vorm. Paragraaf 7.2.1.1, hoofdstuk 10	Passief beheer is in principe minder afhankelijk van kennis over het radioactief afval en de berging. Een markering van de site en het optimaal doorgeven van de kennis worden voorzien om de herinnering te bewaren. Paragraaf 9.2.6, hoofdstuk 10	Kennis moet naar de volgende generaties doorgegeven worden en moet dus telkens bewaard worden in een leesbare en bruikbare vorm. Paragraaf 7.2.2.1, hoofdstuk 10	Kennis moet naar de volgende generaties doorgegeven worden en moet dus telkens bewaard worden in een leesbare en bruikbare vorm. Paragraaf 7.2.3, hoofdstuk 10	

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Milieu- en veiligheidsdimensie						
21	Welke zijn de belangrijkste onzekerheden op veiligheidsvlak die aan deze optie verbonden zijn?	<p>Onzekerheid over maatschappelijke ontwikkelingen (zeker op lange termijn) en hun invloed op het beheer.</p> <p>De levensduur van de betonconstructies is een aandachtspunt voor deze beheeroptie.</p> <p>Hoofdstuk 10, Bijlage C</p>	<p>Onzekerheid verbonden met extrapolatie van wetenschappelijke kennis over zeer lange termijn.</p> <p>Onzekerheid verbonden met mogelijke verstoring van de berging door onvoorziene menselijke activiteiten.</p> <p>Hoofdstuk 10</p>	<p>Onzekerheid over potentiële gastformaties en hun capaciteit voor insluiting van radionucliden.</p> <p>Onzekerheid over de technologie voor boring.</p> <p>Onzekerheid over de performantie van de afvalcontainers bij (hydro)geologische omstandigheden op grote diepte.</p> <p>Paragraaf 7.2.1.2, hoofdstuk 10</p>	<p>Onzekerheid over maatschappelijke ontwikkelingen en hun invloed op het beheer.</p> <p>De levensduur van de betonconstructies is een aandachtspunt voor deze beheeroptie.</p> <p>Hoofdstuk 10, Bijlage C</p>	<p>Onzekerheid over maatschappelijke ontwikkelingen en hun invloed op het beheer.</p> <p>Beperkte onzekerheid verbonden aan de levensduur van de bestaande opslaggebouwen.</p> <p>Hoofdstuk 10, Bijlage C</p>

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Maatschappelijke en ethische dimensie						
22	Hoe kan het langetermijnbeheer voor de verschillende opties worden gegarandeerd?	Voortdurend actief beheer is nodig. Kennis moet doorgegeven worden naar volgende generaties. Dit impliceert een eeuwigdurende maatschappelijke zorg, met alle onzekerheden van dien. Paragraaf 7.2.1.1	Na de operationele fase is menselijke tussenkomst niet meer nodig (passief beheer). Maatschappelijke zorg is niet meer vereist om een veilig langetermijnbeheer te garanderen. Paragraaf 7.2.1.2		Het langetermijnbeheer is niet gegarandeerd. Voortdurend actief beheer is nodig. Kennis moet doorgegeven worden naar volgende generaties om een beslissing te kunnen nemen over het langetermijnbeheer. Paragraaf 7.2.2.1	Het langetermijnbeheer is niet gegarandeerd. Voortdurend actief beheer is nodig. Kennis moet doorgegeven worden naar volgende generaties om een beslissing te kunnen nemen over het langetermijnbeheer. Paragraaf 7.2.3
23	Is deze optie flexibel/omkeerbaar? Tot welk stadium van de uitvoering?	De beheeroptie is steeds flexibel. (Zie ook vraag 10)	Tot en met de operationele fase is deze beheeroptie flexibel. Deze beheeroptie wordt minder flexibel naarmate de installatie stapsgewijs gesloten wordt. Na sluiting kan flexibiliteit alleen tegen zeer hoge kosten gegarandeerd worden. (Zie ook vraag 10)	Tot de plaatsing van het afval in de boorgaten is deze beheeroptie flexibel. Na sluiting kan flexibiliteit alleen tegen zeer hoge kosten gegarandeerd worden. (Zie ook vraag 10)	De beheeroptie is steeds flexibel. (Zie ook vraag 10)	
24	Laat deze optie een solidaire intragenerationele (federaal-lokaal, ...) tenlasteneming van het afvalbeheer toe? Moeten er compensaties worden voorzien? Voor wie? Gedurende welke periode?	Intragenerationele solidariteit kan gerealiseerd worden door meerwaardeprojecten voor de gastgemeente en de regio. Paragraaf 9.7				De gemeenten waar de huidige opslaggebouwen zich bevinden, worden voor een voldoende feit gesteld. Paragraaf 9.7

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Maatschappelijke en ethische dimensie						
25	Garandeert deze optie minimale lasten voor de toekomstige generaties? Laat ze nog keuzevrijheid aan de toekomstige generaties?	Lasten worden overgedragen naar volgende generaties, maar zij behouden ook de keuzevrijheid. Paragraaf 9.7	Weinig lasten overgedragen naar toekomstige generaties, maar ook weinig keuzevrijheid na de sluiting. (Zie ook vraag 10) Paragraaf 9.7		De beslissing over het langetermijnbeheer wordt overgelaten aan de volgende generaties. Lasten worden overgedragen naar volgende generaties, maar zij behouden ook de keuzevrijheid. Paragraaf 9.7	
26	Stemt deze optie overeen met het huidige Belgische wettelijke en institutionele kader?	Ja Hoofdstuk 1			Komt niet tegemoet aan de vraag naar een definitieve beheeroptie Hoofdstuk 1	
27	Zou deze optie kunnen leiden tot het verschuiven van het probleem van het afvalbeheer naar minder bevooroordeelde landen?	Nee, het Gezamenlijk Verdrag verbiedt de volledige overdracht van verantwoordelijkheid voor het Belgische afval naar een ander land. De voorkeur gaat uit naar beheer binnen de landsgrenzen van België. Zelfs in geval van een gedeelde oplossing gaat men er principieel van uit dat de veiligheidsvereisten dezelfde zijn als in geval van beheer in België. Bijlage D				

		Eeuwigdurende opslag	Geologische berging	Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden Opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën	Status quo-optie
Maatschappelijke en ethische dimensie						
28	<p>Kan deze optie op het Belgische grondgebied worden uitgevoerd?</p> <p>Welke speelruimte biedt de optie wat de lokalisatie betreft? Is er slechts één enkele site mogelijk (of nodig) of zijn er verscheidene sites mogelijk (of nodig)?</p>	<p>Ja, er zijn weinig beperkingen voor de sitekeuze (zie vraag 2).</p> <p>De sitekeuze is dus vooral gebonden aan maatschappelijke aanvaardbaarheid.</p>	<p>Ja, de veiligheid en de haalbaarheid van geologische berging in België zijn aangetoond.</p> <p>De aanwezigheid, diepte en dikte van het gastgesteente zijn randvoorwaarden voor de sitekeuze.</p> <p>Binnen een gastgesteente zijn verschillende locaties mogelijk.</p> <p>Paragraaf 7.2.1.2</p>	<p>Waarschijnlijk wel, maar door het gebrek aan kennis over de ondergrond op enkele kilometers diepte is er geen zekerheid over de aanwezigheid van geschikte gastformaties.</p> <p>Binnen een gastgesteente zijn verschillende locaties mogelijk.</p> <p>Paragraaf 7.2.1.2</p>	<p>Ja, er zijn weinig beperkingen voor de sitekeuze (zie vraag 2).</p> <p>De sitekeuze is dus vooral gebonden aan maatschappelijke aanvaardbaarheid.</p>	Deze optie wordt reeds uitgevoerd.
29	<p>Zouden de maatschappelijke onzekerheden m.b.t. deze optie de veiligheid van mens en milieu kunnen beïnvloeden?</p>	<p>De maatschappelijke robuustheid is laag. Zeker op lange termijn is er veel kans dat het actief beheer wegvalt, met mogelijk onaanvaardbare gevolgen voor mens en natuur.</p> <p>Hoofdstuk 10, Bijlage C</p>	<p>De maatschappelijke robuustheid is vrij laag op korte termijn (operationele fase, weinig verschil met opslag).</p> <p>Op lange termijn wordt deze beheeroptie niet beïnvloed door maatschappelijke evoluties.</p> <p>Hoofdstuk 10, Bijlage C</p>	<p>De maatschappelijke robuustheid is laag. De kans bestaat dat het actief beheer wegvalt, met mogelijk onaanvaardbare gevolgen voor mens en natuur.</p> <p>Als er niet tijdig een beslissing genomen wordt over het beheer op lange termijn, kan de veiligheid moeilijk gegarandeerd worden.</p> <p>Hoofdstuk 10, Bijlage C</p>		

BIJLAGE B STRATEGISCHE KEUZES OVER HET BEHEER VAN HOOGDIOACTIEF EN/OF LANGLEVEND AFVAL IN ANDERE LANDEN

B.1 Inleiding

De kennis over de onderbouwing van de strategische keuzes over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in andere landen is van belang omdat deze aantoont dat de beheeroptie geologische berging, die de voorkeur van NIRAS geniet, steunt op argumenten die andere landen ook aanhalen om dezelfde keuze te onderbouwen.

Via bilaterale en multilaterale contacten beschikt NIRAS over een grote kennisbasis en blijft ze op de hoogte van de evoluties en de status van het beheer op korte en lange termijn van hoogradioactief en/of langlevend afval in andere landen. Deze kennisbasis omvat onder meer de rapporten die alle verdragsluitende partijen van het Gezamenlijk Verdrag van het Internationaal Atoomagentschap (291) moeten publiceren. Daarnaast zijn er de multilaterale contacten via NIRAS' lidmaatschap van het Nuclear Energy Agency (NEA) van de OESO, van de vereniging van afval- en onderzoeksagentschappen van de lidstaten van de Europese Unie (RWMC) en van EDRAM (International Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Materials), de vereniging van voorzitters van de nationale organisaties die het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval op zich nemen.

Daarnaast beschrijven verschillende documenten de situatie in landen met een beheerprogramma voor radioactief afval. In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de strategische keuzes over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in alle Europese landen met een actief nucleair programma, aangevuld met enkele voorbeelden buiten Europa (in het bijzonder de VS, Canada en Japan). Het detailleringniveau waarmee deze keuzes toegelicht worden, is verschillend. Elf representatieve landen worden meer uitvoerig besproken. Deze elf landen hebben aanzienlijke hoeveelheden hoogradioactief en/of langlevend afval op hun grondgebied en ontwikkelden uitgebreide en vergevorderde programma's voor het beheer ervan (76), (77), (292).

Leeswijzer

Eerst wordt een overzicht gegeven van de keuzes voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in alle Europese landen met een actief nucleair programma, aangevuld door drie representatieve niet-Europese voorbeelden.

Van de elf gekozen representatieve landen worden twee elementen meer in detail besproken:

- De **stand van zaken** geeft de aanpak en de uitkomsten van het keuzeproces weer. Het is een beschrijving van de huidige toestand (afgesloten op 31 maart 2010).
- Het **besluitvormingsproces** geeft op chronologische wijze weer hoe de beslissingen tot stand kwamen. De evaluatie van de technische, economische, maatschappelijke en eventueel ethische componenten in het besluitvormingsproces worden besproken. Voor het Verenigd Koninkrijk, Canada en Zweden wordt de ethische component uitgebreider besproken, aangezien voor deze landen de ethische dimensie goed onderbouwd was in het besluitvormingsproces. Verder wordt de visie van een aantal landen (Canada, Frankrijk, Nederland, Zweden, Zwitserland en Japan) op terugneembaarheid weergegeven.

Tot slot volgt een tabel waarin het **besluitvormingsproces** van de elf representatieve landen samengevat wordt door de volgende elementen op te lijsten:

- De geëvalueerde beheeropties
- De weerhouden beheeropties
- De beleidsbeslissing
- Een omschrijving van de principes en waarden die het beleid vormgeven en aan de basis liggen van de beslissing. De principes en waarden worden vanuit verschillende ethische gezichtspunten benaderd.

B.2 Overzicht van strategische keuzes over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval

Tabel 59 geeft een overzicht van de beslissingen over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in de 17 Europese landen met operationele kerncentrales en in drie representatieve niet-Europese landen (de Verenigde Staten, Canada en Japan) op basis van hun nationale rapporten in het kader van het Gezamenlijk Verdrag van het IAEA (291).

Tabel 59: Overzicht van de strategische keuzes over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in de Europese landen met een actief nucleair programma en in de Verenigde Staten, Canada en Japan

Land	Strategische keuze
Bulgarije	Onderzoek naar geologische berging
Canada	Gefaseerde geologische berging (Adaptive Phased Management)
Duitsland	Geologische berging
Finland	Geologische berging; site gekozen
Frankrijk	Geologische berging
Hongarije	Geologische berging
Italië	Nog geen definitieve beheeroptie gekozen
Japan	Geologische berging
Nederland	Langdurige opslag (100 jaar) gevolgd door geologische berging
Rusland	Geologische berging
Roemenië	Geologische berging
Slovakije	Nog geen definitieve beheeroptie gekozen
Slovenië	Voorkeursopties: gedeeld beheer en geologische berging
Spanje	Geologische berging
Tsjechië	Geologische berging
Verenigde Staten	Geologische berging
Verenigd Koninkrijk	Geologische berging
Zweden	Geologische berging; site gekozen
Zwitserland	Geologische berging

B.3 Canada

B.3.1 Stand van zaken

In Canada staat kernenergie in voor 14,8% van de totale elektriciteitsproductie (293).

Canada kiest voor geologische berging, die uitgevoerd zal worden door middel van "Adaptive Phased Management". Het gekozen alternatief bestaat erin om, na de voorbereidende processen van onderzoek en siteselectie, eerst gedurende een dertigtal jaar het afval in een centrale ondiepe tijdelijke opslagplaats te bewaren en tegelijk verder onderzoek te verrichten naar geologische berging. Over ca. 60 jaar zou de geologische berging operationeel moeten zijn, maar de beslissing of en wanneer de bergingsinstallatie gesloten moet worden, zou men aan de toekomstige generaties overlaten. Monitoring en toegang zouden in elk geval nog lang mogelijk blijven (294).

In Canada werd door de Nuclear Fuel Waste Act uit 2002 aan de Nuclear Waste Management Organization (NWMO) de opdracht gegeven om drie opties voor het beheer van bestraalde splijtstof te onderzoeken. Het eindrapport van de studie (90) beschrijft het proces waardoor de NWMO tot een aanbeveling kwam. In juni 2007 heeft de Canadese regering de aanbevelingen van de NWMO bevestigd.

In het najaar van 2008 is de NWMO begonnen met het vormgeven van het proces van siteselectie. Er werd een discussiedocument gepubliceerd; de NWMO hoopt van alle betrokkenen input te krijgen over hoe men de siteselectie kan aanpakken. Het eigenlijke proces zou dan in 2010 kunnen starten (90). Op basis van deze input werd een strategisch plan voor 2010 tot 2015 opgesteld, dat het siteselectie- en implementatieproces moet vormgeven (295).

B.3.2 Besluitvormingsproces

Vanuit de erkenning dat experts weliswaar de technische, milieu- en economische aspecten van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval adequaat kunnen beoordelen, maar dat de gekozen oplossing ook sociaal aanvaardbaar dient te zijn, werd op verschillende punten tijdens het studieproces (2002-2007) de input van burgers en stakeholders gevraagd.

Gebruik makend van een groot arsenaal aan inspraakvormen verzamelde de NWMO input van stakeholders en publiek. Er werd gepeild naar hun verwachtingen (o.a. over de te behandelen vragen), waarden en prioriteiten en naar hun mening over de bestudeerde beheeropties en over de uiteindelijke aanbevelingen. De drie beheeropties die volgens de wet onderzocht moesten worden, waren de volgende:

- Geologische berging
- Voortzetten van de tijdelijke opslag bij de kerncentrales
- Tijdelijke opslag op een centrale locatie

Bijkomend werden nog een aantal opties onderzocht die in andere landen toegepast worden of aandacht krijgen; deze werden echter om uiteenlopende, vooral technische, redenen uitgesloten.

Voor de korte termijn beschouwt de NWMO opwerking als niet nuttig in de Canadese context, zeker gezien de hieraan verbonden nadelen. Canada is immers 's werelds grootste exploitant van uraniumerts en de binnenlandse reserves zijn nog lang niet uitgeput. Er was eventueel interesse voor scheiding en transmutatie, maar deze technieken zijn nog niet toepasbaar op industriële schaal. Er wordt wel gesuggereerd om op dit vlak de vooruitgang van het onderzoek in het oog te houden. Overigens merkt men op dat opwerking, scheiding en transmutatie de nood aan een definitieve oplossing voor hoogradioactief afval niet wegnemen.

Ook berging in diepe boorgaten werd bekeken. Deze optie bemoeilijkt echter de monitoring. Terugneembaarheid zou zeer moeilijk te implementeren zijn, en de gebruikte technologie is nog twijfelachtig.

De optie van een gedeelde bergingsinstallatie is niet in strijd met de Canadese regelgeving, maar wel met het verantwoordelijkheidsprincipe dat door veel landen gehanteerd wordt en dat impliceert dat men het afval binnen de landsgrenzen beheert. In elk geval kan een beslissing voor gedeelde berging niet alleen van Canada komen.

Tenslotte werden nog een aantal andere beheeropties afgeschreven omwille van hun strijdigheid met nationale regelgeving of internationale overeenkomsten of omdat ze steunen op onvoldoende bewezen technologie.

De drie weerhouden beheeropties (d.w.z. deze voorgeschreven door de wet) werden beoordeeld en vergeleken met behulp van “multi-attribute utility analysis”, een techniek die lijkt op multicriteria-analyse. De criteria en andere randvoorwaarden van de methode werden bepaald in een multidisciplinair expertenteam, met input uit de maatschappelijke consultatie met stakeholders en burgers. Kosten, baten en risico's van de opties werden in detail onderzocht (238).

Het Canadese besluitvormingsproces gaat uit van de visie dat ethische keuzes gebaseerd moeten zijn op waardegebonden beslissingen die gedragen worden door een zo groot mogelijk deel van de samenleving. In het kader van de identificatie van mogelijke sociale en ethische verantwoordingen werden op grote schaal dialogen georganiseerd waaraan meer dan 18.000 Canadezen deelnamen. Via participatieve consultaties, gebaseerd op een theoretische onderbouwing, werden gemeenschappelijke waarden, ethische principes en sleuteldoelstellingen geformuleerd (238). Deze worden hierna samengevat.

De volgende maatschappelijke waarden werden van belang geacht:

- Veiligheid: een overheersende vereiste. Eerst en vooral moeten de menselijke gezondheid en het milieu beschermd worden tegen de schadelijke invloed van hoogradioactief en/of langlevend afval, nu en in de toekomst.
- Verantwoordelijkheid: we moeten onze verantwoordelijkheid nemen ten opzichte van onszelf en toekomstige generaties en omgaan met de problemen die we zelf gecreëerd hebben.
- Aanpasbaarheid: de mogelijkheid om te reageren op nieuwe kennis moet ingebouwd worden.
- Stewardship: wij hebben de plicht om al onze hulpbronnen en natuurlijke rijkdommen met zorg te behandelen en te bewaren, waardoor we een gezonde erfenis kunnen doorgeven aan toekomstige generaties.
- Verantwoordelijkheid en transparantie: regeringen moeten aansprakelijk zijn voor het verzekeren van de veiligheid van publieke goederen, maar zij moeten burgers, belangengroepen en experts betrekken in het besluitvormingsproces. Zij moeten iedereen met eer en respect behandelen.
- Kennis: we moeten blijven investeren in het informeren van het brede publiek en onze kennis indien mogelijk nog vergroten om het besluitvormingsproces nu en de toekomst te ondersteunen.
- Inclusie: de beslissingen moeten een betrokkenheid reflecteren.

Uit deze maatschappelijke waarden werden een aantal ethische principes afgeleid:

- Respect voor het leven in al zijn vormen. Dit omvat het minimaliseren van schade aan mensen en andere levende wezens. Dit principe werd als het belangrijkste ervaren tijdens de participatieve consultaties.
- Respect voor toekomstige generaties van mensen, andere levende wezens en de hele biosfeer. Dit principe zorgde voor vele discussies. Vele deelnemers argumenteerden dat het afval een potentiële energiebron kan zijn voor toekomstige generaties en dat onze generatie er dus voor moet zorgen dat het afval beschikbaar blijft in de toekomst. Anderen vonden dat dit principe inhoudt dat we de last die wij gecreëerd hebben niet mogen overdragen naar toekomstige generaties.

- Rechtvaardigheid ten opzichte van groepen, regio's en generaties, in het bijzonder ten opzichte van minderheden en gemarginaliseerde groepen. Deze rechtvaardigheid kan moeilijk volledig gegarandeerd worden, want het is praktisch niet mogelijk om evenredig de kosten en de voordelen te verdelen.
- Fijngevoeligheid tegenover de verschillende waarden en interpretaties die de verschillende individuen en groepen aanbrengen in de discussie.

Vanuit de participatieve consultaties werden ook zeven sleuteldoelstellingen geselecteerd die de aanpak moesten kenmerken:

- Rechtvaardigheid
- Gezondheid en veiligheid van het publiek
- Gezondheid en veiligheid van de werknemers
- Integriteit ten opzichte van het milieu
- Welzijn van de gemeenschap
- Economische levensvatbaarheid
- Aanpasbaarheid

De principes en de sleuteldoelstellingen leidden tot drie centrale verklaringen:

- Deze generatie moet haar verantwoordelijkheid nemen
- Deze generatie mag geen onomkeerbare beslissingen nemen die ervoor zorgen dat toekomstige generaties echte keuzes ontnomen worden
- De veiligheid van toekomstige generaties mag niet in het gedrang komen

Deze verklaringen vormen het ethische gezichtspunt van de genomen beslissing. Het NWMO onderkent daarbij dat de verklaringen in theorie wel goed gefundeerd zijn, maar dat het er vooral op aankomt dat men in deze geest handelt. Dit kan door (238):

- Het voorzien van een toekomstperspectief, waarbij er zorgvuldig nagedacht wordt over de manier waarop de wereld kan veranderen. Het toekomstperspectief moet ook rekening houden met het mogelijke gedrag van toekomstige generaties.
- Het ontwerp zelf moet een technologie gebruiken die in staat is een voldoende hoog veiligheidsniveau te garanderen, waarbij toekomstige kosten voorzien worden en die kan anticiperen op potentiële milieu- en socio-economische impact. Tot slot moet er een planning opgemaakt worden die de creatie en overdracht van kennis in de toekomst garandeert.

Uit het sociale en ethische onderzoek van de NWMO bleek dat er onvermijdelijk conflicterende doelstellingen bestaan en dat het moeilijk is om uit te maken welke doelstellingen boven andere moeten primeren. Het participatieve proces tekende de krijtlijnen van een evenwichtsoefening met betrekking tot langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval (238).

- *Balans tussen veiligheid en terugneembaarheid*

Sommigen menen dat het omwille van de veiligheid noodzakelijk is om ervoor te zorgen dat het afval geborgen wordt en dat de installatie afgesloten wordt. Het afval moet namelijk geïsoleerd worden van mens en milieu, zodat de mens er niet meer mee in contact kan komen, of het nu opzettelijk is of niet. Anderen vinden dat de terugneembaarheid verzekerd moet worden in het kader van de veiligheid. Als er zich problemen voordoen, moet er immers ingegrepen kunnen worden. Het zorgt er

ook voor dat men het afval kan hergebruiken of beheren volgens nieuwe technologieën, als dat op een bepaald moment mogelijk en wenselijk wordt.

- *Balans tussen het minimaliseren van transport en het weghalen van afval uit bevolkte gebieden*

Het transporteren van afval wordt als gevaarlijk ervaren omdat ongevallen een risico vormen voor de menselijke gezondheid en omdat de beveiliging tegen terrorisme moeilijk verzekerd kan worden. Anderen vinden dat de veiligheid het beste gegarandeerd kan worden door geologische berging in een verlaten of dunbevolkt gebied; de risico's van het transport wegen voor hen minder zwaar. Hierbij wordt de bedenking gemaakt dat er in de toekomst onvermijdelijk volksverhuizingen zullen zijn. Gebieden die vandaag dunbevolkt zijn, zullen dus in de toekomst mogelijk wel meer bewoning kennen.

- *Balans tussen rechtvaardigheid voor huidige gastgemeenten en rechtvaardigheid voor gemeenten waar in de toekomst beheerinstallaties gevestigd zullen zijn*

De oorspronkelijke bewoners van Canada vrezen dat er in hun (dunbevolkte) gebieden installaties voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval zouden kunnen komen. Dit wordt als onrechtvaardig beschouwd, aangezien zij weinig van de voordelen van kernenergie hebben kunnen genieten. Er is dan ook een tendens om bij het proces van siteselectie vooral te kijken naar regio's die nu reeds kerncentrales herbergen.

Een ander aandachtspunt van het participatieve proces was de manier waarop men rekening houdt met de oorspronkelijke bewoners van Canada. Vanuit hun waarden, tradities, geschiedenis en opvattingen over o.a. het milieu hebben zij immers specifieke belangen en zorgen ten aanzien van beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Ze vrezen bijvoorbeeld dat men bij de keuze van een locatie voor geologische berging gemakkelijk voor een aan hen toebehorend gebied zou kiezen (deze gebieden zijn immers dun bevolkt). De oorspronkelijke bewoners van Canada delen nauwelijks in de voordelen van de kerncentrales, laat staan dat ze de keuze voor kernenergie hebben kunnen beïnvloeden. Dat ze op termijn de verantwoordelijkheid zouden moeten dragen van een bergingsinstallatie in hun gebied, wordt dan ook als onrechtvaardig beschouwd (294).

NWMO erkent de complexiteit en het belang van het betrekken van oorspronkelijke bewoners en heeft een afzonderlijk programma voor hen opgezet. Het programma komt echter (nog) niet volledig tegemoet aan hun bezorgdheden. Er wordt NWMO vanuit bepaalde hoeken nog steeds een paternalistische houding verweten, met te weinig aandacht voor de traditionele kennis en cultuur van de oorspronkelijke bewoners (296).

De drie beheeropties die volgens de wet onderzocht moesten worden, boden geen afdoende antwoord op het sociale en ethische gezichtspunt dat ontstond tijdens de maatschappelijke consultaties. Op basis van de ethische en maatschappelijke principes ontwikkelde de NWMO een vierde beheeroptie: Adaptive Phased Management. Deze keuze komt tegemoet aan ethische en maatschappelijke zorgen en combineert enkele voordelen van de drie onderzochte beheeropties.

Adaptive Phased Management werd daarop eveneens geëvalueerd op basis van dezelfde "multi-attribute utility analysis". Bijkomend werden ook kosten, baten en risico's onderzocht. Adaptive Phased Management werd uitgebreid besproken met stakeholders en burgers, die in grote lijnen hun goedkeuring verleenden aan de conclusie van NWMO met betrekking tot de te verkiezen optie (90).

De studies resulteerden in een aantal aanbevelingen van NWMO aan de regering, die opgebouwd zijn rond Adaptive Phased Management.

Ondertussen is de beheeroptie Adaptive Phased Management gekozen. Nu is men in het stadium van het siteselectieproces. De NWMO stelt dat de siteselectie gebaseerd moet zijn op vrijwilligheid en zich moet concentreren op de gebieden die reeds betrokken zijn bij de splijtstofcyclus, zonder evenwel andere gebieden a priori uit te sluiten. Ten slotte wordt er gewezen op het belang van het voortdurend betrekken van stakeholders en publiek in alle fasen van het vervolgproces (90).

B.4 Duitsland

B.4.1 Stand van zaken

In Duitsland staat kernenergie in voor 28,3% van de totale energievoorziening (293). Bestraalde splijtstof werd opgewerkt tot in 2005. Hoogradioactief en/of langlevend afval wordt tot op vandaag opgeslagen in bovengrondse installaties op de sites van de reactoren. Duitsland is van het standpunt dat hoogradioactief en/of langlevend afval niet in- of uitgevoerd mag worden (297).

De Bundesamt für Strahlenschutz (Federaal agentschap voor stralingsbescherming) is verantwoordelijk voor de bouw van opslaginstallaties voor hoogradioactief en/of langlevend afval.

De beslissing voor geologische berging van hoogradioactief en/of langlevend afval werd in Duitsland al in het begin van de jaren '60 genomen. Sindsdien werden reeds enkele sites in voormalige zoutmijnen gebouwd en in gebruik genomen. De weerstand van de publieke opinie is echter aanzienlijk: op verschillende punten werden onderzoek en planning opgeschort ten gevolge van protest (298).

Voor de berging van warmteafgevend radioactief afval zou de installatie in Gorleben operationeel moeten zijn tegen 2030. Voor de berging van afval dat geen warmte afgeeft, werd de Konrad-site in een oude ijzermijn geselecteerd.

B.4.2 Besluitvormingsproces

Voor bestraalde splijtstof had Duitsland aanvankelijk opwerking overwogen (met berging van het opwerkingsafval). In 1973 werd er begonnen met de bouw van een opwerkingsinstallatie in Kalkar, in Noordrijn-Westfalen vlakbij de Nederlandse grens. In 1986 was de installatie gebruiksklaar. Op basis van onderzoek (299) en onder invloed van de publieke opinie (298) werd opwerking echter meer en meer in vraag gesteld, totdat er uiteindelijk toch voor onmiddellijke berging zonder voorafgaande opwerking gekozen werd. De installatie in Kalkar werd gesloten in 1991. In 1994 werd wettelijk vastgelegd dat bestraalde splijtstof zonder opwerking definitief geborgen moet worden.

De eerste geologische bergingsinstallatie werd na twee jaar onderzoek al in gebruik genomen in 1967. In Asse werd tot 1978 laag- en middelactief afval opgeslagen in een zoutmijn. Het onderzoek werd stopgezet in 1995 en in de tien daarop volgende jaren werd de mijn gevuld met zout (291). De mijn in Asse wordt echter bedreigd door binnendringend grondwater. Dit is te wijten aan de voormalige zoutwinning, waardoor de resterende zoutlaag aan de randen van de mijn te dun is om het afval langdurig te isoleren. De voormalige zoutkoepels grenzen aan anhydriet, een gesteente dat relatief gemakkelijk water doorlaat. Daardoor is grondwater de bergingsinstallatie binnengedrongen. Mogelijk zijn een aantal afvalcontainers beschadigd, waardoor het binnengedrongen water de afvalcontainers en de betonnen conditioneringsmatrix aangetast heeft. Metingen wijzen op radiologische

besmetting van het grondwater. BfS heeft daarom na een vergelijkende studie in januari 2010 beslist om het afval terug te halen (300).

Net als in West-Duitsland, startte de Staatliche Zentrale für Strahlenschutz van Oost-Duitsland in 1965 de zoektocht naar een site voor de berging van radioactief afval. In datzelfde jaar werd de zoutmijn Morsleben geselecteerd. De belangrijkste criteria voor de keuze waren het zout als gastgesteente, de omvang en de toegankelijkheid van de ruimten en de directe beschikbaarheid van de mijn. Het duurde wel tot 1972 vooraleer de vergunningen verleend werden. De mijn werd gebruikt voor de berging van laag- en middelactief afval tot in 1988. De mijn werd opnieuw in gebruik genomen in de periode 1994-1998. Sindsdien is de stabiliteit van de zoutkoepel verminderd, waardoor de mijn gestabiliseerd moet worden om de veiligheid op lange termijn te garanderen (301).

In 1973 begon men een zoektocht naar een zoutkoepel voor alle soorten radioactief afval. Twee jaar later werd Gorleben aangewezen als een geschikte locatie. De keuze was het resultaat van een studie over 140 zoutkoepels. De selectiecriteria waren onder andere het grondgebruik, de bevolkingsdichtheid, de straling, technologische en geologische aspecten. Vandaag meent men echter dat wetenschappelijke argumenten slechts een kleine rol speelden. Het uiteindelijke besluit voor Gorleben was volgens de voormalige premier van Nedersaksen Ernst Albrecht vooral ingegeven door de nood aan economische ontwikkeling van het gebied (302). Achteraf werd duidelijk dat de oorspronkelijke (en methodologisch juiste) aanpak, het parallel onderzoeken van drie potentieel geschikte zoutkoepels en een vergelijkende evaluatie van de resultaten, werd verlaten door de keuze voor Gorleben (303).

De vele protesten hebben de regering doen inzien dat voor siteselectie een proces met brede maatschappelijke consultatie gevolgd moet worden. Daartoe werd in 1999 de Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte opgericht. In 2002 had deze werkgroep een reeks aanbevelingen klaar met betrekking tot het proces en de te hanteren criteria. Er wordt gewezen op het belang van een duidelijke, systematische en stapsgewijze benadering bij het creëren van een maatschappelijk draagvlak (304). In een volgende fase moet hierover een maatschappelijke dialoog gevoerd worden (305).

In oktober 2000 werd een uitgebreide studie uitgevoerd over de berging van hoogradioactief en/of langlevend afval in de zoutformatie op de site van Gorleben. Deze ondergrond zou erg geschikt zijn voor de berging van warmteafgevend afval. Het is de bedoeling om, nadat deze locatie voor de geologische berging definitief goedgekeurd is, het implementatieproces op te starten. De plannen geven aan dat de bergingsinstallatie operationeel moet zijn tegen 2030 (306).

Tot slot is er nog een vierde site voor de berging van radioactief afval in Duitsland. Konrad bevindt zich in een voormalige ijzermijn. Deze site zou geschikt zijn voor de geologische berging van niet warmteafgevend radioactief afval. Deze ongewoon droge ijzermijn is al voorwerp van studies sinds 1975, maar het duurde tot in 2002 vooraleer de vergunning verleend werd. Er volgden verschillen klachten en protesten, die vooral voortkwamen uit gedateerde veiligheidsstudies, vrees voor transporten, het gebrek aan vergelijkende studies over verschillende sites en het gebrek aan participatie van de gastgemeenten. In 2007 werd toch beslist om de site te operationaliseren tegen 2013.

B.5 Finland

B.5.1 Stand van zaken

In Finland staat kernenergie in voor 29,7% van de elektriciteitsproductie (293). Oorspronkelijk stuurde men een deel van de bestraalde splijtstof naar Rusland voor opwerking. Er was een overeenkomst dat het opgewerkte afval niet terugkeerde naar Finland. Volgens de Wet over Kernenergie, die in 1994 van kracht werd, wordt bestraalde splijtstof beschouwd als hoogradioactief en/of langlevend afval. De bestraalde splijtstof wordt sindsdien niet meer opgewerkt. Diezelfde wet stelt dat de behandeling en de berging van hoogradioactief en/of langlevend afval in Finland moeten gebeuren en verbiedt de in- of uitvoer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Na de bekrachtiging van de Wet over Kernenergie werd STUK opgericht, die moet fungeren als regulerende instantie. Posiva Oy, een joint venture van twee bedrijven, staat in voor het onderzoek, de ontwikkeling en de uitvoering van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Het afval zal geborgen worden in graniet op een diepte van ongeveer 500 meter (307).

De voorbereidingen voor de berging van hoogradioactief en/of langlevend afval werden al in de vroege jaren '80 opgestart. De regering besliste in 1983 dat er tegen het jaar 2000 een site gekozen moest zijn. Daarmee is Finland van alle Europese landen het verst gevorderd in het besluitvormingsproces. Op basis van een milieueffectenrapport (131) waarin vier potentiële sites onderzocht werden, werd in 2001 de locatie Olkiluoto geselecteerd voor het bouwen van een geologische bergingsinstallatie in graniet. De gedetailleerde constructieplannen voor de site worden in 2010 verwacht. De vergunning zou verleend worden tegen het einde van 2012 en het begin van de exploitatie van de installatie is gepland voor 2020 (307).

B.5.2 Besluitvormingsproces

In Finland berust de keuze voor geologische berging op juridische, economische en technische argumenten. De stakeholders en het publiek werden niet structureel betrokken, maar het Parlement hield zich wel met de kwestie bezig.

De redenen waarom andere beheeropties als minder goed beoordeeld werden, zijn gelijkaardig als voor andere landen. Berging in een ijskap is in strijd met de Finse regelgeving met betrekking tot in- en uitvoer van hoogradioactief en/of langlevend afval. In het milieueffectenrapport worden ook berging in de zeebodem en in de ruimte afgeschreven omdat deze in strijd zijn met internationale verdragen (en in het geval van berging in de ruimte bovendien te duur en te risicovol) (131).

Wat betreft de korte termijn wordt er ondanks het verbod ingegaan op de mogelijkheid van opwerking, maar men oordeelt dat dit in de huidige economische context noch haalbaar, noch wenselijk is in Finland. Scheiding en transmutatie steunen op technologie die nog in een experimenteel stadium verkeert. Verder wordt beargumenteerd dat het nulalternatief, voortzetting van de tijdelijke opslag, geen verantwoorde keuze is voor de lange termijn.

Om de keuze voor geologische berging te onderbouwen, verwijst de Wet over Kernenergie naar de principes van stralingsbescherming van de Internationale Commissie voor Radiologische Bescherming (ICRP) (17), (18). Op basis daarvan formuleerde STUK enkele ethische principes die het beheer van radioactief afval moeten onderbouwen:

- Het principe van rechtvaardiging: de baten van het beheer van radioactief afval, moeten groter zijn dan de kosten.

- Het principe van optimalisatie of het ALARA-principe (As Low As Reasonably Achievable): dit principe wordt verbonden aan welzijn en veiligheid. De meest veilige oplossing moet de voorkeur genieten.
- Het principe van beperking van schade: werknemers uit de nucleaire sector of andere individuen mogen niet blootgesteld worden aan stralingen boven de toegestane limieten.

Daarnaast vertoont de aanpak veel gelijkenissen met die van Zweden (zie paragraaf B.12), o.a. wat betreft de opvatting dat er gebruik gemaakt moet worden van de Beste Beschikbare Technieken (BBT).

In het proces van siteselectie werd wel maatschappelijke consultatie voorzien, voornamelijk met publiek en stakeholders in de vier onderzochte potentiële gastgemeenten. Verschillende inspraakvormen werden gehanteerd, waaronder discussies met gemeentelijke ambtenaren, nieuwsbrieven en thema-interviews met burgers. In het milieueffectenrapport werden tevens de sociale effecten van het bouwen en exploiteren van een bergingsinstallatie uitgebreid bestudeerd (131).

B.6 Frankrijk

B.6.1 Stand van zaken

Frankrijk is in Europa het meest actieve land op vlak van kernenergie: 76,2% van de Franse elektriciteit wordt door kerncentrales geleverd (293). In tegenstelling tot veel andere landen beschouwt men in Frankrijk bestraalde splijtstof niet als afval. Voor radioactief afval geldt eerst en vooral het basisprincipe van het “klassieke” afvalbeheer. Berging is volgens deze visie slechts aan de orde als recyclage technisch of economisch niet haalbaar is. Daarom wordt bestraalde splijtstof in Frankrijk opgewerkt (141). Bestraalde splijtstof gaat naar de opwerkingsinstallatie van AREVA in La Hague (Normandië). De installatie verwerkt ook bestraalde splijtstof uit het buitenland; deze moet echter volgens de Franse regelgeving uiteindelijk terugkeren naar het land van oorsprong (140).

In 1991 werd er een wet aangenomen over het onderzoek naar het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval, de zogenaamde wet-Bataille (139). In de wet-Bataille worden de volgende drie complementaire “assen” gedefinieerd voor het onderzoek:

- Scheiding en transmutatie om langlevende elementen minder radiotoxisch te maken
- Omkeerbare geologische berging
- Aanpassing van de huidige installaties voor tijdelijke opslag om een langere opslagperiode mogelijk te maken

In de jaren volgend op de wet-Bataille werden de studies i.v.m. de selectie van een locatie voor een laboratorium hervat, ditmaal met consultatie van het publiek. In 1998 werd de site van Bure (Meuse / Haute-Marne) uitgekozen.

Intussen werd het onderzoek over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval verdergezet. In 2005 werd een nieuw rapport (141) opgemaakt dat de stand van het onderzoek naar beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval samenvat. Het rapport leidde tot de wet van 28 juni 2006 over duurzaam beheer van radioactief afval (140). De wet stelt dat elke drie jaar, en voor het eerst tegen eind 2006, een nationaal plan over het beheer

van radioactief afval opgesteld moet worden. In 2006 werd het eerste Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs opgemaakt (308). Dat werd ondertussen aangevuld door een evaluatierapport dat de fundamenteën en de implicaties van de wet van 2006 synthetiseert (115).

B.6.2 Besluitvormingsproces

In 1983 was ANDRA (Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs) begonnen met een onderzoeksprogramma om een geschikte site voor een ondergronds laboratorium te vinden. Er werden selectiecriteria opgesteld die betrekking hadden op de eigenschappen van de gastformatie. In 1987 werden vier sites aangeduid voor nader onderzoek. Dit stuitte echter op hevige protesten van de lokale bevolking, die uiteindelijk leidden tot een opschorting van de zoektocht naar een site (309).

In 1990 nam het parlement het rapport-Bataille (310) aan over beheer van radioactief afval op lange termijn. Daaraan was nood door de groeiende bekommernis in de publieke opinie over het beheer van radioactief afval. In het rapport-Bataille wordt gesteld dat de publieke onrust in belangrijke mate in de hand gewerkt werd door een gebrek aan informatiedoorstroming naar het publiek toe, dat met belangrijke angsten en open vragen bleef zitten (o.a. over buitenlands afval opgewerkt door AREVA). Ook de impact op de landbouw in de omgeving en op het milieu bleek een belangrijke zorg. Doordat het rapport de verschillende stakeholders uitgebreid aan het woord liet, kon het de verhitte publieke debatten enigszins ontmijnen, waardoor ook het wetenschappelijk onderzoek naar geologische berging hervat kon worden.

Het rapport-Bataille uit 1990 behandelt de verschillende opties voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Het rapport verantwoordt waarom langdurige opslag niet voldoende veilig is en bespreekt de kwestie van terugneembaarheid bij ondergrondse berging. De veiligheidskenmerken van geologische berging worden besproken en positief geëvalueerd. Het document stelt dat de haalbaarheid van scheiding en transmutatie op laboratoriumschaal bewezen is. Tegen 2020 zou een pilootinstallatie geïmplementeerd worden. Inzet van de techniek op industriële schaal zal echter pas mogelijk zijn met de generatie IV-kernreactoren, die naar verwachting pas rond 2040 operationeel zullen zijn. Het rapport stelt dat scheiding en transmutatie enkel toegepast zouden mogen worden op het afval dat na 2040 ontstaat. Omwille van de veiligheid acht men het niet aangeraden om het beheer van het bestaande afval en het afval dat voor 2040 geproduceerd wordt op te schorten tot het tijdstip waarop het eventueel met scheiding en transmutatie behandeld zou kunnen worden.

Het vervolgrapport van 2005 (141), dat de stand van het onderzoek samenvat, geeft aan dat er voor omkeerbare geologische berging nog een aantal technische vragen uitgeklaard moeten worden, maar men acht het mogelijk om rond 2025 met de berging te beginnen. Het onderzoek is voornamelijk uitgevoerd in het ondergrondse laboratorium te Bure, maar er wordt ook verwezen naar de groeiende internationale kennisbasis over geologische berging (o.a. via het onderzoek van het Studiecentrum voor Kernenergie over de Boomse klei in Mol). Het rapport stelt dat de kleiformatie in Bure gunstige eigenschappen bezit met het oog op geologische berging, maar dat verder onderzoek nodig is.

Wat betreft langdurige opslag stelt het rapport dat men de levensduur van opslaginstallaties zou willen verlengen tot 100 à 300 jaar, maar dat hiervoor nog een aantal technische problemen moeten opgelost worden, waarvoor bijkomend onderzoek nodig is.

Tenslotte wijst het rapport van 2005 erop dat de drie assen van het onderzoek overeenkomen met drie complementaire aspecten van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Geologische berging moet het beheer op lange termijn verzekeren, terwijl

door scheiding en transmutatie het volume en de radiotoxiciteit van het afval gereduceerd worden. Langdurige opslag moet toelaten om tijd te winnen om de nodige technologie op punt te stellen.

Bij de ontwikkeling van het Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (308) van 2006 werden stakeholders en publiek geconsulteerd. Deze consultatie stond in het kader van de Franse verplichting om bij ieder groot project een publiek debat te organiseren. Het Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques stond in voor de organisatie van het publieke debat dat aan het stemmen van de wet voorafging.

Deze wet van 2006 (140) stelt dat de selectie van een site voor geologische berging voorafgegaan moet worden door een raadpleging van de lokale bevolking. Het belang van publieke acceptatie in de besluitvorming over het langetermijnbeheer wordt erkend, zonder dat er echter details verschaft worden over de wijze waarop men dit wil implementeren in bv. de locatiekeuze.

In het Plan van 2006 worden de bescherming van mens en milieu en de veiligheid als doelstellingen van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval vermeld. De drie complementaire aspecten van het beheer (d.w.z. omkeerbare geologische berging, scheiding en transmutatie, en langdurige opslag) worden opnieuw als belangrijkste onderzoeksthema's aangeduid.

Omkeerbaarheid acht men "noodzakelijk om ethische redenen". Kennelijk primeert dus in Frankrijk de opvatting dat de toekomstige generaties de keuzevrijheid moeten behouden om het hoogradioactief en/of langlevend afval terug te halen en te beheren volgens hun eigen (gewijzigde) inzichten. Men vindt dat dit de veiligheid niet hypothekeert (141). Deze redenering is tegengesteld aan de conclusies van het Zweedse KASAM over het overheersende verantwoordelijkheidsprincipe (zie paragraaf B.12).

Het meest recente evaluatierapport van de wet van 2006 bevestigt de fundamenteën en de implicaties van de Franse strategie voor het langetermijnbeheer (115):

- Scheiding en transmutatie kunnen enkel dienen voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval afkomstig van toekomstige kerncentrales (generatie IV-reactoren). Inzet van de techniek op industriële schaal voorziet men pas vanaf 2040. Scheiding en transmutatie zullen nog veel onderzoek vergen vooraleer een oordeel over de voor- en nadelen gevormd kan worden. Men verwacht daarover in 2010 een evaluatierapport.
- Geologische berging: voor het beheer van het bestaande hoogradioactief en/of langlevend afval moet er een site gekozen worden. Het is de bedoeling om tegen 2015 de vergunning te verlenen, zodat de berging geëxploiteerd kan worden vanaf 2025.
- Opslag wordt niet langer gezien als een definitieve beheeroptie. Het onderzoek over opslag moet ervoor zorgen dat er vanaf 2015 nieuwe installaties gebouwd kunnen worden of dat bestaande installaties gerenoveerd kunnen worden. Tegen het einde van 2020 zou een eerste pilootinstallatie operationeel moeten zijn.

B.7 Japan

B.7.1 Stand van zaken

In Japan staat kernenergie in voor 24,9% van de elektriciteitsproductie (293). De bestraalde splijtstof werd tot 2001 naar Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk gestuurd voor opwerking. Het opwerkingsafval werd teruggestuurd naar Japan (291).

De elektriciteitscentrales hebben in 2000 NUMO (Nuclear Waste Management Organisation of Japan) opgericht om het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in goede banen te leiden.

Deze organisatie werd opgericht volgens de Wet over het langetermijnbeheer van afval die in 2000 goedgekeurd werd. Deze wet legt de keuze voor geologische berging van bestraalde splijtstof en hoogradioactief afval in graniet of sedimentaire lagen vast. In 2007 werd aan de wet nog een amendement toegevoegd dat ook geologische berging voor langlevend maar niet hoogradioactief afval voorziet (138).

Ondertussen wordt er gezocht naar vrijwillige gastgemeenten die een installatie voor geologische berging op hun grondgebied in overweging willen nemen. Zo hoopt men tot een shortlist van geschikte locaties te komen. De veelbelovende sites zullen meer in detail onderzocht worden vanaf 2012, wat moet leiden tot een definitieve keuze tegen 2018. De constructie van de geologische bergingsinstallatie is voorzien vanaf 2030 en men hoopt de operationele fase te kunnen beëindigen tegen 2040.

B.7.2 Besluitvormingsproces

Het besluitvormingsproces in Japan werd gestuurd door vier principes:

- Het principe “de vervuiler betaalt”
- Het principe van minimalisatie van de productie van hoogradioactief en/of langlevend afval
- Het verantwoordelijkheidsprincipe
- Het principe van waardigheid/autonomie dat ervoor zorgt dat er maar tot implementatie overgegaan wordt als er een draagvlak bestaat bij de bevolking. Voor Japan betekent dit dat de beheeroptie flexibel en terugneembaar moet zijn.

Op basis van deze principes, uitgebreide technische onderzoeken en internationale wetgeving (bv. over het dumpen van afval in zee) concludeerde NUMO dat geologische berging de te verkiezen beheeroptie is voor hoogradioactief en/of langlevend afval (138).

Het Japanse agentschap voor natuurlijke hulpbronnen en energie richtte een coördinerende raad op die zich bezighoudt met onderzoek en ontwikkeling over geologische berging. Deze commissie overhandigde in 2006 een masterplan aan de overheid over de efficiënte implementatie van het onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma. Het rapport beveelt onmiddellijke implementatie van geologische berging aan (138).

In navolging van deze aanbevelingen besliste de Japanse Kernenergiecommissie om zich toe te spitsen op activiteiten die het maatschappelijk draagvlak vergroten en om de samenwerking met de consumenten en de burgers over het hele land te vergroten. NUMO zet zich in voor het verbeteren van nationale en internationale public relations, het voorzien van uitgebreide informatie voor lokale overheden zodat er regionale ontwikkelingsplannen ontstaan, en het aanmoedigen van onderzoek, ontwikkeling en internationale samenwerking

voor de vergroting van het maatschappelijk draagvlak. In iedere prefectuur in Japan wordt publicitair en participatief werk verricht. Er zal ook een demonstratie-installatie gebouwd worden met boven- en ondergrondse componenten. Het is de bedoeling om op die manier het concept geologische berging visueel te verduidelijken voor het publiek en om tegelijk voldoende informatie te verschaffen over de technische mogelijkheden en het gedrag van de bergingsinstallatie op lange termijn. Tegelijk zal de demonstratie-installatie gebruikt kunnen worden om het publiek vertrouwd te maken met de plaatsing van het afval, de verschillende implementatietechnieken, de monitoring en de technologie voor terugneembaarheid (291).

B.8 Nederland

B.8.1 Stand van zaken

In Nederland staat kernenergie in voor slechts 3,8% van de totale elektriciteitsproductie (293). De bestraalde splijtstof wordt opgewerkt in het buitenland en het opwerkingsafval komt terug naar Nederland (291).

In 1982 werd de Centrale Organisatie voor Radioactief Afval (COVRA) opgericht. In 1987 werd decretaal verankerd dat COVRA moest instaan voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in Nederland.

Het Nederlandse beleid is gebaseerd op een beleidsstuk dat in 1984 door het parlement goedgekeurd is. In 2001 voerde de Commissie Opslag Radioactief Afval (CORA) een onderzoek uit over geologische berging in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken. Op basis van het eindrapport "Terugneembare berging, een begaanbaar pad?" (147) koos de overheid voor de optie van oppervlakkige opslag van hoogradioactief en/of langlevend afval voor ten minste 100 jaar.

Na 100 jaar is geologische berging voorzien. De operationele fase moet van start gaan tegen 2130. Ten minste 30 jaar voor de operationele fase moet er een siteselectieproces opgestart worden. Een jaar na de publicatie van het CORA-rapport besloot de volgende regering om het bestaande onderzoek naar geologische berging verder te zetten. Op basis van een advies van de ILONA wou men verder onderzoek uitvoeren naar technische en ethisch-maatschappelijke aspecten (148). Het onderzoeksprogramma dat door COVRA aanbevolen werd, was lange tijd niet operationeel door het ontbreken van de nodige financiering. Eind 2009 werd beslist om het onderzoek over de Boomse klei te hervatten met het oog op een beslissing over de definitieve beheeroptie in de nabije toekomst. Er is nog niet beslist over de gastformatie voor de berging (Boomse klei en zout behoren tot de mogelijkheden), noch of de berging in een nationale of gedeelde context moet gebeuren (291).

B.8.2 Besluitvormingsproces

Nederland kiest voor geologische berging als definitieve beheeroptie. Het grondwater staat in Nederland namelijk vaak hoog, zodat ondiepe berging niet acceptabel is. Bovendien is Nederland een kuststaat, waar op lange termijn mogelijk effecten van zeespiegelstijging verwacht kunnen worden. Door deze bijkomende onzekere factor zal geologische berging nodig zijn voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Bovendien bestaan er geen zekerheden over het voortbestaan van de samenleving zoals ze nu functioneert. Men kan betwijfelen of de maatschappij in de toekomst steeds over de capaciteit zal beschikken om de nodige controles te verzekeren (291).

Toch besliste de Nederlandse regering om nog 100 jaar te wachten met een eventuele geologische berging. De keuze voor langdurige opslag is vooral ingegeven door de beperkte hoeveelheid hoogradioactief en/of langlevend afval en het beperkte nucleaire programma. Voor dergelijke kleine volumes kon men om economische redenen geologische berging nu nog niet rechtvaardigen.

Daarnaast is er bij de huidige generatie Nederlanders nog geen draagvlak voor geologische berging. In het CORA-rapport werden enkele maatschappelijke en ethische bezwaren tegen geologische berging, opgenomen. Het rapport meent dat de risicoperceptie in de maatschappelijke discussie een hoofdrol moet spelen. De negatieve beeldvorming rond kernenergie en de vrees voor hernieuwde elektriciteitsopwekking uit kernenergie vind men bepalend. Er is een duidelijk gebrek aan vertrouwen in de uitvoerbaarheid en veiligheid van geologische berging. Men wil de mogelijkheid behouden dat de opslag open blijft voor controle en toezicht en men wil mogelijke alternatieve oplossingen in de toekomst niet onmogelijk maken door nu voor passief beheer te kiezen (147).

CORA lijkt gewonnen voor het idee van terugneembaarheid en toegankelijkheid. Op die manier moeten er geen onherroepelijke beslissingen, maar slechts stapsgewijze voortgangsbesluiten genomen worden. De definitieve keuze zou dan gemaakt worden op basis van kennis en ervaring uit voortgezet onderzoek. Met de terugneembaarheid kan de maatschappelijke dialoog over het afval een constructieve richting inslaan, waardoor vertrouwen in mogelijke aanvaardbare technische oplossingen voor het radioactieve afval opgebouwd wordt. Deze aanpak zou moeten leiden tot meer overeenstemming over de route die gevolgd kan worden om tot een consensus te komen.

Toch neemt het onderzoek van CORA ook akte van de nadelen van terugneembaarheid. Het iteratieve proces van het bouwen van de voorzieningen voor monitoring weegt economisch zwaarder. Bovendien betekent een langdurige toegankelijkheid ook een verhoogd risico dat de mens blootgesteld wordt aan straling en kan de veiligheid minder goed gegarandeerd worden (147).

De beslissing over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval werd op basis van onderzoek door experts genomen. De auteurs concluderen in de studie dat tijdelijke opslag met de mogelijkheid van terugneembaarheid de voorkeur geniet boven passieve berging omdat de mogelijkheid van controle opengelaten wordt (291).

Verder bleek uit het onderzoek van CORA dat een vruchtbare dialoog vereist dat deskundigen en beleidsmakers open communiceren over onzekerheden. Er wordt gewezen op het belang van een duidelijke inventaris van het afval, heldere en transparante informatie, aandacht voor de maatschappelijke aspecten en vroegtijdige participatie van alle betrokkenen in de besluitvorming. Er wordt een pleidooi gevoerd voor duidelijke uitgangspunten zonder vooropgestelde conclusies.

Uit een enquête onder milieuorganisaties bleek dat in deze kringen de houding tegenover geologische berging vooral bepaald wordt door de vrees dat een definitieve oplossing voor het radioactief afval de deur zal openzetten voor de bouw van nieuwe kerncentrales. De voorwaarde dat het afval gedurende lange tijd terugneembaar moet zijn, blijkt op dit standpunt weinig invloed te hebben. Terugneembaarheid wordt door de Nederlandse milieuorganisaties gezien als een manoeuvre van de overheid om geologische berging aanvaardbaar te maken.

De onderzoekers bevelen ook aan om de discussie te laten begeleiden door een instelling die onafhankelijk is van de overheid en de industrie en om indien nodig de tegenpartij door financiële ondersteuning in staat te stellen om haar standpunten door deskundigen te laten onderbouwen. Keuze van een locatie zou alleen mogen gebeuren op basis van vrijwilligheid.

Potentiële struikelblokken zijn het feit dat men niet vertrouwd is met dit soort risico's en dat men het afval ziet als een te vermijden risico waaraan men onvrijwillig blootgesteld wordt. Tenslotte speelt het gevoel van onbillijke verdeling een rol: risico's en ongemak worden afgewenteld op een kleine groep die dicht bij de beheerinstallatie woont. Financiële compensatie zou daarvoor in het algemeen geen genoegdoening kunnen geven (291).

B.9 Spanje

B.9.1 Stand van zaken

In Spanje staat kernenergie in voor 18,3% van de elektriciteitsproductie (293). Tot 1989 werd bestraalde splijtstof opgewerkt in Frankrijk en Groot-Brittannië, waar het opwerkingsafval ook tijdelijk opgeslagen werd. Volgens de contracten moet dit afval teruggestuurd worden vanaf 2010. Sinds 1989 blijft de bestraalde splijtstof echter in Spanje en wordt ze tijdelijk opgeslagen op de sites van de kerncentrales (291).

De publieke instelling ENRESA (Empresa Nacional de Residuos Radioactivos S.A.) is sinds 1984 verantwoordelijk voor het beheer van het hoogradioactief en/of langlevend afval. In 1999 werd het vijfde algemene afvalplan voor radioactief afval goedgekeurd (311).

In het najaar van 2006 werd door het parlement het zesde algemene afvalplan (SGWP, Sixth General Radioactive Waste Plan) door een koninklijk besluit goedgekeurd (146). Dit plan vervangt het plan van 1999. Volgens het zesde afvalplan moet er een gecentraliseerde installatie gebouwd worden om radioactief afval op te slaan. Deze installatie moet instaan voor het beheer van het langlevend radioactief afval op middellange termijn.

Het zesde SGWP vermeldt dat de opslag van het afval tot een periode van 50 tot 100 jaar beperkt moet worden. Het siteselectieproces werd begin 2010 opgestart. Volgens het tweede en derde rapport in het kader van het Gezamenlijk Verdrag zal de bouw van de tijdelijke opslaginstallatie in 2012 aangevat worden (312). Begin 2010 stelden verschillende gemeenten zich kandidaat om een opslaginstallatie op hun grondgebied te accepteren.

Daarna zou geologische berging in klei of graniet moeten volgen voor hoogradioactief en/of langlevend afval. Het zesde afvalplan bevat een tijdsplanning die ervoor moet zorgen dat het afval tegen 2050 geborgen kan worden. De besluitvorming en de siteselectie zullen plaatsvinden tussen 2025 en 2040. De nodige installaties kunnen tussen 2041 en 2050 gebouwd worden.

Het is de bedoeling dat de regering tegen 2010 over meer informatie beschikt over de verschillende opties voor berging. Sociale, technische en juridische studies moeten de regering dan in staat stellen om een beslissing te nemen over de aard van de berging (146).

B.9.2 Besluitvormingsproces

Spanje bestudeerde uiteenlopende beheeropties, van geologische berging tot bovengrondse (tijdelijke) opslag, en bekeek ook de mogelijkheden van gedeelde berging en van transmutatie. Spanje vond de aanpak van Frankrijk relevant voor de beslissing, vooral omdat deze verschillende opties open laat. Spanje werkt nauw samen met Frankrijk rond deze materie.

Sinds 1985 heeft Spanje verschillende opties voor geologische berging bestudeerd. ENRESA besloot dat er mogelijkheden zijn om het afval te bergen in graniet, in klei en in

mindere mate in zoutformaties. Spanje beschikt dus over mogelijkheden om geologische berging te implementeren, maar heeft nog niet beslist welke gastformatie de voorkeur geniet.

Het vijfde afvalplan (311) stelt dat er steeds een onderscheid gemaakt moet worden tussen enerzijds geconditioneerd afval of ultiem afval en anderzijds het afval dat nog opgewerkt kan worden. Vanuit die optiek moet ook de mogelijkheid van scheiding en transmutatie open gelaten worden.

Er moest een tijdelijke oplossing gevonden worden voor de capaciteitsproblemen, vooral omdat in 2010 het opwerkingsafval zal terugkeren uit Groot-Brittannië en Frankrijk. Spanje haalt technische, strategische en economische redenen aan die de basis gevormd hebben van de beslissing (146):

- Tot de tijd dat de geologische berging operationeel is, is er onvoldoende capaciteit om het afval op de sites van de kerncentrales op te slaan. Daarom moet er een nieuwe installatie voor tijdelijke opslag ontworpen worden.
- Men kiest ervoor om één installatie te bouwen en het afval niet langer op te slaan op de sites van de kerncentrales. Het hoogradioactief en/of langlevend afval zal tijdelijk bovengronds opgeslagen worden om mogelijke onvoorziene omstandigheden in de toekomst, zoals vroegtijdig sluiten van de kerncentrales, op te vangen en de risico's en lasten te reduceren en te centraliseren.
- Eén tijdelijke opslaginstallatie kan de kosten significant verminderen.
- Door het besluitvormingsproces over de aard van de geologische berging uit te stellen kan er meer onderzoek gebeuren naar de mogelijkheden en kan er tijd gewonnen worden om een maatschappelijk draagvlak te creëren.

Volgens opiniepeilingen situeert Spanje zich op gemiddeld niveau in Europa met betrekking tot de ongerustheid over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Een meerderheid legt de link met kernenergie. Toch blijken de meeste Spanjaarden niet goed op de hoogte te zijn over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. De studie wees uit dat burgers die wel over informatie beschikken, menen dat het afval goed beheerd wordt. De Spanjaarden erkennen dat beheerinstallaties significante lokale impacts met zich kunnen meebrengen. Daarom vinden zij dat er een oplossing moet komen op nationaal niveau. De gemeenten die betrokken zouden worden, moeten een belangrijke rol spelen in het besluitvormingsproces (146).

Vanuit deze vaststellingen besliste Spanje dat een goede communicatie een noodzaak is. Daardoor zou er meer draagvlak groeien voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval en zou men het proces beter kunnen begrijpen.

B.10 Verenigde Staten

B.10.1 Stand van zaken

In de Verenigde Staten staat kernenergie in voor 19,7% van de elektriciteitsproductie (293). Bestraalde splijtstof werd tot in 1977 opgewerkt, daarna werd dit verboden. Het verbod werd in 1981 terug ingetrokken, maar de opwerking werd nooit meer hervat (291).

In overeenstemming met de Wet over radioactief afval van 1982 werden een proces en een timing opgesteld voor het vinden van een geschikte site voor geologische berging van bestraalde splijtstof en hoogradioactief en/of langlevend afval. In 1987 werd aan de Wet

toegevoegd dat Yucca Mountain (Nevada) de gekozen site is. Het Departement voor Energie is verantwoordelijk voor al het radioactief afval en is dus ook bevoegd om de bergingsinstallatie te ontwikkelen (291).

In 2008 werd aan de Nuclear Regulatory Commission een vergunning aangevraagd om de geologische bergingsinstallatie in Yucca Mountain te bouwen. De bedoeling was om met de bouw van de installatie te beginnen in 2013. De installatie zou dan in 2040 operationeel kunnen zijn. Dit zou de eerste operationele geologische berging voor hoogradioactief en/of langlevend afval ter wereld worden.

Een jaar later werd het proces door de administratie van president Obama echter een halt toegeroepen. Alle financiering werd tijdelijk bevroren (313). De administratie van Obama wil nu een nieuwe strategie uitbouwen en bijkomend onderzoek laten verrichten. In maart 2009 werd door de algemene energiesecretaris een verklaring afgelegd waarin duidelijk gesteld werd dat men Yucca Mountain niet meer als een site voor geologische berging van hoogradioactief en/of langlevend afval beschouwt (314). Deze beslissing ging echter in tegen de wet van 1987. Daarom stemde het huis van afgevaardigden in juni 2009 met een grote meerderheid (388 tegen 30) tegen het afschaffen van het budget voor de Yucca Mountain-site (315).

In januari 2010 besliste de administratie van president Obama echter definitief tegen geologische berging in Yucca Mountain. Er wordt een commissie aangesteld om een nieuw voorstel te doen over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Recent, begin maart 2010, werd de vergunning voor Yucca Mountain door het Departement voor Energie terug ingetrokken (316).

B.10.2 Besluitvormingsproces

Al in 1974 hadden de Verenigde Staten plannen om een pilootinstallatie voor geologische berging te construeren. Na meer dan 20 jaar wetenschappelijk onderzoek, publieke discussie en aanpassing van de regelgeving werd de berging in de "Waste Isolation Pilot Plant" (WIPP) in 1999 opgestart. De exploitatie zal naar verwachting doorgaan tot 2070 en de installatie zal gemonitord worden tot 2170. De WIPP is wereldwijd de derde geologische berging van langlevend radioactief afval in een zoutmijn (na de twee gesloten Duitse zoutmijnen, zie paragraaf B.4). WIPP is niet geschikt voor hoogradioactief afval omdat de extreme warmte water aantrekt, wat zou leiden tot een snelle corrosie van de afvalcontainers en daarmee tot radiologische besmetting van het water (317).

De beslissing over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval gebeurde in de Verenigde Staten volledig op basis van technische studies en de regelgeving over stralingsbescherming. Daarnaast ontwikkelde men ook een ethisch gezichtspunt over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Men beschouwt de berging van radioactief afval als een hoogdringende milieukwestie met implicaties voor de nationale veiligheid (318). Bovendien is de site van Yucca Mountain gekozen omdat ze in een dunbevolkt gebied ligt.

In 1997 publiceerde het Departement voor Energie een rapport (239) over het rechtvaardig verdelen van kosten, risico's en voordelen over en tussen generaties. Dit rapport kwam tot stand na een grondige literatuurstudie en enkele workshops. Er worden enkele principes geformuleerd die het fundament van de beslissing moeten onderbouwen:

- Het principe van verantwoordelijk beheer veronderstelt dat iedere generatie de verplichting heeft om de belangen van toekomstige generaties te beschermen.

- Het duurzaamheidsprincipe stelt dat geen enkele generatie de mogelijkheden van volgende generaties om een vergelijkbare levenskwaliteit na te streven mag hypothekeren.
- Het principe van overdracht van verantwoordelijkheid (inter- en intragenerationele billijkheid) steunt op het filosofische concept van de cyclus van verantwoordelijkheid tussen generaties, waarbij iedere generatie de nodige vaardigheden en bronnen overdraagt aan de volgende generatie.
- Het voorzorgsprincipe stelt dat acties die een realistisch dreiging of onherroepbare schade kunnen veroorzaken niet uitgevoerd mogen worden. Dit is het geval als er geen beslissing genomen wordt over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Als er dus een actie uitgevoerd wordt of zal worden waarvoor er sterke aanwijzingen bestaan dat deze ernstige effecten heeft op het milieu, dan moeten er maatregelen genomen worden, ook al is er nog sprake van wetenschappelijke onzekerheid. Het voorzorgsprincipe is ook één van de uitgangspunten van de milieuwetgeving. Het geeft aan hoe men moet handelen bij wetenschappelijke onzekerheid.

Er was geen participatief proces, maar de Nuclear Regulatory Commission besliste in 2008 wel dat er een uitgebreide veiligheidsstudie en publieke consultaties moesten komen (319).

In 2006 werd er een witboek opgesteld door de Senaatscommissie voor milieu en openbare werken, die verklaarde dat Yucca Mountain het meest bestudeerde bouwproject ter wereld is (318). De technische studies geven aan dat de site bijzonder geschikt is voor de berging van hoogradioactief en/of langlevend afval. Nog volgens het witboek zouden de kosten om het project niet verder te zetten extreem hoog zijn.

Datzelfde jaar publiceerde het Departement voor Energie een rapport dat de technische aspecten en de ontwikkelde infiltratiemodellen als uitstekend beoordeelt. De berg is niet alleen uniek op geologisch vlak, maar het is ook één van de weinige gebieden op aarde die geen waterafvoer naar buiten hebben. Het radioactief afval zou geborgen worden in een steensoort (Opalinusklei) die geen water doorlaat en heel goed scoort in “worst case” scenario’s. Water is volgens protestbewegingen echter de achilleshiel van Yucca Mountain. Op zeer lange termijn kan mogelijk corrosie of erosie optreden. Studies tonen echter aan dat het gesteente van Yucca Mountain weinig water bevat (320).

De standaard voor stralingsbescherming werd in 2001 specifiek voor Yucca Mountain ontworpen door het Amerikaanse agentschap voor milieubescherming (205). Deze standaard werd door belangengroepen, milieuorganisaties en de staat Nevada aangevochten. In de loop der jaren is op het Yucca Mountain-project allerlei wetenschappelijke kritiek geleverd, waardoor tegenstanders concluderen dat de berging het vereiste veiligheidsniveau niet zal halen. Het IAEA daarentegen vindt de gebruikte modellen voor de risico-evaluatie zowel nodeloos complex als te voorzichtig. Het Departement voor Energie wil met het oog op de vergunningverlening vooral aantonen dat zelfs in het meest ongunstige scenario de individuele stralingsdosis in de eerste 10.000 jaar onder de wettelijke norm zal blijven. Uiteindelijk werd de standaard toch aangepast. De nieuwe stralingslimieten moeten gerespecteerd worden tot 1.000.000 jaar na de sluiting van de bergingsinstallatie. Uit onderzoek blijkt dat de berging in Yucca Mountain daaraan zal voldoen (321).

Yucca Mountain is een veel besproken thema in de VS. Vooral lokale politici en de staat Nevada proberen met alle juridische middelen de voortgang te blokkeren, voornamelijk vanuit het “not in my backyard”-perspectief. De inwoners in Nevada ervaren het als onrechtvaardig dat zij geen kerncentrale hebben, maar wel het hoogradioactief en/of langlevend afval zouden moeten bergen (322).

Aangezien Yucca Mountain op federaal terrein ligt, heeft het Congres uiteindelijk het recht om alle bezwaren van tafel te vegen “in het nationale belang”. Bovendien suggereert het tegenstemmen van het huis van afgevaardigden dat een ruime meerderheid van de Amerikanen nog steeds voor het project te vinden is.

B.11 Verenigd Koninkrijk

B.11.1 Stand van zaken

In het Verenigd Koninkrijk staat kernenergie in voor 14% van de elektriciteitsproductie (293). De Nuclear Decommissioning Authority (NDA) is verantwoordelijk voor de planning en de implementatie van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. De bestraalde splijtstof wordt opgewerkt in Sellafield, waarna het opwerkingsafval op die site tijdelijk opgeslagen wordt (291).

In het Verenigd Koninkrijk is nu een proces bezig dat uiteindelijk moet leiden tot geologische berging van hoogradioactief en/of langlevend afval. Enkele eerdere pogingen tot selectie van een site voor geologische berging mislukten omdat de maatschappelijke effecten buiten beeld bleven. Daarom werd het Committee on Radioactive Waste Management (CoRWM) opgedragen om van nul te herbeginnen met een aanpak gebaseerd op technische en sociale overwegingen. De aanbevelingen en aanpak van CoRWM werden gedocumenteerd in een rapport (132).

Op basis van dit rapport, dat in 2006 aan het parlement gepresenteerd werd, is duidelijk geworden dat men de optie van geologische berging verkiest. De keuze van een gastgesteente is nog het voorwerp van onderzoek. Aan deze geologische berging moet een tijdelijke opslag van minstens 50 jaar voorafgaan.

Intussen werden de aanbevelingen van de publieke consultaties verwerkt in een witboek (91) dat in 2008 gepubliceerd werd. Dit witboek biedt een kader voor de implementatie van geologische berging. Het beschrijft de te volgen aanpak, de interactie met regelgeving (o.a. milieueffectrapportage), de planvorming en de inspraak, de uitsluitingscriteria bij de eerste geologische screening, de vereisten voor de bergingsinstallatie, en de richtlijnen voor de “community siting partnerships”.

B.11.2 Besluitvormingsproces

Het hele proces dat aan het rapport van 2006 voorafging, duurde ongeveer twee jaar en omvatte verschillende stappen. Om te beginnen werd er informatie verzameld over methoden voor het betrekken van stakeholders en publiek; deze methoden werden ook uitgetoetst.

Er werd gebruik gemaakt van inbreng uit maatschappelijke consultaties en uit wetenschappelijke hoek. Consultatie gebeurde onder verschillende vormen, naargelang het doel, de te bespreken materie en de doelgroep. Alle belangrijke stappen in het proces werden in overleg genomen (in de praktijk werd vaak het voorstel van CoRWM mits enkele aanpassingen aangenomen). Zo beslisten stakeholders en publiek mee over de longlist en de shortlist van beheeropties, over de criteria voor shortlisting en voor de evaluatie van de opties in de shortlist, over de gewichten in de multicriteria-analyse e.d. (91).

Wetenschappelijke input was er bij het rapport voor de participatieve consultaties niet onder de vorm van nieuw wetenschappelijk onderzoek; het ging vooral over literatuurstudies.

Vooraf bij de evaluatie van de beheeropties werd er beroep gedaan op wetenschappers uit allerlei disciplines. Internationale expertise werd ingeroepen voor specifieke beheeropties.

Er werd een uitgebreide longlist van mogelijke beheeropties opgesteld, waarin alle beheeropties voorkomen die internationaal enige aandacht krijgen (of gekregen hebben). Op basis van een aantal criteria zoals milieubescherming, risico's, stand van de technologie en toelaatbaarheid vanuit internationale overeenkomsten werd de longlist gereduceerd tot een shortlist. De overblijvende opties waren de volgende (132):

- Langdurige opslag en dus voortzetten van de huidige opslag
- Geologische berging
- Gefaseerde geologische berging

Deze werden vervolgens geëvalueerd door middel van o.a. multicriteria-analyse. Telkens werd er ook uitgebreid nagedacht over de gebruikte methoden, bv. over de gebruikte criteria.

CoRWM vond dat de besluitvorming in de eerste plaats voldoende flexibel moest zijn om nog koersveranderingen toe te laten. Zo is er geopteerd voor stapsgewijze beslissingen en een flexibele timing die uitgebreide consultaties toelaten om het draagvlak te vergroten. Op die manier kan er ook rekening gehouden worden met mogelijke technologische vooruitgang. Stakeholders en publiek moeten voortdurend betrokken blijven bij het vervolg van het proces, en de siteselectie moet gebaseerd zijn op vrijwilligheid en partnerschap.

De belangrijkste basis voor de beslissing situeert zich op ethisch vlak. Uit het onderzoek van CoRWM bleek dat Verenigd Koninkrijk hoogradioactief en/of langlevend afval beschouwt als een ethische kwestie door de associatie met (231):

- kernenergie en kernwapens
- de gevaren van proliferatie en terrorisme
- de ongelijke impact van de installaties op gastgemeenten
- intergenerationele billijkheid
- het langetermijnspect van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval
- de complexe positie tussen wetenschap en waarden

Omdat deze associaties verbonden zijn met waarden en normen beschouwt het Verenigd Koninkrijk ethiek als een integraal onderdeel van het besluitvormingsproces (323). Het bestuderen van de ethische dimensie gebeurde grondig en omvattend. Door middel van multicriteria-analyse werd er een studie gemaakt over de ethische dimensie bij het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. In het onderzoek dat aan het rapport van 2006 (132) voorafging, wou CoRWM onderstrepen dat ethiek geen eenvoudig antwoord kan bieden op de vraag naar de beste optie. Een ethisch gezichtspunt moet mensen eerder in staat stellen om hun keuze te rechtvaardigen door te verwijzen naar hun waarden en normen. Algemeen werd vertrokken van enkele fundamentele ethische waarden, waaronder in hoofdzaak welzijn, rechtvaardigheid en waardigheid verder uitgewerkt werden (324).

Het ethische rapport (324) maakt deel uit van het onderzoek dat uitgevoerd werd door CoRWM. Tijdens een workshop ethiek werden de krijtlijnen uitgezet voor het onderzoek naar de ethische dimensie (323). Men besloot drie soorten ethische aspecten te bestuderen:

- Zaken in verband met het proces (rechtvaardigheid van het proces)
- Zaken in verband met de uitkomst (rechtvaardigheid met betrekking tot de verdeling van kosten en baten)

- Zaken die voortvloeiden uit de bredere context van energieconsumptie en duurzame ontwikkeling

De ethische dimensie werd op de volgende punten uitgediept:

- Tijdstip van de beslissing:
 - Nu een beslissing nemen om een oplossing te vinden, of
 - Beslissen om niet te beslissen, de beslissing overlaten aan toekomstige generaties
- Ethische argumentatie voor de voorstellen van het Comité met betrekking tot partnerschappen en meerwaardeprojecten. CoRWM vond dit belangrijk omdat deze voorstellen de basis zouden vormen van de uiteindelijke implementatie.
- Een ethisch verschil maken tussen:
 - Zich exclusief focussen op het vinden van oplossingen voor het bestaande hoogradioactief en/of langlevend afval, of
 - Zich ook uitspreken over de eventuele toename of creatie van nieuw afval

In het onderzoek dat aan het rapport van 2006 voorafging, wou CoRWM onderstrepen dat ethiek geen eenvoudig antwoord kan bieden op de vraag naar de beste beheeroptie. Een ethisch gezichtspunt moet mensen eerder in staat stellen om hun keuze te rechtvaardigen door te verwijzen naar hun waarden en normen. Algemeen werd er uitgegaan van enkele fundamentele ethische waarden, waarvan vooral welzijn, rechtvaardigheid en waardigheid verder uitgewerkt werden (324). De ethische waarden die voor de beoordeling van CoRWM belangrijk waren, werden vertaald in drie principes die van belang zijn voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval: duurzame ontwikkeling, inter- en intragenerationele billijkheid (91).

Duurzame ontwikkeling volgens een antropocentrische visie werd een leidend principe en werd ook één van de criteria om de opties te beoordelen.

Wat betreft **intergenerationele billijkheid** vertrok men van de vraag (231): “*Tot hoever is de huidige generatie verantwoordelijk voor de impact van haar acties op de toekomstige generaties?*”

Om hier een antwoord op te vinden onderscheidde men twee verschillende perspectieven (324):

- Voortdurende verantwoordelijkheid: gaat uit van de visie dat er geen rechtvaardiging is voor een arbitrair eindpunt in de toekomst waarop de verantwoordelijkheid van de huidige generatie eindigt.
- Verminderende verantwoordelijkheid: mix van ethiek en pragmatiek. Deze visie impliceert dat de huidige generatie zo veel mogelijk verantwoordelijkheid moet nemen, maar tegelijk moeten we beseffen dat ons vermogen om dit te realiseren zal verminderen in de toekomst. Dit reflecteert ook de visie dat de samenleving meer belang hecht aan de eerstvolgende generatie omdat zij er invloed op kan uitoefenen en er belang bij heeft. Verantwoordelijkheid is echter moeilijk vol te houden voor de zeer verre toekomst.

De keuze tussen nu of later beslissen stond centraal in het ethische onderzoek over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.

De visie “nu beslissen” reflecteert het rechtvaardigheidsprincipe vanuit het standpunt dat diegenen die de voordelen krijgen ook de lasten moeten dragen. Dit impliceert een voorkeur

voor geologische berging: hierbij hangt men immers niet af van de bereidheid of de mogelijkheid van toekomstige generaties om met een probleem dat nu gecreëerd wordt om te gaan. De lasten voor toekomstige generaties worden geminimaliseerd omdat zij niet van de voordelen kunnen genieten. Aangezien we nu niet kunnen voorspellen over welke technologie men in de toekomst nog zal beschikken, wordt er gekozen voor een passieve beheeroptie die geen menselijke tussenkomst meer vereist. Algemeen vond het publiek dat bij de ethische studie betrokken werd dat het tegenover toekomstige generaties het meest rechtvaardig is om zo veel mogelijk binnen de huidige generatie te realiseren (231).

De visie "later beslissen" reflecteert het ethische principe van de keuzevrijheid. Deze positie erkent zowel de rechten van toekomstige generaties als de verantwoordelijkheden van de huidige generatie. Zo moet men vandaag alle informatie verschaffen op basis waarvan men in de toekomst zijn verantwoordelijkheid kan nemen. Het nastreven van keuzevrijheid leidt tot een voorkeur voor beheeropties waarbij terugneembaarheid mogelijk is, aangezien deze flexibeler zijn dan geologische berging. Een aandachtspunt is het behouden van kennis over en de herinnering aan het radioactief afval (231).

Om het conflict tussen keuzevrijheid en rechtvaardigheid te verminderen, kan gekozen worden voor een gefaseerde berging. Door de sluiting van de bergingsinstallatie uit te stellen, kan men ervoor zorgen dat de mensen meer vertrouwen krijgen in een passieve beheeroptie. Tegelijk kan de overdracht van lasten naar de toekomstige generaties beperkt worden. Deze visie kreeg veel aanhang bij het publiek en de belangengroepen die door CoRWM betrokken werden. Volgens CoRWM is het rechtvaardigheidsprincipe prioritair boven de andere principes (132).

Intragenerationele billijkheid vertrekt volgens het Verenigd Koninkrijk van het principe van gelijkheid. Dit kan toegepast worden op de siteselectie, het compenseren van de gemeenschappen en het participatieve besluitvormingsproces.

- **Een site bepalen.** Het basisidee is dat het onrechtvaardig is om bepaalde individuen of groepen binnen deze generatie meer lasten te doen dragen dan andere. Hierbij horen mogelijke ethische bedenkingen in verband met:
 - Pariteit: het delen van de lasten tussen verschillende plaatsen
 - Proportionaliteit: diegenen die de voordelen krijgen, moeten ook de lasten dragen
 - Verantwoordelijkheid: het afval kan beheerd worden op een site die reeds verantwoordelijkheid draagt, zodat geen nieuwe lasten gecreëerd moeten worden. Merk op dat deze visie ingaat tegen de principes van pariteit en proportionaliteit.
 - Kwetsbaarheid: kwetsbare gemeenschappen vermijden.
- **Welzijn en compenseren van gemeenschappen.** Er wordt uitgegaan van het utilitaristische principe dat het grootst mogelijke voordeel aan zo veel mogelijk mensen gegeven moet worden. Daaronder kan verstaan worden dat de site bij voorkeur in een dunbevolkte regio gezocht moet worden of dat het afval beter beheerd wordt waar het zich nu bevindt om zo transport te vermijden. Een andere aanpak kan zijn dat men de site zoekt die de grootste publieke ondersteuning en aanvaarding krijgt.

De conclusie van CoRWM was dat rechtvaardigheid in verband met het bepalen van een site enkel bereikt kan worden als men het welzijn van het publiek voor ogen houdt. Er moet voor gezorgd worden dat de site gekozen wordt op basis van bereidheid om te participeren. De betrokken gemeenschappen moeten het recht behouden om zich terug te trekken in de loop van de zoektocht naar een site.

Wanneer een gemeenschap bereid is om te participeren in het siteselectieproces, rijzen opnieuw ethische discussiepunten met betrekking tot de compensatie hiervoor. De verantwoordelijkheid moet gedragen worden in naam van de hele maatschappij. De compensatie mag niet gezien worden in termen van financiële beloning omdat dit ingaat tegen het idee om niet de meest kwetsbaren te belasten, aangezien zij enkel om financiële redenen de lasten zouden aanvaarden. De compensatie moet eerder in de bredere context van het ontwikkelen van een regio nu en in de toekomst beschouwd worden.

- **Participatie in het besluitvormingsproces.** Dit thema zorgde voor heel wat discussie binnen CoRWM. Het gaat over de vertegenwoordiging van gemeenschappen en diegenen die de macht hebben om beslissingen te nemen. CoRWM bevestigde dat de sleutelbeslissingen geratificeerd moeten worden door democratisch verkozen organen. Daarnaast zal de kwestie van de vertegenwoordiging van de gastgemeenschappen verder meegenomen worden in het implementatieproces.

De ethische vragen van CoRWM concentreerden zich vooral op het bestaande radioactief afval. Toch stond het ethische onderzoek stil bij de mogelijkheid dat er nieuw hoogradioactief en/of langlevend afval van nieuwe kerncentrales bijkomt.

De ethische kwesties die daarmee verbonden zijn, moeten volgens CoRWM apart behandeld worden, aangezien het mogelijk is dat het nieuwe afval tot andere meningen en voorkeuren leidt. Het gevoerde ethische onderzoek beperkt zich daarom tot de bestaande inventaris van het hoogradioactief en/of langlevend afval (132).

Tenslotte werden de bevindingen geïntegreerd tot een aantal aanbevelingen van CoRWM. Geologische berging wordt hierbij als de te verkiezen strategie naar voren geschoven, zonder het belang van tijdelijke opslag te ontkennen (132).

B.12 Zweden

B.12.1 Stand van zaken

In Zweden staat kernenergie in voor 42% van de elektriciteitsproductie (293). In 1985 werd een Nationale Raad voor Radioactief Afval (KASAM) opgericht, die verbonden is met het ministerie van milieu. Vervolgens verdween KASAM en werden zijn bevoegdheden overgedragen aan de Kärnavfallsrådet (Swedish National Council for Radioactive Waste). Voor de meeste studies werkt KASAM samen met de in de jaren '70 opgerichte Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB). Dit is een verbond van kernenergiebedrijven dat verantwoordelijk is voor het beheer van al het radioactief afval van de kerncentrales in Zweden (291).

In de jaren '70 en '80 was kernenergie, met inbegrip van de kwestie van radioactief afval, het voorwerp van uitgebreide publieke debatten in Zweden. De wetgeving vereiste al in 1977 een "absoluut veilige" definitieve oplossing voor hoogradioactief en/of langlevend afval; dat liet de vraag open of er op de korte termijn al dan niet voor opwerking gekozen werd. Opwerking werd tenslotte afgeschreven omwille van het risico van proliferatie van kernwapens met het verrijkt plutonium dat hierbij ontstaat.

Na een paar jaar opslag bij de kerncentrales wordt de bestraalde splijtstof opgeslagen in een centrale installatie in grotten op 25 meter diepte. Deze opslaginstallatie, de CLAB (centrale

tijdelijke opslag van bestraalde splijtstof), is gebouwd om de bestraalde splijtstof ongeveer 40 jaar op te slaan vooraleer ze naar de bergingsinstallatie overgebracht wordt (291).

In Zweden wordt als definitieve beheeroptie een vorm van geologische berging in graniet voorzien waarbij de bestraalde splijtstoffen in koperen containers geplaatst worden en geborgen worden in holtes in de vloer van diepe ondergrondse tunnels, omgeven door bentoniet; dit concept wordt KBS-3 genoemd.

In Zweden is het proces van siteselectie voor een geologische bergingsinstallatie uitgebreid bestudeerd (325). Stapsgewijs heeft men twee potentiële sites geselecteerd, Forsmark en Oskarshamn, die zich beide in de buurt van een bestaande nucleaire installatie bevinden. Op deze locaties is diepgaand onderzoek gebeurd (143), (144). Uiteindelijk werd in 2009 de site van Forsmark geselecteerd voor geologische berging (326).

B.12.2 Besluitvormingsproces

Sinds 1987 gaat men er in Zweden van uit dat de dominante vorm van gevolgenethiek, het utilitarisme, het meest van toepassing is op het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval (327). Deze theorie gaat uit van het principe dat er gestreefd moet worden naar een oplossing die het overwicht van positieve op negatieve effecten maximaliseert. Deze theorie was erg relevant voor het Zweedse wettelijke kader, aangezien ze te maken heeft met het minimaliseren van de schadelijke effecten van hoogradioactief en/of langlevend afval in de vorm van pijn, ziekte en dood voor iedereen die betrokken is bij de implementatie het beheer, inclusief toekomstige generaties. KASAM besloot dat geologische berging de beheeroptie is die er het beste in slaagt om deze risico's te minimaliseren.

De utilitaristische visie vertaalt zich in (de verplichting tot) het gebruik van Beste Beschikbare Technieken (BBT). Ook het verantwoordelijkheidsprincipe en andere rechtvaardigheidstheorieën hebben hun weg gevonden naar de wetgeving in de vorm van de keuze voor een definitieve oplossing binnen de eigen landsgrenzen (130). Het Zweedse wettelijke kader kon zich niet beroepen op de utilitaristische theorie met betrekking tot het principe van de verantwoordelijkheid van de producent. Dit principe is meer gerelateerd met het verantwoordelijkheidsprincipe (omgaan met problemen die we zelf creëren) en het principe van duurzame ontwikkeling (geen lasten overdragen naar volgende generaties), die in vele andere landen en internationale context van belang geacht worden (328).

Terugneembaarheid is in Zweden niet wettelijk verplicht, maar KASAM haalt wel enkele argumenten pro aan, met name de mogelijkheid tot remediëring als de barrières niet goed genoeg werken en de mogelijkheid om, mocht daartoe ooit de vereiste nieuwe technologie ontwikkeld worden, het afval onschadelijk te maken of nuttig te gebruiken. Als nadeel vermeldt men de hogere kosten voor de bergingsinstallatie en de kosten van het terugnemen zelf. KASAM is van mening dat in het spanningsveld tussen veiligheid en keuzevrijheid de voorkeur moet uitgaan naar veiligheid, d.w.z. dat terugneembaarheid niet mag leiden tot een minder veilige berging (130).

Gaandeweg kreeg het basisalternatief KBS-3 voor geologische berging (zie paragraaf B.12.1) vorm, maar andere opties werden eveneens door KASAM bestudeerd in verscheidene publicaties sinds 1986. Het onderzoek werd mee uitgevoerd door SKB. Berging in de ruimte, in een ijskap of in de zeebodem werden uitgesloten omwille van door Zweden ondertekende internationale akkoorden, maar ook omwille van de onaanvaardbare risico's. Voor scheiding en transmutatie stond (en staat) de techniek nog niet op punt. Men acht het niet verantwoord om in afwachting daarvan af te zien van een definitieve beheeroptie, maar stelt wel voor om onderzoek naar scheiding en transmutatie te steunen en terugneembaarheid te implementeren in de berging. Tenslotte merkt men op dat

scheiding en transmutatie de nood aan berging niet wegneemt, al zou de hoeveelheid afval in dat geval wel verkleinen.

Langdurige opslag wordt beschreven aan de hand van drie varianten: opslag in de bestaande installatie voor tijdelijke opslag, in een nieuwe installatie, of in een nieuwe installatie die uitdrukkelijk slechts bedoeld is in afwachting van betere technologie. De bestaande installatie voor tussentijdse opslag (CLAB) is slechts ontworpen voor een levensduur van ca. 40 jaar. Als de installatie langer operationeel blijft, zullen er periodiek renovaties moeten gebeuren. Het wegvallen van actief beheer zou in elk geval tot grote risico's kunnen leiden. Ook bij een nieuwe installatie, die minder beheer zou vragen, maakt men zich zorgen over de integriteit van de verpakking van het afval na lange tijd. Afwachten tot er betere technologieën beschikbaar zijn, is soms gesuggereerd als oplossing voor de bestaande onzekerheden. KASAM is van mening dat het verantwoordelijkheidsprincipe hier moet primeren. Zelfs als er in de toekomst een betere oplossing zou komen voor het beheer van radioactief afval, wat niet zeker is, betekent dat niet dat de oplossing die vandaag voorhanden is niet goed genoeg is.

Tenslotte werden naast het basisconcept KBS-3 voor geologische berging nog twee alternatieve concepten bestudeerd. Deze bevatten echter nog te veel onzekerheden om dezelfde veiligheid te kunnen garanderen als KBS-3. Ook berging in boorgaten van 2 à 4 km diep werd onderzocht. Een voordeel van deze optie is dat het grondwater op die diepte slechts heel traag stroomt. Tegen de tijd dat grondwater vervuild met radionucliden de oppervlakte bereikt, zou de radioactiviteit al tot een onschadelijk niveau gereduceerd zijn. Daar staat tegenover dat er vragen zijn over de operationele veiligheid van een dergelijke installatie. Bovendien zouden de verpakking van het afval en het opvulmateriaal onder zeer hoge druk staan, waardoor dit systeem na korte tijd maar één enkele barrière meer zou hebben. Tenslotte is het terughalen van het afval onmogelijk (130).

We zien dat in Zweden dezelfde beheeropties afgeschreven worden als in het Verenigd Koninkrijk en in Canada, en om gelijkaardige redenen. In Zweden lijkt hier echter geen gestructureerde maatschappelijke consultatie rond opgezet te zijn. Dat is vermoedelijk de oorzaak van het verwijt aan het adres van SKB dat andere beheeropties dan geologische berging onvoldoende aandacht krijgen. SKB ontkent dit laatste en merkt op dat het onderzoek naar verschillende vormen van geologische berging, naar berging in diepe boorgaten en naar scheiding en transmutatie wel degelijk opgevolgd en gefinancierd wordt (325).

Dat de Zweedse strategie voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval niet op participatieve wijze ontwikkeld werd, betekent niet dat de maatschappelijke aspecten genegeerd worden. Al in 1987 werd er een seminarie georganiseerd waarin ethiek centraal stond (257). Daarna werden nog een aantal maatschappelijke onderzoeksprogramma's uitgevoerd in het verlengde van het eindrapport over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in 2007 (130). Daarin worden onder andere de ethische aspecten van het beheer van radioactief afval, de normen en waarden in verband met het risicoperspectief en de houding tegenover de implementatie van geologische berging besproken. Bij het ethische onderzoek werden experts uit diverse disciplines betrokken (sociale wetenschappen, menswetenschappen en ethiek).

Ethische vragen met betrekking tot radioactief afval vallen onder het concept milieu-ethiek (130). Bij het ontwikkelen van het Zweedse legale kader voor geologische berging werd met twee vormen van milieu-ethiek gewerkt:

- Beschrijvende milieu-ethiek probeert waarden van mensen, groepen of samenlevingen m.b.t. milieu te ontdekken, te beschrijven en te rangschikken. De waarden die direct of indirect het beleid inzake milieu en veiligheid sturen, werden

onderzocht en verzameld. Daarnaast werd een analyse gemaakt van hoe mensen in het algemeen reageren op maatregelen in het milieubeleid.

- Normatieve milieu-ethiek evalueert op een kritische en constructieve manier de waarden die direct of indirect het beleid inzake milieu en veiligheid sturen en de reactie van mensen op deze waarden. Deze manier om ethiek te bekijken in het kader van dit thema leidde tot vragen zoals:
 - Moeten we ook soorten proberen te beschermen die toch al dreigen uit te sterven? Indien ja, waarom en in welke mate?
 - Moeten we rekening houden met toekomstige generaties bij het gebruik van niet-hernieuwbare natuurlijke hulpbronnen zoals fossiele brandstoffen? Hebben we het recht om tijdens deze generatie alle olie op te gebruiken? Moeten toekomstige generaties daarvoor vergoed worden?

KASAM concentreerde zich op de normatieve ethiek. Daarbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen gevolgenethiek (die stelt dat de consequenties bepalen of een actie goed of slecht is) en deugdethiek (die zich eerder richt op de actie zelf). Toegepast op het besluitvormingsproces m.b.t. het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval kunnen twee principes als bepalend gezien worden:

- Het utilitaristische principe (gevolgenethiek) impliceert dat men een actie moreel juist kan noemen als ze voor alle betrokkenen leidt tot de maximalisatie van het overwicht van positieve op negatieve effecten.
- Het verantwoordelijkheids- en rechtvaardigheidsprincipe (deugdethiek) impliceert dat men radioactief afval zodanig moet beheeren dat men huidige noden invult en tegelijk de noden van toekomstige generaties niet hypothekeert.

Sinds 1987 gaat men er in Zweden van uit dat de dominante vorm van gevolgenethiek, het utilitarisme, het meest geschikt is voor de casus van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval (327). Deze theorie gaat uit van het principe dat er gestreefd moet worden naar een oplossing die het overwicht van positieve op negatieve effecten maximaliseert. Deze theorie was zeer relevant voor het Zweedse wetgevend kader, aangezien de fundamentele kwestie te maken had met het minimaliseren van schadelijke effecten van hoogradioactief en/of langlevend afval in de vorm van pijn, ziekte en dood voor iedereen die betrokken is bij de implementatie van een oplossing voor het beheer, inclusief toekomstige generaties.

Zweden is daarom van mening dat in het spanningsveld tussen veiligheid en keuzevrijheid voor komende generaties de voorkeur moet uitgaan naar veiligheid, d.w.z. dat terugneembaarheid niet mag leiden tot een minder veilig beheer (325), (130). Daaruit concludeerde men dat geologische berging de beste oplossing biedt voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.

De utilitaristisch ethische theorie vertaalt zich ook in (de verplichting tot) het gebruik van Beste Beschikbare Technieken (BBT). Maar ook de verantwoordelijkheids- en andere rechtvaardigheidstheorieën hebben hun weg gevonden naar de wetgeving in de vorm van de keuze voor een definitieve oplossing binnen de eigen landsgrenzen (130).

Het verantwoordelijkheidsprincipe wordt ook wel het principe “de vervuiler betaalt” genoemd. Met de vervuiler bedoelt men meestal de producent van kernenergie, maar dit kan ook de consument zijn, d.w.z. diegenen die de geproduceerde elektriciteit gebruiken. Vanuit die visie stelt men dat alle Zweden een gemeenschappelijke verantwoordelijkheid moeten opnemen voor het radioactief afval. De lasten van het beheer mogen dus niet doorgegeven worden aan volgende generaties; het afval moet vandaag definitief geborgen worden. Deze invulling van het verantwoordelijkheidsprincipe ligt niet per se in lijn met het utilitaristische

principe: er kunnen redenen gevonden worden waarom andere allocaties van verantwoordelijkheid voor radioactief afval betere consequenties hebben (130).

Het verantwoordelijkheidsprincipe is ingebed in internationale regelgevende kaders, zoals het vijfde van de "Principles of Radioactive Waste Management" van het IAEA (15), dat stelt dat het afval beheerd moet worden "*in such a way that will not impose undue burdens on future generations*". Met referentie naar deze principes is het idee ook verder uitgewerkt in het Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval (42). De verklaringen bevatten een type van ethisch denken dat gebruikelijk geworden is in een internationale milieucontext. Het vertrekpunt is te situeren bij de Bruntland-commissie van 1987, waar voor het eerst een definitie van duurzame ontwikkeling gegeven werd.

Als we het idee van duurzame ontwikkeling aanvaarden, dan moeten we ook accepteren dat we een morele verplichting hebben ten opzichte van toekomstige generaties. Dit betekent dat het principe van rechtvaardigheid verruimd is in de tijd. In onze handelingen moeten we dus niet alleen rekening houden met de mensen die vandaag leven (traditioneel antropocentrisme) maar ook met toekomstige generaties (intergenerationeel antropocentrisme). Dit kan beschouwd worden als een nieuwe vorm van ethiek: de ethiek van duurzame ontwikkeling.

De kwestie van hoogradioactief en/of langlevend afval gaat echter niet over twee of drie generaties in de toekomst, maar over een veel langere tijd die moeilijk te bevatten is. Een belangrijke vraag hierbij is wat deze verantwoordelijkheid precies inhoudt als we rekening houden met de mogelijkheid dat onze belangen in conflict komen met de belangen van toekomstige generaties. Daarom moet er gestreefd worden naar een beheer dat niet enkel de noden van de huidige generatie vervult, maar tegelijk de toekomstige generaties toelaat om aan hun eigen noden te voldoen.

Bij SKB loopt een maatschappelijk onderzoeksprogramma met projecten over o.a. de ethische aspecten van het beheer van radioactief afval, de rol van de media en de houdingen t.o.v. een bergingsinstallatie (329). Eén van de bijkomende onderzoeken van SKB is dat rond de risicoperceptie met betrekking tot geologische berging van hoogradioactief en/of langlevend afval (328). Deze studie kwam voort uit het idee dat enkele organisaties in 2003 opperden, dat "*risicomanagement niet enkel de meningen van verschillende belangengroepen in rekening moet brengen, maar dat men hen ook de nodige bronnen moet verschaffen om tot een goed onderbouwde opinie te komen*". In de studie werden niet enkel de risico's op zich bestudeerd. De risico's werden eerder beschouwd ten opzichte van de voordelen, zoals energievoorziening en werkgelegenheid.

Het concept van risico heeft vele facetten en diverse componenten. Het kan te maken hebben met hoe de samenleving individuen beschermt tegen risico's, of hoe de samenleving zich als geheel beschermt. Door de risico's van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in kaart te brengen kan het bewustzijn verhoogd worden.

Daarnaast is er echter nog de subjectieve risicoperceptie. Een kenmerk van deze subjectiviteit kan zijn dat mensen snel geneigd zijn om hun eigen risico kleiner in te schatten dan dat van anderen. Men argumenteert vaak dat een kwantitatieve risico-analyse meer rationeel is. Toch kan de analyse ook ingaan op de factoren die bepalen welke risico's door mensen aanvaard worden.

Men acht het noodzakelijk om voortdurend aan goede risicocommunicatie te doen. In de huidige samenleving speelt immers ook de logica van de media mee in het vormen van de opinie over het beheer van radioactief afval.

Nadat de strategische keuze voor geologische berging gemaakt was, werd in 1992 gestart met het proces van siteselectie. KASAM onderscheidt twee types strategieën voor siteselectie, die tevens een verschil in mening vertegenwoordigen tussen KASAM en SKB:

- De flexibele strategie gevolgd door SKB heeft als doel om tot een keuze voor een site te komen zonder te gedetailleerde regels. Men gaat ervan uit dat er veel geologisch geschikte sites zijn en wil bijgevolg de gemeenten zelf laten beslissen of ze ingaan op een voorstel tot haalbaarheidsstudies.
- KASAM en de wetgevende autoriteiten daarentegen bevelen een systematische strategie aan, met duidelijke criteria voor siteselectie, een meer globale beoordeling in de vorm van een algemene sitingstudie en een systematisch proces met de volgende drie stappen:
 - Identificatie van regio's waarin zich geschikte sites zouden kunnen bevinden en uitsluiten van regio's die hydrogeologisch, tektonisch of demografisch minder geschikt zijn.
 - Identificatie van een aantal mogelijk geschikte sites binnen deze regio's, met sitespecifieke analyses.
 - Gedetailleerd onderzoek (o.a. ondergronds) om tot de uiteindelijke keuze te komen.

In de praktijk werd in Zweden echter een strategie gevolgd die kenmerken van beide vertoont. KASAM had wel degelijk ook aandacht voor de kwestie van lokale aanvaardbaarheid van de bergingsinstallatie. Van de acht gemeenten die zich aanvankelijk bij SKB aangemeld hadden voor haalbaarheidsstudies, besloten er twee bij referendum om het onderzoek te laten stopzetten. In enkele andere gemeenten werden de haalbaarheidsstudies afgerond, maar werd tegen een voortzetting van het proces gestemd. Slechts in twee van deze gemeenten werden uiteindelijk gedetailleerde studies opgestart.

Anderzijds zette SKB ook stappen in de richting van een meer systematische aanpak door de publicatie van verduidelijkingen over o.a. de criteria voor siteselectie. In de twee potentiële gastgemeenten Forsmark en Oskarshamn, waar diepgaande studies uitgevoerd zijn, werden tijdens het onderzoek alle belanghebbenden en het publiek betrokken.

KASAM is overtuigd van de kwaliteiten van het systeem KBS-3 en beschouwt dit als het referentieconcept voor geologische berging, zonder echter eventuele verdere ontwikkelingen m.b.t. diepe boorgaten te willen negeren (291). In de milieueffectrapportage voor de gekozen site zal men naast het systeem KBS-3 ook berging in diepe boorgaten onderzoeken. Als nulalternatief beschouwt men het voortzetten van tijdelijke opslag in de bestaande installaties (130).

B.13 Zwitserland

B.13.1 Stand van zaken

In Zwitserland zorgt kernenergie voor 39,2% van de totale elektriciteitsproductie (293). De eerste studies over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval in Zwitserland werden al eind jaren '60 uitgevoerd, rond dezelfde tijd dat de eerste kernreactoren in gebruik genomen werden. Tot 2006 werd de bestraalde splijtstof opgewerkt in het buitenland. In 2006 werd echter een moratorium van tien jaar van kracht voor opwerking (291).

De kerncentrales en de Zwitserse staat vormen samen de Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA). NAGRA staat in voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. In 2002 concludeerde NAGRA op basis van het gevoerde onderzoek dat geologische berging in Zwitserland haalbaar is. De keuze voor geologische berging, met monitoring en terugneembaarheid, werd in 2003 vastgelegd in de wetgeving over kernenergie. Wat betreft de gastformatie gaat de voorkeur uit naar klei. De relevante overheidsinstanties gingen hiermee akkoord in 2005-2006.

Er worden twee geologische bergingsinstallaties voorzien, waarvan één specifiek voor hoogradioactief en/of langlevend afval. In 2008 werden drie mogelijke sites geïdentificeerd. De uiteindelijke keuze zal bepaald worden door middel van een stappenplan. De exploitatie van de bergingsinstallatie zou ten vroegste tegen 2040 beginnen (330).

B.13.2 Besluitvormingsproces

Net zoals in andere landen werd geologische berging als het referentieconcept beschouwd en werden andere opties afgeschreven, o.a. op basis van de strijdigheid met internationale akkoorden. Toch zijn er steeds ook bezwaren geweest naar aanleiding van de onomkeerbaarheid van geologische berging en de discrepantie tussen enerzijds de lange tijdsperiode waarin het afval nog gevaarlijk is voor mens en natuur en anderzijds de technische en methodologische onzekerheid van voorspellingen over de veiligheid op lange termijn (330).

De Expertengroep Entsorgungskonzepte für Radioaktive Abfälle (EKRA) voerde in opdracht van NAGRA een studie uit naar het ethische en sociale gezichtspunt m.b.t. het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. EKRA vermeldt de volgende fundamentele principes bij het ontwikkelen en beoordelen van bergingsconcepten (136):

- Veiligheid voor mens en milieu zolang het afval een risico vormt
- Institutionele controle door een competente onafhankelijke organisatie die het vertrouwen van de maatschappij heeft
- Gebruik van de beste kennis en technologie, zonder de toekomstige generaties lasten te bezorgen waarover ze niet kunnen beslissen
- Aanvaardbaar veiligheidsniveau moet in een democratisch proces verduidelijkt worden

EKRA trekt de volgende conclusies over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval (136).

- Bij het voortzetten van de tijdelijke opslag in speciaal daartoe aangelegde boven- of ondergrondse installaties moeten mens en milieu voldoende beschermd worden. De installaties worden voortdurend gemonitord en worden niet op een bepaald moment afgesloten. Daardoor is het afval steeds terugneembaar. Dergelijke installaties zijn echter niet ontworpen voor de lange termijn.
- De milieuorganisaties in Zwitserland zijn tegen het voortzetten van tijdelijke opslag, maar berging vinden ze eveneens onverantwoordelijk omdat er na sluiting van de installatie geen mogelijkheid meer is voor toekomstige generaties om het afval terug te halen. Ze pleiten voor “monitored long-term storage”, waarbij de goede kanten van tijdelijke opslag en berging gecombineerd worden. Enerzijds moet het afval terugneembaar blijven, anderzijds mag er geen verplichting zijn tot onderhoud op lange termijn. Ideeën over de concrete uitwerking hiervan geven de milieuorganisaties niet. EKRA beschouwt “monitored long-term storage” als een tijdelijke oplossing, waarbij de veiligheid op lange termijn gegarandeerd kan worden

door de installatie op een gegeven moment om te vormen tot een bergingsinstallatie.

- Berging wordt gedefinieerd als onomkeerbare, permanente isolatie van het afval, zonder nood aan onderhoud. Over geologische berging gebeurt het meeste onderzoek; oppervlakteberging wordt om veiligheidsredenen niet in aanmerking genomen voor hoogradioactief afval. Een aangepast concept voorziet terugneembaarheid voor ca. 100 jaar, waardoor de beslissing om de installatie te sluiten aan toekomstige generaties overgelaten wordt.
- Op basis van de bekommernissen van de milieuorganisaties heeft EKRA een vierde concept ontwikkeld, "monitored long-term geological disposal". De veiligheid op lange termijn wordt gegarandeerd, maar er wordt rekening gehouden met de vraag naar terugneembaarheid. De hoofdininstallatie is gelijkaardig met een conventionele bergingsinstallatie. Monitoring en controle gebeuren in een pilootinstallatie die ruimtelijk gescheiden is van de hoofdininstallatie en die langer open kan blijven. Deze oplossing is flexibeler dan geologische berging, maar vereist meer controle.

Als basisdocument voor het siteselectieproces werd er een stappenplan opgemaakt, dat zich nu in de conceptfase bevindt (137). Veiligheid op lange termijn voor mens en milieu wordt als het belangrijkste selectie criterium beschouwd, maar ook socio-economische en ruimtelijke aspecten worden meegenomen. Verregaande samenwerking met de verschillende stakeholders in de potentiële gastgemeenten is voorzien. De siteselectie zal in drie stappen gebeuren (137):

- Eerst worden gebieden aangeduid die qua veiligheid en technische haalbaarheid in aanmerking zouden komen voor geologische berging. In tweede instantie wordt de veiligheid ook vanuit het standpunt van de ruimtelijke ordening bekeken.
- In de geselecteerde gebieden worden minstens twee potentiële locaties aangeduid op basis van ruimtelijke en socio-economische criteria. In deze fase worden participatiegroepen opgericht die zich onder meer bezighouden met milieu, gezondheid, regionale economie en compensaties.
- In een laatste fase worden op de geselecteerde locaties diepgaande geologische, ruimtelijke en socio-economische studies uitgevoerd die een definitieve keuze mogelijk moeten maken.

B.14 Overzicht van het besluitvormingsproces in de besproken landen

Hierna volgt een overzicht van het besluitvormingsproces in de elf representatieve landen. Naast een schematisch overzicht van bestudeerde, aanbevolen en weerhouden beheeropties geeft de tabel de principes en waarden weer die de besluitvorming onderbouwen.

Tabel 60: Overzicht van het besluitvormingsproces in 11 representatieve landen

Land	Aandeel van kernenergie in elektriciteitsproductie	Geëvalueerde opties	Aanbevolen en weerhouden opties	Beslissing	Basis van de besluitvorming
Canada	14,8%	<p>Geologische berging</p> <p>Opslag bij kerncentrales</p> <p>Gecentraliseerde opslag</p> <p>Opwerking, scheiding en transmutatie</p> <p>Berging in diepe boorgaten gedeeld beheer</p> <p>Verdunnen en verspreiden</p> <p>Zeeberging</p> <p>Berging in een ijskap</p> <p>Berging in de ruimte</p> <p>Berging door fusie van de gastformatie</p> <p>Berging in een oceanische subductiezone</p> <p>Berging via directe injectie</p> <p>Berging in de zeebodem</p>	<p>Geologische berging</p> <p>Opslag bij kerncentrales</p> <p>Gecentraliseerde opslag</p> <p>Weerhouden: Adaptive Phased Management (d.w.z. gefaseerde vorm van geologische berging)</p>	<p>Shortlisting en evaluatie in participatief proces</p> <p>Weerhouden opties vergeleken door middel van "multi-attribute utility analysis"</p> <p>Principebeslissing voor Adaptive Phased Management (d.w.z. gefaseerde vorm van geologische berging) genomen door regering</p> <p>Siteselectieproces wordt opgestart</p>	<p>Principes:</p> <p>Duurzame ontwikkeling, maatschappelijke waarden, voorzien van een toekomstperspectief dat rekening houdt met toekomstige generaties, ethiek (respect voor leven, inter- en intragenerationele billijkheid, rechtvaardigheid) en belang van inclusie</p>
Duitsland	28,3%	<p>Opwerking</p> <p>Geologische berging</p>	<p>Weerhouden: geologische berging in zout</p> <p>Bestaande sites: Gorleben, Asse II en Morsleben in zoutkoepels en Konrad in oude ijzermijn</p>	<p>Bepaling voorkeursoptie door regering in de jaren '60</p> <p>Proces opgestart om de site in Gorleben tegen 2030 operationeel te krijgen. Definitieve goedkeuring en procedures moeten nog doorlopen worden.</p>	<p>Nood aan een duidelijke, systematische en stapsgewijze benadering om een draagvlak te creëren</p>

Land	Aandeel van kernenergie in elektriciteitsproductie	Geëvalueerde opties	Aanbevolen en weerhouden opties	Beslissing	Basis van de besluitvorming
Finland	29,7%	Opwerking Scheiding en transmutatie Berging in een ijskap Berging in de zeebodem Berging in de ruimte Voortzetten van opslag Geologische berging Berging in diepe boorgaten	(Varianten van) geologische berging Berging in diepe boorgaten Weerhouden: geologische berging in koperen en gietijzeren containers in graniet, met monitoring en terugneembaarheid	Bepaling voorkeursoptie door regering Site geselecteerd in 2001	Het principe van rechtvaardiging: de baten van het beheer van radioactief afval moeten groter zijn dan de kosten. Het principe van optimalisatie of ALARA-principe (As Low As Reasonably Achievable): dit principe wordt verbonden aan welzijn en veiligheid. De veiligste oplossing moet de voorkeur genieten Principe van beperking van schade: werknemers in de nucleaire sector of andere individuen mogen niet blootgesteld worden aan stralingen boven de toegestane limieten.
Frankrijk	76,2%	Scheiding en transmutatie Geologische berging Langdurige opslag (ca. 300 jaar)	Weerhouden: geologische berging in combinatie met langdurige opslag en ontwikkeling van scheiding en transmutatie	Wet van 2006: 3 complementaire opties gekozen door regering: geologische berging met vooraf langdurige opslag; verder ontwikkelen van scheiding en transmutatie (enkel voor afval van nieuwe generatie reactoren)	Bestraalde spijfstof is geen afval. Berging is slechts aan de orde als recyclage technisch of economisch niet haalbaar is. Nood aan verantwoordelijk, transparant en democratisch proces. Nood aan omkeerbaarheid en terugneembaarheid
Japan	24,9%	Verschillende vormen van geologische berging Langdurige bovengrondse opslag	Weerhouden: geologische berging in graniet met terugneembaarheid	Wet over langetermijnbeheer van afval (2000) voor bestraalde splijtstof en langlevend en hoogradioactief afval en amendement voor langlevend maar niet hoogradioactief afval. Siteselectieproces vanaf 2012 met definitieve keuze tegen 2018.	Het principe "de vervuiler betaalt", het principe van minimalisering van de productie van radioactief afval, het verantwoordelijkheidsprincipe en het principe van waardigheid/autonomie (keuzevrijheid voor toekomstige generaties)

Land	Aandeel van kernenergie in elektriciteitsproductie	Geëvalueerde opties	Aanbevolen en weerhouden opties	Beslissing	Basis van de besluitvorming
Nederland	3,8%	Langdurige bovengrondse opslag Geologische berging Gedeeld beheer	Weerhouden: bovengrondse opslag voor 100 jaar en als definitieve beheeroptie geologische berging met terugneembaarheid	Beslissing parlement (1984): terugneembare geologische berging voorafgegaan door bovengrondse opslag voor 100 jaar. Een beslissing over de gastformatie moet na onderzoek genomen worden	Economische motieven voor tijdelijke opslag Principe van terugneembaarheid Stapsgewijs proces om draagvlak te creëren
Spanje	18,3%	Opwerking Geologische berging Tijdelijke bovengrondse opslag Langdurige bovengrondse opslag Gedeeld beheer Scheiding en transmutatie	Weerhouden: Geologische berging Deelname aan internationale onderzoeksprogramma's op het gebied van technologieën zoals scheiding en transmutatie Tijdelijke bovengrondse opslag	Een tijdelijke bovengrondse opslag moet gebouwd worden vanaf 2012. In 2006 werd beslist om met het besluitvormingsproces en de siteselectie voor geologische berging te starten in 2025, waardoor de site tegen 2050 zou gebouwd zijn.	Technische, strategische en economische redenen primeren. Nood aan de bouw van een tijdelijke opslaginstallatie om het gebrek aan capaciteit op te vangen Uitstel van het siteselectieproces om mogelijke gastformaties verder te onderzoeken en tijd te winnen om een draagvlak te creëren.
Verenigde Staten	19,7%	Opwerking Geologische berging	Weerhouden: geologische berging	Site geselecteerd in 1987: Yucca Mountain 2009: keuze voor nieuwe strategie en verder onderzoek	Beslissing in nationaal belang Het voorzorgsprincipe en principes van verantwoordelijk beheer, duurzaamheid en overdracht van verantwoordelijkheid (intra- en intergenerationele billijkheid)

Land	Aandeel van kernenergie in elektriciteitsproductie	Geëvalueerde opties	Aanbevolen en weerhouden opties	Beslissing	Basis van de besluitvorming
Verenigd Koninkrijk	14%	Opslag voor lange tijd of voor eeuwig Berging nabij de oppervlakte Geologische berging Gefaseerde geologische berging Berging via directe injectie Zeebergig Berging in de zeebodem Berging in een ijskap Berging in een oceanische subductiezone Berging in de ruimte	Opslag voor lange tijd Geologische berging Gefaseerde geologische berging Weerhouden: geologische berging	Shortlisting en evaluatie in participatief proces. Technische evaluatie op basis van multicriteria-analyse Principebeslissing voor geologische berging genomen door regering Gastformatie nog niet bepaald Siteselectieproces wordt opgestart	Fundamentele ethische principes welzijn, rechtvaardigheid en waardigheid Ethische onderbouwing: Inter- en intragenerationele billijkheid, rechtvaardigheid van het proces, distributieve rechtvaardigheid en ethische verantwoording die voortkomt uit de bredere context van energieconsumptie en duurzame ontwikkeling
Zweden	42%	Berging in de ruimte Berging op ontoegankelijke plaatsen (bv. in de zeebodem, in een ijskap) Langdurige opslag in huidige of nieuwe installatie Langdurige opslag in afwachting van een definitieve oplossing Scheiding en transmutatie Geologische berging in koperen containers in graniet (KBS-3) Geologische berging in lange tunnels of holtes (WP-cave) Berging in diepe boorgaten	Langdurige opslag in huidige installatie Langdurige opslag in nieuwe installatie Langdurige opslag in afwachting van een definitieve oplossing Geologische berging in lange tunnels of holtes (WP-cave) Berging in diepe boorgaten Weerhouden: geologische berging in koperen containers in graniet	Shortlisting door Nationale Raad voor hoogradioactief en/of langlevend afval (KASAM) Voorkeur voor geologische berging in graniet bevestigd door regering; berging in diepe boorgaten wordt wel nog als alternatief meegenomen Site geselecteerd in 2009	Utilitaristisch principe vertaald in het gebruik van Beste Beschikbare Technieken (BBT) Principe van verantwoordelijkheid van de producent op basis van ethiek van duurzame ontwikkeling In het spanningsveld tussen veiligheid en keuzevrijheid van toekomstige generaties primeert de veiligheid

Land	Aandeel van kernenergie in elektriciteitsproductie	Geëvalueerde opties	Aanbevolen en weerhouden opties	Beslissing	Basis van de besluitvorming
Zwitserland	39,2%	<p>Voortzetten van tijdelijke opslag</p> <p>Langdurige opslag met monitoring</p> <p>Onomkeerbare geologische berging</p> <p>Geologische berging met monitoring</p>	Weerhouden: geologische berging in klei met monitoring	<p>Bepaling voorkeursoptie door regering</p> <p>Siteselectieproces werd opgestart in 2006. In 2008 werden 3 potentiële sites geselecteerd. Tegen 2040 moet de installatie operationeel zijn.</p>	<p>Principes:</p> <p>Veiligheid voor mens en milieu</p> <p>Institutionele controle door onafhankelijke organisatie</p> <p>Gebruik maken van Beste Beschikbare Technieken (BBT) zonder het beslissingsrecht van toekomstige generaties te hypothekeren</p> <p>Aanvaardbaar veiligheidsniveau, verduidelijkt in democratisch proces</p>

BIJLAGE C MAATSCHAPPELIJKE ROBUUSTHEID

C.1 Inleiding

In het kader van de strategische milieueffectrapportage (SEA) over het Afvalplan van NIRAS worden de verschillende beheeropties voor hoogradioactief en/of langlevend afval beoordeeld op alle klassieke m.e.r.-disciplines. Omwille van het hoogactieve en/of langlevende karakter van het afval dienen de effecten van de beheeropties op erg lange termijn beschouwd te worden. Daarbij kan men veronderstellen dat het huidige maatschappelijk bestel in zijn geheel aan veranderingen onderhevig zal zijn. Bijgevolg moeten ook de effecten van evoluties en processen binnen de maatschappij op de beheeropties geëvalueerd worden.

Leeswijzer

De wijze waarop de beoordeling van de maatschappelijke robuustheid van de beheeropties voor hoogradioactief en/of langlevend afval opgebouwd en uitgevoerd wordt, wordt hieronder kort toegelicht.

In een eerste fase (paragraaf C.2) wordt het begrip maatschappelijke robuustheid afgebakend en geoperationaliseerd* zodat het toegepast kan worden in het kader van de SEA over het Afvalplan van NIRAS.

Vervolgens (paragraaf C.3) geven we een beschrijving van maatschappelijke ontwikkelingen*. Hierbij worden de relevante maatschappelijke domeinen* en de processen* of evoluties* die daarbinnen mogelijk zijn in kaart gebracht. Het betreft de domeinen met wetenschappelijke en technologische, ruimtelijke, cultureel-maatschappelijke, politiek-institutionele, macro-economische en demografische ontwikkelingen.

Deze maatschappelijke ontwikkelingen worden daarna vanuit een integraal perspectief gebundeld tot een aantal mogelijke toekomstbeelden* op de korte en de lange termijn (paragraaf C.4). De beschrijving is zowel gericht op de (structurele) samenhang tussen alle relevante aspecten van de toekomstperspectieven als op de afzonderlijke mogelijke maatschappelijke ontwikkelingen in de toekomst.

Vervolgens toetsen we in paragraaf C.5 de maatschappelijke robuustheid van de beheeropties aan de verschillende toekomstbeelden op korte (2100) en lange (3000) termijn.

In paragraaf C.6 wordt er een conclusie uitgewerkt op basis van de voorgaande paragrafen.

Tot slot (paragraaf C.7) volgt nog een lijst waarin de gehanteerde (sociologische) sleutelbegrippen verduidelijkt worden. Begrippen die in deze paragraaf toegelicht worden, zijn in de tekst gemarkeerd met een asterisk*.

C.2 Conceptualisering van maatschappelijke robuustheid

In deze paragraaf wordt er invulling gegeven aan het begrip maatschappelijke robuustheid. Daartoe zal er in paragraaf C.2.1 een overzicht gegeven worden van wat er in de internationale literatuur onder maatschappelijke robuustheid verstaan wordt. Daarna

(paragraaf C.2.2) wordt er besproken wat de bestaande literatuur zegt over maatschappelijke robuustheid in het kader van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. In paragraaf C.2.3 wordt er dan vervolgens een operationalisering* uitgewerkt van het begrip maatschappelijke robuustheid in het kader van de SEA over het Afvalplan van NIRAS. Daarbij wordt – steunend op de inzichten uit de bestaande literatuur – gekomen tot een eigen analyse en begripsconstructie. Tot slot (paragraaf C.2.4) worden de verschillende aspecten van het begrip zoals toegelicht in paragraaf C.2.3 in verhouding tot elkaar gezet, zodat er een coherent beeld van het totaalconcept ontstaat.

C.2.1 Conceptualisering van maatschappelijke robuustheid in het algemeen

Het concept maatschappelijke robuustheid wordt vooral gebruikt in de wetenschapsfilosofie en in sociologische benaderingen van de wisselwerking tussen wetenschap en samenleving. Het publiek kijkt namelijk wezenlijk anders aan tegen onderwerpen die met wetenschap te maken hebben dan voorlichters, wetenschappers en beleidsmakers dat doen. Bij nieuwe technologieën of ontwikkelingen hebben mensen bijvoorbeeld vaak oog voor de groeiende risico's en onzekerheden. Dit maakt dat wetenschappelijke kennis niet alleen verifieerbaar moet zijn, maar ook steeds meer maatschappelijk robuust.

Robuustheid omvat zowel onzekerheid (uncertainty) als onwetendheid (ignorance). Het begrip houdt verband met zowel de langetermijneffecten van slecht zichtbare bronnen of oorzaken als de onwetendheid over de aard van de effecten (331). De analyse van de robuustheid vertrekt daarom niet van kans en effect, of van variaties op dat thema, maar schenkt ook aandacht aan de articulatie van de mogelijke effecten, de waarden en de bereidheid of terughoudendheid om iets te doen (240).

In het kader van de rol van wetenschap m.b.t. milieuproblemen wordt maatschappelijke robuustheid gebruikt om het begrip risico in te vullen. Aangezien problemen altijd hun specifieke context hebben, moet de risicosituatie betrokken worden in de benadering van de wetenschap. Dan wordt ook duidelijk dat er niet zonder meer één onderliggend probleem is dat (met behulp van de wetenschap) structuur kan en moet krijgen. Daarom doet men een beroep op een indeling op basis van maatschappelijke robuustheid: men beschouwt de mate van overeenkomst of overlap in verschillende probleemdefinities en daarmee de maatschappelijke verankering (332).

C.2.2 Conceptualisering van maatschappelijke robuustheid in de context van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval

In de context van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval zijn er verschillende vormen van robuustheid te onderkennen, namelijk (zie hoofdstuk 10):

- Robuustheid ten opzichte van natuurlijke evoluties
- Robuustheid ten opzichte van veranderingen in de interne fysische en technische stabiliteit van de beheeroptie
- Robuustheid ten opzichte van externe niet-natuurlijke gebeurtenissen
- Maatschappelijke robuustheid

Hier wordt enkel deze laatste vorm van robuustheid besproken, de maatschappelijke robuustheid. Daarbij dient wel vermeld te worden dat de verschillende vormen van robuustheid niet steeds volledig van elkaar te scheiden zijn. Er zijn zeker raakpunten. Zo stelt de maatschappelijke robuustheid ook eisen inzake technische robuustheid en kunnen maatschappelijke evoluties gepaard gaan met natuurlijke evoluties.

Volgens het Nuclear Energy Agency van de OESO worden robuuste systemen gekenmerkt door (39):

- Een gebrek aan complexe, slecht begrijpbare of moeilijk te bepalen kenmerken of verschijnselen
- Een eenvoudig uit te voeren kwaliteitscontrole
- De afwezigheid van of tenminste een ongevoeligheid tegenover schadelijke fenomenen die ofwel intern vanuit de bergingsinstallatie of de gastformatie komen, ofwel extern veroorzaakt worden in de vorm van geologische of klimaatsverschijnselen en onzekerheden met betrekking tot de capaciteit om de veiligheid te waarborgen.

Maatschappelijke robuustheid wordt niet gedefinieerd door het IAEA. Wel definiëren zij een aantal fundamentele principes rond het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval (15), (38). Eén van deze principes betreft het vrijwaren van toekomstige generaties: *“Radioactive waste shall be managed in such a way that will not impose undue burdens on future generations.”* Aandachtspunten die hierbij vermeld worden, zijn de volgende:

- Het in acht nemen van toekomstige generaties. Beperkte taken met betrekking tot het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval kunnen doorgegeven worden aan toekomstige generaties, zoals (indien nodig) institutionele controle over een beheerinstallatie.
- In de mate van het mogelijke mag de berging niet afhangen van regelgeving en acties op lange termijn. De identiteit, locatie en inventaris van hoogradioactief en/of langlevend afval moet echter op gepaste wijze behouden worden.

Samengevat dient de beheeroptie dus over een zekere mate van **autonomie** te beschikken, zowel inzake beheer als inzake **veiligheid**. Daarnaast moet er ook aandacht zijn voor het doorgeven van kennis aan toekomstige generaties.

Maatschappelijke robuustheid wordt ook in verband gebracht met het voorzorgsprincipe (333). Het voorzorgsprincipe kan men omschrijven als een principe voor de omgang met zowel nieuwe als oude risico's (242). Bij het ontwerpen wordt er tevens geanticipeerd op de uiteindelijke doorwerking van het gerealiseerde ontwerp – in de context van het beheer van radioactief afval dus ook op maatschappelijke robuustheid (240). Het voorzorgsprincipe zorgt dus voor een model waarbij men tot een beslissing kan komen, ondanks de mogelijke bedreiging van wetenschappelijke kennis door belangenconflicten, onzekerheid en ambiguïteit. Met andere woorden, kansen en gevolgen blijven belangrijke dimensies, maar deze worden opgenomen in een bredere aanpak (240). Vanuit het voorzorgsprincipe wordt er dus zo veel mogelijk **flexibiliteit** geïntegreerd in de uitwerking van de beheeroptie.

C.2.3 Operationalisering van maatschappelijke robuustheid in het kader van de SEA over het Afvalplan van NIRAS

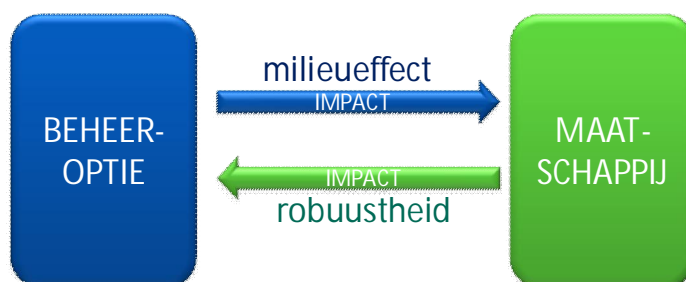
In deze paragraaf ontwikkelen we vanuit de aandachtspunten die het IAEA en het NEA formuleren (zie paragraaf C.2.2) een eigen operationalisering van het begrip maatschappelijke robuustheid in het kader van de SEA over het Afvalplan van NIRAS.

Maatschappelijke robuustheid kan in deze context omschreven worden als de mate waarin de beheeropties voor hoogradioactief en/of langlevend afval bestand zijn tegen mogelijke toekomstige maatschappelijke ontwikkelingen en onzekerheden.

Maatschappelijke evoluties op korte termijn (ca. 100 jaar) en zeker op lange termijn (tot tienduizenden of honderdduizenden jaren) kunnen immers de beheeroptie beïnvloeden en

daardoor de veiligheid van mens en milieu hypothekeren. Beheeropties die ongevoelig zijn voor – of zich kunnen aanpassen aan – maatschappelijke veranderingen zullen betere garanties bieden voor de bescherming van mens en milieu.

Robuustheid wordt hier met andere woorden niet bekeken als een effect dat het project heeft op de omgeving, maar als het effect dat de omgeving heeft op het project. Hierdoor kunnen er in tweede instantie wel bijkomende effecten op de omgeving zijn doordat het functioneren van de beheeroptie verstoord wordt. Dit wordt weergegeven in de onderstaande figuur.



Figuur 68: Robuustheid en milieueffecten

Bovenstaande invulling van het begrip maatschappelijke robuustheid is te abstract en te theoretisch om te gebruiken als hulpmiddel bij de beoordeling van de verschillende beheeropties. Daarom is een verdere operationalisering noodzakelijk. Door het operationaliseren – namelijk het concreet formuleren en als meetbare grootheid definiëren – kan maatschappelijke robuustheid in de context van de SEA over het Afvalplan van NIRAS toegepast worden en kunnen de beheeropties geëvalueerd worden.

Voor de SEA over het Afvalplan van NIRAS verbinden we drie aspecten aan het begrip maatschappelijke robuustheid:

- Flexibiliteit
- Autonomie
- Veiligheid

Deze drie aspecten van maatschappelijke robuustheid worden hieronder meer toegelicht.

C.2.3.1 Flexibiliteit

Als kenmerk van maatschappelijke robuustheid heeft het aspect flexibiliteit betrekking op de mate waarin men kan terugkomen op in het verleden genomen beslissingen i.v.m. het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.

Verwante begrippen zijn terugneembaarheid (Engels: retrievability) en omkeerbaarheid (Engels: reversibility), die doorgaans in deze context vooral aan argumenten van technische aard gekoppeld worden. Met omkeerbaarheid bedoelt men de technische mogelijkheid om het afval terug te halen uit de opslag- of bergingsinstallatie door gebruik te maken van dezelfde of gelijkaardige middelen waarmee men het plaatste. Omkeerbaarheid kan dus niet meer gerealiseerd worden na de sluiting van een geologische bergingsinstallatie of een berging in diepe boorgaten. Terugneembaarheid is de mogelijkheid om het afval ook na de sluiting van de opslag- of bergingsinstallatie terug te nemen. De recuperatie van het afval na de sluiting gebeurt door middel van aparte componenten (258).

Flexibiliteit vatten we hier echter ruimer op: het gaat niet alleen over de terugneembaarheid of omkeerbaarheid van handelingen, maar ook van de beslissingen die aan de basis liggen van deze handelingen. Flexibiliteit is dus de mogelijkheid om de genomen acties in het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval terug te draaien. Met “terugdraaien” wordt bedoeld dat men de mogelijkheid heeft om één of meerdere stappen in de ontwikkeling van een beheeroptie ongedaan te maken. Dit impliceert dat men voorgaande beslissingen kan herzien of herevalueren en dat men over de technische middelen beschikt om de voorgaande stappen ongedaan te maken. In een vroeg stadium kan het gaan om het herzien van beslissingen betreffende de siteselectie of de keuze van een bepaalde uitvoeringsvariant. Gedurende de operationele fase kan het gaan om het voorzien van componenten in het beheersysteem die toelaten om het afval terug te nemen (259).

In de context van maatschappelijke robuustheid heeft flexibiliteit dus betrekking op alle stadia van het besluitvormingsproces en de implementatie van de gekozen beheeroptie: beslissing voor een beheeroptie, bouw van de beheerinstallatie, transport, de operationele fase van het bergen of opslaan en de monitoring tijdens die fase, eventueel de sluiting van de installatie en de post-sluitingsfase. Hoe verder men evolueert naar de eindfase van de gekozen beheeroptie, hoe moeilijker het zal zijn om het concept van flexibiliteit toe te passen, vooral in het geval van geologische berging en berging in diepe boorgaten.

Over flexibiliteit en terugneembaarheid van berging werd reeds uitvoerig gediscussieerd binnen de internationale context van het IAEA en de OESO (206), (134). Het IAEA heeft hierover geen uitgesproken mening, maar vermeldt wel de mogelijke voor- en nadelen van flexibiliteit en terugneembaarheid. Het IAEA spoort aan om hierover uitgebreide studies uit te voeren vooraleer een beslissing genomen wordt (192).

Voordelen:

- Mogelijkheid om in de toekomst gebruik te maken van het afval als dat economisch haalbaar en technisch mogelijk is
- Mogelijkheid voor toekomstige generaties om het afval te beheren met nieuwe, betere technologieën
- Mogelijkheid om correcties uit te voeren als het beheer niet voldoet
- Mogelijkheid om toekomstige generaties zelf te laten beslissen over het beheer
- Voorzichtige aanpak voor de korte termijn

Nadelen:

- Het terugnemen van afval kan een negatieve invloed hebben op zowel conventionele als radiologische veiligheid. Scenario's met een relatief vroege sluiting van de installatie bieden meer veiligheid aan diegenen die betrokken zijn bij de bouw.
- De veiligheid op lange termijn wordt verminderd. Wanneer de kunstmatige barrières na een tijd degraderen, zorgt een niet afgesloten installatie voor grotere stralingsrisico's.
- Onstabiele socio-economische en politieke situaties kunnen leiden tot het verwaarlozen van de installatie, zowel voor de sluiting als erna. Dit heeft negatieve implicaties voor de veiligheid op lange termijn.
- Onzekerheden over de timing van de sluiting kunnen het moeilijker maken om de veiligheid te garanderen.
- De mogelijkheid van terugneembaarheid kan de keuze voor efficiënte veiligheidsmaatregelen compliceren.

- Terugneembaarheid weegt economisch zwaarder door de bijkomende kosten van de infrastructuur en de blijvende monitoring.

Sommige landen zoals Canada (238), Finland (334), Frankrijk (140), Nederland (147) en Zwitserland (136) hebben beslist om de flexibiliteit gedurende de periode voorafgaand aan de sluiting van de geologische bergingsinstallatie (d.w.z. de terugneembaarheid) te garanderen. Naast de hierboven aangehaalde voordelen vermelden zij ook dat de flexibiliteit in het heden kan bijdragen tot een mogelijke verhoging van het maatschappelijk draagvlak voor de voorgestelde beheeroptie.

Andere landen zoals Zweden (130), het Verenigd Koninkrijk (132) en de Verenigde Staten (239) beslisten dat de nadelen zwaarder wegen. Deze landen leiden uit de centrale doelstelling van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval af dat het verzekeren van de (conventionele en radiologische) veiligheid moet primeren op terugneembaarheid. Het is moeilijk om de veiligheid op lange termijn te garanderen indien er in de implementatie van de beheeroptie flexibiliteit voorzien wordt. Er is bij flexibiliteit namelijk een mate van afhankelijkheid van het toekomstscenario. De mogelijkheid bestaat dat men terechtkomt in onstabiele socio-economische en politieke situaties die kunnen leiden tot het op een schadelijke manier inzetten van hoogradioactief en/of langlevend afval of het vergeten van het bestaan van de beheersite.

Zoals hierboven aangegeven, beschikken flexibele beheeropties over de mogelijkheid om de genomen acties terug te draaien. Dit wil zeggen dat de keuze die gemaakt wordt niet definitief is, en dat er nog ruimte is voor toekomstige generaties om de gemaakte keuze ongedaan te maken. Wanneer de beheeroptie niet flexibel is, is het onmogelijk (of niet voorzien) om terug te komen op de genomen beslissing.

Concluderend kan gesteld worden dat de volgende overwegingen meespelen bij de beoordeling van de mate van flexibiliteit van een bepaalde beheeroptie:

- Het stadium van het beheer
- De mate waarin de beheeroptie ingrijpende veranderingen vereist, zowel op technisch vlak als op vlak van een definitieve verandering van omgevingsfactoren
- De investering, zowel op technisch vlak als op financieel en organisatorisch vlak
- De tijd die nodig is om de beheeroptie te realiseren en om ze terug ongedaan te maken
- De besluitvormingsprocedure (o.a. voor welke termijn worden er beslissingen genomen?)
- De beslissingsruimte die geboden wordt (bv. het beheer mag niet onnodig de toekomstige vrijheid van handelen beperken)
- De technische omkeerbaarheid en terugneembaarheid

C.2.3.2 Autonomie

Een ander aspect van maatschappelijke robuustheid is autonomie. In de gegeven context stellen we dat een beheeroptie een hoge graad van autonomie kent als de conventionele en radiologische veiligheid gegarandeerd blijft wanneer elementen van actief beheer niet meer verzekerd zijn omwille van maatschappelijke ontwikkelingen.

Bepaalde beheeractiviteiten vereisen actief beheer, d.w.z. menselijke handelingen. Voorbeelden hiervan zijn:

- Monitoring, toezicht en controle

- De nood aan elektriciteitsvoorziening die verzekerd moet worden
- De nood aan periodiek onderhoud van de infrastructuur en periodieke herconditionering van het afval
- De nood aan financieringsmechanismen die in stand gehouden moeten worden
- De nood aan kennisbeheer over hoogradioactief en/of langlevend afval in het algemeen en over de technische implementatie van de gekozen beheeroptie in het bijzonder
- De nood aan veiligheidscontrole (safeguards-inspecties) en beveiliging tegen externe dreigingen

Autonomie kan dus omschreven worden als de mate waarin de beheeroptie zelfstandig kan blijven functioneren zonder negatieve impact op mens en milieu, ongeacht de ontwikkelingen in de maatschappij.

Autonomie moet ook beschouwd worden op een bepaalde tijdsschaal en naargelang het stadium van het beheer. Zo zijn monitoring en controle bij passieve beheeropties gedurende de operationele fase (eerste 100 jaar) nog nodig, maar na sluiting van de berging is er nog slechts een minimale controle en op termijn valt deze ook weg.

Daarnaast zijn ook kennisbeheer en kennisoverdracht over een zeer lange termijn relevant in het kader van de autonomie van een beheeroptie. Deze factor heeft betrekking op de mate waarin er nood is aan kennis binnen de maatschappij om de beheeroptie in stand te houden. De kennis moet immers bewaard worden door de huidige generatie en overgedragen worden naar de volgende generaties. Twee types van kennis zijn hierbij van belang:

- **Expertkennis over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval**
Dit element heeft betrekking op de mate waarin er nood is aan kennis over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Indien de beheeroptie een grote hoeveelheid expertkennis vereist om goed te functioneren binnen een bepaalde maatschappij, kunnen we stellen dat de optie weinig autonoom is. Indien de beheeroptie daarentegen weinig expertkennis vereist, neemt de autonomie van deze optie toe binnen veranderende maatschappelijke omstandigheden, zoals het wegvallen van onderzoekscentra.
- **Kennis over de gekozen beheeroptie**
Dit element heeft betrekking op de mate waarin er nood is aan kennis over de modaliteiten en vereisten van de gekozen beheeroptie. Het gaat hier over de kennis over de locatie van de beheerinstallatie, maar ook over de uitvoering van het beheer. Dit soort kennis hangt nauw samen met de nood aan monitoring en controle van de beheeroptie. Indien de kennis over de gekozen beheeroptie cruciaal is voor de instandhouding van het beheer, is de beheeroptie weinig autonoom. Indien het beheer goed blijft functioneren bij afwezigheid van kennis over de gekozen beheeroptie, is er sprake van een grote autonomie.

C.2.3.3 Veiligheid

Veiligheid kan in deze context omschreven worden als de mate waarin men erop kan vertrouwen dat de beheeroptie de veiligheid voor mens en milieu kan garanderen bij negatieve maatschappelijke omgevingsinvloeden, zowel in het heden als in de toekomst. Op lange termijn betreft het vooral de mogelijke confrontatie met bedreigende maatschappelijke ontwikkelingen en onzekerheden.

Onder het begrip veiligheid valt de vraag of de beheeroptie in staat is om de veiligheid te garanderen bij maatschappelijke evoluties die een rechtstreekse dreiging betekenen. Dit kunnen onbedoelde dreigingen zijn, zoals bv. boringen in het gastgesteente van een geologische berging. Daarnaast kunnen het ook kwaadwillige bedreigingen zijn, zoals terrorisme of oorlog, maar ook andere – nog onbekende – ontwikkelingen zijn mogelijk in de toekomst.

De mate waarin installaties voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval geïsoleerd kunnen worden door terroristen of activistengroepen werd in het kader van het Strategic Action Plan for Implementation of European Regional Repositories (SAPIERR II) (150) bestudeerd. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de volgende motieven voor terroristische acties tegen civiele installaties waar radioactief materiaal aanwezig is:

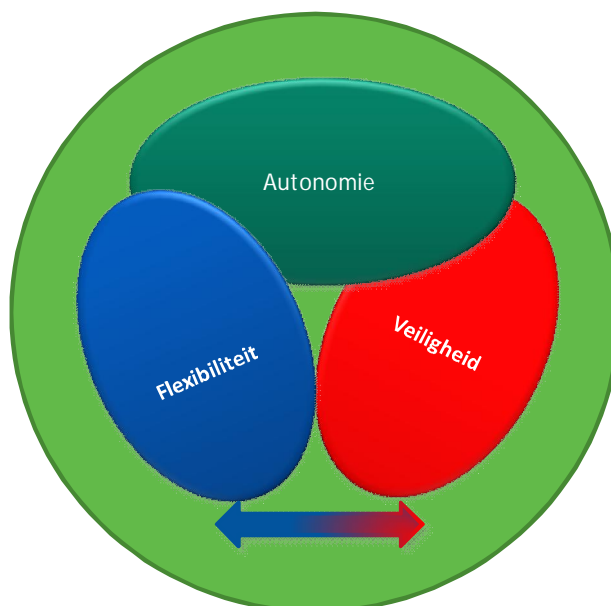
- Het veroorzaken van dood en vernieling door directe actie
- Het veroorzaken van economische en sociale verstoring (met inbegrip van publieke angst)
- Het verkrijgen van aandacht en publiciteit voor de actor in kwestie door spectaculaire acties

In SAPIERR II wordt vermeld dat het beoordelen van de beveiliging tegen terrorisme steeds inhoudt dat er geoordeeld wordt over politieke stabiliteit op lange termijn en over acties die zowel speculatief als politiek zijn (150).

C.2.4 Maatschappelijke robuustheid als meerdimensionaal concept

Uit het voorgaande blijkt dat maatschappelijke robuustheid opgevat wordt als een meerdimensionaal concept in het kader van de SEA over het Afvalplan van NIRAS. Hoewel elk van de drie aspecten (flexibiliteit, autonomie en veiligheid) op zichzelf staat, zijn er toch ook bepaalde relaties en raakpunten tussen de verschillende aspecten. Deze samenhang wordt weergegeven in Figuur 69.

MAATSCHAPPELIJKE ROBUUSTHEID



Figuur 69: Maatschappelijke robuustheid als meerdimensionaal concept

Hieronder worden de relaties tussen de concepten verder toegelicht.

- *Relatie tussen flexibiliteit en autonomie*

Flexibiliteit betekent dat een optie vlot kan omgaan met nieuwe omstandigheden die zich aandienen. Dat houdt onder meer de verwachting van omkeerbaarheid en terugneembaarheid in. Daarnaast is er ook een duidelijke link naar het zelfstandig blijven functioneren indien de omstandigheden dit vereisen. Ook dit is flexibiliteit ten opzichte van de omgeving.

- *Relatie tussen autonomie en veiligheid*

Het begrip veiligheid heeft raakpunten met het begrip autonomie. Bepaalde maatschappelijke evoluties kunnen er immers toe leiden dat het actief beheer wegvalt. De goede werking van de beheeroptie wordt dan bepaald door de mate waarin ze autonoom is. Bij beheeropties met een hoge mate van autonomie (zie paragraaf C.2.3.2) is de invloed van bepaalde maatschappelijke invloeden op de veiligheid dus over het algemeen kleiner.

- *Relatie tussen veiligheid en flexibiliteit*

Het IAEA (19) vermeldt de mogelijke voor- en nadelen van flexibiliteit en terugneembaarheid. Als nadeel van een doorgedreven flexibiliteit worden daarbij de veiligheidsrisico's aangehaald. Hoewel flexibiliteit en veiligheid beide aspecten zijn van het meerdimensionale begrip maatschappelijke robuustheid, kan hieruit afgeleid worden dat ze ook in bepaalde mate tegengesteld zijn aan elkaar. Hoe groter de flexibiliteit, hoe groter het veiligheidsrisico en vice versa. Flexibiliteit op lange termijn – in het bijzonder terugneembaarheid van het afval – wordt door sommige landen als ongunstig voor de veiligheid beschouwd. Flexibiliteit kan immers als het uitstel van een passief-veilige eindsituatie gezien worden.

C.3 Beschrijving van maatschappelijke ontwikkelingen

In deze paragraaf worden de maatschappelijke domeinen* in kaart gebracht die relevant zijn voor de beoordeling van maatschappelijke robuustheid van de beheeropties voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Voor elk domein worden de mogelijke maatschappelijke veranderingen (processen en mogelijke evoluties*) weergegeven.

Hoe een maatschappij zich globaal ontwikkelt, wordt gestuurd door de evoluties binnen bepaalde maatschappelijke domeinen. Door een aantal organisaties werden scenarioanalyses uitgevoerd; we vermelden Director of National Intelligence (335), National Intelligence Council (336), INDEX (337), de Studiedienst van de Vlaamse Regering (338), het European Environment Agency (339) en The Millenium Project (340). Uit deze literatuur leiden we af dat de volgende domeinen relevant zijn in de context van de maatschappelijke robuustheid op korte en lange termijn in het kader van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval:

- Wetenschappelijke, innovatieve en technologische ontwikkelingen
- Natuurlijke ontwikkelingen
- Ruimtelijke ontwikkelingen
- Cultureel-maatschappelijke ontwikkelingen
- Politiek-institutionele ontwikkelingen
- Macro-economische ontwikkelingen
- Demografische ontwikkelingen

Voor elk van deze maatschappelijke domeinen worden in volgende paragrafen de relevante maatschappelijke processen en/of mogelijke evoluties besproken. Een proces omschrijft men als een aaneenschakeling van maatschappelijke activiteiten in de fase tussen het initiëren en het afronden van een maatschappelijke ontwikkeling. Met evoluties doelt men op geleidelijke ontwikkelingen, bv. groei of het geleidelijk verwerven van een hogere graad van organisatie.

De onderstaande lijst omvat slechts een beperkt aantal domeinen van de maatschappij waarin evoluties en ontwikkelingen kunnen plaatsvinden in de toekomst. Per domein worden de maatschappelijke processen kort toegelicht, worden de mogelijke evoluties weergegeven en wordt telkens de relevantie in het kader van het beheer van radioactief afval op korte en lange termijn aangegeven.

C.3.1 Wetenschappelijke, innovatieve en technologische ontwikkelingen

Inzake energieproductie

- Processen: ontwikkelingen inzake energieproductie zijn belangrijk omdat ze de kennis van en attitude tegenover de verschillende energiebronnen (waaronder kernenergie) bepalen. Tevens is dit bepalend voor het feit of er al dan niet nog meer radioactief afval geproduceerd wordt.
- Mogelijke evoluties: fossiele energiebronnen, kernenergie, hernieuwbare energie
- Relevantie: voor beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval is niet alleen de houding ten opzichte van radioactief afval van belang. De wetenschappelijke, innovatieve en technologische ontwikkelingen inzake energieproductie en de mate waarin kennis vereist is over kernenergie en radioactief afval zijn van belang voor de autonomie van de beheeroptie.

Inzake het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval

- Processen: dit is van belang omdat men er voor bepaalde beheeropties (in het bijzonder opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën) expliciet van uitgaat dat er in de toekomst vooruitgang geboekt zal worden inzake het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.
- Mogelijke evoluties: hoogwaardige recyclageoplossing, optimale beheeroptie, geen definitieve oplossing
- Relevantie: flexibiliteit van de beheeroptie

Technologie in de samenleving

- Processen: de mate waarin technologie geïntegreerd is in de samenleving geeft een indicatie van de vooruitgang op het vlak van wetenschap en technologie op een meer fundamenteel niveau en geeft inzicht in het functioneren van de samenleving en de mogelijkheid om met hoogradioactief en/of langlevend afval om te gaan.
- Mogelijke evoluties: back tot basics, stagnerend, innovatief
- Relevantie: flexibiliteit van de beheeroptie

C.3.2 Natuurlijke ontwikkelingen

Klimaatverandering

- Processen: de klimaatverandering is een mondiaal fenomeen met uiteenlopende lokale effecten die zich situeren op het vlak van het klimaat, ecologie en hydrografie, maar ook op vlak van maatschappelijke organisatie, ruimtegebruik, demografie, enzovoort.
- Mogelijke evoluties: ijstijd, stabiele klimatologische omstandigheden, opwarming
- Relevantie: flexibiliteit, veiligheid van de beheeroptie

C.3.3 Ruimtelijke ontwikkelingen

Densiteit van het menselijk ruimtegebruik (bovengronds/ondergronds)

- Processen: dit bepaalt mee de mate waarin het huidige grondgebruik (o.a. op de locatie waar het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval gerealiseerd zal worden) in de toekomst onder druk zal komen te staan.
- Mogelijke evoluties: geen menselijke activiteit, beperkt en verspreid ruimtegebruik, geconcentreerd ruimtegebruik op bepaalde plaatsen (bv. in steden), gebrek aan oppervlakte (zeer dicht ruimtegebruik)
- Relevantie: flexibiliteit en veiligheid van de beheeroptie.

C.3.4 Cultureel-maatschappelijke ontwikkelingen

Sociale focus

- Processen: de sociale focus van de maatschappij (individualisme of gemeenschapsperspectief) geeft aan of de samenleving al dan niet aandacht heeft voor collectieve aandachtspunten, waaronder het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.

- Mogelijke evoluties: een samenlevingsvorm gebaseerd op nabijheid, solidariteit, traditie of een industriële samenlevingsvorm gebaseerd op rationaliteit, instrumentaliteit en anonimiteit.
- Relevantie: autonomie van de beheeroptie.

Maatschappelijke orde

- Processen: het soort en de mate van maatschappelijke orde (vrede versus oorlog) is van invloed op de verschillende aspecten van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval omdat het inspeelt op de veiligheid en op de uitvoering van het beheer.
- Mogelijke evoluties: vrede en stabiliteit, terrorisme, oorlog, maatschappelijke chaos en instabiliteit
- Relevantie: flexibiliteit, autonomie en veiligheid van de beheeroptie

C.3.5 Politiek-institutionele ontwikkelingen

Overheidsparticipatie

- Processen: de overheid is een belangrijke actor inzake het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval omdat zij onder meer instaat voor het algemeen maatschappelijk belang en voor collectieve voorzieningen. Deze actor is dus bepalend voor het beheer en de overdracht van kennis over de beheeroptie.
- Mogelijke evoluties: sturend, faciliterend, laissez-faire, onbestaand
- Relevantie: autonomie en veiligheid van de beheeroptie

Leiderschap

- Processen: het type leiderschap heeft een invloed op de mate waarin er zich in de toekomst drastische en bruske wijzigingen in het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval kunnen voordoen.
- Mogelijke evoluties: representatieve democratie, verlicht despotisme, dictatoriaal, geen centraal leiderschap
- Relevantie: flexibiliteit, autonomie en veiligheid van de beheeroptie

C.3.6 Macro-economische ontwikkelingen

Status van economische activiteit

- Processen: de economische activiteit geeft een beeld van de mate waarin het maatschappelijk bestel en de daaraan verbonden structuren al dan niet stabiel zijn.
- Mogelijke evoluties: vitaal, in crisis, ineengestort
- Relevantie: autonomie en veiligheid van de beheeroptie

C.3.7 Demografische ontwikkelingen

Fertiliteit

- Processen: de demografie is sturend voor andere maatschappelijke ontwikkelingen zoals ruimtegebruik, maar wordt zelf ook beïnvloed door andere ontwikkelingen

(zoals milieu, economie en maatschappelijke orde). Demografie is bijgevolg onontbeerlijk in een integrale schets van een samenleving.

- Mogelijke evoluties: hoge/lage nataliteit, hoge/lage mortaliteit
- Relevantie: flexibiliteit van de beheeroptie.

Migratie

- Processen: bevolkingsmigratie is een ander fenomeen dat een invloed heeft op de demografie en het ruimtegebruik. Tevens is het een symptoom van andere maatschappelijke ontwikkelingen (waaronder de maatschappelijke orde, het milieu e.d.).
- Mogelijke evoluties: immigratie, emigratie
- Relevantie: flexibiliteit, veiligheid van de beheeroptie.

C.4 Toekomstbeelden

Op basis van literatuurstudie (335), (336), (337), (338), (339), (340) en expertanalyse blijken de ontwikkelingen in paragraaf C.3 het meest relevant in het kader van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Op basis daarvan worden in deze paragraaf een aantal integrale toekomstbeelden* uitgewerkt met de bedoeling om een zo breed mogelijk palet samen te stellen waarop maatschappelijke robuustheid kan worden beoordeeld.

Daarbij wordt in een eerste paragraaf (paragraaf C.4.1) toegelicht hoe de toekomstbeelden tot stand gekomen zijn. Vervolgens worden de toekomstbeelden voor de korte termijn (ca. 100 jaar) besproken in paragraaf C.4.2 en deze voor de lange termijn (1000 jaar en meer) in paragraaf C.4.3.

C.4.1 Opbouw van de toekomstbeelden

Het creëren van toekomstbeelden wordt aangeduid als scenarioanalyse. “*Scenarioanalyse is een verkenning van meerdere mogelijke toekomst waarbij rekening wordt gehouden met de onzekerheid en de samenhang van ontwikkelingen*” (338).

In het kader van deze SEA zal er gewerkt worden met twee types van scenario's. Deze scenario's werden volgens de methodologie van het scenarioschetsen (338) opgebouwd op basis van expertenkennis en zijn gebaseerd op vooruitzichten uit relevante andere scenario-analyses (335), (336), (337), (338), (339), (340). De gekozen aannames omvatten een zo breed mogelijk palet waarin de belangrijkste mogelijke evoluties vervat zijn.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de korte termijn en de lange termijn. Voor de korte termijn wordt als tijdshorizon het jaar 2100 genomen, voor de lange termijn het jaar 3000. Zeker voor de lange termijn is deze tijdshorizon slechts illustratief. De lange termijn loopt immers over een veel langere periode dan 1000 jaar. Echter, vanuit ons huidige perspectief zijn alle te bedenken evoluties in theorie mogelijk binnen de tijdsspanne van een millennium.

De korte termijn omvat de bouw van de beheerinstallatie, het transport van het afval naar de installatie, de exploitatie en, indien van toepassing, de sluiting van de installatie.

Op de lange termijn functioneren passieve beheeropties volledig autonoom. De mogelijkheid bestaat dat er als vertrouwenwekkende maatregel nog een vorm van monitoring uitgevoerd

wordt na de sluiting van de bergingsinstallatie. Deze monitoring situeert zich echter nog binnen de termijn van ongeveer 100 jaar en geldt dus niet voor de lange termijn. Voor actieve beheeropties zijn op de lange termijn dezelfde ingrepen nodig als op de korte termijn: periodiek herbouwen van de installatie, transport en exploitatie.

Verder dienen volgende kanttekeningen te worden geplaatst:

- Het is belangrijk om niet enkel de status van een samenleving op één moment in de tijd te bekijken, maar vooral ook hoe de samenleving daartoe gekomen is doorheen de tijd. *“Een scenario omvat een beschrijving van de huidige situatie, een schets van de verre toekomst (toekomstbeeld) en een verbindend verhaal, een ontwikkelingspad dat beschrijft hoe de toekomst uit het heden is ontstaan”* (338). Gezien de finaliteit van onderhavige analyse, en om de toekomstschetsen niet onnodig complex te maken, wordt er toch voornamelijk gewerkt met het beschrijven van de samenleving op één punt in de tijd. Het is dan eigenlijk ook correcter om te spreken van toekomstbeelden of -schetsen in plaats van scenario's. Wel werden bij het definiëren van de verschillende toekomstbeelden de relevante gebeurtenissen die leiden tot een bepaalde toestand zoveel mogelijk als leidraad genomen. De toekomstbeelden zijn verhalend van karakter en hebben vooral tot doel om alternatieve toekomsthorizonten te schetsen in het licht van de onderhavige problematiek.
- Een aantal positieve en idealistische ontwikkelingen en evoluties werden niet meegenomen bij de opbouw van de toekomstbeelden, omdat deze geen (negatieve) invloed hebben op het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. De toekomstbeelden zijn dus voornamelijk opgesteld vanuit een negatief perspectief. Aan de hand van deze “worst cases” kan dan nagegaan worden of beheeropties robuust zijn ten opzichte van ook de meest ongunstige maatschappelijke ontwikkelingen.
- De toekomstbeelden voor de korte en de lange termijn zijn telkens opgebouwd vanuit twee bepalende maatschappelijke domeinen en worden visueel gesitueerd op een assenkruis.
- De toekomstbeelden zijn ingevuld vanuit een beschrijving van praktijkvoorbeelden en elk beeld wordt ingeleid door een beknopte beschrijving van de toestand van de samenleving in de toekomst. Deze aanpak moet ervoor zorgen dat de beelden bevattelijk zijn. Toch zijn het vooral de componenten van de integrale toekomstbeelden die van belang zijn voor de beoordeling van de maatschappelijke robuustheid van de beheeropties.

C.4.2 Korte termijn: het jaar 2100

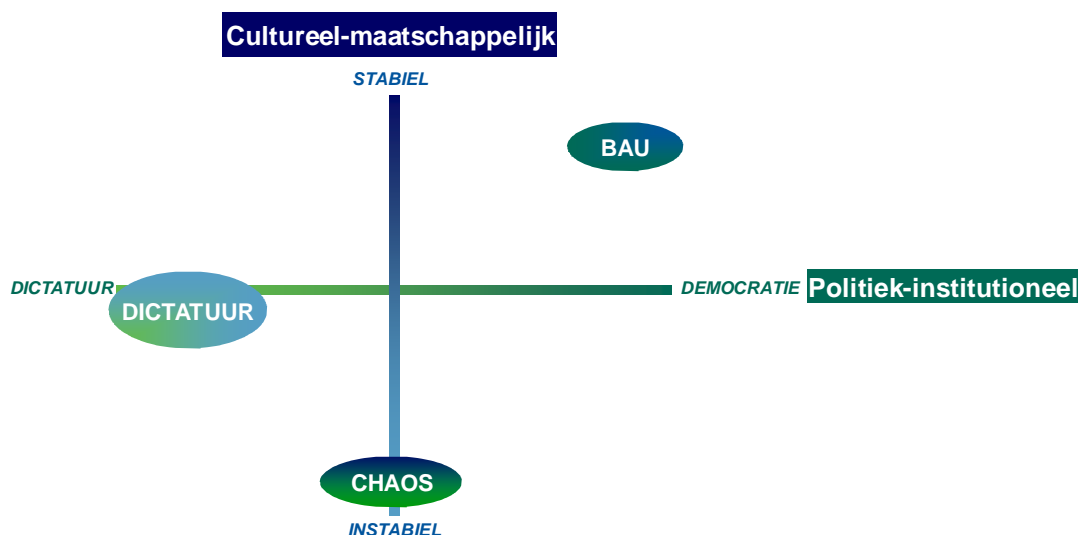
De scenario's voor de korte termijn zijn opgebouwd vanuit twee maatschappelijke domeinen waarin op relatief korte termijn grote veranderingen mogelijk zijn: het cultureel-maatschappelijke domein en het politiek-institutionele domein. Dit wordt ondersteund door het rapport “Global Trends 2025” (335) waarin geconcludeerd wordt dat er voor scenarioplanning en toekomstscenario's voor de komende 100 jaar enkele leidende domeinen zijn:

- Enerzijds is de invloed van leiders en hun ideeën bepalend; dit wordt hier op de as “politiek-institutioneel” gezet.
- Anderzijds zijn domeinen zoals geopolitieke conflicten en stabiliteit, economische schommelingen en daaraan gekoppeld de maatschappelijke stabiliteit ook zeer invloedrijk. Deze worden hier op de as “cultureel-maatschappelijk” geplaatst.

Deze twee domeinen worden beschouwd als de primaire domeinen die de scenario's domineren. Voor de korte termijn werden daaruit drie scenario's of toekomstbeelden ontwikkeld, namelijk:

- Business As Usual (BAU)
- Maatschappelijke chaos
- Dictatuur

De twee primaire domeinen kunnen op een assenkruis uitgezet worden. Op dat assenkruis kunnen dan verschillende scenario's gesitueerd worden, zoals in onderstaande figuur.



Figuur 70: Scenario's voor de korte termijn

Naast de primaire domeinen worden nog andere bouwstenen* voor de scenario's weergegeven. Deze bouwstenen zijn opgevat als de onderdelen die gebruikt worden om de sociale werkelijkheid – in dit geval een integraal toekomstbeeld – te definiëren en tot een groter geheel om te vormen. Bouwstenen zijn dus maatschappelijke domeinen waarbinnen een specifieke evolutie (zoals beschreven in paragraaf C.3) zich voordoet of zich voorgedaan heeft.

Hieronder worden de drie scenario's meer in detail beschreven.

C.4.2.1 Scenario 1: Business As Usual (BAU)

De samenleving is verdergegaan op het huidige élan, waarbij de huidige trends zich hebben doorgezet, met internationale conflicten, maar met een relatief stabiele regionale ontwikkeling in België.

Primair domein: **politiek**: de overheid is sturend in een democratisch bestel

Andere bouwstenen:

- Wetenschap: gestage groei van de wetenschappelijke kennis en het onderzoek; er is nog ruimte voor innovatie. Er is een energietransitie achter de rug. Energie is

grotendeels hernieuwbaar en gedeeltelijk afkomstig van een nieuwe generatie kerncentrales.

- **Ecologie:** Opwarming van de aarde en stijging van de zeespiegel. De situatie in België blijft leefbaar omwille van een gematigde klimaatverandering en een doorgedreven beschermingssysteem tegen de stijging van de zeespiegel.
- **Ruimte:** menselijke activiteiten zijn geconcentreerd rond de stedelijke kernen, en er is nog sprake van open ruimte in het buitengebied die deels vrij is van intensieve menselijke activiteiten. Het kost echter veel inspanningen om de open ruimte te beschermen tegen intensieve menselijke activiteiten. De ruimtevrage blijft toenemen onder druk van de klimaatmigraties.
- **Cultureel-maatschappelijk:** internationale oorlog en terroristische dreiging. De situatie in België blijft relatief stabiel en de maatschappij orde blijft gehandhaafd.
- **Economie:** na een relatief stabiele periode en een periode van groei maakt het economische systeem een kleine crisis door met deflatie en toename van de werkloosheid tot gevolg. Onder meer in Europa is deze crisis sterk voelbaar omwille van de inhaalbeweging gedurende de laatste eeuw van de BRIC-landen (Brazilië, Rusland, India en China).
- **Demografie:** massale migraties ten gevolge van klimaatverandering. België – en met uitbreiding heel West-Europa – is daarbij een belangrijk toevluchtsoord omwille van de beperkte impact van de klimaatverandering.

C.4.2.2 Scenario 2: maatschappelijke chaos

De samenleving is volledig gedestabiliseerd. De mogelijke ontwikkelingen die hiertoe geleid hebben, zijn terroristische aanslagen op verschillende politiek-economische knooppunten op aarde, waaronder Brussel als Europees administratief centrum. De terreur zorgde voor een implosie van bestaande instellingen en stabiele overheden. Daardoor is er geen stabiel economisch wereldsysteem meer en zijn economisch sturende instellingen in verval geraakt. De rest van de samenleving verkeert in chaos.

Primair domein: **cultureel-maatschappelijk:** maatschappelijke chaos, met grote onveiligheid ten gevolge van criminele bendes. Individualistisch perspectief.

Andere bouwstenen:

- **Wetenschap:** de wetenschap was stabiel geëvolueerd tot op het moment van de destabilisatie, maar heroriënteert zich sindsdien binnen de nieuwe economische logica, waarbij extreme concurrentie toch nog zorgt voor innovatie. De energieproductie gebeurt nog gedeeltelijk uit kernenergie.
- **Ecologie:** er is sprake van een opwarming van de aarde. Ten gevolge van het trage besluitvormingsproces is België onvoldoende voorbereid op de maatschappelijke gevolgen, met een toename van het aantal overstromingen en andere klimaatgerelateerde fenomenen als gevolg.
- **Ruimte:** ten gevolge van de maatschappelijke chaos en het verdwijnen van de autoriteit van de overheid is het ruimtegebruik niet langer gestructureerd. Er is sprake van een meer verspreid ruimtegebruik (ruimtelijke chaos).
- **Politiek:** het overheidsbestel is ineengestort. Het leiderschap is verspreid en wordt grotendeels opgenomen door de economische wereld (d.w.z. private bedrijven)

- Economie: in transitie; de economie past zich aan de nieuwe maatschappelijke situatie aan en probeert daarbij een leidende rol op te nemen binnen de maatschappij.
- Demografie: na het doormaken van de demografische transitie is de bevolking in Europa gestabiliseerd en blijft deze hangen rond het vervangingsniveau van 2,1 kinderen per vrouw.

C.4.2.3 Scenario 3: dictatuur

Het democratisch politiek bestel is omvergeworpen door een radicale, religieuze sekte. De instellingen zijn nog intact, maar worden aangestuurd door een dictatuur.

Primair domein: **politiek**: dictatuur. Geen persvrijheid, er wordt geen rekening gehouden met mensenrechten en individuele vrijheid.

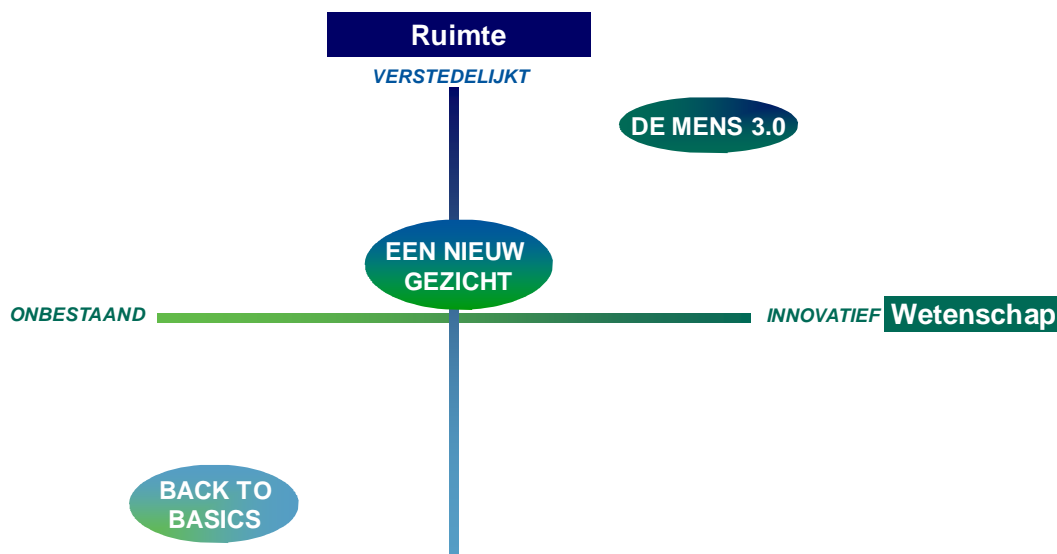
Andere bouwstenen:

- Wetenschap: de wetenschap is innovatief en maatschappijgericht, maar wordt sinds het aantreden van de dictator gestuurd en gefocust op de exacte wetenschappen. In 2100 is er een volledige energietransitie achter de rug en is het overgrote deel van de energieproductie hernieuwbaar, waardoor nog nauwelijks kernenergie gebruikt wordt. Fossiele brandstof is volledig verdwenen als bron voor grootschalig energiegebruik
- Ecologie: er is sprake van een stabilisering van het klimaat dankzij de technologische innovaties van de laatste eeuw. De temperatuurstijging blijft beperkt.
- Ruimte: na grote gedwongen migraties door de energietransitie is de menselijke activiteit uitsluitend geconcentreerd rond de stedelijke kernen. Het buitengebied is quasi volledig vrij van intensieve menselijke activiteiten.
- Cultureel-maatschappelijk: er is sprake van grote maatschappelijke tegenstellingen en onrust onder de bevolking. Een aanzienlijk deel van de bevolking is afhankelijk van de steun van de dictatuur om in de eigen levensbehoeften te voorzien door de ineenstorting van het economisch systeem in België. Dit leidt tot lokale incidenten.
- Economie: de economie is in crisis ten gevolge van de dictatuur. Belangrijke internationale bedrijven zijn weggetrokken uit de regio en het huidige overheidssysteem is te weinig gericht op een ondersteuning en stimulering van de economie en de werkgelegenheid.
- Demografie: de dictatuur legt een één-kind-politiek op, waardoor het bevolkingsaantal daalt.

C.4.3 Lange termijn: het jaar 3000

De toekomstschetsen voor de lange termijn (horizon 3000) zijn opgebouwd vanuit twee maatschappelijke domeinen die een eerder trage doch radicale evolutie kunnen doormaken doorheen de tijd en die een directe impact kunnen hebben op het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval, nl. het ruimtegebruik en de ruimtelijke ordening enerzijds en de wetenschap anderzijds.

Door de verschillende mogelijkheden binnen deze twee domeinen met elkaar te combineren, werden drie toekomstschetsen voor de lange termijn ontwikkeld. Dit wordt visueel weergegeven in Figuur 71.



Figuur 71: Scenario's voor de lange termijn

Hieronder worden de drie scenario's meer in detail beschreven.

C.4.3.1 Scenario 1: een nieuw gezicht voor de aarde

Ten gevolge van de klimaatverandering zijn laaggelegen gebieden, waaronder delen van België, langzaam verdwenen onder de oceanen. Aangezien dit een traag proces geweest is dat voldoende op voorhand gekend was, werd de bevolkingsmigratie voorbereid en heeft de Belgische samenleving een nieuw onderkomen gevonden onder het gezag van de World Alliance (een voortvloeisel uit o.m. de Verenigde Naties en de Europese Unie).

Primair domein: **ecologie**: de klimaatverandering heeft zich doorgezet, met de voorspelde effecten (stijging van de zeespiegel, opwarming van de aarde, enzovoort) als gevolg.

Andere bouwstenen:

- **Wetenschap**: de wetenschap is onvoldoende geëvolueerd om de klimaatverandering tegen te gaan of om te buigen. Energieproductie is doorheen de eeuwen wel quasi volledig hernieuwbaar geworden. Omwille van de stopzetting van energieproductie in kerncentrales is ook het wetenschappelijk onderzoek op dat domein stopgezet. De kennis over het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval is echter bewaard.
- **Ruimte**: er is een gebrek aan bewoonbare oppervlakte in bepaalde delen op aarde. De lager gelegen delen van België zijn verdwenen onder de zeespiegel.
- **Cultureel-maatschappelijk**: ondanks de grootschalige veranderingen die de samenleving heeft ondergaan ten gevolge van de klimaatverandering is de maatschappelijke orde op regionaal niveau relatief stabiel gebleven. Wel blijft er zoals doorheen de hele geschiedenis van de moderne mens sprake van kleinschalige oorlogen en terrorisme.

- Politiek: de samenleving wordt gestuurd door een centralistische overheid vanuit een perspectief van verlicht despotisme. De vroegere democratische werking werd verlaten wegens inefficiënt.
- Economie: de economie is in transitie ten gevolge van de klimaatverandering en de grootschalige migraties van de mens naar hoger gelegen gebieden, maar blijft vitaal.
- Demografie: er is een stabilisering opgetreden van de wereldbevolking rond de kaap van 15 miljard. Het huidige kennisniveau, gecombineerd met een efficiënte, centralistische organisatie van de voedselproductie en –distributie, maakt dat de mens in staat is te voldoen aan de behoeften van dit aantal.

C.4.3.2 Scenario 2: back to basics

Ten gevolge van milieuproblemen, een economische crisis, een groeiende kloof tussen arm en rijk, overbevolking en massale migraties, gecombineerd met een pandemie, is het bestaande bestel ineengestort. Dit heeft geleid tot maatschappelijke chaos, waarbij er geen collectieve infrastructures meer aanwezig zijn, noch een overkoepelende sturende organisatie. De wereld wordt gedirigeerd door criminele bendes. De locatie waar het radioactief afval ooit beheerd werd, is momenteel verlaten en onbekend. Ook alle wetenschappelijke kennis is verloren.

Primair domein: **wetenschap**: alle wetenschappelijke en technologische kennis is verloren gegaan. De mens is terug beland in een “mechanische” samenleving, waarin enkel basiskennis over techniek nog voorhanden is. Voor energieproductie is de mens opnieuw grotendeels aangewezen op fossiele brandstoffen. De locatie waar het radioactief afval ooit beheerd werd, is momenteel verlaten en onbekend. Ook alle wetenschappelijke kennis is verloren.

Andere bouwstenen:

- Ecologie: de aarde is sterk vervuild en de klimaatverandering heeft zich doorgezet.
- Ruimte: er is slechts sprake van beperkt ruimtegebruik door de mens door het lage bevolkingsaantal. De mens is voornamelijk gegroepeerd in verspreide nederzettingen.
- Cultureel-maatschappelijk: de vroegere maatschappelijke orde is verdwenen. Afhankelijk van de regio is er sprake van kleinschalige dictaturen of meer democratische samenlevingen. Buiten deze afgebakende centra is er sprake van wetteloosheid en regeert de criminaliteit.
- Politiek: er is geen centraal leidinggevend orgaan meer zoals de overheid in de 21e eeuw.
- Economie: de economie is ineengestort tot een niveau waarin voornamelijk voorzien wordt in de primaire levensbehoeften. Er is vooral sprake van ruilhandel waarin edelmetalen als belangrijkste munteenheid gelden.
- Demografie: de bevolkingsgroei is geïmplodeerd ten gevolge van een lage nataliteit en een hoge mortaliteit. De bevolkingsdensiteit is in bepaalde gebieden zeer laag.

C.4.3.3 Scenario 3: de mens – versie 3.0

De maatschappij is geëvolueerd doorheen de eeuwen. Er is sprake van een hoogtechnologise en innovatieve samenleving met een stabiele maatschappelijke orde.

Primair domein: **ruimte**: er is sprake van overbevolking en alle bruikbare oppervlakte wordt gebruikt voor menselijke activiteiten. Dit gecombineerd met een nieuwe ijstijd heeft ervoor gezorgd dat de mens zich in de ruimte gaan vestigen is en op aarde steeds meer ondergronds gaan leven is.

Andere bouwstenen:

- **Ecologie**: de opwarming van de aarde werd verhinderd. Het klimaat op aarde is zich echter vanuit een natuurlijke cyclus in de richting van een nieuwe ijstijd aan het begeven.
- **Cultureel-maatschappelijk**: er is sprake van een stabiele maatschappelijke orde, waarbij de technologische innovaties ingezet worden voor het voorkomen van menselijke deprivatie.
- **Politiek**: het politieke systeem is stabiel met een democratisch leiderschap.
- **Economie**: de economie is zeer vitaal en is gericht op het welzijn van ieder individu in de samenleving. Werkloosheid is quasi onbestaande.
- **Demografie**: omwille van de maatschappelijke voorspoed wordt de samenleving gekenmerkt door een hoge nataliteit, met bevolkingsgroei tot gevolg. Hierdoor is er sprake van een zeer hoge bevolkingsdensiteit.

C.5 Toetsing van de maatschappelijke robuustheid aan de toekomstbeelden

In deze paragraaf wordt tenslotte de maatschappelijke robuustheid van de beheeropties getoetst aan de verschillende toekomstbeelden voor de korte termijn (Tabel 61) en voor de lange termijn (Tabel 62).

Per toekomstscenario wordt er telkens een korte bespreking van de maatschappelijke robuustheid per aspect gegeven, alsook een synthese hiervan aan de hand van symbolen, namelijk:

- ☺: positieve beoordeling
- ☹: neutrale beoordeling
- ☹: negatieve beoordeling
- /: niet relevant

Hierbij moeten nog enkele aandachtspunten geformuleerd worden:

- De beoordeling gebeurt vanuit een absoluut (en niet relatief) perspectief. Een bepaalde beheeroptie kan dus voor alle drie de scenario's een negatieve beoordeling krijgen, ook al is de beoordeling in het ene scenario nog iets negatiever dan in het andere scenario.
- Ten tweede wordt de onderstaande beoordeling ook telkens voornamelijk opgemaakt vanuit het perspectief van de beheeroptie en niet vanuit het perspectief van de scenario's. Er wordt met andere woorden niet nagegaan of een bepaald aspect van robuustheid (bv. flexibiliteit) mogelijk is in een bepaald scenario. Wel wordt bekeken of het aspect relevant is in een bepaald scenario en hoe de beheeroptie scoort voor dat welbepaalde aspect van robuustheid in een bepaald scenario. Het beoordelen van de robuustheid van de beheeropties gaat namelijk na of die opties bestand zijn tegen verschillende maatschappelijke ontwikkelingen en of de drie aspecten (i.c. flexibiliteit, autonomie en veiligheid) meer of minder

relevant zijn voor de beoordeling van de maatschappelijke robuustheid, gegeven het scenario

- Voor de korte termijn beoordeling van de robuustheid worden een aantal beheeropties samen genomen omdat er vanuit het perspectief van robuustheid geen onderscheid te maken valt. Het gaat om de beheeropties “langdurige opslag in afwachting van een beslissing voor een beheeroptie die definitief kan worden”, “opslag in afwachting van industriële toepassing van geavanceerde nucleaire technologieën” en “eeuwigdurende opslag”. Deze opties zullen kortweg aangeduid worden als “langdurige of eeuwigdurende opslag”.

Tabel 61: Beoordeling van de maatschappelijke robuustheid voor de korte termijn

		Scenario 1: BAU	Scenario 2: maatschappelijke chaos	Scenario 3: dictatuur
Status quo-optie	Flexibiliteit	<p>☺ In dit scenario met democratisch bestel is flexibiliteit mogelijk.</p> <p>Enkel indien de huidige leiders zouden beslissen om voor een andere beheeroptie te kiezen op basis van ethische of andere overwegingen is de flexibiliteit van belang. In dat geval scoort deze optie positief.</p>	<p>☹ In dit scenario is flexibiliteit een complexere aangelegenheid dan in BAU.</p> <p>Het is niet evident om in een maatschappelijke chaos een besluitvormingsproces te veranderen of om op vorige beslissingen terug te komen. In die zin krijgt dit aspect van robuustheid in dit scenario een negatieve beoordeling. .</p> <p>Anderzijds heeft deze optie een intrinsieke flexibiliteit. Vermits te verwachten is dat in dit scenario het actief beheer wegvalt en er omwille van de beperkte autonomie van deze optie radiologische risico's optreden, is flexibiliteit nodig om het radioactief materiaal te herconditioneren in een meer stabiele omgeving. Dus indien men (bv. de internationale gemeenschap) van mening zou zijn dat de locatie van deze optie in gevaar zou zijn, en het radioactief materiaal zou willen herconditioneren op een andere locatie is flexibiliteit een belangrijk aspect. In dat geval wordt deze optie positief beoordeeld.</p> <p>Door deze tegenstrijdige componenten krijgt deze optie in dit scenario een neutrale beoordeling.</p>	<p>☹ Ook in dit scenario is flexibiliteit niet eenduidig te beoordelen.</p> <p>In een dictatuur is het mogelijk om snel en efficiënt een beleidsbeslissing te wijzigen en is er dus een grote mate aan flexibiliteit inzake besluitvorming. Deze besluitvorming kan echter uitgaan van een goedaardig of kwaadaardig perspectief. In die zin is flexibiliteit in dit scenario niet steeds aangewezen.</p> <p>Indien men (bv. de internationale gemeenschap) van mening zou zijn dat het afval getransporteerd zou moeten worden naar een andere locatie omwille van mogelijk kwaadaardig gebruik door de dictatuur zelf, is de flexibiliteit een belangrijk aspect. In dat geval wordt deze optie positief beoordeeld.</p>

	Autonomie	/	In dit scenario is autonomie in se geen vereiste. Het actief beheer blijft gewaarborgd gezien de omstandigheden. Dit aspect is in dit scenario dan ook niet relevant.	☹	In dit scenario is er een hoge eis voor autonomie van de beheeroptie, vanwege het plotseling wegvallen van het systeem dat instaat voor het actief beheer. Deze optie vereist echter dat de uitrusting van de opslaginstallatie (machines, ventilatie, systemen voor monitoring en controle, ...) gedurende de volledige levensduur operationeel blijven en onderhouden en vervangen moeten worden. In een scenario van maatschappelijke chaos is dit weinig waarschijnlijk en treden er op termijn veiligheidsproblemen op. Deze optie scoort in dit scenario dan ook sterk negatief.	☹	In dit scenario is er normaliter geen autonomie nodig, vermits in een dictatuur het actief beheer gegarandeerd blijft. Echter, gezien de mogelijke wispelturigheid van een dictatuur, is autonomie gedurende een bepaalde periode aangewezen. Deze optie scoort hier eerder negatief.
	Veiligheid	☺	De beveiliging wordt hier neutraal beoordeeld, gezien de beperkte dreigingen en de goede beveiliging en monitoring.	☹	Gezien de maatschappelijke chaos en de expliciete dreigingen is beveiliging in dit scenario een prioriteit. Het veiligheidsniveau van deze optie ten opzichte van externe dreigingen is echter laag, zeker indien ook het actief beheersysteem dreigt weg te vallen. In dat geval treedt er zelfs niet enkel een extern, maar ook een intern veiligheidsprobleem (cf. autonomie) op.	☹	Hoewel deze optie relatief gezien het minst bestand is tegen menselijke dreigingen, is de veiligheid hier in bepaalde mate gegarandeerd doordat het monitoring- en controlesysteem normaliter blijft bestaan in dit scenario. Echter, deze optie is weinig bestand tegen mogelijk wanbeheer door de dictatuur zelf die de macht in handen heeft.
Langdurige of eeuwigdurende opslag	Flexibiliteit	☺	Idem als status quo-optie	☺	Idem als status quo-optie. Wel is de autonomie bij deze opties groter, waardoor de nood aan flexibiliteit op korte termijn iets beperkter is.	☺	Idem als status quo-optie

	Autonomie	/	Idem als status quo-optie	☹️	<p>In dit scenario is er een hoge eis voor autonomie van de beheeroptie, vanwege het plotseling wegvallen van het systeem dat instaat voor het actief beheer.</p> <p>De structuur van deze optie is – ten opzichte van de status quo-optie – gericht op een langere termijn. In die zin wordt deze optie in dit scenario neutraal beoordeeld op dit aspect.</p> <p>Echter, indien de chaos zou leiden tot stroomonderbrekingen die de monitoring van de installatie beïnvloeden, treedt er op termijn een veiligheidsprobleem op, net zoals bij de status quo-optie.</p>	☹️	<p>In dit scenario is er normaliter geen autonomie nodig, vermits in een dictatuur het actief beheer gegarandeerd blijft. Echter, gezien de mogelijke wispelturigheid van een dictatuur, is autonomie gedurende een bepaalde periode aangewezen. Deze optie scoort hier neutraal gezien de autonomie op korte termijn van deze optie.</p>
	Veiligheid	☹️	<p>Het veiligheidsrisico is hier matig. De veiligheid wordt meer dan bij de status quo-optie gegarandeerd via aangepaste infrastructuur e.d. Toch blijft er een zeker beveiligingsrisico voor kwaadwillig opzet bestaan.</p>	☹️	<p>Het veiligheidsrisico is hier eerder hoog. De veiligheid wordt meer dan bij de status quo-optie gegarandeerd via aangepaste infrastructuur e.d. Toch blijft er een zeker beveiligingsrisico voor kwaadwillig opzet bestaan, zeker indien het actief beheer wegvalt.</p>	☹️	<p>Het veiligheidsrisico is hier matig. De veiligheid wordt meer dan bij de status quo-optie gegarandeerd via aangepaste infrastructuur e.d. Toch blijft er een zeker beveiligingsrisico voor kwaadwillig opzet bestaan, zeker bij misbruik door de dictatuur zelf of indien het actief beheer wegvalt.</p>

Geologische berging	Flexibiliteit	☺ In dit scenario met democratisch bestel is er flexibiliteit mogelijk. Enkel indien de huidige leiders zouden beslissen om voor een andere beheeroptie te kiezen op basis van ethische of andere overwegingen is de flexibiliteit hier van belang. In dat geval scoort deze optie positief: de installatie bevindt zich op de korte termijn namelijk nog in operationele fase en is relatief toegankelijk.	☹ In dit scenario is flexibiliteit een complexere aangelegenheid dan in BAU. Het is niet evident om in een maatschappelijke chaos een besluitvormingsproces te veranderen of om op vorige beslissingen terug te komen. In die zin krijgt dit aspect van robuustheid in dit scenario een negatieve beoordeling. . Anderzijds is flexibiliteit bij deze optie in dit scenario minder een vereiste. Enkel indien men van mening zou zijn dat de locatie van deze optie in gevaar zou zijn, is de flexibiliteit een belangrijk aspect. In dat geval wordt deze optie eerder positief beoordeeld: de installatie bevindt zich namelijk nog in operationele fase op de korte termijn en is relatief toegankelijk.	☹ In dit scenario is flexibiliteit niet eenduidig te beoordelen. In een dictatuur is het mogelijk om snel en efficiënt een beleidsbeslissing te wijzigen en is er dus een grote mate aan flexibiliteit inzake besluitvorming. Deze besluitvorming kan echter uitgaan van een goedaardig of kwaadaardig perspectief. In die zin is flexibiliteit in dit scenario niet steeds aangewezen. Geologische berging laat op korte termijn in operationele fase wel toe om het afval terug te nemen. Dit is relevant indien men (bv. de internationale gemeenschap) van mening zou zijn dat het afval getransporteerd zou moeten worden naar een andere locatie omwille van mogelijk kwaadaardig gebruik door de dictatuur zelf. In dat geval wordt deze optie positief beoordeeld.
	Autonomie	/ In dit scenario is autonomie geen vereiste. Het beheer blijft gewaarborgd gezien de omstandigheden. Dit aspect is in dit scenario dan ook niet relevant.	☺ In dit scenario is er een hoge eis voor autonomie van de beheeroptie, vanwege het plotseling wegvallen van het systeem dat instaat voor het beheer. Aangezien deze optie op lange termijn autonoom kan functioneren, wordt deze optie in dit scenario positief beoordeeld op dit aspect, ook in geval van een systeemuitval op operationeel niveau (bv. stroompanne) ten gevolge van de chaos.	☺ In dit scenario is er normaliter geen autonomie nodig, vermits in een dictatuur het actief beheer gegarandeerd blijft. Echter, gezien de mogelijke wispelturigheid van een dictatuur, is autonomie gedurende een bepaalde periode aangewezen. Deze optie scoort hier positief zelfs op lange termijn.

	Veiligheid	☺ Het veiligheidsrisico op de bergingslocatie is hier klein, dankzij de kunstmatige en natuurlijke barrières – hoewel op korte termijn de bergingsinstallatie niet of slechts gedeeltelijk afgesloten zal zijn.	☺ Het veiligheidsrisico is hier matig. Enerzijds zijn er de kunstmatige en natuurlijke barrières van de geologische berging – hoewel op korte termijn de bergingsinstallatie niet of slechts gedeeltelijk afgesloten zal zijn. Anderzijds verkeert de samenleving in een onstabiele situatie met meer dreigingen, zeker indien het actief beheer wegvalt ten gevolge van de chaos.	☺ Het veiligheidsrisico is hier eerder klein, dankzij de kunstmatige en natuurlijke barrières – hoewel op korte termijn de bergingsinstallatie niet of slechts gedeeltelijk afgesloten zal zijn. Enkel bij beoogd misbruik door de dictatuur zelf scoort deze optie eerder negatief. De totale beoordeling is dan ook eerder neutraal.
Berging in diepe boorgaten	Flexibiliteit	☺ In dit scenario met democratisch bestel is flexibiliteit mogelijk. Enkel indien de huidige leiders zouden beslissen om voor een andere beheeroptie te kiezen op basis van ethische of andere overwegingen is de flexibiliteit hier van belang. De flexibiliteit is eerder beperkt in deze optie. Globaal scoort deze optie voor dit scenario inzake flexibiliteit eerder neutraal.	/ In dit scenario is bij deze beheeroptie in flexibiliteit in se geen vereiste. Enkel indien men van mening zou zijn dat de locatie van deze optie in gevaar zou zijn, is de flexibiliteit een belangrijk aspect. Gezien de hoge mate van veiligheid voor dreigingen van deze optie is dit aspect hier niet relevant.	/ In dit scenario is bij deze beheeroptie in flexibiliteit in se geen vereiste. Enkel indien men van mening zou zijn dat de locatie van deze optie in gevaar zou zijn, is de flexibiliteit een belangrijk aspect. Gezien de hoge mate van veiligheid voor dreigingen van deze optie is dit aspect hier niet relevant.
	Autonomie	/ Idem als geologische berging	☺ Idem als geologische berging	☺ Idem als geologische berging
	Veiligheid	☺ Het beveiligingsrisico is hier quasi onbestaande dankzij de kunstmatige en natuurlijke barrières.	☺ Het beveiligingsrisico is hier quasi onbestaande dankzij de kunstmatige en natuurlijke barrières.	☺ Het beveiligingsrisico is hier quasi onbestaande dankzij de kunstmatige en natuurlijke barrières.

Tabel 62: Beoordeling van de maatschappelijke robuustheid voor de lange termijn

		Scenario 1: een nieuw gezicht voor de aarde	Scenario 2: back to basics	Scenario 3: de mens – versie 3.0
Actief beheer	Flexibiliteit	☺ De flexibiliteit van deze optie is groot. Deze optie laat toe om het afval te verplaatsen naar een nieuwe locatie die beschermd is tegen de gevolgen van de klimaatverandering en waar verdere monitoring en controle mogelijk blijven.	☺ De flexibiliteit van deze optie is groot, maar in dit scenario is er geen reden tot het terugnemen van het afval, behalve door internationale overheidsinstanties die het afval op een veiligere locatie kunnen beheren, omwille van de beperkte autonomie van deze optie. Vanuit dat perspectief scoort deze optie in dit scenario positief, maar is de eis tot flexibiliteit net een gevolg van andere aspecten waar deze optie negatief op scoort (i.c. autonomie).	☺ De flexibiliteit van deze optie is groot. Deze optie laat toe om het afval te verplaatsen naar een nieuwe locatie indien de huidige locatie in de toekomst voor andere doeleinden gebruikt moet worden. Een andere reden voor flexibiliteit in dit scenario is de aanwezigheid van nieuwe kennis en technologieën om het afval op een meer hoogwaardige en/of permanente wijze te verwerken/bergen.
	Autonomie	☹ De autonomie van deze optie is gegarandeerd voor 100 à 300 jaar, mits monitoring- en controlesystemen operationeel blijven. Om ook de autonomie tot het jaar 3000 te kunnen garanderen moet de installatie elke 300 jaar herbouwd worden. Wel is deze optie in staat om kortstondige periodes van non-beheer te doorstaan. Deze optie is echter niet geschikt om autonoom te functioneren in geval de beheersite onder de zeespiegel verdwijnt.	☹ De autonomie van deze optie is gegarandeerd voor 100 à 300 jaar, mits monitoring- en controlesystemen operationeel blijven. In dit scenario is de kans groot dat deze systemen uitvallen, met een aanzienlijk risico voor de veiligheid tot gevolg. Indien de ondersteuningssystemen operationeel blijven, is deze optie wel in staat om op een veilige en autonome manier een periode van non-beheer te overbruggen. Elke 300 jaar moet de installatie herbouwd worden.	☹ De autonomie van deze optie is gegarandeerd voor 100 à 300 jaar, mits monitoring- en controlesystemen operationeel blijven. Om ook de autonomie tot het jaar 3000 te kunnen garanderen moet de installatie elke 300 jaar herbouwd worden. Gezien de stabiele en hoogtechnologische situatie van de samenleving kan aan de randvoorwaarden inzake autonomie voldaan worden vanuit de samenleving.

		Scenario 1: een nieuw gezicht voor de aarde	Scenario 2: back to basics	Scenario 3: de mens – versie 3.0
	Veiligheid	<p>☹ Het veiligheidsrisico is hier matig tot groot.</p> <p>De veiligheid wordt gegarandeerd via aangepaste infrastructuur en beveiliging, maar omwille van de relatief grote toegankelijkheid / flexibiliteit van deze optie is kwaadwillig opzet (terrorisme) hier een belangrijk risico.</p> <p>Tevens is er hier ook een duidelijk veiligheidsrisico ten gevolge van de klimaatverandering: deze optie is niet geschikt om te functioneren onder de zeespiegel. Het radioactief materiaal zal in dat geval verplaatst moeten worden naar een nieuwe locatie boven de zeespiegel.</p>	<p>☹ Het veiligheidsrisico is hier matig tot groot.</p> <p>De veiligheid wordt gegarandeerd via aangepaste infrastructuur en beveiliging, maar omwille van de relatief grote toegankelijkheid / flexibiliteit van deze optie is kwaadwillig opzet (terrorisme) hier een belangrijk risico.</p> <p>Daarnaast is er hier ook een duidelijk beveiligingsrisico ten gevolge van het technologisch verval in dit scenario: indien de samenleving zich niet snel genoeg herstelt tot een voldoende hoog technologisch niveau voor een verder beheer van het radioactief afval, ontstaat een duidelijk veiligheidsrisico omwille van de beperkte autonomie van deze beheeroptie.</p>	<p>☹ Het veiligheidsrisico is hier matig.</p> <p>Gezien de stabiele maatschappelijke omgeving in dit scenario kan zowel het risico op externe dreiging (terrorisme) als de beperkte autonomie opgevangen worden.</p> <p>Wel is een belangrijk risico hier het verdwijnen van de kennis over de locatie van de beheeroptie en de eventuele risico's die dit met zich meebrengt.</p>
Passief beheer	Flexibiliteit	<p>☹ Deze optie kent een matige tot beperkte flexibiliteit. Het terugnemen van het afval wordt moeilijker naarmate de bergingsinstallatie gedeeltelijk en vervolgens volledig wordt afgesloten. De mogelijkheden op lange termijn om het afval te recupereren voor een meer optimale oplossing zijn derhalve klein.</p> <p>Flexibiliteit is in dit scenario enkel van belang indien men in de toekomst beslist om het radioactief afval niet permanent onder de zeespiegel te laten verdwijnen. Er is geen flexibiliteit nodig bij definitieve sluiting van de installatie omwille van de hoge mate van autonomie en veiligheid.</p>	/	<p>☹ Deze optie kent een matige tot beperkte flexibiliteit, terwijl de wens tot flexibiliteit in dit scenario eerder groot is door de beperkte oppervlakte voor menselijke activiteit en de technologische vooruitgang.</p> <p>Het terugnemen van het afval wordt moeilijker naarmate de bergingsinstallatie gedeeltelijk en vervolgens volledig wordt afgesloten. De mogelijkheden op lange termijn om het afval te recupereren voor een meer optimale oplossing of voor de verplaatsing naar een andere locatie zijn derhalve klein.</p>

		Scenario 1: een nieuw gezicht voor de aarde	Scenario 2: back to basics	Scenario 3: de mens – versie 3.0
	Autonomie	☺ Deze optie is op lange termijn volledig autonoom en vraagt geen actief beheer na sluiting van de bergingsinstallatie.	☺ Deze optie is op lange termijn volledig autonoom en vraagt geen actief beheer na sluiting van de bergingsinstallatie.	☺ Deze optie is op lange termijn volledig autonoom en vraagt geen actief beheer na sluiting van de bergingsinstallatie.
	Veiligheid	<p>☺ De veiligheid van deze optie is hoog op lange termijn, zowel ten opzichte van externe dreigingen omwille van de beperkte flexibiliteit als ten opzichte van interne veiligheidsrisico's omwille van de grote mate van autonomie.</p> <p>Zelfs als de locatie onder de zeespiegel zou verdwijnen, wordt het beveiligingsrisico niet vergroot. Wel is de veiligheid voor accidentele dreigingen hier reëel, maar beperkt. Het doorgeven van kennis over de beheeroptie is ook na sluiting essentieel.</p> <p>Enkel de mogelijkheid tot monitoring en controle neemt af.</p>	<p>☺ De veiligheid van deze optie is hoog op lange termijn, zowel ten opzichte van externe dreigingen omwille van de beperkte flexibiliteit als ten opzichte van interne veiligheidsrisico's omwille van de grote mate van autonomie.</p> <p>Gezien de technologische achteruitgang en maatschappelijke instabiliteit in dit scenario is dit een belangrijke vereiste.</p> <p>De kans dat de kennis over de bergingslocatie na definitieve sluiting van de installatie verdwijnt, is in dit scenario zeer groot. Dit kan leiden tot veiligheidsrisico's in de verre toekomst als de samenleving zich herstelt.</p>	<p>☺ De veiligheid van deze optie is hoog op lange termijn, zowel ten opzichte van externe dreigingen omwille van de beperkte flexibiliteit als ten opzichte van interne veiligheidsrisico's omwille van de grote mate van autonomie.</p> <p>Ten gevolge van de overbevolking in dit scenario is de kans op onopzettelijke verstoring van de bergingsinstallatie reëel, bv. bij boringen. In combinatie met de kans dat de kennis over de bergingslocatie na definitieve sluiting van de installatie verdwijnt, leidt tot een substantieel veiligheidsrisico op lange termijn.</p>

C.6 Conclusies

Onder deze paragraaf wordt een samenvattend overzicht gegeven van de maatschappelijke robuustheid van de beheeropties voor hoogradioactief en/of langlevend afval.

Actief beheer

Op korte termijn worden alle beheeropties gekenmerkt door een of andere vorm van actief beheer. Toch kunnen we stellen dat vooral de bovengrondse opties hieronder gecatalogeerd kunnen worden, namelijk de status quo-optie en de beheeropties met langdurige of eeuwigdurende opslag.

Op korte termijn scoren deze beheeropties gemiddeld neutraal inzake maatschappelijke robuustheid: de flexibiliteit op korte termijn is hoog, maar de autonomie bij het wegvallen van het actief beheer is beperkt. Dit leidt tot veiligheidsrisico's. Ook de beveiliging tegen externe dreigingen is beperkter dan bij de beheeropties met (ondergrondse) berging. Hierbij kan gesteld worden dat een korte periode van non-beheer niet meteen een risico inhoudt, maar hoe langer het actief beheer achterwege blijft, hoe hoger de risico's. Dit geldt vooral voor de status quo-optie. De actieve beheeropties zijn met andere woorden slechts in beperkte mate bestand tegen maatschappelijke veranderingen, zeker in het politiek-institutionele domein. Dat maakt ook dat de actieve beheeropties op lange termijn relatief slecht scoren inzake maatschappelijke robuustheid. De kans op langdurige afwezigheid van actief beheer of het niet plaatsvinden van periodieke herconditionering wordt waarschijnlijker.

Passief beheer

Hieronder beschouwen we de bergingsopties, d.w.z. geologische berging en berging in diepe boorgaten. Algemeen kan gesteld worden dat deze als meer maatschappelijk robuust beschouwd kunnen worden dan de actieve beheeropties.

Geologische berging combineert een hoge mate van veiligheid en autonomie met een zekere flexibiliteit, zeker op de korte termijn. Op langere termijn neemt de flexibiliteit wel af omwille van de beperkte terugneembaarheid, maar hiervoor komt een grote mate van veiligheid en autonomie in de plaats. Bij berging in diepe boorgaten is de flexibiliteit ook op korte termijn zeer laag.

C.7 Sleutelbegrippen

Bouwstenen (sociologie): de onderdelen die sociologen gebruiken om de sociale werkelijkheid – in dit geval een mogelijke toekomstbeeld - te vatten en tot een groter geheel te bouwen (341).

Conceptualiseren: in een onderzoekshypothese worden abstracte concepten uit de theorie, die niet direct meetbaar zijn, geoperationaliseerd. Conceptualiseren wil dus zeggen: concreet formuleren en als meetbare grootte definiëren (341).

Domein (maatschappelijk): een maatschappelijk gebied dat in de figuurlijke zin in zijn geheel beheerst of beheerd wordt.

Evoluties (sociale): de ontwikkeling van traditionele naar moderne maatschappijen door middel van sociale differentiatie (en adaptieve upgrading) en gekenmerkt door evolutionaire

doorbraken. Eigenlijk gaat het om "geleidelijke ontwikkeling", waarbij niet meer gedacht wordt aan het ontrollen maar aan expansie, groeien of het geleidelijk een hogere graad van organisatie krijgen (341).

Integraal toekomstbeeld: integraal betekent hier per definitie structureel, d.w.z. evenzeer gericht op de (structurele) samenhang tussen alle relevante aspecten van de toekomstperspectieven als op de afzonderlijke mogelijke maatschappelijke ontwikkelingen in de toekomst.

Ontwikkelingen: wijze waarop de samenleving zich doorheen de tijd vormgeeft.

Operationaliseren: het concreet formuleren en als meetbare grootheid definiëren.

Processen (maatschappelijke): de aaneenschakeling van maatschappelijke activiteiten in de fase tussen het initiëren en het afronden van een maatschappelijke ontwikkeling. Maatschappelijke processen zijn voortschrijdend, het einde is veelal kunstmatig.

Scenario-analyse: verkenning van meerdere mogelijke toekomsten waarbij rekening wordt gehouden met de onzekerheid en de samenhang van ontwikkelingen.

Toekomstbeeld: visie op de samenleving zoals deze er in de toekomst zou kunnen uitzien.



BIJLAGE D ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN VOOR EEN GEDEELDE OPLOSSING VOOR HET BEHEER VAN HOOG-RADIOACTIEF EN/OF LANGLEVEND AFVAL

D.1 Inleiding

Na jaren van onderzoek wordt geologische berging door de meeste landen erkend als de aangewezen beheeroptie voor hoogradioactief en/of langlevend afval (zie Bijlage B). Door de technische en wetenschappelijke complexiteit, de gevraagde investeringen en de verschillen tussen landen wat betreft hun gebruik van kernenergie is bij internationale organisaties het idee ontstaan om een geologische bergingsinstallatie te delen. De pilootinstallatie Eurochemic voor opwerking is een voorbeeld van samenwerking die gerealiseerd werd in de schoot van de OESO en de Europese Commissie.

Over gedeelde berging werden verschillende studies uitgevoerd, waaronder een studie over het identificeren van een ideale site om grote hoeveelheden afval te bergen. De meest recente studie is echter vastgelopen op een categorieke weigering van de landen aan wie een dergelijke berging voorgesteld werd.

De motieven om te kiezen voor gedeelde berging als langetermijnbeheeroptie voor hoogradioactief en/of langlevend afval zijn onder meer:

- De kosten voor onderzoek, ontwikkeling en implementatie van geologische berging in eigen land zijn aanzienlijk. Voor sommige landen (met name de landen die slechts weinig elektriciteit uit kernenergie produceren) zijn deze niet in verhouding tot de omvang van het nucleaire programma.
- Voor landen die geen elektriciteit produceren uit kernenergie is de financiering van een geologische bergingsinstallatie nagenoeg onmogelijk. Het is echter mogelijk dat dergelijke landen wel radioactieve bronnen bezitten die langetermijnbeheer vergen.
- Afwezigheid van een geschikte gastformatie voor geologische berging in eigen land
- Het vermijden van moeilijkheden verbonden met de keuze voor een site op eigen grondgebied
- Afwachtende houding

Het hoogradioactief en/of langlevend afval naar het buitenland sturen zou inhouden dat vanaf een bepaald punt de volledige verantwoordelijkheid voor het beheer overgedragen wordt aan een ander land. Dit is echter in strijd met het Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval (42), die stelt dat het land van oorsprong de eerste verantwoordelijkheid heeft voor het hoogradioactief en/of langlevend afval:

"[...] Convinced that radioactive waste should, as far as is compatible with the safety of the management of such material, be disposed of in the State in which it was generated, whilst recognizing that, in certain circumstances, safe and efficient management of spent fuel and radioactive waste might be fostered through agreements among Contracting Parties to use facilities in one of them for the benefit of the other Parties, particularly where waste originates from joint projects; [...]"

Dit verdrag werd in 2002 geratificeerd door België. Ook de EU is, via de Europese Gemeenschap voor Atoomenergie (Euratom), toegetreden tot het Gezamenlijk Verdrag. Het

hoogradioactief en/of langlevend afval naar het buitenland sturen is dus duidelijk in tegenspraak met supranationale regelgeving waaraan België gebonden is.

Het Gezamenlijk Verdrag is ook de reden waarom landen met een belangrijk nucleair programma zich engageren tot het vinden van een nationale oplossing. Bovendien laat de wetgeving in de meeste landen (vooral in die landen die veel onderzoek verricht hebben naar geologische berging, zoals Zweden en Frankrijk) niet toe om afval te bergen dat afkomstig is van andere landen.

Om toch rekening te kunnen houden met de specifieke noden van landen met een beperkt nucleair programma of met nieuwe lidstaten van de Europese Unie die nog niet over de nodige financiële middelen of expertise beschikken voor het langetermijnbeheer van hoogradioactief en/of langlevend afval, namen het IAEA en de Europese Commissie toch een reeks initiatieven die de technische, juridische en economische mogelijkheden van een gedeelde berging onderzoeken (342), (343).

Leeswijzer

Deze bijlage geeft de status weer van het onderzoek naar de mogelijkheden om op termijn een Europese geologische bergingsinstallatie te ontwikkelen.

In een eerste deel wordt kort beschreven hoe het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval geïntegreerd kan worden.

Daarna wordt een historisch overzicht gegeven van de verschillende initiatieven die tot nu toe genomen werden op Europees niveau. Er wordt bijzondere aandacht gegeven aan de resultaten van het Europese onderzoeksprogramma SAPIERR om de volgende redenen:

- Het is het meest recente initiatief m.b.t. het concept gedeelde berging
- Het hanteert een geïntegreerde aanpak, waarbij wetenschappelijke, beveiligings-, juridische en socio-economische aspecten aan bod komen
- Het is een Europees initiatief en dus van belang voor België

Vervolgens wordt de visie van het Internationaal Atoomagentschap (IAEA) en de Europese Commissie op het concept gedeelde berging samengevat.

Tot slot wordt de visie gegeven van de vereniging van voorzitters van de nationale organisaties die instaan voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval (Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Materials of EDRAM).

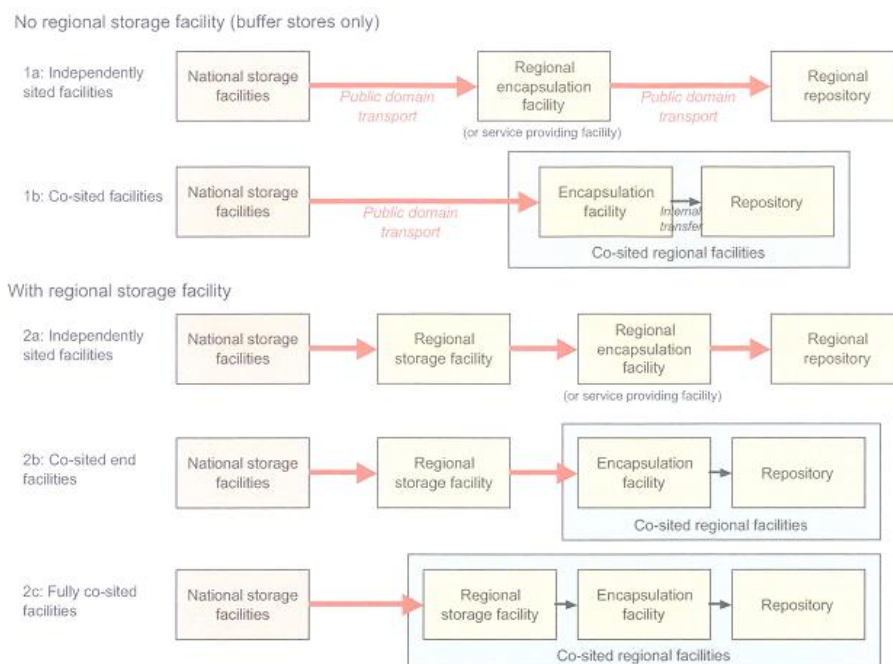
D.2 Het concept gedeelde berging

Het idee van gedeelde berging werd reeds ontwikkeld in de jaren '70. Toen werden meestal de termen multinationale berging (samenwerking tussen een aantal landen) en regionale berging (samenwerking op continentale schaal) gebruikt (344). Nu is de term gedeelde berging gebruikelijk.

Berging is één mogelijke beheeroptie als laatste stap van een geïntegreerd afvalbeheer. In de context van een internationale aanpak voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval wordt geologische berging als de referentie-beheeroptie beschouwd (345), (346).

Voordat het hoogradioactief en/of langlevend afval geborgen kan worden, zijn een aantal voorafgaande stappen nodig. Het betreft tijdelijke opslag van bv. verglaasd afval of bestraalde splijtstof en de post-conditionering met het oog op geologische berging. Deze stappen kan men in theorie eveneens in meer of mindere mate integreren.

In de onderstaande figuur wordt schematisch weergegeven hoe de verschillende activiteiten van tijdelijke opslag (nationaal of internationaal), de post-conditionering van het afval met het oog op geologische berging (nationaal of internationaal) en uiteindelijk de berging zelf (nationaal of internationaal) conceptueel geïntegreerd kunnen worden.



Figuur 72: Opties voor een gedeeld beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval

Het concept om de tijdelijke opslag en de conditionering van het afval te concentreren in een internationale installatie overstijgt het beperktere concept van een gedeelde geologische bergingsinstallatie.

D.3 Historisch overzicht van het onderzoek naar gedeelde berging

In de begindagen van het gebruik van kernenergie vond men niet dat de ontwikkeling van nucleaire technologieën onafhankelijk van andere landen moest gebeuren. De splijtstofcyclus was erg internationaal ontworpen. Landen die kozen voor kernenergie vonden niet dat ze zelf alle nodige activiteiten moesten ontwikkelen. Verscheidene landen boden diensten aan inzake verrijking van uranium en productie van kernenergie. Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk en Rusland aanvaardden bestraalde splijtstof van andere landen voor opwerking. Vanaf de jaren '70 werden er voorstellen gedaan over internationaal beheer

van hoogradioactief en/of langlevend afval. Zo stelde het IAEA voor om regionale of multinationale centra op te richten waar alle aspecten van de splijtstofcyclus – dus ook de berging – uitgevoerd konden worden (347).

In het begin van de jaren '80 concretiseerde dit zich in de oprichting van enkele expertengroepen in de schoot van het IAEA (348). Deze expertengroepen onderzochten de mogelijkheid van internationaal beheer en internationale berging. De resultaten bleven echter uit en de werking van de expertengroepen werden stopgezet.

Op initiatief van Duitsland en de Verenigde Staten (349) werden de expertengroepen in 1993 opnieuw samengesteld en werd het concept IMRSS (International Monitored Retrievable Storage) ontwikkeld.

Rond de eeuwwisseling begon de interesse voor gedeelde berging van hoogradioactief en/of langlevend afval te groeien. Dit initiatief werd aangewakkerd door de vaststelling dat geologische berging een zware financiële inspanning vergt van de landen die deze beheeroptie als hun voorkeursoptie weerhielden. Bovendien stelde zich het groeiende probleem van de proliferatie van radioactief materiaal. Dit initiatief was echter prematuur en te commercieel georiënteerd en de resulterende voorstellen werden niet opgevolgd (350).

In 2002 werd de niet-commerciële Associatie voor Regionale en Internationale Geologische Berging (ARIUS) opgericht, gevestigd in Zwitserland. Daardoor werd aan de partnerlanden een nieuwe structuur aangeboden voor verder onderzoek naar de optie van gedeelde berging (351).

In het kader van het Europese onderzoeksprogramma FP-6 werd in de periode 2003-2005 het project "Support Action on a Pilot Initiative for European Regional Repositories" (SAPIERR I) uitgevoerd. SAPIERR I was een eerste studie die Europa hielp evalueren of een gedeelde berging voor langlevend en hoogradioactief afval haalbaar was. Het onderzoeksprogramma verzamelde en integreerde informatie met het oog op de identificatie van concepten en potentiële regionale beheeropties. SAPIERR I bracht 22 organisaties samen. NIRAS nam deel als waarnemer.

Dit project werd in de periode 2006-2009 opgevolgd door SAPIERR II ("Strategic Action Plan for Implementation of European Regional Repositories"). Acht formele partnerorganisaties namen deel aan het project. Daarnaast volgden een aantal andere organisaties het project op (351). NIRAS nam niet deel aan dit project.

De huidige stand van zaken wordt in de volgende sectie verder toegelicht.

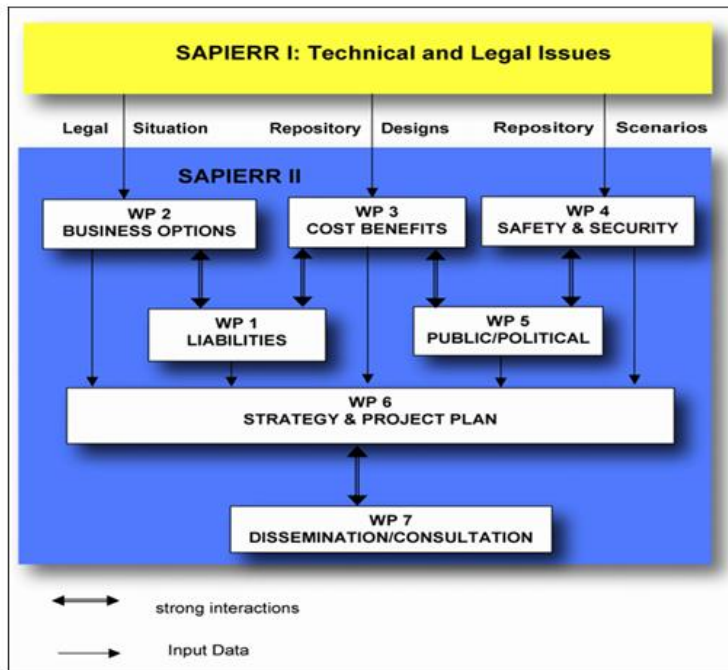
D.4 Resultaten van SAPIERR I en SAPIERR II

Uit de studies van SAPIERR I bleek dat gedeelde berging in Europa economische voordelen kan hebben (351). Specifieke voorstellen voor een gedeelde bergingsinstallatie of voor het aanduiden van potentiële sites maakten geen deel uit van de studie. Er werd gewerkt met twee scenario's: berging in graniet en berging in klei.

Op basis van de resultaten van SAPIERR I werden er in SAPIERR II een aantal werkdomeinen gedefinieerd en verder onderzocht:

- business opties
- kostenreductie

- veiligheid en beveiliging
- politieke en publieke aspecten
- passiva (aansprakelijkheid)
- de ontwikkeling van een strategie en planning
- verspreiding van resultaten naar en consultatie van het publiek



Figuur 73: Schematisch overzicht van het werkprogramma van SAPIERR I

In volgende paragrafen worden de resultaten van het SAPIERR II project samengevat.

D.4.1 Voor- en nadelen van gedeelde berging

De voordelen van een gedeelde bergingsinstallatie kunnen volgens SAPIERR II als volgt samengevat worden (350):

- Schaalvoordelen: de aanzienlijke vaste kosten verbonden met een bergingsinstallatie maken dat gedeelde berging aantrekkelijk kan zijn, in het bijzonder voor landen met kleine hoeveelheden radioactief afval.
- Landen met kleine hoeveelheden hoogradioactief en/of langlevend afval hebben eerder beschikking over een bergingsinstallatie. Voor een nationale installatie zouden zij om economische redenen wellicht lang moeten wachten met de bouw.
- Keuze uit een breder gamma geologische gastformaties.
- Combinatie van expertise uit verschillende landen.
- Eén site heeft een kleinere milieu-impact dan een aantal verspreide sites.

- De beveiliging en de safeguards-inspecties zijn gemakkelijker te realiseren op één site dan op een aantal verspreide sites.
- Centraal aanspreekpunt voor de EU en andere internationale instellingen.

Er zijn echter ook een aantal nadelen verbonden aan een gedeelde bergingsinstallatie (149):

- Een gedeelde bergingsinstallatie impliceert langere en grensoverschrijdende transportroutes. Technisch is dit geen probleem, maar de publieke opinie over nucleaire transporten is vaak negatief.

De regelgeving over de berging verschilt van land tot land.

- Er is momenteel geen hogere (multinationale) autoriteit die de gedeelde bergingsinstallatie zou kunnen controleren, hoewel het IAEA deze rol zou kunnen opnemen. Daarnaast is het niet evident om een geschikte legale vorm te creëren die de deelnemende landen organiseert. Daarvoor zou een geschikt neutraal domicilie gevonden moeten worden, dat ook in de toekomst die neutraliteit kan blijven garanderen.
- Het creëren van een internationale regulator brengt vragen met zich mee over de rol van de nationale regulatoren.
- Het toewijzen van kosten en verantwoordelijkheden aan de deelnemende landen is een zeer complexe oefening.
- Met een gedeelde bergingsinstallatie wordt een bepaalde timing opgelegd aan de deelnemende landen, die echter niet noodzakelijk ideaal is in het licht van de nationale planning van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval.
- Een gedeelde bergingsinstallatie kan moeilijker te aanvaarden zijn voor de publieke opinie. Er mag in geen geval misbruik gemaakt worden van minder ontwikkelde of politiek zwakkere regio's.

D.4.2 Veiligheids- en beveiligingsaspecten

Het is technisch mogelijk om veilig transport te organiseren. Bovendien heeft het centraliseren van de veiligheidsproblematiek een aantal voordelen. Er kan gekozen worden voor een internationale regulator en er kan passende internationale en Europese regelgeving voorzien worden. Dat zou ervoor zorgen dat de veiligheid van de berging minder afhankelijk is van nationale politieke instabiliteit, wat op lange termijn meer zekerheid kan bieden (150).

De vereisten betreffende veiligheidsmaatregelen zijn in geval van gedeelde berging vergelijkbaar met nationale initiatieven. Het voordeel van gedeeld beheer is de bundeling van de inspanningen. Multinationale samenwerking kan leiden tot een vollediger en kritischer kijk op veiligheid en beveiliging in alle stappen van het beheer. Een nadeel is het transport over langere afstanden. Hiervoor zullen mogelijk andere risicostrategieën ontworpen moeten worden (150).

D.4.3 Rechtsbasis en juridische en financiële aansprakelijkheid

Tot op vandaag is het juridisch moeilijk om een gedeelde berging van hoogradioactief en/of langlevend afval te organiseren. Richtlijn 117 van Euratom uit 2006 (352) stelt namelijk dat bilaterale overeenkomsten betreffende hoogradioactief en/of langlevend afval niet in contradictie mogen zijn met het wettelijk kader van de betrokken landen. In de meeste Europese landen laat de wet geen gedeelde berging toe door het verbod op import van hoogradioactief en/of langlevend afval.

Het radioactief afval naar het buitenland sturen zou inhouden dat vanaf een bepaald punt de volledige verantwoordelijkheid voor het beheer overgedragen wordt aan een ander land. Dit is echter in strijd met het Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijtstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval (42), die stelt dat het land van oorsprong verantwoordelijk blijft voor het radioactief afval. Dit verdrag werd in 2002 geratificeerd door België. Ook de EU is, via de Europese Gemeenschap voor Atoomenergie (Euratom), toegetreden tot het Gezamenlijk Verdrag. Het hoogradioactief en/of langlevend afval naar het buitenland sturen is dus duidelijk in tegenspraak met supranationale regelgeving waaraan België gebonden is.

Voorstanders van gedeelde berging (353) halen aan dat verandering wel mogelijk is mits politieke wil. Zo heeft Zwitserland een zeer strenge importwetgeving, maar werd voor hoogradioactief en/of langlevend afval een uitzondering gemaakt.

Toch vereist de implementatie van gedeelde berging een grondige aanpassing van de nationale en supranationale wetgeving die ingaat tegen het Gezamenlijk Verdrag. We stellen dus vast dat er op dit moment en voor het volgende decennium juridisch onoverkomelijke hinderpalen zijn die het onmogelijk maken om het concept van een gedeelde berging als beheeroptie voor hoogradioactief en/of langlevend afval te implementeren (353).

D.4.4 Economische aspecten

Het grootste voordeel van gedeelde berging is het economische aspect. Daarom vormde de kostenraming een belangrijk en uitgebreid onderdeel van de SAPIERR-studies.

Voor de kostenraming werd er gewerkt met twee referentiescenario's voor de bestudeerde types van bergingsinstallaties. Het eerste scenario omvat een grote inventaris, waarbij men uitging van het te bergen radioactief afval van de 14 landen die deelnamen aan SAPIERR I. De referentie-inventaris van SAPIERR I tegen 2040 omvat 25.637 ton bestraalde splijtstof, 355 m³ verglaasd hoogradioactief afval en 31000 m³ middelactief langlevend afval, samen goed voor 13500 containers. Bij het tweede scenario beschouwde men een kleinere inventaris van twee tot drie landen die ongeveer een kwart van de grote inventaris omvat (354).

Volgens berekeningen in SAPIERR II, gebaseerd op Zweedse (355), Finse (334) en Zwitserse (356), (357) modellen voor kostenberekeningen, zou er in geval van het eerste scenario ongeveer 25 miljard euro bespaard kunnen worden op de kosten voor siteselectie, onderzoek en ontwikkeling in vergelijking met nationale berging in elk land. Ook op transportkosten zou 6,5 tot 11% bespaard kunnen worden (354).

In geval van het tweede scenario (kleine inventaris van twee tot drie landen) zou men 3 tot 4 miljard euro kunnen besparen (354).

D.4.5 Publieke en politieke aspecten

Studies over de publieke en politieke houding tegenover geologische berging worden in hoofdzaak uitgevoerd door internationale instellingen zoals het IAEA en het NEA van de OESO. Deze studies concentreren zich op het nationale niveau of maken een vergelijking van het publieke draagvlak voor verschillende sites (358), (359). Er is echter weinig informatie beschikbaar over de publieke en politieke houding ten opzichte van gedeelde berging. In het kader van SAPIERR II werd hierover een eerste onderzoek uitgevoerd. Dit gebeurde op basis van beschikbare informatie en een rondvraag bij enkele nationale agentschappen en vertegenwoordigers van lokale gemeenschappen die met radioactief afval geconfronteerd worden (345).

Tijdens de peiling naar de positie van 13 nationale agentschappen bleek al snel dat deze agentschappen terughoudend zijn met het uiten van een officieel standpunt. De meeste agentschappen voeren in de eerste plaats onderzoek uit naar de mogelijkheden om binnen het bestaande wetgevend kader en dus op nationaal niveau hoogradioactief en/of langlevend afval op te slaan of te bergen. In Nederland werd deze kwestie al in 1984 in het parlement besproken, maar sindsdien ziet enkel Slovenië internationale berging als te verkiezen optie (345) (zie ook Bijlage B).

Ook op Europees niveau ervaart men deze kwestie als delicaat. In 1998 en 2001 werden hierover vragen gesteld in de driejaarlijkse Eurobarometer. Daarna werden de vragen hierover geschrapt. Het is dus niet mogelijk om op basis van de Eurobarometers de evolutie van de houding van de Europese burgers t.a.v. gedeelde berging te analyseren (360).

In 1998 was 86% van de Europeanen (EU met 15 landen) tegen de tijdelijke opslag van hoogradioactief en/of langlevend afval van andere landen, wilde 78% dit afval niet verwerken en wilde 80% het afval ook niet in een ander land bergen. Deze resultaten waren gelijkaardig in 2001 (345).

Toch kunnen deze resultaten genuanceerd worden als men rekening houdt met de manier waarop de vraag geformuleerd werd. Het Duitse Instituut voor Technologische Assessment en Systeemanalyse deed in 2003 een onderzoek in Duitsland waar de vraag anders geformuleerd werd (361). Men vroeg: *“Welke oplossing voor de berging van hoogradioactief en/of langlevend afval prefereert u?”*, gevolgd door de vraag *“Moet ieder land dat kernenergie produceert apart zoeken naar een oplossing voor radioactief afval of moet dit eerder internationaal geregeld worden?”*. Op deze laatste vraag antwoordde 55% dat ze een internationale oplossing prefereerden, slechts 30% wou liever een berging op nationaal niveau. Van de voorstanders van een internationale berging vond 70% dat die gedeelde berging zich binnen de EU moest bevinden en 80% kon zich vinden in het idee om de berging in Duitsland te implementeren. Omdat de deelnemers aan het SAPIERR II-onderzoeksprogramma deze vraag belangrijk achtten, werd gevraagd om deze vraagstelling in de nieuwe formulering op te nemen in Eurobarometer 2008 (345).

Op iets kleinere schaal werd een niet-representatieve bevraging georganiseerd bij de lokale afgevaardigden van de Group of European Municipalities hosting nuclear Facilities (GMF). Deze in 1993 opgerichte organisatie verenigt burgemeesters van steden of gemeenten die nucleaire installaties herbergen. De vraagstelling was specifiek toegespitst op de SAPIERR-casus. De meerderheid antwoordde positief op de vraag of ze een bergingsinstallatie zouden aanvaarden in hun stad of gemeente (345).

D.4.6 Verdere strategie en plannen

SAPIERR II ontwikkelde een voorstel m.b.t. de organisatiestructuur die op termijn tot de implementatie van een gedeelde berging voor hoogradioactief en/of langlevend afval kan leiden. Er wordt voorkeur gegeven aan een tweesporenvisie. Op die manier kan men tegemoet komen aan de landen die op dit moment nog niet willen kiezen tussen gedeelde berging en een nationale oplossing (346).

Ook in de zoektocht naar een legale vorm wil men in twee fasen werken. Tijdens de eerste fase zou ERDO, de European Repository Development Organisation, opgericht worden. Deze organisatie zou zich concentreren op onderzoek naar technische scenario's voor gedeelde berging. ERDO is opgevat als een groepering van agentschappen en is dus geen initiatief van de EU.

Daaruit zou in een tweede fase ERO, de European Repository Organisation, moeten groeien. ERO zou kunnen starten als een non-profit organisatie om op termijn uit te groeien

tot een commerciële organisatie. Ze zou zich dan vestigen in een neutrale Europese Stad met internationale uitstraling zoals Luxemburg, Brussel, Straatsburg of Genève. Het personeel zou bestaan uit afgevaardigden van de lidstaten of nationale agentschappen. De onderzoekers van SAPIERR II geven aan dat men best kiest voor de legale vorm coöperatief of een non-profit consortium (353).

SAPIERR en ERDO/ERO zijn voornamelijk bottom-up-projecten. Toch is er ook een grote top-down-relevantie. Geleidelijk is er wereldwijd een vorm van nucleaire renaissance aan de gang, waarbij veiligheidsissues aan belang winnen. Volgens SAPIERR is het daarom niet meer zo belangrijk om te zoeken naar alternatieven voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Geologische berging is immers grondig bestudeerd en er is een brede consensus over de voordelen van deze beheeroptie. Het belangrijkste onderwerp is nu eerder het betrekken van het publiek en het creëren van een maatschappelijk draagvlak (350).

Sinds vorig jaar zijn bilaterale gesprekken opgestart tussen het projectmanagement van SAPIERR II en de overheidsinstanties van de geïnteresseerde lidstaten.

D.5 Visie van het IAEA

Naast het stimuleren van internationale samenwerking m.b.t. de volledige splijtstofcyclus liet het IAEA verschillende gerichte onderzoeken uitvoeren naar de mogelijkheid van gedeelde berging van hoogradioactief en/of langlevend afval.

In 2004 werd onderzocht wat de mogelijkheden zijn om een infrastructureel kader en samenwerkingsscenario's te ontwerpen (362). Een jaar later werd een studie uitgevoerd die de technische, economische en institutionele aspecten van een gedeelde berging onder de loep nam (342). De voor- en nadelen van berging ten opzichte van opslag en het onderwerp terugneembaarheid worden in deze studie bestudeerd.

Het Rapport van de Expertgroep voor de Directeur-generaal van het IAEA over gedeelde initiatieven (363) bevat een voorstel om de productie van kernenergie en het beheer van radioactief afval te herbekijken. De auteurs zien vijf mogelijke manieren om dit aan te pakken:

- Het versterken van methoden voor kostenberekening en andere marktmechanismen die van belang zijn voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval. Deze methoden moeten per specifieke toepassing geëvalueerd worden. Het IAEA stelt voor om te werken met transparante contracten en overeenkomsten die door de overheid op lange termijn ondersteund kunnen worden.
- Het garanderen van internationale bevoorrading door het IAEA
- Het promoten van de uitbreiding van bestaande installaties door middel van vertrouwenwekkende maatregelen
- Het creëren van gedeelde (multinationale of regionale) initiatieven voor nieuwe installaties die op basis van vrijwillige overeenkomsten gezamenlijk beheerd kunnen worden
- De splijtstofcyclus sterker multilateraal verankeren door het afsluiten van nieuwe overeenkomsten en het organiseren van bredere samenwerking

Het rapport biedt ook een overzicht van recente visies en standpunten over kernenergie en geeft een gedetailleerd overzicht geven van alle mogelijke initiatieven, opties en scenario's met betrekking tot gedeelde berging. Dit wordt aangevuld met standpunten en discussies over de aanpak, de overeenkomsten en de uitdagingen die deze materie met zich meebrengt.

D.6 Visie van de Europese Commissie

De Europese Commissie is zich ervan bewust dat er op Europees niveau voornamelijk over nationale programma's gesproken wordt. Euratom co-financiert al jaren nationale onderzoeksprogramma's. Maar de EU vindt dat gezamenlijke projecten zoals SAPIERR toch een plaats moeten krijgen, voornamelijk binnen het onderzoek en de technologieplatforms. De Europese Commissie meent dat het zelfs een voordeel zou zijn dat er een grotere organisatie en een centraal aanspreekpunt voor de berging van hoogradioactief en/of langlevend afval zou ontstaan (343).

De Europese Commissie beschouwt de berging van hoogradioactief en/of langlevend afval als één van de technologische sleuteluitdagingen. De EU ziet een onderzoeksprogramma zoals SAPIERR als een project in het verlengde van de Lissabon-doelstellingen. Het thema is terug te vinden in de tekst van het Europees Strategisch Energietechnologieplan (364): *"Maintain competitiveness in fission technologies, together with long-term waste management solutions"*.

Naast het onderzoek naar gedeelde berging is het volgens de Europese Commissie belangrijk dat elk land een eigen programma heeft of ontwikkelt voor het beheer van radioactief afval binnen de eigen landsgrenzen. Op 7 januari 2009 werd in die zin een resolutie goedgekeurd (365).

In november 2009 werd een technologieplatform opgericht dat onderzoek uitvoert naar de implementatie van geologische berging (IGD-TP). De oprichting van het IGD-TP werd voorbereid tijdens een informele bijeenkomst op de Euradwaste-conferentie in oktober 2008 (366). Het betreft een samenwerking tussen landen door een transfer van kennis en technologie voor de ondersteuning van nationale projecten. Tussen die conferentie en de oprichting van het IGD-TP werd een uitvoerende groep gevormd (Zweden, Finland, Duitsland en Frankrijk). Parallel is het SNE-technologieplatform opgericht, dat andere aspecten van kernenergie onderzoekt. Het is de bedoeling dat er interactie tussen beide platformen ontstaat (343).

D.7 Visie van EDRAM

De vereniging van voorzitters van de nationale organisaties die instaan voor het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval (Association for Environmentally Safe Disposal of Radioactive Materials of EDRAM) werd opgericht in 1998 als non-profitorganisatie en is gevestigd in Zwitserland.

EDRAM heeft twaalf partnerorganisaties afkomstig uit de landen met de grootste nucleaire programma's: ANDRA (Frankrijk), NIRAS (België) BFS en DBE (Duitsland), ENRESA (Spanje), NAGRA (Zwitserland), NDA (Verenigd Koninkrijk), NUMO (Japan), NWMO (Canada), OCRWM (VS), POSIVA (Finland) en SKB (Zweden).

EDRAM ontwikkelde een specifieke visie op een gedeelde aanpak van het beheer van hoogradioactief en/of langlevend afval (voorlopige versie (367)). Deze kan als volgt samengevat worden:

- Er is geen concurrentie tussen gedeelde en nationale programma's voor het beheer van radioactief afval. Ze worden beschouwd als complementair en moeten samen een oplossing bieden voor het langetermijnbeheer van alle hoogradioactief en/of langlevend afval en bestraalde splijtstof.
- Veiligheid in al haar aspecten (o.a. bescherming, regelgeving, organisatie en veiligheidscultuur) moet altijd primeren in het langetermijnbeheer van radioactief afval, ook wanneer economische argumenten de drijvende kracht zijn voor de implementatie van gedeelde berging.
- In overeenstemming met het Gezamenlijk Verdrag geniet nationale geologische berging de voorkeur t.o.v. gedeelde berging. Ook blijft ieder betrokken land bij gedeelde berging verantwoordelijk voor zijn eigen afval. Ieder deelnemend land moet een nationaal plan voor het beheer van radioactief afval hebben. Dit plan moet de nodige menselijke en financiële bronnen beschrijven en moet een onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma en een financieringsschema bevatten.
- Voor gedeelde berging moeten dezelfde ethische principes en waarden in acht genomen worden als voor nationale berging.
- Vanuit een technologisch perspectief is er geen verschil tussen het ontwikkelen van een gedeelde of een nationale berging.
- Het ontwikkelen van een gedeelde berging vereist een gestructureerde en geformaliseerde samenwerking tussen de deelnemende landen. Dit omvat in het bijzonder:
 - Reciprociteit, zonder een onderscheid te maken tussen landen of soorten afval
 - Een duidelijke overeenkomst tussen de partijen waarin de respectievelijke verantwoordelijkheden en de aanpak van het beslissingsproces en het siteselectieproces duidelijk omschreven zijn
- Ieder land heeft het recht om de invoer van buitenlands afval voor berging te verbieden. (De invoer en uitvoer van afval bedoeld voor opwerking en conditionering moet mogelijk blijven.)
- Voor landen met een beperkt nucleair programma en bescheiden hoeveelheden radioactief afval kan een gedeelde oplossing een sprong voorwaarts betekenen indien er een duidelijk beleid gevoerd wordt en indien er afspraken gemaakt worden die overeenstemmen met de internationale verplichtingen en de internationaal aanvaarde veiligheidsdoelstellingen.
- Het vooruitzicht van een gedeelde oplossing mag niet gebruikt worden als rechtvaardiging om het onderzoek naar of de beslissing over een nationale oplossing uit te stellen.
- Internationale organisaties en fora spelen een belangrijke rol in de overdracht van technologische know-how tussen landen en in het stimuleren van onderzoek en ontwikkeling. Ze moeten de vooruitgang in nationale programma's en de aanpak van gedeelde berging ondersteunen.
- Een succesvolle implementatie van de eerste geologische berging voor bestraalde splijtstof en hoogradioactief en/of langlevend afval is een topprioriteit.