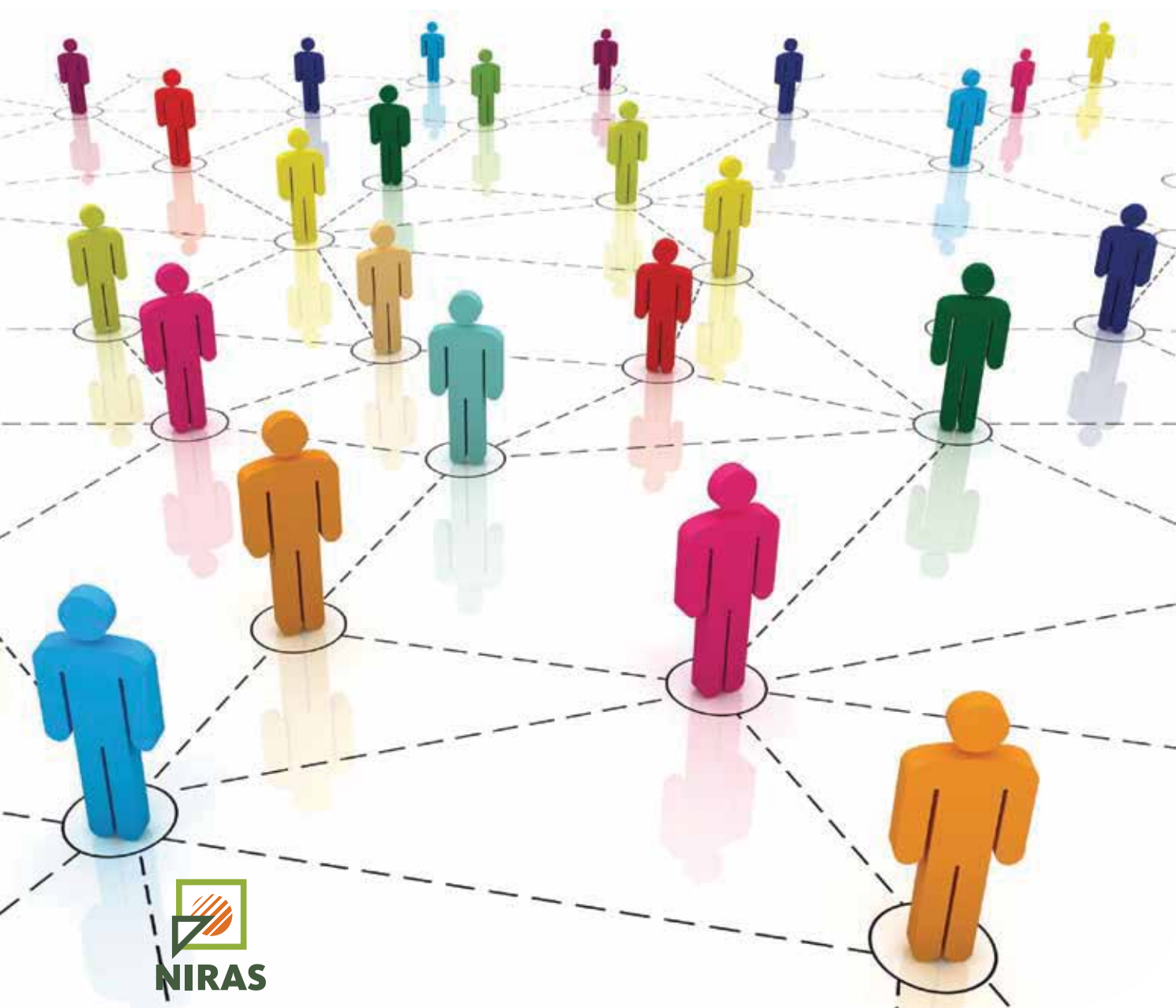


Veiligheidsbeleid, -strategie en -concept



Hoofdstuk 2

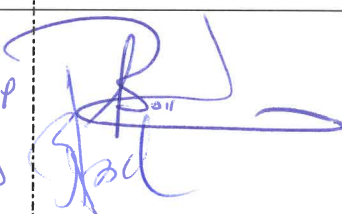
Veiligheidsbeleid, veiligheidsstrategie en veiligheidsconcept

Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting
van categorie A-afval te Dessel

Versie 1 van dit rapport werd geschreven door W. Cool (NIRAS), nagekeken door P. De Preter, Ph. Lalieux, M. Demarche, W. Wacquier, Ch. Depaus, M. Van Geet (NIRAS) en goedgekeurd door R. Bosselaers (NIRAS).

Versie 2 van dit rapport werd geschreven door W. Cool (NIRAS), nagekeken door W. Wacquier (NIRAS) en goedgekeurd door R. Bosselaers (NIRAS).

Versie 3 van dit rapport werd geschreven door W. Cool (NIRAS), nagekeken door A. de Lhoneux (VNS), E. Weetjens (SCK•CEN), W. Bastiaens (NIRAS) en goedgekeurd door R. Bosselaers (NIRAS) en B. Van Assche (NIRAS).

Goedkeuring document		
Goedkeuring	Datum	Handtekening
Geschreven door: WIM COOL	30/01/2019	
Nagekeken door: EEF WEETJENS	30/01/2019	
Goedgekeurd door: RUDY BOSSELAERS BART VAN ASSCHE	30/01/2019 30/01/2019	

NIRAS

Kunstlaan 14

1210 Brussel

www.nirond.be

De gegevens, resultaten, conclusies en aanbevelingen in dit rapport zijn eigendom van NIRAS. Dit rapport mag worden aangehaald mits de bron vermeld wordt. Het wordt beschikbaar gesteld op voorwaarde dat het niet wordt gebruikt voor commerciële doeleinden. Voor commercieel gebruik ervan, waaronder tevens het vervaardigen van kopieën of heruitgave, is voorafgaande schriftelijke toestemming van NIRAS vereist.

Documentgegevens			
Hoofdstuk 2 Veiligheidsbeleid, veiligheidsstrategie en veiligheidsconcept Veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel			
Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen NIRAS Kunstlaan 14 1210 Brussel			
Serie	Categorie A	Documenttype	NIROND-TR
Status	Open	Publicatiedatum	30 januari 2019
NIRAS rapport nummer	NIROND-TR 2011-02	Herzieningsnummer	3
Sleutelwoorden	Bergingscolli, Categorie A, veiligheid, vergunningsaanvraag		

Revisietabel					
Versie		Opmerkingen			
Nummer	Datum				
1.0	05/12/2011	Versie voor internationale peer review, georganiseerd door NEA. Versie ter informatie voorgelegd aan het FANC.			
2.0	30/09/2012	Oorspronkelijke versie voorgelegd aan het FANC in het kader van de bouw- en exploitatievergunning (A1) voor de oppervlaktebergingsinstallatie voor categorie A-afval in Dessel			
3.0	30/01/2019	Herziene versie rekening houdend met de vragen van het FANC en Bel V op versie 2.0.			
		Vraag nr.	Titel	Nodige aanpassingen aan veiligheidsrapport hoofdstuk 2	Aangepaste § in HS02
		HS02-001	Dosis en dosisbeperking	Dosisbeperking van 0,1 mSv.a ⁻¹ Dosisbeperking is een grenswaarde waaronder een geoptimaliseerde oplossing zich moet bevinden	§2.4.2.2.2
		HS02-002	Veiligheidsbeleid	Beschrijven van doelstellingen en mikpunten waartegenover de vorderingen op het vlak van nucleaire veiligheid kunnen worden opgevolgd	§2.5.3.1
				Beschrijven van de manier waarop toezicht zal gehouden worden op niveau van de nucleaire veiligheid	§2.5.3.2
				Rekening houden met herziene beleidsverklaring van NIRAS en verwijzing naar §2.5 voor de bovenstaande twee elementen van het veiligheidsbeleid	§2.2.1
		HS02-003	Verschil tussen veiligheidsbenadering en veiligheidsstrategie	Aanpassing van de definitie van beheerstrategie	§2.2.3
		HS02-004	Interacties binnen de veiligheidsstrategie	Beschrijven van interacties tussen beheerstrategie, de ontwerp- en realisatiestrategie en de veiligheidsevaluatiestrategie	§2.2.3
Aanpassing van de definities van beheerstrategie en veiligheidsevaluatiestrategie	§2.2.3				
Verduidelijken terminologie ‘realisatie’ en vervangen van term ‘implementatie’ door ‘realisatie’	§2.2.2				
		Beschrijven van rol van de verschillende activiteiten en processen die de veiligheid beïnvloeden en hun interfaces	§2.5.4.1-2.5.4.11		

		HS02-005	Ontwerpproces	Beschrijven van de grote etappes van het ontwerpproces	§2.7.2
		HS02-006	Ontwerpinputs en ontwerpvereisten	Identificatie van het geheel van ontwerpinputs en van ontwerpvereisten	§2.7.7
		HS02-007	Reikwijdte van de veiligheidsevaluatie	Reikwijdte van de veiligheidsevaluatie uit te breiden met het aantonen dat het optimaliseringsprincipe werd toegepast	§2.6.1
		HS02-008	Principe van aantoonbaarheid	Beschrijving van het principe van aantoonbaarheid en zijn toepassing in het veiligheidsbeleid en de veiligheidsstrategie Toevoegen van beschrijving van beheer van onzekerheden in parallel met de andere activiteiten uit de toepassing van de veiligheidsstrategie	§2.4.2.3.8 Figuur 2-2 en nieuwe §2.2.3.5
		HS02-009	Onafhankelijkheid, complementariteit, consecutief & divers	Aanpassen definitie van onafhankelijkheid en complementariteit.	§2.4.2.3.4
				Schrappen van consecutiviteit.	§2.4.2.3.6
				Bij argumentatie van gelaagde bescherming, systematisch gebruik van de noties onafhankelijkheid en complementariteit	§2.8.8
				Coherent gebruik van de verschillende termen in hoofdstuk 2	
		HS02-010	Diversiteit	Verduidelijken notie ‘functionele diversiteit’ (eenzelfde geviseerde doelstelling)	§2.4.2.3.5
				Functionele diversiteit voor insluiting op lange termijn vermelden bij veiligheidsfuncties	§2.7.4
				Vermijden van common cause failures	§2.8.8.3
		HS02-011	Algemene bepalingen betreffende beperking van de doses met betrekking tot handelingen (§20.1.1 van het ARBIS)	Aantonen van conformiteit ten aanzien van het principe van rechtvaardiging van een handeling Aantonen van conformiteit ten aanzien van het principe van optimalisering – tekst uit Fiche 10 Aantonen van conformiteit ten aanzien van het principe van dosislimieten Aantonen van conformiteit aan “onontbeerlijke maatregelen” uit art.20.1.1.2 van het ARBIS	§2.4.2.2.1 §2.4.2.2.2 §2.4.2.2.3 §2.11.1

		HS02-012	Conformiteit van strategische veiligheidsoriëntaties met het reglementaire kader	Aantonen dat de strategische veiligheidsoriëntaties in overeenstemming zijn met de reglementering, de als pertinent geïdentificeerde aanbevelingen, evenals aan het ‘engagement van de exploitant’. Tabel 2-2 corrigeren en aanvullen	§2.4.3 Bijlage 2-1, §2.11 §2.4.3
		HS02-013	Passiviteit	Verduidelijken dat de veiligheid op lange termijn exclusief door passieve middelen gegarandeerd dient te worden	§2.4.2.3.1
		HS02-014	Afzondering	Verduidelijken van de doelstelling en draagwijdte van de term afzondering.	§2.4.2.3
				Uitleggen in welke mate de term afzondering zoals gebruikt in het hoofdstuk 2 beantwoordt aan de vereisten van §20.1.1.2 van het ARBIS	§2.4.2.3
				Uniformiseren gebruikte terminologie rond ‘afzondering’	§2.4.2.3.2 §2.7.4 §2.8.2.1 §2.8.5.9 §2.8.8.3.1 §2.10.1.2
		HS02-015	Insluiting	Verduidelijken van de doelstelling en draagwijdte van de term insluiting.	§2.4.2.3
				Uitleggen in welke mate de term insluiting zoals gebruikt in het hoofdstuk 2 beantwoordt aan de vereisten van §20.1.1.2 van het ARBIS	§2.4.2.3
				Uniformiseren gebruikte terminologie rond ‘insluiting’	§2.4.2.3.2 §2.8
				Vermelden van de fundamentele van het veiligheidsconcept in de inleiding van §2.8. Schrappen van §2.8.1.	§2.8
		HS02-016	Strategie na enkele honderden jaren	Verklaren en rechtvaardigen van de insluitingsstrategie, rekening houdend met de afname van radiotoxiciteit van het afval dat kan geborgen worden aan de oppervlakte	§2.4.2.3.2
				Gebruikte en beheerste middelen om de insluitingsstrategie te rechtvaardigen	§2.8.4
		HS02-017	Beperken van de activiteit aan langlevende radionucliden	Corrigeren van tekst om de vereiste van de leidraad oppervlakteberging op een correcte manier te interpreteren.	§2.4.2.3.3
		HS02-018	Iteratieve veiligheidsevaluaties gebaseerd op robuuste elementen	Notie van ‘robuustheid’ weglaten en coherentie met principe van aantoonbaarheid verzekeren	§2.4.2.3.7

		HS02-019	Bestaande gegevens versus veiligheidsbeleid	Bestaande gegevens als algemeen kader voor de veiligheidsbenadering nemen en niet in de benadering zelf opnemen en coherentie met HS02-004, HS02-005 en HS02-008 verzekeren (toevoegen beheer van onzekerheden, tonen dat er interacties zijn tussen beheerstrategie, ontwerp- en realisatiestrategie en veiligheidsevaluatiestrategie)	§2.2.2
		HS02-020	Integratie van de bergingsinstallatie en de site in het landschap	Oplijsten van bestaande gegevens die beantwoorden aan vereisten van partnerschappen m.b.t. integratie van de bergingssite	§2.3.4
				Argumentatie dat deze bestaande gegevens geen negatieve invloed hebben op de veiligheid	§2.4.4
		HS02-021	Inspectieruimtes	Wijzigen van de beschrijving van rol van inspectieruimtes en toevoegen van argumentatie dat de inspectieruimtes geen negatieve invloed hebben op de veiligheid	§2.4.4
				Schrappen van argumentatie met betrekking tot Kleine en Witte Nete om de aanwezigheid van de inspectieruimte te rechtvaardigen.	§2.8.8
		HS02-022	Aantal modules	Verduidelijking rond volume afval en aantal modules maken voor inventaris uit 2003	§2.3.4
				Link naar Hoofdstuk 6 maken voor rechtvaardiging van vooropgesteld aantal modules in de nu gebruikte inventaris uit 2013	§2.3.4
		HS02-023	Toekennen van een M-rol	Veiligheidsconcept herzien	§2.8.1-2.8.6
		HS02-024	Ophoging aan de zijdes	Veiligheidsconcept herzien	§2.8.1-2.8.6
		HS02-025	Functie 'Overgang naar langetermijnveiligheid'	Veiligheidsconcept herzien	§2.8.1-2.8.6
		HS02-026	Rol van de zwevende platen en opgevulde inspectiegalerij	Veiligheidsconcept herzien	§2.8.1-2.8.6
		HS02-027	Fase IV	Veiligheidsconcept herzien	§2.8.1-2.8.6
		HS02-028	Toepassing van gelaagde bescherming na fase III	Veiligheidsconcept en argumentatie gelaagde bescherming herzien	§2.8.1-2.8.8
		HS02-029	Common mode failures en common cause failures	Veiligheidsconcept en argumentatie gelaagde bescherming herzien	§2.8.1-2.8.8

		HS02-030	Rechtvaardiging van het veiligheidsconcept ten overstaan van het verwachte gedrag van het bergingssysteem	Veiligheidsconcept herzien	§2.8.1-2.8.6
		HS02-031	Lijst van contextuele onzekerheden	Lijst van contextuele onzekerheden aanpassen	§2.9.1
		HS02-032	Systematische risicoanalyse	Risicoanalyse vervangen door antwoord	§2.9.2-2.9.9
		HS02-033	Synthese van argumenten - Conclusies	Synthese van argumenten vervangen door antwoord	§2.10
		Fiche 1	Beheer en behandeling van onzekerheden	Aanpak voor het beheer van onzekerheden als onderdeel van de veiligheidsbenadering documenteren Aanpak voor behandeling van onzekerheden in veiligheidsevaluaties bespreken	Nieuwe §2.2.3.5 §2.6.3.2
		Fiche 5	Inventaris en bergingslimieten	Toevoegen van interacties tussen langetermijnveiligheidsevaluatie, radiologische afvallimieten en beschouwde bronterm in de evaluaties Toevoegen van principe van verificaties bij het opvullen van de berging	§2.6.3.2 §2.6.3.2
		Fiche 7	Klassering van SSC's	Toevoegen van tabel met de veiligheids- en kwaliteitsklasse van de SSC's	§2.8.7
		Fiche 10	Optimalisering	Beschrijving van wat optimalisering is Proces beschrijven van optimalisering in de toekomst Beschrijving van de wijze waarop optimalisering in het proces van ontwerp en realisatie meegenomen wordt	§2.4.2.2.2 §2.5.2 §2.7.6
		Fiche 12	Gelaagde bescherming	Beschrijving van het principe van gelaagde bescherming voor een berging Wijzigen van beschrijving van strategie en verwachte evolutie van insluiting en afzondering voor oppervlaktebergings-systeem te Dessel Wijzigen van argumentatie van gelaagde bescherming voor oppervlaktebergingssysteem te Dessel	§2.4.2.3.6 §2.4.2.3.2 §2.8.2 §2.8.8
		Fiche 13	Alternatieve evolutiescenario's	Wijzigingen in methodologie bespreken	§2.6.3.2
		HS08-006	Referentieoplossing ondoorlatende topplaat	Beschrijven van referentieoplossing voor de ondoorlatende topplaat	§2.7.3 §2.10.1.2.4

		HS14-003	Kwalitatieve bewijzen en argumenten	Toevoegen van rol van kwalitatieve bewijzen en argumenten in veiligheids-evaluatiestrategie	§2.6.3.2
		HS14-049	Respecteren dosislimieten ooglenzen en huid	Toevoegen in veiligheidsevaluatiestrategie dat er aangetoond moet worden dat de equivalente-dosislimieten voor de personen van het publiek gerespecteerd worden in de verschillende langetermijn-veiligheidsevaluatiescenario's	§2.6.3.2
		Overige wijzigingen: Verklarende woordenlijst toegevoegd Herwerken van tekst over veiligheidsbenadering en veiligheidsstrategie in §2.2.2 en §2.2.3, om veelvuldige herhalingen te vermijden binnen §2.2. §2.3 Bestaande gegevens bijgewerkt met de huidige situatie.			

Inhoudsopgave

2.1	Inleiding en doelstellingen	2-1
2.2	Veiligheidsbeleid en veiligheidsstrategie	2-2
2.2.1	Beleidsverklaring inzake nucleaire veiligheid	2-2
2.2.2	Veiligheidsbenadering	2-3
2.2.3	Veiligheidsstrategie	2-6
2.2.3.1	Elementen van de veiligheidsstrategie	2-6
2.2.3.2	Interacties tussen de beheerstrategie, veiligheidsevaluatiestrategie en ontwerp- en realisatiestrategie	2-7
2.2.3.3	Toepassing van de veiligheidsstrategie	2-7
2.2.3.4	Beheer en behoud van kennis	2-8
2.2.3.5	Beheer van onzekerheden	2-9
2.3	Bestaande gegevens	2-10
2.3.1	Beheer van radioactief afval, taken en werkingsmodaliteiten van NIRAS	2-10
2.3.2	Reglementaire vereisten	2-11
2.3.2.1	Reglementaire vereisten uit het internationale regelgevende kader	2-11
2.3.2.2	Reglementaire vereisten voor stralingsbescherming en vergunningen	2-11
2.3.2.3	Reglementaire vereisten voor welzijn op het werk	2-12
2.3.2.4	Reglementaire vereisten voor milieubescherming	2-12
2.3.3	Aanbevelingen	2-13
2.3.3.1	Leidraden en nota's van het FANC	2-13
2.3.3.2	Internationale aanbevelingen	2-14
2.3.4	Overige bestaande gegevens	2-16
2.4	Veiligheidsdoelstelling en strategische veiligheidsoriëntaties	2-18
2.4.1	Veiligheidsdoelstelling	2-18
2.4.2	Veiligheid- en stralingsbeschermingsprincipes	2-18
2.4.2.1	Basisprincipes voor berging	2-18
2.4.2.2	Stralingsbeschermingsprincipes	2-19
2.4.2.3	Veiligheidsprincipes voor berging aan het oppervlak	2-22
2.4.3	Conformiteit van strategische veiligheidsoriëntaties met reglementaire vereisten en aanbevelingen	2-30
2.4.4	Invloed van de overige gegevens op de veiligheid	2-32
2.4.4.1	De site van Dessel	2-32
2.4.4.2	Minimaal landgebruik	2-32
2.4.4.3	Integratie van de bergingsinstallatie en de site in het landschap	2-32
2.4.4.4	Terugneembaarheid	2-33

2.4.4.5	Controleerbaarheid	2-33
2.4.4.6	Inspectieruimtes	2-34
2.4.4.7	Vast stalen dak	2-34
2.5	Beheerstrategie	2-35
2.5.1	Geïntegreerd beheersysteem	2-35
2.5.2	Optimalisering	2-35
2.5.3	Beheer van de nucleaire veiligheid	2-37
2.5.3.1	Het opvolgen van de nucleaire veiligheid in de bergingsinrichting	2-37
2.5.3.2	Toezicht op het niveau van nucleaire veiligheid in de berging	2-38
2.5.4	Rol van de verschillende activiteiten en processen die de veiligheid beïnvloeden en hun interfaces	2-39
2.5.4.1	Ontwerp en realisatie van het bergingssysteem	2-39
2.5.4.2	Kwalificatieprogramma	2-40
2.5.4.3	Monitoring- en toezichtprogramma	2-41
2.5.4.4	Verouderingsbeheerprogramma	2-42
2.5.4.5	Programma voor het beheer van ervaringsfeedback	2-43
2.5.4.6	Programma voor onderhoud, testen, controles en inspecties van SSC's	2-43
2.5.4.7	Periodieke herzieningen	2-43
2.5.4.8	Programma voor wijzigingen	2-45
2.5.4.9	Intern noodplan	2-46
2.5.4.10	Opleiding en kwalificatie van personeel	2-46
2.5.4.11	Rol van de dienst voor fysische controle	2-47
2.6	Veiligheidsevaluatiestrategie	2-48
2.6.1	Doelstellingen	2-48
2.6.2	Te beschouwen aspecten	2-48
2.6.3	Methodologie	2-49
2.6.3.1	Aanpak voor de evaluatie van de radiologische operationele veiligheid	2-51
2.6.3.2	Aanpak voor de evaluatie van de radiologische langetermijnveiligheid	2-51
2.7	Ontwerpstrategie	2-56
2.7.1	Inleiding	2-56
2.7.2	Proces van de ontwikkeling van het ontwerp	2-56
2.7.3	Ontwerpkeuzes	2-57
2.7.4	Veiligheidsfuncties	2-61
2.7.5	Verzekeren van een robuuste afzondering en insluiting op lange termijn	2-64
2.7.6	Ontwerpaanpassingen op basis van optimaliseringsoefening	2-64
2.7.7	Ontwerpinputs en ontwerpvereisten	2-64

2.8	Veiligheidsconcept	2-67
2.8.1	Duur van periodes en fases	2-68
2.8.2	Strategie en verwachte evolutie van insluiting en afzondering tijdens de periode na sluiting	2-70
2.8.2.1	Strategie en verwachte evolutie van afzondering	2-70
2.8.2.2	Strategie en verwachte evolutie van insluiting	2-71
2.8.3	Mogelijke trajecten van radionucliden op lange termijn tijdens de periode na sluiting	2-76
2.8.3.1	Mogelijke trajecten van radionucliden tijdens fase III	2-76
2.8.3.2	Mogelijke trajecten van radionucliden tijdens fase IV	2-77
2.8.3.3	Mogelijke trajecten van radionucliden tijdens fases Va en Vb	2-78
2.8.3.4	Mogelijke trajecten van radionucliden tijdens fase VI	2-80
2.8.4	Veiligheidsconcept voor de langetermijnveiligheid	2-81
2.8.5	Insluitings-, afschermings- en afzonderingsstrategie en mogelijke trajecten van radionucliden tijdens de operationele periode	2-84
2.8.5.1	Transport van monolieten	2-84
2.8.5.2	Drainagesysteem	2-84
2.8.5.3	Radon	2-85
2.8.5.4	Noodzaak van elektrische noodvoeding	2-85
2.8.5.5	Noodzaak van instrumentatie en controle	2-85
2.8.5.6	Ongevallen	2-86
2.8.5.7	Strategie van insluiting tijdens de operationele periode	2-86
2.8.5.8	Strategie van beperking van externe straling tijdens de operationele periode	2-86
2.8.5.9	Strategie van afzonderen met betrekking tot intrusie tijdens de operationele periode	2-92
2.8.6	Veiligheidsconcept tijdens de operationele periode	2-93
2.8.7	Klassering van SSC's	2-94
2.8.8	Gelaagde bescherming voor het oppervlaktebergingssysteem te Dessel	2-97
2.8.8.1	Preventie en minimalisatie van bedreigingen	2-97
2.8.8.2	Robuustheid van barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen	2-104
2.8.8.3	Complementariteit en onafhankelijkheid van barrières en veiligheidsfuncties	2-109
2.8.8.4	Controle- en corrigerende maatregelen	2-139
2.8.8.5	Maatregelen voor ongevalsbeheer (fases Ia, Ib, II, III – 0-350 jaar)	2-142

2.9	Risicoanalyse	2-144
2.9.1	Contextuele onzekerheden	2-144
2.9.2	Aanpak voor de risicoanalyse	2-144
2.9.3	Onzekerheid gelinkt aan sociaal-politieke factoren	2-146
2.9.4	Verlies van knowhow	2-148
2.9.5	Wijzigingen aan activiteiten in de omgeving van de bergingsinrichting	2-150
2.9.6	Nieuwe wetenschappelijke inzichten over omgevingsrisico's en kunstmatige barrières	2-152
2.9.7	Wijzigingen qua productie en verwerking van categorie A-afval	2-153
2.9.8	Wijzigingen veiligheidskader	2-155
2.9.9	Gebrek aan resources en/of financiële middelen	2-156
2.10	Synthese van argumenten die het vertrouwen in de veiligheid ondersteunen – conclusies	2-158
2.10.1	Synthese van de veiligheidsargumenten	2-158
2.10.1.1	Controles op het afval	2-158
2.10.1.2	Performante barrières rond het afval	2-159
2.10.1.3	Vertrouwen in de veiligheidsevaluaties	2-165
2.10.2	Het NIRAS-programma qua verder onderzoek, ontwikkeling en demonstratie	2-168
2.10.3	Conclusies	2-170

2.11	Bijlage 2-1: Overeenstemming tussen de veiligheidsoriëntaties en de nationale reglementaire vereisten en leidraden en nota's van het FANC	2-173
2.11.1	Overeenstemming met het ARBIS	2-173
2.11.2	Overeenstemming met het KB van 30/11/2011	2-173
2.11.3	Omzetting door België van de richtlijn 2011/70/Euratom	2-177
2.11.4	Overeenstemming met leidraden en nota's van het FANC	2-178
2.12	Bijlage 2-2: Lijst van ontwerpinputs en ontwerpvereisten	2-185
2.13	Bijlage 2-3: Toekenning van de langetermijnveiligheidsfuncties aan verschillende ssc's en referenties voor M-rollen	2-187
2.13.1	R2a veiligheidsfunctie	2-187
2.13.2	R1 veiligheidsfunctie	2-188
2.13.3	R3 veiligheidsfunctie	2-189
2.13.4	R4a veiligheidsfunctie	2-190
2.13.5	R4b veiligheidsfunctie	2-190
2.13.6	I1 veiligheidsfunctie	2-191
2.14	Bijlage 2-4: Complementariteit en onafhankelijkheid voor de verschillende mogelijke trajecten	2-193
2.14.1	Afzondering op lange termijn bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten	2-193
2.14.1.1	Traject van direct contact via de bovenkant van het bergingssysteem tijdens fase III	2-193
2.14.1.2	Traject van direct contact via de zijkanen van het bergingssysteem	2-194
2.14.1.3	Traject van direct contact via de restanten van de inspectiegalerij tijdens fase III	2-195
2.14.2	Insluiting bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten	2-196
2.14.2.1	Trajecten in de periode tot 1 000 jaar	2-196
2.14.2.2	Trajecten in de periode na 1 000 jaar	2-209
2.14.3	Insluiting tijdens de operationele periode bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten en configuraties	2-213
2.14.3.1	Trajecten naar de boven- en zijkanen van het bergingssysteem (atmosferische vrijzetting) tijdens fase Ia	2-213
2.14.3.2	Trajecten naar de onderkant van het bergingssysteem (uitloging) tijdens fase Ia	2-214
2.14.4	Beperking van externe straling tijdens de operationele periode bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten en configuraties	2-216
2.14.4.1	Verplaatsen van afval naar de modules – monoliet in transportcontainer (fase Ia)	2-216

2.14.4.2 Optillen van de monoliet en plaatsen in de modules – monoliet niet in de transportcontainer (fase Ia)	2-219
2.14.4.3 Modules in opvulling en gevulde modules tijdens fase Ia	2-222
2.14.4.4 Gevulde modules tijdens fases Ib en II	2-227
2.14.5 Afzondering met betrekking tot onopzettelijke intrusie tijdens de operationele periode bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten	2-229
2.15 Bijlage 2-5: Lijst van afkortingen	2-231
2.16 Bijlage 2-6: Verklarende woordenlijst	2-233
2.17 Bijlage 2-7: Referenties	2-239
2.17.1 Ondersteunende documenten aan Hoofdstuk 2	2-239
2.17.2 Andere referenties	2-239

2 Veiligheidsbeleid, veiligheidsstrategie en veiligheidsconcept

2.1 Inleiding en doelstellingen

Voorliggend document vormt hoofdstuk 2 van het veiligheidsrapport voor de oppervlaktebergingsinrichting van categorie A-afval (laag- en middelactief kortlevend radioactief afval) te Dessel. De bergingsinrichting van radioactieve afvalstoffen is het geheel van bergingsinstallaties en de ondersteunende uitrustingen direct eraan verbonden. Een bergingsinrichting van radioactieve afvalstoffen is volgens het Algemeen Reglement voor Bescherming tegen Ioniserende Stralingen (ARBIS, Koninklijk Besluit van 20/07/2001 en wijzigingen [R2-1]) onderworpen aan het vergunningsstelsel van nucleaire klasse I inrichtingen.

In dit hoofdstuk wordt de algemene benadering gegeven waarmee een veilige berging bereikt zal worden (het proces). Ook wordt omschreven hoe de veiligheid van de oppervlaktebergingsinrichting bereikt wordt (principes, elementen), en hoe de veiligheid van de berging geëvalueerd en geverifieerd zal worden. Daarbij wordt de veiligheid geplaatst binnen de context van reglementaire vereisten en aanbevelingen en overige bestaande gegevens. De conformiteit van de veiligheidsaanpak met die context wordt beargumenteerd en er wordt een risicoanalyse uitgevoerd voor mogelijke toekomstige wijzigingen aan de bestaande gegevens. Ten slotte schetst dit hoofdstuk de belangrijkste argumenten die het vertrouwen in de veiligheid ondersteunen.

Op deze wijze wordt er met voorliggend hoofdstuk een algemeen beeld gegeven van de veiligheid van de berging, alvorens in de verdere hoofdstukken van het veiligheidsrapport dieper in te gaan op het beheersysteem van de bergingsinrichting, beschreven in hoofdstuk 3 (beheersysteem), het ontwerp en de realisatie van de berging, beschreven in hoofdstukken 7 (monolieten), 8 (bergings), 9 (exploitatie), 10 (sluiting), 11 (maatregelen na sluiting), 15 (conformiteitscriteria afval en monolieten), 16 (monitoring en toezicht), 17 (technische specificaties), en de veiligheidsevaluaties beschreven in hoofdstukken 12 (stralingsbescherming), 13 (operationele veiligheid) en 14 (langetermijnveiligheid). De karakteristieken van de site worden besproken in hoofdstuk 4. Een beschrijving van de fenomenologie van de kunstmatige barrières wordt gegeven in hoofdstuk 5. Het afval wordt beschreven in hoofdstuk 6.

De doelstellingen van dit hoofdstuk zijn specifiek [R2-2]:

- De documentatie en rechtvaardiging van het veiligheidsbeleid (§2.2, §2.4-2.8)
- De identificatie van de bestaande gegevens (§2.3)
- De documentatie en rechtvaardiging van de veiligheidsstrategie (§2.4-2.8)
- De documentatie en rechtvaardiging van het veiligheidsconcept (§2.8)
- De risicoanalyse van wijzigingen aan de bestaande gegevens en hun mogelijke impact op de veiligheid (§2.9)
- De documentatie van de synthese van argumenten die het vertrouwen in de veiligheid ondersteunen en van de conclusies van het veiligheidsrapport (§2.10).

Dit hoofdstuk bevat volgend ondersteunend document: [OD-279].

2.2 Veiligheidsbeleid en veiligheidsstrategie

Deze sectie bevat de identificatie en definitie van de verschillende elementen van het veiligheidsbeleid, zodat de veiligheidsstrategie correct gekaderd wordt binnen een meer globale aanpak voor het garanderen van de veiligheid van de bergingsinrichting. De *veiligheidsbenadering* voor de ontwikkeling en realisatie van de berging (§2.2.2) is gesteund op een *beleidsverklaring* van de bedrijfsleiding (§2.2.1). Binnen de veiligheidsbenadering speelt de *veiligheidsstrategie* (§2.2.3) een sturende rol.

2.2.1 Beleidsverklaring inzake nucleaire veiligheid

Nucleaire veiligheid en *veiligheid* zijn in art. 1 van het Koninklijk Besluit van 30/11/2011 houdende veiligheidsvoorschriften voor kerninstallaties [R2-3] gedefinieerd.

Zoals bepaald in art.3 van [R2-3] heeft de bedrijfsleiding van NIRAS een beleidsverklaring op schrift gesteld, zie [R2-4].

In het beleid wordt prioritair belang gehecht aan nucleaire veiligheid en wordt het engagement genomen om de nucleaire veiligheid continu te verbeteren, conform art.3 van [R2-3]. De volgende krachtlijnen voor de uitvoering van het beleid worden ook vastgelegd in [R2-4]:

- Het onderhouden van een management- en beheersysteem dat voldoet aan de wetgeving en normen inzake veiligheid, gezondheid, milieu en kwaliteit en dat de vier dimensies van duurzaam beheer integreert (Figuur 2-1)
- Het formuleren van doelstellingen binnen het management- en beheersysteem met het oog op continue verbetering
- Het voeren van een proactief veiligheids- en milieubeleid, inclusief nucleaire veiligheid
- Het bevorderen van veiligheids- en milieubewust handelen van alle werknemers en relevante stakeholders via sensibilisering, opleiding, werkvoorschriften en doelstellingen, en door periodieke evaluaties en herzieningen
- Het werken op transparante en integere wijze, met open geest en in interactie met de samenleving
- Objectiviteit, professionaliteit en wetenschappelijke onderbouwing van het onderzoek bij uitvoering van de opdrachten.

NIRAS voert haar taken uit strevend naar een evenwichtige balans tussen vier dimensies van duurzaam beheer (veiligheid en milieu, wetenschappen en techniek, economie en financiën, maatschappij en ethiek – zie Figuur 2-1) met respect voor de wettelijke en reglementaire aspecten, zodat er geen buitensporige lasten worden doorgeschoven naar toekomstige generaties en zodat de veiligheid steeds primeert.

De elementen van het veiligheidsbeleid, evenals de vereisten en verwachtingen terzake en de richtlijnen voor de uitvoering ervan, zullen aan het volledige personeel en onderaannemers belast met de verdere ontwikkeling en realisatie van de oppervlakteberging van categorie A-afval meegedeeld worden.



Figuur 2-1: Integratie van de vier dimensies van duurzaam beheer

In §2.5.3.1 zijn de doelstellingen en mikpunten beschreven waartegenover de vorderingen op het vlak van nucleaire veiligheid voor de oppervlaktebergingsinrichting te Dessel kunnen worden opgevolgd. Ook zijn de sleutelparameters geïdentificeerd waarmee de vorderingen worden opgevolgd. De manier waarop toezicht gehouden zal worden op het niveau van nucleaire veiligheid voor de oppervlaktebergingsinrichting te Dessel is in §2.5.3.2 beschreven.

Het niveau van implementatie van het veiligheidsbeleid evenals het veiligheidsbeleid zelf zal door NIRAS regelmatig worden geëvalueerd en herzien, met een periodiciteit die kleiner is dan deze van de periodieke veiligheidsherzieningen (art.3 van [R2-3]).

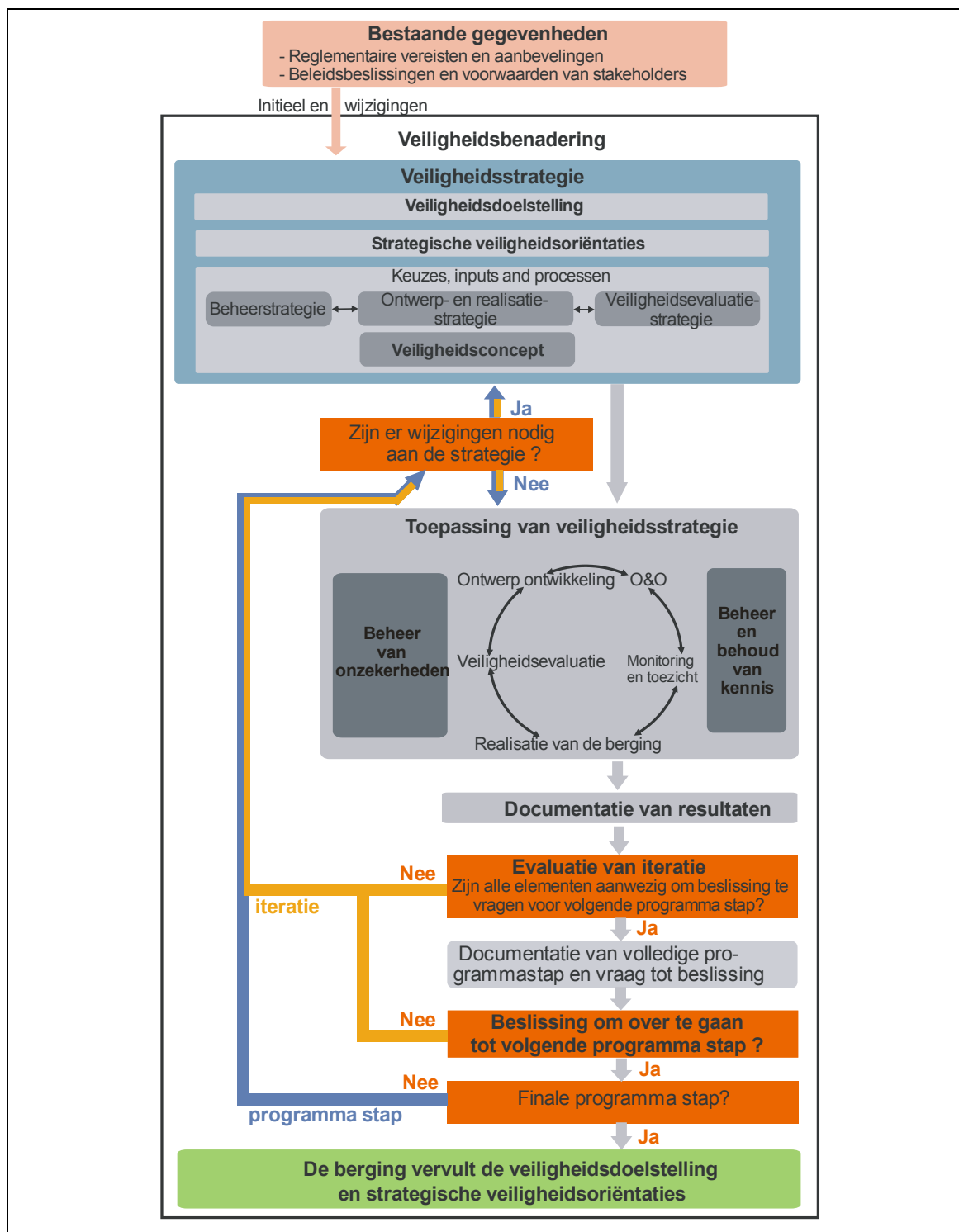
2.2.2 Veiligheidsbenadering

Een berging van radioactief afval wordt ontwikkeld en gerealiseerd in een reeks stappen. Realisatie is het geheel van bouwactiviteiten, het bergen van het afval en de sluitingsactiviteiten (art.36.1 van [R2-5]).

Tijdens het volledige proces ligt de primaire focus op de veiligheidsdoelstelling en waar mogelijk op de verdere verbetering van de nucleaire veiligheid. Om de focus op de veiligheidsdoelstelling te houden wordt de uitvoering van iedere stap van het proces gestuurd door een op voorhand vastgelegde veiligheidsstrategie.

Een belangrijke uitdaging bestaat erin om het veiligheidsbewustzijn te behouden tijdens het volledige proces van ontwikkeling, realisatie (bouw, exploitatie, sluiting) en controle van de berging, dat meerdere decennia en eeuwen omspannt. Veiligheidsbewustzijn houdt in dat men bij de ontwikkeling, realisatie en controle de relevantie voor de veiligheid kent en ook alle implicaties, zowel de operationele als die op lange termijn. Om ervoor te zorgen dat het veiligheidsbewustzijn ook in de toekomst aanwezig blijft, hanteert NIRAS, in overeenstemming met internationale aanbevelingen (Zie Requirement 4 en §3.17-3.20 uit [R2-6]) een globaal iteratief beheerproces met een duidelijke focus op veiligheid, d.w.z. de *veiligheidsbenadering* (zie Figuur 2-2).

De veiligheidsbenadering (Figuur 2-2) is het globaal iteratieve beheersproces voor de ontwikkeling en realisatie van de berging. In dit proces wordt eerst een veiligheidsstrategie vastgelegd, rekening houdend met de bestaande gegevens. Op basis van de veiligheidsstrategie wordt vervolgens een ontwerp van de berging gemaakt, en worden veiligheidsevaluaties en rapportering uitgevoerd.



Figuur 2-2: Overzicht van de veiligheidsbenadering en haar relatie tot de veiligheidsstrategie. De benadering resulteert in een volledig gerealiseerde (d.w.z. gebouwde, gevulde en afgesloten) berging die beantwoordt aan de veiligheidsdoelstelling en alle strategische veiligheidsoriëntaties

Een belangrijk element binnen de veiligheidsbenadering is de veiligheidsstrategie waarin een beschrijving gemaakt wordt van de veiligheidsdoelstelling, strategische veiligheidsoriëntaties en de fundamentele keuzes, inputs en processen voor de veilige realisatie van een berging. Een belangrijk geheel aan keuzes en inputs kan worden geschematiseerd als het veiligheidsconcept. Het veiligheidsconcept vormt een globale beschrijving van de belangrijkste componenten en functies waarop de veiligheid gebaseerd is. De veiligheidsstrategie, de elementen ervan en interacties erbinnen zijn verder beschreven in §2.2.3.1 en §2.2.3.2.

De veiligheidsbenadering is het ruimere kader waarbinnen de veiligheidsstrategie wordt toegepast. De veiligheidsbenadering begint met de omschrijving van de veiligheidsstrategie.

Gedurende iedere programmastap en/of iteratie behelst de veiligheidsbenadering volgende stappen:

- 1) Indien nodig voor de verbetering van de veiligheid, de veiligheidsstrategie aanvullen en verbeteren
- 2) Toepassing van de veiligheidsstrategie
 - a) Daarbij worden volgende activiteiten uitgevoerd: het programma van onderzoek, ontwikkeling en demonstratie (O&O), het ontwerp en realisatie van de berging, monitoring en toezicht, veiligheidsevaluaties (zie verder §2.2.3.3).
 - b) Bij die activiteiten wordt de opgedane kennis beheerd (zie verder §2.2.3.4) en worden de onzekerheden beheerd (zie verder §2.2.3.5)
- 3) Documentatie van de resultaten
- 4) Evaluatie van resultaten uit de huidige iteratie rekening houdend met de te nemen beslissing
 - a) Er kunnen meerdere iteraties noodzakelijk zijn alvorens alle benodigde elementen aanwezig zijn om de overgang naar de volgende programmastap te kunnen rechtvaardigen. Indien nog niet alle elementen aanwezig zijn, wordt een nieuwe iteratie gemaakt en wordt er terug gegaan 1)
 - b) Als alle elementen aanwezig zijn, wordt de volledige programmastap en de vraag tot beslissing gedocumenteerd
 - c) Indien er geen beslissing genomen wordt om over te gaan tot een volgende stap in de ontwikkeling, realisatie of controle van de berging, dan wordt een nieuwe iteratie gemaakt en wordt er terug gegaan naar 1)
 - d) Een programmastap eindigt met de beslissing om over te gaan tot een volgende stap in de ontwikkeling, realisatie of controle van de berging. Na de beslissing wordt een nieuwe programmastap gemaakt, en wordt er terug gegaan naar 1)

Het iteratieve proces zorgt voor een blijvende flexibiliteit in het ontwikkelingsproces. Dankzij een dergelijke flexibiliteit kan men rekening houden met nieuwe wetenschappelijke en technische informatie, nieuwe inzichten en nieuwe gegevens bij de verdere optimalisering van de veiligheid na de start van de constructie van de eerste delen van de berging. Wijzigingen in context, regelgevend kader, informatie en inzichten zijn onvermijdelijk over de lange tijdspanne van enkele honderden jaren die van toepassing is voor een berging van categorie A-afval. Flexibiliteit is dus een manier om in het belang van de veiligheid met de specificiteit van de lange levensduur van bergingsinrichtingen om te gaan.

Het belang van een passend systeem voor het beheer van de ontwikkeling, realisatie en controle van de berging en de flexibiliteit wordt ook internationaal onderkend [R2-7]. Flexibiliteit en omgaan met nieuwe informatie en inzichten werd door een NEA Internationaal Peer Review Team aangehaald als een

belangrijke karakteristiek van de door NIRAS voorgestelde veiligheidsbenadering [R2-8]. Meer algemeen werd deze veiligheidsbenadering door dezelfde Peer Review als passend beoordeeld.

Het einddoel van de veiligheidsbenadering is een berging die de veiligheidsdoelstelling en strategische veiligheidsoriëntaties vervult. De finale programmastap is de opheffing van de nucleaire reglementaire controle.

2.2.3 Veiligheidsstrategie

2.2.3.1 Elementen van de veiligheidsstrategie

De veiligheidsstrategie is het geheel van de veiligheidsdoelstelling, strategische veiligheidsoriëntaties en keuzes, inputs en processen die bijdragen tot het bereiken van de veiligheidsdoelling en die de toepassing van de veiligheidsstrategie beïnvloeden (Figuur 2-2). De veiligheidsstrategie heeft betrekking op alle periodes en fases uit het leven van de berging (art.33.3 van [R2-5]).

De *veiligheidsdoelstelling* voor de berging is beschreven in §2.4.1.

De *strategische veiligheidsoriëntaties* geven de richting aan om de veiligheidsdoelstelling te kunnen bereiken. Ze omvatten de basisprincipes voor berging, de stralingsbeschermingsprincipes en de veiligheidsprincipes voor berging, en richten de bergingsinrichting naar de veiligheidsdoelstelling. De strategische veiligheidsoriëntaties zijn beschreven in §2.4.2.

De keuzes, inputs en processen worden als volgt gegroepeerd:

- 1) De *beheerstrategie* is de benadering die toelaat om de reglementaire bepalingen na te leven en de fundamentele veiligheids- en stralingsbeschermingsprincipes toe te passen, in het bijzonder het *principe van de optimalisering van de bescherming* [R2-5]. Voor een verdere omschrijving van het principe van optimalisering van de bescherming, zie §2.4.2.2.2. De beheerstrategie vormt een aanvulling op de algemene veiligheidsbenadering. De beheerstrategie is beschreven in §2.5.
- 2) De *veiligheidsevaluatiestrategie* is de benadering die toelaat om de veiligheid te evalueren en het vertrouwen in de toegepaste methodes aan te tonen [R2-5]. De veiligheidsevaluatiestrategie is beschreven in §2.6.
- 3) De *ontwerp- en realisatiestrategie* is de benadering die toelaat om een veilig, performant en robuust bergingssysteem te ontwerpen en te realiseren [R2-5]. Die strategie moet beogen om de afzonderings- en insluitingscapaciteiten te maximaliseren, evenals het weerstandsvermogen bij belastingen. Het bergingssysteem is het geheel van systemen, structuren en componenten (SSC's) die bijdragen tot de afzondering en insluiting. De ontwerp- en realisatiestrategie is beschreven in §2.7.
- 4) Het *veiligheidsconcept* waarin de SSC's van het bergingssysteem geïdentificeerd worden die de veiligheid verzekeren, en waarin de veiligheidsfuncties en verwachte performanties van de componenten beschreven worden voor de verschillende periodes en fases in het leven van de berging. In het veiligheidsconcept wordt ook beschreven hoe de combinatie van de componenten er voor zorgt dat het *principe van gelaagde bescherming* toegepast wordt (zie ook verder §2.4.2.3.6). Het veiligheidsconcept is beschreven in §2.8.

2.2.3.2 Interacties tussen de beheerstrategie, veiligheidsevaluatiestrategie en ontwerp- en realisatiestrategie

De interacties tussen de beheerstrategie en de ontwerp- en realisatiestrategie zijn beschreven in §2.5.2 en §2.5.4. De interacties omvatten organisatorische aspecten, de afbakening en documentatie van de ontwerpbasis, kwaliteit van de studies en rapportering ervan, continue verbetering en optimalisering, kwalificatieprocedures bij realisatie, monitoring- en toezichtprogramma, verouderingsbeheerprogramma, beheer van ervaringsfeedback, periodieke herzieningen, programma voor wijzigingen.

Het proces van veiligheidsevaluatie heeft als inputs de keuzes gemaakt in de ontwerp- en realisatiestrategie en de resultaten van het proces van ontwerp en realisatie. De resultaten van het proces van ontwerp en realisatie bestaan uit het ontwikkelde en/of (deels) gerealiseerde ontwerp en ervaringsfeedback uit de gedeeltelijke realisatie van het ontwerp. De resultaten van de veiligheidsevaluatie in termen van radiologische impact en/of risico, performantie en effecten van onzekerheden geven anderzijds informatie bij het maken van keuzes in de ontwerp- en de realisatiestrategie.

De resultaten van de veiligheidsevaluaties worden verder ook gebruikt bij de aftoetsing van de doelstellingen en mikpunten om de vorderingen op het vlak van de nucleaire veiligheid op te volgen (§2.5.3.1), en vormen dus een input voor de beheerstrategie. De veiligheidsevaluatie wordt bovendien regelmatig herzien en bijgewerkt in functie van mogelijke verbeteringen van de nucleaire veiligheid, veranderingen qua reglementaire vereisten en aanbevelingen, wijzigingen van de wetenschappelijke basis, de realisatie van de berging, technologische ontwikkelingen, monitoring- en toezichtprogramma's, middelen voor het uitvoeren van kwantitatieve analyses en nieuwe nationale of internationale ontwikkelingen met betrekking tot veiligheidsevaluatiemethodologieën en -praktijken.

2.2.3.3 Toepassing van de veiligheidsstrategie

De toepassing van de veiligheidsstrategie omvat de volgende activiteiten: ontwikkeling van het ontwerp, onderzoek, O&O incl. karakterisering van de site, beheer van onzekerheden, veiligheidsevaluaties, monitoring en toezicht, realisatie van de berging (constructie, exploitatie, sluiting). Deze activiteiten worden uitgevoerd conform de oriëntaties, inputs, keuzes en processen die in de veiligheidsstrategie worden uiteengezet.

De ontwikkeling van het ontwerp baseert zich op de gegevens uit O&O, veiligheidsevaluaties, ervaringsfeedback uit gedeeltelijke realisatie van de berging en monitoring en toezicht. Anderzijds levert de ontwikkeling van het ontwerp de technische kennisbasis voor de veiligheidsevaluaties, de basis voor de realisatie van de berging en voor monitoring en toezicht. Het ontwikkelde ontwerp wordt ook gebruikt om het O&O te focussen op het gekozen ontwerp.

De input van de O&O activiteiten zijn het ontwerp en zijn (gedeeltelijke) realisatie, resultaten van monitoring en toezicht, resultaten van vroegere veiligheidsevaluaties, belangrijke onzekerheden, voorziene methodes in de veiligheidsevaluaties, noden vanuit de veiligheidsevaluaties qua kennis van parameters en van de evolutie van het bergingssysteem en zijn omgeving. O&O levert als output karakterisering van onzekerheden, resultaten met betrekking tot begrip van performantie en verwachte levensduur, uitvoerbaarheid van het ontwerp, monitoring, methodes/modellen en data te gebruiken in veiligheidsevaluaties, kennis van de verwachte evolutie van het bergingssysteem en zijn omgeving, methodes/modellen te gebruiken bij de realisatie van het ontwerp.

De inputs van de veiligheidsevaluaties zijn het ontwerp en zijn (gedeeltelijke) realisatie, O&O resultaten, resultaten van monitoring en toezicht, te behandelen onzekerheden. De resultaten van de veiligheidsevaluaties geven als output indicaties over de veiligheid en performantie van de berging. Ze geven ook indicaties over het effect van onzekerheden op de veiligheid en performantie, en kunnen op die manier het verdere ontwerp en realisatie, O&O, monitoring en toezicht focussen op de aspecten die een belangrijk effect hebben.

De verschillende activiteiten hebben meerdere inputs en outputs naar de andere activiteiten tijdens hun parallelle ontwikkeling en worden continu bijgestuurd in functie van de vorderingen van de overige activiteiten. De activiteiten worden ook continu bijgestuurd door interacties met diverse stakeholders en met de veiligheidsautoriteit. Die bijsturingen hebben een verbetering van de nucleaire veiligheid tot doel.

2.2.3.4 Beheer en behoud van kennis

Gezien de vele interacties is het belangrijk om te beschikken over een systeem van kennisbeheer dat helpt bij het documenteren van tussentijdse resultaten, bij het systematisch in rekening brengen van de onderlinge verbanden en bij het behouden van een globaal overzicht op de uitvoering van het programma. Ook zijn er specifieke processen vereist voor het behouden van deze kennis in volgende iteraties van het programma, zodanig dat beslissingen kunnen worden getraceerd en de veiligheid steeds voorop blijft staan naarmate het programma vordert.

Het huidige beheer en behoud van kennis door NIRAS is gekaderd in een ISO9001 totaal kwaliteitsborgingssysteem. Het omvat procedures om wetenschappelijke en technische studies uit te voeren en te documenteren, geautomatiseerde workflows qua opstellen, nazien en goedkeuren van vergaderverslagen. Het kennisbeheersysteem omvat ook een systeem van versiecontrole van documenten zodat de betrokken ploeg telkens over de laatste versie van documenten of inputdata kan beschikken bij zijn activiteiten. De verschillende elementen (vergaderverslagen, documenten, acties/beslissingen) blijven elektronisch raadpleegbaar en worden gearhiveerd.

De strategie voor het behoud van kennis op lange termijn omvat zowel een strategie voor het behoud van expertise betreffende de berging, als voor de archivering, transfer en verspreiding van informatie betreffende de aanwezigheid van de berging.

Voor het informatie- en kennisbeheer betreffende de berging, zie HS03 §3.4.5.

Belangrijke documenten zoals de as-built plannen zullen op meerdere locaties op specifiek archiveringspapier bewaard worden. Op regelmatige tijdstippen zullen meetings georganiseerd worden met alle belanghebbenden om het bijwerken van de informatie te bespreken en de informatie opnieuw te communiceren en door te geven.

Ook wordt, conform art.36.10 van [R2-5], de ontwerpbasis van de bergingsinrichting regelmatig nagezien, zie §2.5.4.1 .

Verder draagt het systeem van periodieke herzieningen bij tot het bestendigen van de kennis en expertise. In §2.5.4.7 worden de rol en interfaces van dit proces besproken.

De kennis wordt lokaal en regionaal verankerd door de sterke verwevenheid van de bergingsinrichting met de lokale stakeholders in het kader van het geïntegreerde cAt project. Naast de realisatie van de bergingsinrichting omvat het cAt project ook deelprojecten die zullen bijdragen aan een verdere verankering van de kennis in de toekomst. Bijvoorbeeld: communicatiecentrum, opleidingsinitiatieven, lokaal fonds waarin NIRAS betrokken partij blijft.

NIRAS volgt de internationale ontwikkelingen op het gebied van behoud en beheer van kennis op lange termijn van nabij op. Zo werkt NIRAS actief mee aan het NEA project “Preservation of Records, Knowledge and Memory across Generations”.

2.2.3.5 Beheer van onzekerheden

De veiligheidsbenadering en veiligheidsstrategie houden rekening met de bestaande gegevens die de veiligheidsstrategie en haar toepassing kunnen beïnvloeden (Figuur 2-2). Mogelijke wijzigingen aan die gegevens vormen een bron van *contextuele onzekerheden*. Contextuele onzekerheden worden beheerd door de iteratieve toepassing van de veiligheidsbenadering, waarin bij iedere programmastap nagegaan wordt of er gegevens gewijzigd zijn ten opzichte van een vroegere programmastap of iteratie, de wijzigingen geëvalueerd worden en er een risicoanalyse uitgevoerd wordt. In de risicoanalyse worden de risico's verbonden met de contextuele onzekerheden geanalyseerd en worden er maatregelen beschreven om de risico's te verminderen. Voor de risicoanalyse, zie verder §2.9.

Naast de contextuele onzekerheden, moeten ook de *technische/wetenschappelijke onzekerheden* geassocieerd met het bergingssysteem en zijn omgeving beheerd worden. Onzekerheden betreffende karakteristieken, gebeurtenissen en processen, die de initiële toestand of evolutie van het bergingssysteem en zijn omgeving bepalen moeten worden geïdentificeerd, gekarakteriseerd en geanalyseerd naar relevantie voor de veiligheid. De karakterisering van onzekerheden omvat een kwantitatieve of kwalitatieve beschrijving van de onzekerheden. De identificatie en karakterisering van onzekerheden baseert zich op O&O (incl. karakterisering omgeving van de berging), het ontwerp en zijn (gedeeltelijke) realisatie, monitoring en toezicht, kennis van de radiologische bronterm. Het analyseren naar relevantie voor de veiligheid bestaat uit het nagaan van mogelijke invloeden van de onzekerheden op de resultaten van de veiligheidsevaluatie.

Onzekerheden die relevant zijn voor de veiligheid worden behandeld in de veiligheidsevaluaties. Aan de hand van de resultaten van de veiligheidsevaluaties wordt er nagegaan of de impact en/of het risico van de resterende onzekerheden aanvaardbaar zijn of niet. Er wordt tevens bepaald wat de belangrijkste hypothesen en parameters zijn voor de prestatie van het bergingssysteem. Indien voor bepaalde onzekerheden de impact of het risico niet aanvaardbaar zou zijn, dan moet de impact of het risico binnen de lopende programmastap aanvaardbaar gemaakt worden door die onzekerheden te verminderen of te elimineren. Dat kan aan de hand van O&O, ontwerp- of realisatiekeuzes, opleggen van specifieke conformiteitscriteria, monitoring en toezicht.

Het beheer van onzekerheden kadert in het aantoonbaarheidsprincipe (art.33.2.2 van [R2-5]), zie verder §2.4.2.3.8.

Het beheer van onzekerheden wordt uitgevoerd in parallel met de andere activiteiten zoals ontwerp en realisatie, O&O, monitoring en toezicht, en veiligheidsevaluatie.

De resultaten van de behandeling van onzekerheden in de veiligheidsevaluaties, kunnen verdere sturing geven aan het reduceren of elimineren tijdens de volgende programmastap(pen) van reduceerbare onzekerheden die een belangrijke invloed kunnen hebben op de impact, het risico en/of de prestatie.

2.3 Bestaande gegevens

Deze sectie geeft een overzicht van de belangrijkste bestaande gegevens die als randvoorwaarden dienen van de veiligheidsstrategie.

De codes en normen toegepast voor het ontwerp van de bergingsstructuren zijn beschreven in hoofdstukken 7 en 8 van het veiligheidsrapport. De gegevens met betrekking tot de niet-radiologische milieu-impact zijn beschreven in het milieueffectenrapport (MER) [R2-9]. De gegevens met betrekking tot de beveiliging en safeguards worden beschreven in specifieke beveiliging gerelateerde documenten die vertrouwelijk zijn.

Deze sectie bevat de gegevens met betrekking tot het beheer van radioactief afval, veiligheid en stralingsbescherming en de overige bestaande gegevens.

2.3.1 Beheer van radioactief afval, taken en werkingsmodaliteiten van NIRAS

Wettelijke voorschriften – Beheer van radioactief afval	
Oprichting en de taken van NIRAS, nationale beleidsmaatregelen en nationaal programma voor het beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval: Koninkrijk België, Artikel 179 § 2-11 van de Wet van 8 augustus 1980 betreffende de budgettaire voorstellen 1979-1980, Belgisch Staatsblad 15/08/1980 zoals gewijzigd 11/01/1991, 12/12/1997, 30/12/2001, 27/04/2007, 24/07/2008, 29/10/2010, 03/06/2014 Koninkrijk België, Wet van 29 april 1999 betreffende de organisatie van de elektriciteitsmarkt, Belgisch Staatsblad 11/05/1999 Koninkrijk België, Wet van 11 april 2003 betreffende de voorzieningen aangelegd voor de ontmanteling van de kerncentrales en voor het beheer van splijtstoffen bestraald in deze kerncentrales, Belgisch Staatsblad 15/07/2003	[R2-10] [R2-11] [R2-12]
Werkingsmodaliteiten van NIRAS en financiële middelen: Koninkrijk België, 30 Maart 1981. - Koninklijk Besluit houdende bepaling van de opdrachten en de werkingsmodaliteiten van de openbare instelling voor het beheer van radioactief afval en splijtstoffen, Belgisch Staatsblad 05/05/1981 en implementatie Koninklijke Besluiten van 16/10/1991, 04/04/2003, 13/12/2005, 01/05/2006, 18/05/2006, 02/06/2005, 13/06/2007, 03/07/2012, 25/04/2014 Koninkrijk België, Koninklijk Besluit van 18 november 2002 houdende regeling van de erkenning van uitrustingen bestemd voor de opslag, verwerking en conditionering van radioactief afval, Belgisch Staatsblad 3/12/2002 Koninkrijk België, Koninklijk Besluit van 24 maart 2003 betreffende onder andere de financiering van de kosten verbonden aan de regulering van en controle op de elektriciteitsmarkt, Belgisch Staatsblad 28/03/2003	[R2-13] [R2-14] [R2-15]

2.3.2 Reglementaire vereisten

2.3.2.1 Reglementaire vereisten uit het internationale regelgevende kader

Het internationale regelgevende kader bestaat uit internationale conventies en verdragen die België heeft geratificeerd en uit Europese richtlijnen. De belangrijkste elementen van dit kader voor de veiligheidsstrategie voor de berging van categorie A-afval zijn hieronder weergegeven.

Internationale regelgevende kader	
'Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management'	[R2-16]
'Convention on Nuclear Safety'	[R2-17]
Euratom-verdrag	[R2-18]
Richtlijn 2013/59/Euratom tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming tegen de gevaren verbonden aan de blootstelling aan ioniserende straling	[R2-19]
Richtlijn 2013/51/Euratom tot vaststelling van voorschriften voor de bescherming van de volksgezondheid tegen radioactieve stoffen in voor menselijke consumptie bestemd water	[R2-20]
Richtlijn 92/43/EEG inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna	[R2-21]
Richtlijn 2011/92/EU betreffende milieueffectbeoordeling van bepaalde openbare en particuliere projecten (zoals gewijzigd en gerecificeerd)	[R2-22]
Richtlijn 2001/42/EG betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's	[R2-23]
Richtlijn 2011/70/Euratom tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval	[R2-24]

2.3.2.2 Reglementaire vereisten voor stralingsbescherming en vergunningen

Wetgeving - stralingsbescherming en vergunningen	
Opdrachten van het FANC: Koninkrijk België, Wet van 15 april 1994, betreffende de bescherming van de bevolking en van het leefmilieu tegen de uit ioniserende stralingen voortspruitende gevaren en betreffende het FANC, Belgisch Staatsblad 29/07/1994, zoals gewijzigd	[R2-25]
ARBIS – algemeen reglement voor de bescherming tegen ioniserende stralingen (vergunning, rapport artikel 37 Euratom, milieueffectbeoordeling, stralingsbescherming): Koninkrijk België, 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 de ioniserende stralingen, ARBIS/RGPRI, Belgisch Staatsblad 30/08/2001 zoals gewijzigd	[R2-1]
Voorschriften kerninstallaties: Koninkrijk België, 30 November 2011 – Koninklijk besluit houdende veiligheidsvoorschriften voor de kerninstallaties, Belgisch Staatsblad 21 December 2011 zoals gewijzigd	[R2-3]
Werknemers: Koninkrijk België, 28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek V - Omgevingsfactoren en fysische agentia van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017 (Boek V, Titel 5 handelt over activiteiten waarbij werknemers beroepshalve worden of kunnen worden blootgesteld aan een uit ioniserende straling voortkomend risico)	[R2-26]
Radioactieve stoffen in voor menselijke consumptie bestemd water: Koninkrijk België, Koninklijk Besluit van 31 mei 2016 betreffende de bescherming van de volksgezondheid tegen radioactieve stoffen in voor menselijke consumptie bestemd water, Belgisch Staatsblad 28/06/2016	[R2-27]

Voor het veiligheidsbeleid, de veiligheidsstrategie en het veiligheidsconcept komen de meeste reglementaire vereisten direct voort uit het ARBIS en uit het Koninklijk Besluit van 30 november 2011 houdende veiligheidsvoorschriften.

2.3.2.3 Reglementaire vereisten voor welzijn op het werk

Wetgeving – Welzijn op het werk	
Wet voor welzijn op het werk: Koninkrijk België, 4 augustus 1996. – Wet betreffende het welzijn van de werknemers bij de uitvoering van hun werk, Belgisch Staatsblad 18/09/1996	[R2-28]
Codex voor welzijn op het werk: Koninkrijk België, 28 april 2016. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek I Algemene beginselen van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017	[R2-29]
Koninkrijk België, 28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek II - Organisatorische structuren en sociaal overleg van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017	[R2-30]
Koninkrijk België, 28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek III - Arbeidsplaatsen van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017	[R2-31]
Koninkrijk België, 28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek IV Arbeidsmiddelen van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017	[R2-32]
Koninkrijk België, 28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek V - Omgevingsfactoren en fysieke agentia van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017	[R2-26]
Koninkrijk België, 28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek IX - Collectieve bescherming en individuele uitrusting van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017	[R2-33]
Koninkrijk België, 28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek X - Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017	[R2-34]
ARAB – algemeen reglement voor de arbeidsbescherming: Koninkrijk België, Algemeen Reglement voor de Arbeidsbescherming, goedgekeurd bij de besluiten van de Regent van 11 februari 1946 en 27 september 1947, ARAB/RGPT, Belgisch Staatsblad 03/04/1946 en 03/10/1947, zoals gewijzigd	[R2-35]
AREI – algemeen reglement op de elektrische installaties: Koninkrijk België, Koninklijk besluit van 2 september 1981 houdende wijziging van het Algemeen Reglement op de elektrische installaties en houdende bindend verklaring ervan op de elektrische installaties in inrichtingen gerangschikt als gevaarlijk, ongezond of hinderlijk en in inrichtingen beoogd bij artikel 28 van het Algemeen Reglement voor de arbeidsbescherming, AREI/RGIE, Belgisch Staatsblad 30/09/1981 zoals gewijzigd	[R2-36]
Brandpreventie: Koninkrijk België, 7 juli 1994. – Koninklijk besluit tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de gebouwen moeten voldoen, Belgisch Staatsblad 26/04/1995, zoals gewijzigd	[R2-37]

2.3.2.4 Reglementaire vereisten voor milieubescherming

Wetgeving – Milieubescherming	
Nucleaire aspecten van milieueffectbeoordeling: Koninkrijk België, 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 de ioniserende stralingen, ARBIS/RGPRI, Belgisch Staatsblad 30/08/2001 zoals gewijzigd	[R2-1]
Behoud van habitats en van wilde fauna en flora: Koninkrijk België – Vlaamse Regering, 15 Mei 2009. - Besluit van de Vlaamse Regering met betrekking tot soortenbescherming en soortenbeheer (aangehaald als: het Soortenbesluit), Belgisch Staatsblad 13/08/2009	[R2-38]
Integraal waterbeheer en regels voor de toepassing van de watertoets: Koninkrijk België – Vlaamse Overheid, 18 juli 2003. - Decreet betreffende het integraal waterbeleid, Belgisch Staatsblad 14/11/2003, zoals gewijzigd	[R2-39] [R2-40]
Koninkrijk België – Vlaamse Overheid, 20 juli 2006 - Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van nadere regels voor de toepassing van de watertoets, tot aanwijzing van de adviesinstantie en tot vaststelling van nadere regels voor de adviesprocedure bij de watertoets, vermeld in artikel 8 van het decreet van 18 juli 2003 betreffende het integraal waterbeleid, Belgisch Staatsblad 31/10/2006	
Natuurbehoud en het natuurlijk milieu: Koninkrijk België – Vlaamse Overheid, 21 oktober 1997. – Decreet betreffende het natuurbehoud en het natuurlijk milieu, Belgisch Staatsblad 10/01/1998, zoals gewijzigd	[R2-41]
Bosbescherming en -beheer: Koninkrijk België – Vlaamse Overheid, 13 juni 1990. – Bosdecreet, Belgisch Staatsblad 28/09/1990, zoals gewijzigd	[R2-42]

Wetgeving – Milieubescherming	
Voorschriften op het gebied van afvoer van regenwater: Koninkrijk België – Vlaamse Overheid, 1 oktober 2004. - Besluit van de Vlaamse Regering houdende vaststelling van een gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake hemelwaterputten, infiltratievoorzieningen, buffervoorzieningen en gescheiden lozing van afvalwater en hemelwater, Belgisch Staatsblad 08/11/2004	[R2-43]

2.3.3 Aanbevelingen

2.3.3.1 Leidraden en nota's van het FANC

Het FANC heeft diverse leidraden en nota's opgesteld met betrekking tot diverse aspecten die aan bod dienen te komen in het veiligheidsrapport en die een weerslag hebben op de veiligheidsstrategie. De overeenstemming tussen de strategische veiligheidsoriëntaties en de leidraden en nota's van het FANC wordt verder besproken in §2.11.4.

Leidraden en nota's van het FANC	
Principes voor de berging van radioactief afval: AFCN, Dépôts définitifs de déchets radioactifs – Note stratégique et politique d'instruction des demandes d'autorisation, note AFCN 007-020-F rév. 1, 17/10/2007	[R2-44]
Veiligheidsprincipes voor bergingsinstallaties: AFCN, Guide technique « Dépôt définitif en surface sur le territoire belge de déchets de faible et moyenne activité à vie courte », note AFCN 007-228-F rév. 3, 13/07/2011	[R2-45]
Stralingsbescherming: FANC, Leidraad over de stralingsbescherming tijdens de operationele periode van een inrichting voor de eindberging van radioactief afval, FANC nota 008-007-n herz. 5, 07/10/2010 AFCN, Guide technique « Critères de Radioprotection pour l'évaluation de la sûreté post-fermeture des dépôts de déchets radioactifs », note AFCN 2011-06-28-CAD-5-4-3-FR rév.1, 20/07/2017	[R2-46] [R2-47]
Menselijke intrusies: AFCN, Dépôt définitif en surface sur le territoire belge de déchets radioactifs de faible et moyenne activité et de courte demi-vie – Guide relatif à la prise en compte du risque d'intrusion humaine pour les dépôts définitifs en surface de déchets radioactifs, note AFCN 007-087-F REV.1, 02/04/2010	[R2-48]
Hydrogeologie: AFCN, Dépôt définitif en surface sur le territoire belge de déchets radioactifs de faible et moyenne activité et de courte demi-vie – Guide technique « Analyse de sûreté : aspects liés à l'eau souterraine », note AFCN 008-225-F REV.2, 24/09/2010	[R2-49]
Biosfeer: FANC, Veiligheidsevaluatie: biosfeer, FANC nota 008-217-n herz. 03, 19/08/2010	[R2-50]
Gebeurtenissen met een externe oorsprong: FANC, Oppervlakteberging, op Belgisch grondgebied, van kortlevend laag- en middelradioactief afval – leidraad over de beschouwing van gebeurtenissen met een externe oorsprong bij het ontwerp van de bergingsinstallatie, FANC nota 008-241-n herz. 2, 07/06/2010	[R2-51]
Aardbevingen: FANC, Oppervlakteberging, op Belgisch grondgebied, van kortlevend laag- en middelradioactief afval – leidraad « aardbevingen », FANC nota 007-125-N herz. 4, 17/12/2009	[R2-52]
Veiligheidsvoorschriften voor bergingsinrichtingen: FANC nota, Veiligheidsvoorschriften voor de inrichtingen voor eindberging van radioactief afval, nota 2012-12-12-LB-4-4-01-NL, 08 Januari 2013	[R2-5]
Stralingsbescherming: AFCN, Acceptabilité des expositions potentielles dues à des événements initiateurs d'origine externe ou interne visant des établissements de dépôt de déchets radioactifs – Proposition par le service IAABA de mise en application d'une relation (courbe) entre la probabilité annuelle d'occurrence d'un événement initiateur et son impact radiologique associé pour les établissements de dépôt de déchets radioactifs, note AFCN 2012-06-21-JPW-5-4-5-FR, rev. 2, 21/06/2012	[R2-53]
Periodieke veiligheidsherzieningen: FANC, Aanpak met betrekking tot de toekomstige periodieke veiligheidsherzieningen van inrichtingen van klasse I, FANC nota 2010-095, 2010	[R2-54]

Leidraden en nota's van het FANC	
Behandeling van wijzigingen: FANC, Richtlijn van het FANC voor de behandeling van aangiften van wijzigingsontwerpen in het kader van artikel 12 van het algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van ioniserende stralingen (ARBIS), voor inrichtingen van klasse I, FANC nota 006-029 herz. 2, 2008	[R2-55]
Melding en verslaggeving van significante gebeurtenissen: FANC, Melding en verslaggeving van significante gebeurtenissen die betrekking hebben op de nucleaire veiligheid, de bescherming van personen en het leefmilieu in de nucleaire inrichtingen van klasse I, FANC nota 2010-054 herz. 2, 2014	[R2-56]

2.3.3.2 Internationale aanbevelingen

De belangrijkste internationale aanbevelingen voor de radiologische veiligheidsstrategie werden uitgevaardigd door de Europese Commissie, het IAEA, de ICRP en het NEA (Nuclear Energy Agency).

2.3.3.2.1 Aanbevelingen van de Europese Commissie

Aanbevelingen van de Europese Commissie	
Artikel 37 Euratom: Europese Commissie, 2010/635/Euratom: Aanbeveling van de Commissie van 11 oktober 2010 inzake de toepassing van artikel 37 van het Euratom-verdrag, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen Nr. L 197, 21/07/2010	[R2-57]

2.3.3.2.2 Aanbevelingen van het IAEA

Aanbevelingen van het IAEA	
Safety Fundamentals	
IAEA, <i>The principles of radioactive waste management</i> , Safety Series No. 111-F, Wenen, 1995	[R2-58]
IAEA, <i>Fundamental Safety Principles</i> , Safety Fundamentals SF-1, Wenen, 2006	[R2-59]
Safety Requirements	
Berging: IAEA, <i>Disposal of Radioactive Waste</i> , Specific Safety Requirements SSR-5, Wenen, 2011	[R2-6]
Stralingsbescherming: IAEA, <i>Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, Jointly sponsored by EC, FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, WHO, General Safety Requirements – GSR Part 3</i> , Wenen, 2014	[R2-60]
Beheersystemen: IAEA, <i>Leadership and Management for Safety, General Safety Requirements – GSR Part 2</i> , 2016.	[R2-61]
Veiligheidsevaluatie: IAEA, <i>Safety Assessment for Facilities and Activities, General Safety Requirements – GSR Part 4 (Rev. 1)</i> , 2016	[R2-62]
Safety Guides	
Stralingsbescherming: IAEA, <i>Occupational Radiation Protection</i> , Safety Guide RS-G-1.1, 1999 IAEA, <i>Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides</i> , Safety Guide RS-G-1.2, 1999 IAEA, <i>Building Competence in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources</i> , Safety Guide RS-G-1.4, 2001	[R2-63] [R2-64] [R2-65]
Beheersystemen: IAEA, <i>Application of the Management System for Facilities and Activities</i> , Safety Guide GS-G-3.1, 2006 IAEA, <i>The Management System for the Disposal of Radioactive Waste</i> , Safety Guide GS-G-3.4, 2008	[R2-66] [R2-67]
Oppervlakteberging IAEA, <i>Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste</i> , Specific Safety Guide SSG-29, 2014	[R2-68]
Veiligheidsevaluatie oppervlakteberging: IAEA, <i>The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste</i> , Specific Safety Guide SSG-23, 2012	[R2-69]

Aanbevelingen van het IAEA	
Overige	
IAEA, <i>Defence in Depth in Nuclear Safety</i> , INSAG-10, Wenen 1996	[R2-70]
IAEA, <i>IAEA Safety Glossary – Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection – 2007 Edition</i> , 2007	[R2-71]
IAEA, <i>Radioactive Waste Management Glossary – 2003 Edition</i> , 2003	[R2-72]

2.3.3.2.3 Aanbevelingen van de ICRP

Aanbevelingen van de ICRP	
Systeem voor stralingsbescherming: ICRP, <i>The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection</i> , ICRP Publicatie 103, 2007	[R2-73]
Berging van radioactief afval: ICRP, <i>Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste</i> . ICRP Publicatie 77, 1998 ICRP, <i>Radiological protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste</i> , ICRP Publicatie 81, 2000 ICRP, <i>Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste</i> , ICRP Publicatie 122, 2013	[R2-74] [R2-75] [R2-76]
Optimalisering: ICRP, <i>The Optimisation of Radiological Protection - Broadening the Process</i> , ICRP Publicatie 101b, 2006	[R2-77]

2.3.3.2.4 Documenten van het NEA

NEA	
Safety case en methodologie voor veiligheidsevaluaties: NEA, <i>The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Cases for Geological Repositories</i> , NEA-OESO, 2013	[R2-7]

2.3.3.2.5 Documenten van US Nuclear Regulatory Commission

US Nuclear Regulatory Commission	
Afdekkingen: NUREG-1623, <i>Design of Erosion Protection for Long-Term Stabilization – Final Report</i> , US-NRC, NUREG-1623, September 2002	[R2-78]

2.3.4 Overige bestaande gegevens

De Ministerraad besliste op 16 januari 1998 om te kiezen voor een oplossing voor het langetermijnbeheer van categorie A-afval die definitief zou zijn of definitief zou kunnen worden, onder de volgende voorwaarden.

- Zowel de opties oppervlakteberging als geologische berging moet worden onderzocht
- De veiligheid van de voorgestelde bergingsoplossingen moet worden gewaarborgd
- Bergingsoplossingen moeten stapsgewijs, flexibel en omkeerbaar zijn. Een oppervlakteberging moet ook bijzondere aandacht geven aan de controlebaarheid. Speciale aandacht moet worden besteed aan studies van de uitvoerbaarheid en de kosten voor geologische berging
- De studies moeten worden beperkt tot de bestaande nucleaire zones en sites waar de lokale overheid interesse betoont
- Het project moet op lokaal niveau geïntegreerd worden met passende beheer- en overlegstructuren
- NIRAS moet nauw samenwerken met de veiligheidsautoriteiten, in het bijzonder met het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC), met betrekking tot alle aspecten die de veiligheid van de installaties en de bescherming van het leefmilieu aanbelangen.

Er werd een methodologie gebruikt waarbij gemeenten die wilden meewerken aan de ontwikkeling van een geïntegreerd bergingsproject voor categorie A-afval, dit wil zeggen een veilige, technologisch uitvoerbare maar ook maatschappelijk aanvaardbare bergingsoplossing, de mogelijkheden en de middelen kregen om dit te doen. Dit gebeurde in het kader van *partnerschappen* voor samenwerking tussen NIRAS en de geïnteresseerde gemeenten [R2-79].

Op basis van dat werk besliste de Ministerraad op 23 juni 2006 dat het langetermijnbeheer van categorie A-afval diende te gebeuren in een oppervlakteberging op het grondgebied van de gemeente Dessel, uitgaande van het voorontwerp dat werd ontwikkeld door het partnerschap STOLA-Dessel.

In dat voorontwerp wordt het afval met mortel geïmmobiliseerd in betonnen caissons om een monoliet te vormen. De monolieten worden geplaatst in bergingsmodules die bovenop een zand-cement ophoging staan en na het bergen van het afval afgedekt worden door een afdekking. De berging van de monolieten in de modules gebeurt met een afstandsbediend systeem. Iedere module beschikt onderaan over een inspectieruimte en een drainagesysteem. De modules worden ondergebracht in twee tumuli. Per tumulus worden er twee rijen van modules voorzien. Er zijn twee inspectiegalerijen voorzien langs weerszijden van iedere dubbele rij modules. Deze inspectiegalerijen geven toegang tot de inspectieruimtes en bevatten afvoerbuizen van het drainagesysteem. Voordat de afdekking geplaatst wordt, worden de modules beschermd door een vaste stalen dakstructuur over iedere dubbele rij modules.

Het voorontwerp van STOLA-Dessel legt de volgende voorwaarden op aan de veiligheidsstrategie en het ontwerp van de berging en beheer van de bergingsinrichting [R2-80]:

- Veiligheid moet de allerhoogste prioriteit krijgen gedurende de volledige ontwikkeling en realisatie van de berging
- Nucleaire expertise moet in de regio gehouden worden en informatie over de aanwezigheid van de installaties moet worden gearhiveerd, overgedragen en verdeeld
- Er moeten in de modules onder het afval inspectieruimtes worden gebouwd om:

- ▶ Een extra opvangcapaciteit te hebben voor mogelijke lekken
- ▶ Een permanente visuele inspectie mogelijk te maken
- ▶ Direct te kunnen reageren op aanzienlijke lekken en herstellingen te kunnen uitvoeren
- Over alle gebouwde modules moet een vaste dakstructuur worden behouden voordat de afdekking wordt aangebracht
- Er moet een bergingsontwerp worden ontwikkeld voor al het categorie A-afval (70 500 m³) zoals geraamd in de afvalschattingen uit 2003; hiervoor zijn 34 modules¹ nodig (zie §2.2.1, pagina 23 van [R2-81])
- Enkel monolieten mogen worden gebruikt als bergingsverpakkingen
- Gedurende de volledige ontwikkeling en realisatie van de berging moeten best beschikbare technieken (BBT) worden toegepast
- Tijdens het volledige ontwerp van de bergingsinstallaties moet er worden rekening gehouden met robuustheid, architecturale eenvoud, flexibiliteit in ontwerp en technische en economische uitvoerbaarheid
- Het landgebruik moet zoveel mogelijk worden beperkt. De bergingssite moet zo dicht mogelijk bij de bestaande, door Belgoprocess geëxploiteerde infrastructuur voor afvalverwerking, -opslag en -ondersteuning worden gebouwd om het transport van afval en de bouw van bijkomende gebouwen te minimaliseren en zo ook mogelijke hinder tijdens de bouw, exploitatie en sluiting van de installatie tot een minimum te beperken.
- Er moet worden voorkomen dat de bergingsinstallaties worden gebouwd in een waardevol natuurgebied
- De visuele impact van de installaties moet worden geminimaliseerd door de bergingsinstallaties en de site te integreren in het landschap; om aan die vereiste te voldoen zal NIRAS infiltratiebekkens bouwen opdat het verzamelde regenwater geleidelijk terug in de bodem kan dringen, een groenscherm van bomen voorzien en een grasvegetatie op de afdekking aanplanten.

¹ We merken op dat het benodigde aantal modules nog steeds op 34 geschat wordt op basis van de nu gebruikte inventaris 2013 V2 en een reserve van 20% op het totaal aantal monolieten (HS06, §6.4.4.1). Die reserve wordt gehanteerd als een preventieve maatregel om de plausibiliteit van een wijziging in het aantal benodigde modules door de contextuele onzekerheid “Wijzigingen qua productie en verwerking van categorie A-afval” §2.9.7 te reduceren.

2.4 Veiligheidsdoelstelling en strategische veiligheidsoriëntaties

Deze sectie bevat de veiligheidsdoelstelling (§2.4.1) en de strategische veiligheidsoriëntaties. De strategische veiligheidsoriëntaties geven de richting aan om de veiligheidsdoelstelling te kunnen bereiken en omvatten de basisprincipes voor berging (§2.4.2.1), de stralingsbeschermingsprincipes (§2.4.2.2) en de veiligheidsprincipes voor berging aan het oppervlak (§2.4.2.3). Verder wordt de conformiteit aangetoond tussen de strategische veiligheidsoriëntaties en de reglementaire vereisten en aanbevelingen (§2.4.3). Er wordt ook aangegeven hoe de overige bestaande gegevens uit §2.3.4 (beleidsbeslissingen en voorwaarden van de stakeholders) zich verhouden tot de strategische veiligheidsoriëntaties (§2.4.4).

2.4.1 Veiligheidsdoelstelling

In overeenstemming met de nucleaire veiligheidsdoelstelling uit art. 3/1 van het KB Veiligheidsvoorschriften [R2-3], de doelstellingen van de door België geratificeerde ‘Joint Convention on the Safety of Nuclear Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management’ (art.1 ii) uit [R2-16], [R2-82]), de doelstellingen voor berging uit de IAEA Safety Requirements voor berging (art. 2.1 en 2.15 [R2-6]), is de veiligheidsdoelstelling van de oppervlaktebergingsinrichting te Dessel als volgt:

Mens en milieu beschermen, nu en in de toekomst, tegen de gevaren van ioniserende straling, zonder daarbij toekomstige generaties onnodig te belasten.

Mens en milieu beschermen door ongevallen te voorkomen en, indien een ongeval zich voordoet, de gevolgen van dat ongeval te beperken en vroegtijdige of massale radioactieve lozingen te vermijden.

Een vroegtijdige of massale lozing is een radioactieve lozing die ofwel noodmaatregelen buiten de site noodzakelijk maakt, maar waarvoor onvoldoende tijd rest om die ten uitvoer te brengen, ofwel beschermingsmaatregelen vergt die niet beperkt kunnen worden in tijd of ruimte (art. 1 28°[R2-3]).

2.4.2 Veiligheid- en stralingsbeschermingsprincipes

2.4.2.1 Basisprincipes voor berging

In overeenstemming met art.33.1 van [R2-5] en §6 van [R2-44] worden de onderstaande basisprincipes gehanteerd voor bergingsinrichtingen. Deze principes zijn internationaal gehanteerde principes voor het beheer van radioactief afval; ze zijn opgenomen in de IAEA Safety Fundamentals (§3, [R2-58]) en vormen de basis van de door België geratificeerde ‘Joint Convention on the Safety of Nuclear Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management’ (zie preambule xiv) uit [R2-16], [R2-82]).

- Bescherming toekomstige generaties — Het niveau van bescherming van de toekomstige generaties moet minstens gelijk zijn aan dat wat voor de huidige generaties vereist is op het ogenblik dat de oprichtings- en exploitatievergunning verleend wordt.
- Geen bovenmatige lasten voor toekomstige generaties — Het bestaan van de inrichting voor berging mag geen bovenmatige lasten met zich meebrengen voor de toekomstige generaties.
- Inperking van effecten over de landsgrenzen — De te verwachten effecten op de volksgezondheid en het leefmilieu over de landsgrenzen heen mogen niet hoger zijn dan in eigen land.

- Verzekeren van langetermijnveiligheid — De veiligheid moet na de opheffing van de oprichtings- en exploitatievergunning verzekerd zijn.

2.4.2.2 Stralingsbeschermingsprincipes

2.4.2.2.1 Rechtvaardiging van een handeling

Handeling is gedefinieerd in art.2 van het ARBIS [R2-1]. De vereiste met betrekking tot de rechtvaardiging van handelingen wordt in art.20.1.1.1.a van het ARBIS [R2-1] bepaald.

In algemene termen maken afvalbeheer en bergingsactiviteiten deel uit van de rechtvaardiging van de handelingen die het afval genereren. Inderdaad, ICRP-publicatie 77 [R2-74] stelt dat: *“afvalbeheer en bergingsactiviteiten integraal deel uitmaken van de handeling die het afval genereert. Het zou verkeerd zijn om ze te beschouwen als een op zichzelf staande handeling, waarvoor een aparte verantwoording nodig is. Als het nationale beleid inzake afvalberging verandert en de handeling wordt voortgezet, moet de verantwoording van de handeling mogelijk worden herbekeken. Als de handeling ophoudt te bestaan, moet er mogelijk een interventie worden uitgevoerd. [...] De verantwoording van een handeling vereist enkel dat het netto voordeel van de handeling, inclusief het afvalbeheer, positief is.”*

We verwijzen op nationaal vlak ook naar FANC-leidraden (§3 van [R2-46] en §3.1 van [R2-44]) waarin gesteld wordt: *“Het is de handeling die aanleiding geeft tot radioactieve afvalstoffen die gerechtvaardigd dient te worden.”*

2.4.2.2.2 Optimalisering van de bescherming

De optimalisering van de bescherming wordt opgelegd in art.20.1.1.1.b van het ARBIS [R2-1].

Voor een inrichting van oppervlakteberging heeft het FANC voor de normale blootstellingen van personen van het publiek een dosisbeperking van $0,1 \text{ mSv.a}^{-1}$ opgelegd in de leidraden [R2-47] en [R2-53]. De dosisbeperking is een grenswaarde waaronder een geoptimaliseerde oplossing zich moet bevinden.

Met betrekking tot optimalisering stelt het KB van 30/11/2011 [R2-3] verder dat het veiligheidsbeleid een engagement moet bevatten om de nucleaire veiligheid continu te verbeteren (art.3, zie ook §2.2.1) en dat er van bij het ontwerp maatregelen moeten worden genomen om ervoor te zorgen dat de potentiële radiologische gevolgen voor de bevolking, de werkers en het leefmilieu de voorgeschreven limieten niet overschrijden en zo laag als redelijkerwijze mogelijk worden gehouden (art.7.1).

Het optimaliseringsprincipe en zijn toepassing zijn beschreven in de ICRP-publicaties 101b, 103 en, voor het specifieke geval ‘berging’, in de ICRP-publicatie 122 ([R2-77], [R2-73], [R2-76]).

De optimalisering van bescherming is een op de toekomst gericht iteratief proces, met als doel om toekomstige blootstellingen te vermijden of te verminderen. Optimalisering is een continu proces dat rekening houdt met zowel technische als socio-economische ontwikkelingen, en het vereist zowel kwalitatieve als kwantitatieve beoordelingen (§(27) in [R2-77]).

Optimalisering heeft altijd tot doel de best mogelijke bescherming te realiseren in de heersende omstandigheden door een op de toekomst gericht iteratief proces dat het volgende inhoudt:

- 1) Identificatie van opties en keuzes
- 2) Bepaling van de optimale optie of keuze op basis van de scores voor elk attribuut, rekening houdend met economische en maatschappelijke aspecten

3) Implementatie van de geselecteerde optie.

Het proces van optimalisering is aanzienlijk verschillend voor de pre-operationele, operationele en post-operationele periodes. Gedurende de operationele periode zijn de aanbevelingen voor andere grote nucleaire installaties van toepassing. Voor directe of korte termijn verbeteringen die de blootstelling van werknemers en publiek verminderen gedurende het plaatsen van het afval, kan er rekening gehouden worden met de ervaring opgedaan gedurende de exploitatiefase (§(76) in [R2-76]).

Wanneer de verre toekomst wordt beschouwd, verliezen kwantitatieve schattingen van dosis en risico hun intrinsieke betekenis en behouden ze enkel een waarde als relatieve vergelijkende factoren van de potentiële radiologische impact. De elementen die als leidraad dienen voor het optimaliseringsproces of dit proces sturen, moeten de elementen zijn die direct of indirect de kwaliteit bepalen van de onderdelen van de installatie, zoals ze gebouwd, geëxploiteerd en gesloten wordt. Kwaliteit verwijst daarbij naar het vermogen van de onderdelen van de installatie om de veiligheidsfuncties ‘insluiting’ en ‘afzondering’ op robuuste wijze te vervullen. De evaluatie en beoordeling van de kwaliteit van de systeemonderdelen omvatten in essentie kenmerken van de site, elementen van de *Best Beschikbare Technieken*² (BBT), alsook de concepten van goede praktijken, *sound engineering* en managementprincipes. Deze elementen ondersteunen en vullen de radiologische optimalisering aan wanneer in de verre toekomst potentiële impacts moeten worden behandeld (§(79-80) in [R2-76]). De capaciteit om de insluiting van radionucliden en afzondering van het afval te verkrijgen op robuuste wijze dient het optimaliseringsproces te sturen. Het eindbergingsstelsel moet op elk ogenblik het vrijkomen van radionucliden buiten de insluitingsbarrières minimaliseren (art. 36.2 van [R2-5], zie Bijlage 2-1 Tabel 2-19).

Voor bepaalde periodes en voor specifieke aspecten van het bergingssysteem (bijvoorbeeld evaluatie van operationele veiligheid gedurende de ontwikkeling van het ontwerp en gedurende de voorbereiding en implementatie van werkprocedures en activiteiten) is optimalisering op basis van radiologische criteria (effectieve dosis en risico) een belangrijk onderdeel van optimalisering van het ontwerp- en realisatieproces van het bergingssysteem (§(83) in [R2-76]).

Een kwantitatieve of kwalitatieve evaluatie van de prestatie van de berging kan bijdragen tot de optimalisering van het bergingssysteem. Dit omdat deze evaluatie inzicht verschaft in de insluiting en afzondering prestatie van het systeem en zijn componenten, alsook in de relatieve bijdragen van de verschillende componenten. Deze evaluatie verschaft tevens informatie over hoe deze relatieve bijdragen kunnen beïnvloed worden door versturende gebeurtenissen of processen. De onzekere aard op zeer lange termijn van de berekende effectieve dosis of het geschatte risico, reduceert de bruikbaarheid ervan voor het optimaliseringsproces (§(86) in [R2-76]).

² ‘Best’ moet worden geïnterpreteerd als het meest doeltreffend om het vereiste beschermingsniveau te bereiken, ‘beschikbaar’ wil zeggen redelijkerwijze toegankelijk op grote schaal en zowel beproefd als betrouwbaar, en ‘technieken’ behelzen zowel technieken op zich als technologieën.

2.4.2.2.3 Individuele dosislimieten

In art.20.1.1.1.c van het ARBIS [R2-1] wordt bepaald dat de som van opgelopen doses en volg doses de dosislimieten niet mag overschrijden.

Voor definities van equivalente dosis, effectieve dosis, equivalente volg dosis en effectieve volg dosis, zie art.2 van het ARBIS [R2-1].

De som van de opgelopen doses en volg doses door de handeling ‘oppervlakteberging te Dessel’ zijn begrensd tot de waarden in onderstaande Tabel 2-1. De dosislimieten uit het ARBIS worden gerespecteerd. Verder in dit veiligheidsrapport wordt de term ‘dosis’ gebruikt voor de som van dosis en volg dosis.

Tabel 2-1: Begrenzing van som van doses en volg doses voor de handeling ‘oppervlakteberging te Dessel’

Begrenzing van som van doses en volg doses voor de handeling ‘oppervlakteberging te Dessel’	Vastgestelde dosislimieten in het ARBIS
1. Beroepshalve blootgestelde personen	
1.a) Effectieve dosis	
10 mSv/12 opeenvolgende glijdende maanden	20 mSv/12 opeenvolgende glijdende maanden (ARBIS art.20.1.3)
1.b) Equivalente dosis – ieder van de individuele organen of weefsels	
500 mSv/12 opeenvolgende glijdende maanden	500 mSv/12 opeenvolgende glijdende maanden (ARBIS art.20.1.3)
1.c) Equivalente dosis – oog lens	
20 mSv/12 opeenvolgende glijdende maanden	150 mSv/12 opeenvolgende glijdende maanden (ARBIS art.20.1.3)
1.d) Equivalente dosis – huid – gemiddelde waarde voor elke oppervlakte van 1 cm² huid	
500 mSv/12 opeenvolgende glijdende maanden	500 mSv/12 opeenvolgende glijdende maanden; over elke cm ² huid (ARBIS art.20.1.3)
1.e) Equivalente dosis – handen, voorarmen, voeten en enkels	
500 mSv/12 opeenvolgende glijdende maanden	500 mSv/12 opeenvolgende glijdende maanden (ARBIS art.20.1.3)
2. Leerlingen en studenten	
Die door hun studies bepaalde bronnen moeten gebruiken > 18 jaar: zie beroepshalve blootgestelde werknemers Tussen 16 en 18 jaar: zie personen van het publiek Die niet door hun studies bepaalde bronnen moeten gebruiken: zie personen van het publiek	ARBIS art.20.1.5
3. Personen van het publiek	
3.a) Effectieve dosis	
0,1 mSv.a ⁻¹ (§2.4.2.2.2)	1 mSv.a ⁻¹ (ARBIS art.20.1.4)
3.b) Equivalente dosis – oog lens	
15 mSv.a ⁻¹	15 mSv.a ⁻¹ (ARBIS art.20.1.4)
3.c) Equivalente dosis – huid – gemiddelde waarde voor elke oppervlakte van 1 cm² huid	
50 mSv.a ⁻¹	50 mSv.a ⁻¹ (ARBIS art.20.1.4)

2.4.2.3 Veiligheidsprincipes voor berging aan het oppervlak

Een uitgangspunt voor het beheer van radioactief afval is dat de productie van radioactief afval wordt beperkt tot het praktisch haalbare minimum, zowel wat de activiteit als het volume ervan betreft (art.179 §6,1° [R2-10], art.4 §6 [R2-24]).

Het radioactieve afval van categorie A bestaat uit vast of gesolidificeerd afval en is omgevormd tot een vast samenhangend geheel. Solidificatie is een wijze van immobilisatie van radioactieve afvalstoffen waarbij men de fysische toestand van radioactieve stoffen omvormt van gasvormig, vloeibaar of quasi-vloeibaar naar vast, met de bedoeling om een fysisch stabiel materiaal te verkrijgen dat gemakkelijker hanteerbaar is en van waaruit de radioactieve stoffen minder gemakkelijk verspreid kunnen worden [R2-72].

Het bergen van radioactief afval is het plaatsen ervan in een installatie zonder de bedoeling het afval terug te halen, maar zonder afbreuk te doen aan de mogelijkheid om, in voorkomend geval, over te gaan tot recuperatie van afval (art.179 §5 [R2-10]).

Terwijl de opslag van radioactief afval steunt op actieve elementen van onderhoud, controle en toezicht om veiligheid en bescherming te verzekeren, beoogt men met het bergen van het afval te komen tot een systeem waarin de tussenkomst van de mens niet meer nodig is om de veiligheid te garanderen (§1.8-1.9 [R2-6]). De veiligheid mag bijgevolg niet afhankelijk blijven van te voorziene toekomstige acties van onderhoud, toezicht en controle. Na het stopzetten van onderhoud, toezicht en controle moet het bergingssysteem op passieve wijze, dus zonder verdere tussenkomst van de mens, het radioactieve afval kunnen afzonderen van mens en leefmilieu en de radionucliden kunnen insluiten (§6.2 [R2-45], Requirement 5 en §3.21-3.25 uit [R2-6], art.179 §6,3° [R2-10]).

De internationaal verkozen strategie om bij het bergen van vast of gesolidificeerd radioactief afval de veiligheid en stralingsbescherming te realiseren bestaat erin het afval 'af te zonderen' en radionucliden 'in te sluiten' (§1.7, 1.8, 2.2 [R2-6]). Insluiting is het resultaat van de acties met het oog op het beletten en beperken van het vrijkomen van radionucliden uit een beperkte ruimte (§2 [R2-5]). Het vertragen van vrijkomen van radionucliden is een actie met het oog op insluiten binnen het bergingssysteem. Afzondering is het resultaat van de acties met het oog op het voorkomen van contact tussen radioactief afval en de biosfeer (inclusief de mens) (§2 [R2-5]).

Bij de oppervlakteberging te Dessel kunnen de insluiting en afzondering niet door natuurlijke barrières verkregen worden, en steunen ze uitsluitend op de systemen, structuren en componenten (SSC's) van de bergingsinstallaties.

2.4.2.3.1 Passieve veiligheid

De langetermijnveiligheid van een berging, dat wil zeggen de veiligheid na sluiting, dient te berusten op veiligheidsmaatregelen die op lange termijn uitsluitend passief moeten kunnen worden (art.36.2 en art.48 van [R2-5], art.179 §6,3° van [R2-10]). De veiligheid moet na de opheffing van de nucleaire reglementaire controle verzekerd worden door uitsluitend passieve middelen (§6.2.3 [R2-45]). Deze passieve middelen moeten in de mate van het mogelijk zo snel als mogelijk gerealiseerd worden, zonder evenwel de doelstellingen van controle en monitoring in het gedrang te brengen (§6.2.1, §6.2.4 [R2-45], art.48 [R2-5]).

2.4.2.3.2 Afzonderen en insluiten

Tot het stopzetten van toegangscontrole berust de afzondering van het afval enerzijds op het beperken van toegang (toegangscontrole, afsluiting rond de site) en anderzijds op de mechanische eigenschappen en hoeveelheid/dikte en samenstelling van het materiaal rondom het afval.

Na het stopzetten van de toegangscontrole kan een direct contact tussen het afval en de biosfeer (inclusief de mens) niet uitgesloten worden. Oorzaken van een direct contact kunnen in principe zowel een onopzettelijke menselijke intrusie doorheen het materiaal rondom het afval zijn, als het bloot komen te liggen van het afval (erosie). Een passieve verdedigingslijn (restricties op het landgebruik, doorgeven van informatie met betrekking tot het geheugen van de site ...) kan bijkomend bijdragen aan het vermijden van direct contact tussen afval en de mens, maar daarop kan niet worden gerekend om de veiligheid te verzekeren. Er is een uitgesproken intentie om te voorzien in mechanismen van behoud van geheugen van de site, in interactie met de lokale belanghebbenden en binnen een wettelijk kader. NIRAS als openbare instelling die eigenaar van de bergingsinstallatie en de terreinen blijft en die betrokken partij blijft bij het lokale fonds en de lokale integratie (zie wet van 29/10/2010 voor Fonds op Middellange Termijn §2.3.1) kan hier als institutioneel element van continuïteit toe bijdragen.

De radiologische limieten voor berging en de daarmee verbonden radiologische bronterm in de berging dienen zodanig te zijn, dat op ieder moment na 350 jaar de radiologische impact ten gevolge van contact tussen het radioactieve afval en mens en omgeving aanvaardbaar zal zijn. Onopzettelijke menselijke intrusiescenario's dienen te leiden tot een aanvaardbare impact ten opzichte van de referentiewaarde van $3 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$ uit de FANC-leidraad over het risico op menselijke intrusies [R2-48].

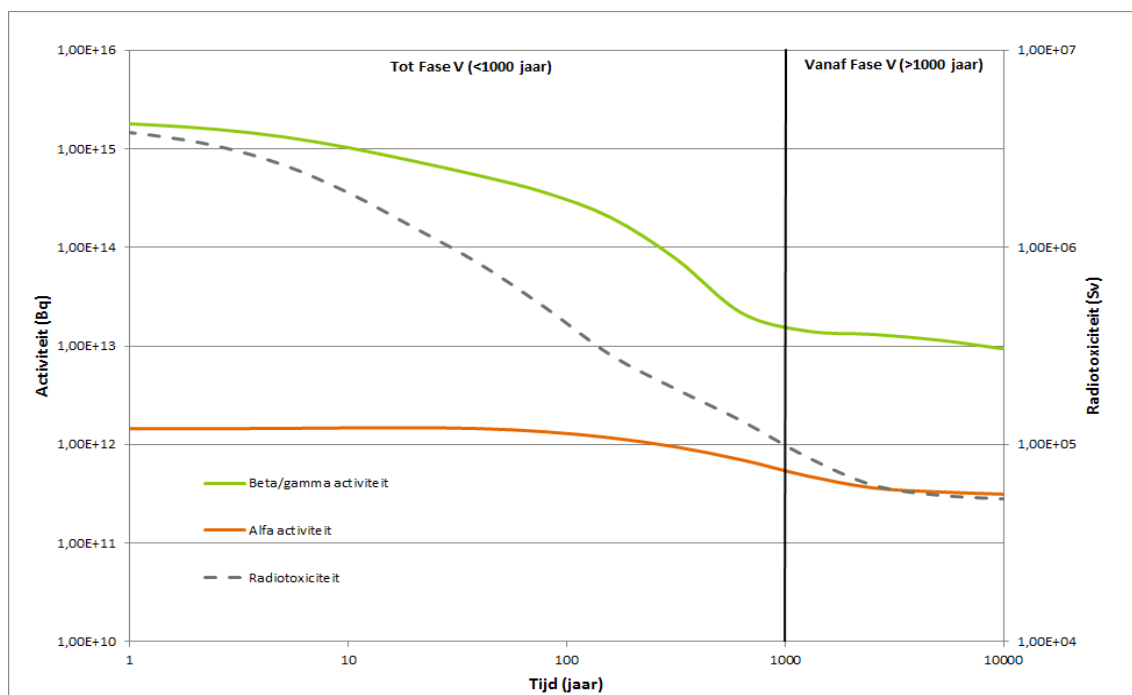
Op basis van de radiologische karakteristieken van de voorziene bronterm (Figuur 2-3) bestaat de insluitingsstrategie van het bergingssysteem erin om gedurende ongeveer 1 000 jaar zoveel als mogelijk het vrijkomen van radionucliden te voorkomen en daarna het vrijkomen van de restactiviteit en -radiotoxiciteit te spreiden in de tijd. Dat is in overeenstemming met art.7.2 van het KB van 30/11/2011 [R2-3] dat stelt dat radioactieve lozingen zoveel als mogelijk dienen te worden voorkomen en, indien de preventie mislukt, beperkt. Het is ook in overeenstemming met art.179 §6,4° van [R2-10] dat stelt de maatregelen ten uitvoer moeten worden gelegd volgens een trapsgewijze aanpak. Bij een trapsgewijze aanpak stemmen de controlemaatregelen en toe te passen condities in de mate van het mogelijke overeen met de risico's (art.1 van [R2-3]).

Gedurende enkele honderden jaren nadat het afval geborgen is nemen de totale β/γ -activiteit en de totale radiotoxiciteit van de voor de langetermijnveiligheid belangrijke radionucliden aanwezig in het afval af tot ongeveer, respectievelijk, 1% en 5% van hun oorspronkelijke waarde. Vanaf ongeveer 1 000 jaar verlagen de α - en β/γ -activiteit evenals de radiotoxiciteit niet meer op een aanzienlijk wijze.

Op basis van de evolutie van de β/γ -activiteit en de radiotoxiciteit is het nuttig om tot ongeveer 1 000 jaar te spelen op het voorkomen van het vrijkomen van de radionucliden, dit door contact met insijpelend water te vermijden. Dat is gejustifieerd omdat er tijdens de operationele periode tot 100 jaar een belangrijk verval is van die radionucliden die een belangrijke bijdrage leveren tot de radiotoxiciteit (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , ^{63}Ni en ^{238}Pu dragen voor meer dan ongeveer 80% bij tot de totale radiotoxiciteit tot 100 jaar). In de periode tussen 100 en 1 000 jaar is deze aanpak ook gejustifieerd omdat er in deze periode een bijna volledig verval optreedt van ^{137}Cs , ^{63}Ni , ^{238}Pu en ^{90}Sr , alsook een belangrijk verval van ^{241}Am .

Na ongeveer 1 000 jaar, kan door degradatie waterinsijpeling niet meer voorkomen worden, en is insluiting gebaseerd op het principe van spreiden in de tijd (beperken van vrijkomen). De radionucliden

die na 1 000 jaar de belangrijkste bijdrage leveren aan de radiotoxiciteit (^{241}Am , ^{243}Am , ^{14}C , ^{94}Nb , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{234}U , ^{236}U en ^{238}U dragen voor meer dan 90% bij tot de totale radiotoxiciteit na 1 000 jaar) worden gesorbeerd en ondergaan geen verval meer op korte tijd (met uitzondering van ^{241}Am), waardoor het spreiden in de tijd gejustificeerd is (door residuele sorptie in het systeem).



Figuur 2-3: Afname van de α - en β/γ -activiteit en radiotoxiciteit van de totale voorziene bronterm in berging. De absolute radiotoxiciteit is geen maat voor de potentiële radiologische impact van de berging. De absolute radiotoxiciteit is immers gelijk aan de dosis door ingestie van de totale activiteit in de berging, dat geen mogelijk scenario is. De relatieve afname van de radiotoxiciteit is daarentegen wel een maat voor de afname van het risico gevormd door het vrijkomen van radionucliden uit het afval onafhankelijk van de prestatie van het gekozen bergingssysteem

2.4.2.3.3 Beperken van de activiteit van langlevende radionucliden

De hoeveelheid van langlevende radionucliden aanwezig in het afval zal zo klein als mogelijk zijn zoals vereist in de FANC-leidraad oppervlakteberging [R2-45], en in art.49.1 van [R2-5]. De beperking van de langlevende radionucliden in het afval wordt als volgt toegepast:

- Door criteria qua splijtstoffen (HS15 §15.7.2) en kritikaliteit (HS15 §15.7.1) wordt er vermeden dat nucleaire brandstof in niet verwaarloosbare hoeveelheden aanwezig kan zijn in categorie A-afval.
- De activiteit dient zo veel mogelijk beperkt te worden tot aanvaardbare niveaus die slechts kleine hoeveelheden langlevende radionucliden in het afval toelaten, wat in de praktijk gebeurt door het systeem van radiologische limieten voor berging (HS06 §6.4.5).
- Voor ^{226}Ra en ^{232}Th zijn er specifieke limieten, die er voor zorgen dat zulk afval niet in de berging kan (HS15 §15.6.1).

Het beperken van de activiteit van langlevende radionucliden dient in elk stadium van de levenscyclus van het afval van productie tot berging gerespecteerd te worden. Bij de productie van het afval dienen de criteria qua splijtstoffen en kritikaliteit evenals activiteitsconcentratielimieten voor afval gerespecteerd te worden. Deze criteria en limieten worden in de acceptatiecriteria van NIRAS opgenomen. Bij de berging dienen de criteria en limieten voor afval en monolieten gerespecteerd te worden, evenals limieten per module, groepen van modules en tumulus (HS14 §14.16).

2.4.2.3.4 Robuustheid

De afzondering en insluiting moeten op lange termijn op een robuuste manier verzekerd worden door uitsluitend passieve middelen, voor de periode die nodig is op basis van het potentiële risico gevormd door het afval (art.36.2 [R2-5]).

Een belasting of bedreiging kan leiden tot een verstoring van de performantie van componenten. In het licht van redelijkerwijze te voorziene belastingen, bedreigingen en onzekerheden qua evolutie op lange termijn, moeten er robuuste componenten zijn binnen het bergingssysteem. Door robuuste componenten te voorzien, wordt ervoor gezorgd dat de performantie van het systeem minder vatbaar is voor verstoringen en onzekerheden. Er kan gesteund worden op over-dimensionering zodat de aanwezigheid en functie van barrières gewaarborgd is (Bijlage 2-1 Tabel 2-19, art. 36.3).

Een barrière, component of systeem is robuust indien ondanks verstoringen, onzekerheden en constructietoevalligheden de performantie of een deel ervan behouden kan worden. Het behouden van de prestaties van de barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen als zij belast worden, stemt overeen met robuustheid van componenten. Voor de robuustheid van het bergingssysteem is het nodig om te beschikken over complementaire en onafhankelijke barrières en/of veiligheidsfuncties van de componenten.

Twee SSC's of veiligheidsfuncties zijn complementair wanneer een SSC of veiligheidsfunctie de functionaliteit of performantie van een andere SSC of veiligheidsfunctie, of een gedeelte ervan kan overnemen. Complementariteit is een nodige maar geen voldoende voorwaarde tot gelaagde bescherming. Twee SSC's/veiligheidsfuncties zijn onafhankelijk van elkaar voor een bepaalde bedreiging, indien deze bedreiging niet kan leiden tot hun gezamenlijk falen. Faling dient begrepen te worden als een totale of quasi totale bypass of een aanzienlijk verlies van performantie van een barrière of veiligheidsfunctie, waardoor deze weinig of niet meer bijdraagt aan de nucleaire veiligheid.

Robuustheid is aldus een belangrijk onderdeel van de gelaagde bescherming (zie verder §2.4.2.3.6).

2.4.2.3.5 Diversiteit

Diversiteit qua functies, materialen en processen is een middel om onafhankelijke SSC's en/of veiligheidsfuncties te verkrijgen, en aldus gelaagde bescherming (zie verder §2.4.2.3.6). Functionele diversiteit wil zeggen dat eenzelfde geïmplementeerde doelstelling door diverse veiligheidsfuncties gerealiseerd wordt. Materiaal diversiteit wil zeggen dat eenzelfde geïmplementeerde doelstelling door diverse materialen gerealiseerd wordt. Proces diversiteit wil zeggen dat er diverse productieprocessen voorzien zijn om eenzelfde type materiaal te realiseren, of dat er diverse processen optreden in het bergingssysteem waardoor eenzelfde veiligheidsfunctie gerealiseerd wordt.

Diversiteit is een nodige voorwaarde tot onafhankelijkheid, maar geen voldoende voorwaarde omdat diversiteit er niet noodzakelijk voor zorgt dat 'common cause failures' uitgesloten worden.

Volgens art.7.5 van het KB van 30/11/2011 [R2-3] moet de betrouwbaarheid van de systemen worden gewaarborgd door een oordeelkundige keuze van maatregelen zoals het gebruik van beproefde componenten, redundantie, diversiteit, fysieke en functionele scheiding en afzondering.

2.4.2.3.6 Gelaagde bescherming

Gelaagde bescherming ('defence-in-depth') is als volgt gedefinieerd in het Belgische reglementaire kader (art.1 van [R2-3]): hiërarchische installatie van verschillende niveaus van verschillende uitrustingen en procedures om de vermenigvuldiging van voorziene bedrijfsincidenten te voorkomen en om de doeltreffendheid van fysieke barrières tussen een stralingsbron of radioactieve stoffen en werknemers, personen van het publiek en het leefmilieu te behouden, in verschillende bedrijfsomstandigheden en, voor bepaalde barrières in ongevalomstandigheden.

Zoals gesteld in art.33.2.1 van [R2-5] en in de IAEA "Safety Fundamentals" (§3.31 van [R2-59]) moet de veiligheid gebaseerd zijn op een verzameling van beschermingselementen, zodanig dat een technisch, menselijk of organisatorisch falen op zich alleen de veiligheid van de inrichting niet in het gedrang brengt.

Bij het ontwerp van de voor de nucleaire veiligheid belangrijke systemen en componenten, moet het principe dat men zich na falen in een veilige toestand bevindt ('fail-safe principle') worden toegepast (art.7.5 van [R2-3]). Een falen van een systeem dat voor normale exploitatie is voorzien, mag geen veiligheidsfuncties aantasten (art.7.5 van [R2-3]).

Van bij het ontwerp moet de toepassing van het principe van gelaagde bescherming zoveel mogelijk (art.33.2.1 van [R2-5]):

- 1) Verhindert dat de integriteit van de fysieke barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen in het gedrang wordt gebracht
- 2) De prestaties behoudt van de barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen, als die barrières of componenten belast worden
- 3) Steunt op de complementariteit en de onafhankelijkheid van de barrières en/of de veiligheidsfuncties van de componenten.

De complementariteit en onafhankelijkheid zorgen ervoor dat er één of meerdere complementaire barrières en/of veiligheidsfuncties beschikbaar zijn indien één barrière en/of veiligheidsfunctie faalt. Complementariteit en onafhankelijkheid apart zijn geen voldoende voorwaarde tot gelaagde bescherming.

Gelaagde bescherming moet ervoor zorgen dat de veiligheid niet ongepast afhankelijk is van één enkel element van de bergingsinstallatie, of van één enkele controlemaatregel, of de vervulling van één enkele veiligheidsfunctie of van één enkele administratieve procedure (§3.33 van [R2-6]). Het principe van gelaagde bescherming heeft bijgevolg consequenties naar ontwerp alsook naar controlemaatregelen en procedures.

Eén van de doelstellingen van de ontwerpbasis moet erin bestaan om voorziene bedrijfsincidenten en ongevallen te voorkomen, en indien dit niet lukt, de gevolgen ervan te beperken (art. 3/1, art.7.1 van [R2-3]). In het ontwerpproces wordt het concept van gelaagde bescherming toegepast om radioactieve lozingen te voorkomen of, indien preventie mislukt, te beperken en om de veiligheidsdoelstelling te bereiken (art. 3/1, art.7.2 van [R2-3]).

Er zijn controlemaatregelen en procedures nodig om defecten en beschadigingen aan de berging te voorkomen (preventieniveau). Voor een effectieve gelaagde bescherming zijn er ook controlemaatregelen nodig om afwijkingen van normale exploitatie, defecten of beschadigingen aan het bergingssysteem op te sporen en corrigerende maatregelen te nemen (controle- en correctieniveau). Instrumentatiemiddelen om controles uit te voeren mogen de prestatie van het bergingssysteem niet in het gedrang brengen (art.36.8 van [R2-5]).

De exploitatielimieten en –voorwaarden bepalen de voorwaarden die moeten worden vervuld om situaties die tot ongevallen zouden kunnen leiden te voorkomen, of om de gevolgen van ongevallen te milderen wanneer ze zich zouden voordoen. Op de systemen en componenten waarmee nagegaan wordt dat de normale exploitatielimieten en –voorwaarden worden nageleefd, is er een toezichtsprogramma. Wanneer zich een situatie voordoet waarbij niet kan gecontroleerd worden dat de installatie zich binnen haar exploitatielimieten en -voorwaarden bevindt, moeten onmiddellijk maatregelen worden genomen om haar weer in een veilige en stabiele toestand te brengen (art. 9 van [R2-3]).

De controlemaatregelen en procedures met betrekking tot het afval dat geborgen zal worden, hebben als doelstelling dat een menselijk of organisatorisch falen op zich alleen de veiligheid van de inrichting niet in het gedrang zou brengen (preventieniveau). Het handelt hier bijvoorbeeld over verificaties door meerdere personen van de karakteristieken van het afval.

Het aantal beschermingslagen is geen absolute indicator van de veiligheid van een systeem, omdat het benodigde aantal beschermingslagen functie is van de robuustheid van de bestaande lagen en van het inherente risico. Ook valt het aan te raden dat een systeem met inherent hoger risico meer bescherming bezit dan een systeem met een inherent lager risico, volgens de trapsgewijze aanpak. De radiologische karakteristieken van het afval zorgen ervoor dat de radiotoxiciteit afneemt met de tijd, waardoor er initieel meer beschermingslagen en controlemaatregelen nodig zijn om de gelaagde bescherming steeds in overeenstemming met het resterende risico te houden.

Zolang de berging als nucleaire inrichting uitgebaat wordt, zijn er bovendien ook nog maatregelen voor ongevalsbeheer (zie INSAG-10 §43-47 van [R2-70]) om te vermijden dat ernstige ongevallen zich verder ontwikkelen en om gevolgen van ernstige ongevallen in te dijken. Op die manier worden potentiële radiologische risico's voor het publiek buiten de site toch nog beperkt, indien er zich in weerwil van alle voorgaande maatregelen een ongeval voordoet. Acties op dit niveau mogen niet gebruikt worden als argument om acties op de bovenliggende niveaus niet te nemen. De exploitatielimieten en –voorwaarden omvatten de minimum beschikbaarheid van functionele uitrusting, de acties die het personeel verantwoordelijk voor de exploitatie moet ondernemen bij afwijkingen van de exploitatielimieten en –voorwaarden of bij falen van uitrustingen die belangrijk zijn voor de nucleaire veiligheid (art. 9 van [R2-3]). De schikkingen om noodsituaties onder controle te krijgen, de uitbreiding ervan te voorkomen of de gevolgen ervan te milderen zijn opgenomen in het interne noodplan (art. 16 van [R2-3]).

Ten slotte dient nog vermeld dat er ook mitigerende maatregelen in de *omgeving* (zie INSAG-10 §48-50 van [R2-70], §3.33 van [R2-6]) bestaan om radiologische gevolgen van het bergingssysteem te reduceren (bijvoorbeeld restricties op landgebruik, doorgeven van informatie met betrekking tot het geheugen van de site), maar deze maken geen deel uit van de gelaagde bescherming die zich *binnen* het bergingssysteem situeert.

2.4.2.3.7 Veiligheidsevaluaties gebaseerd op betrouwbare elementen

Het vertrouwen in de veiligheid steunt op resultaten van systematisch uit te voeren veiligheidsevaluaties (§3.26 [R2-6]). Beslissingen met betrekking tot de nucleaire veiligheid dienen stelselmatig voorafgegaan te worden door een voldoende grondig onderzoek door gekwalificeerd en ervaren personeel, om er zich van te vergewissen dat alle relevante aspecten van de nucleaire veiligheid in beschouwing genomen werden (art.4.2 [R2-3]).

De veiligheidsevaluatie van een bergingsinrichting is het proces van het systematisch analyseren van de risico's die ermee in verband staan (veiligheidsanalyse) en van het vermogen van het bergingssysteem om te voorzien in de veiligheidsfuncties en te voldoen aan de ontwerpvereisten (performantie-analyse). De veiligheidsevaluaties hebben als doel om te bevestigen dat de stralingsbeschermings- en veiligheidsprincipes gevolgd worden bij het ontwerp en de realisatie van de berging. Een veiligheidsevaluatie omvat, maar is niet beperkt tot, kwantitatieve analyses.

Het doel van het systematisch uitvoeren van veiligheidsevaluaties is om rekening te houden met de evoluties in functie van de tijd zowel qua installaties en activiteiten, als qua kennis en inzichten. Dat laat toe dat de veiligheidsevaluaties op ieder ogenblik een weerspiegeling vormen van de installaties en van de kennis op dat ogenblik.

Om vertrouwen te kunnen hebben in de resultaten van veiligheidsevaluaties moeten de veiligheidsevaluaties kunnen steunen op karakteristieken, gebeurtenissen en processen die voldoende goed gekend en begrepen zijn en een voldoende beperkte onzekerheid hebben (art.33.2.2 [R2-5], §3.26-3.27 [R2-6]). Ze moeten ook kunnen worden gebaseerd op karakteristieken en functies waarvan mag worden aangenomen dat die (zullen) overeenstemmen met de effectief gerealiseerde karakteristieken en functies (art.33.2.2 [R2-5], §3.26-3.27 [R2-6]). Dit impliceert dat de veiligheidsevaluaties gebaseerd dienen te kunnen worden op betrouwbare elementen, dit wil zeggen:

- Met een afdoend inzicht in de werking ervan
- Waarvan voldoende elementen aanwezig zijn om de realiseerbaarheid te bevestigen, en die een afdoende beheersing hebben
- Waarvan de doeltreffendheid kan worden geverifieerd (initiële 'ingang/inbedrijfstelling/proces'-testen, voortdurende/periodieke monitoring)
- Die met passieve middelen gerealiseerd worden.

Het vertrouwen in de resultaten van de veiligheidsevaluaties is dus sterk verbonden met de aantoonbaarheid.

2.4.2.3.8 Aantoonbaarheid

Aan de hand van de volgende elementen wordt aangetoond dat de bergingsinrichting kan gerealiseerd worden met het vereiste performantieniveau zoals vervat in vereiste a) uit art.33.2.2 van [R2-5]. Aantoonbaarheid is een attribuut bij het proces van optimalisering (zie §2.4.2.2.2 en §2.5.2). Testprogramma's worden uitgevoerd met als doel om de uitvoerbaarheid, beheersing en betrouwbaarheid aan te tonen van de materialen, implementatieprocedures en van de berging. Testprogramma's dienen eveneens om aan te tonen dat het vereiste performantieniveau bereikt kan worden. Er dient ook een kwalificatieprogramma voorzien te zijn bij de realisatie van de berging conform art.8.4 van het KB van 30/11/2011 [R2-3].

De vereiste b) uit art.33.2.2 van [R2-5] is dat er wordt beroep gedaan op beheerste technieken. Conform art.14 van de Joint Convention [R2-16], [R2-82], moeten de technieken die bij het ontwerp en de realisatie van de berging worden toegepast, ondersteund zijn door ervaring, testen of analyses. Conform art.7.5 van het KB van 30/11/2011 [R2-3] moet de betrouwbaarheid van de systemen worden gewaarborgd door een oordeelkundige keuze van maatregelen zoals het gebruik van beproefde componenten. Bij de optimalisering van de berging wordt beroep gedaan op Best Beschikbare Technieken, waarbij beschikbaar wil zeggen dat de technieken redelijkerwijze toegankelijk zijn op grote schaal en zowel beproefd als betrouwbaar (§2.4.2.2.2). Wanneer nieuwe technieken ontwikkeld worden moeten hun uitvoerbaarheid, beheersing en betrouwbaarheid aangetoond worden alvorens ze toegepast worden. Voor materialen en realisatieprocedures die nieuwigheden vertonen ten opzichte van de bestaande ervaring worden testprogramma's uitgevoerd. Testprogramma's hebben tot doel om de uitvoerbaarheid, beheersing en betrouwbaarheid aan te tonen van de materialen en implementatieprocedures.

Het aantonen dat het voorziene performantieniveau van het bergingssysteem voldoende zal blijven om de bescherming van mens en milieu te verzekeren (vereiste c) uit art.33.2.2 van [R2-5]), ongeacht de redelijkerwijze te voorziene bedreigingen waaraan het bergingssysteem kan onderworpen worden en de bouw- en uitbatingstoevalligheden, gebeurt aan de hand van de veiligheidsevaluatie, resultaten van a) en b) en de argumentatie van de 'gelaagde bescherming' in §2.8.8. Bovendien, om dit ook te kunnen aantonen na realisatie van de installatie:

- Worden volgens de ontwerp- en realisatiestrategie (§2.7.2) de conformiteitscriteria op systematische manier afgeleid uit ontwerpinputs en ontwerpvereisten
- Is in de beheerstrategie de documentatie van de ontwerpbasis voorzien (§2.5.4.1), waarbij de ontwerpbasis gedefinieerd is in art.1 van [R2-3]
- Wordt tijdens de uitvoering gecontroleerd of de bouwactiviteiten conform de documenten zijn uitgevoerd (HS03 §3.5.5) en zijn er in de beheerstrategie conform art.8.4 van [R2-3] kwalificatieprocedures (§2.5.4.2) voorzien om te bevestigen dat de voor de nucleaire veiligheid belangrijke SSC's tijdens hun hele ontwerplevensduur in staat zijn om de gevraagde functies te vervullen in de omgevingsomstandigheden die zich kunnen voordoen op het ogenblik dat men deze zal nodig hebben, bij normale werking en in voorkomend geval tijdens de voorziene bedrijfsincidenten en in ongevalsituaties
- Worden tijdens het beheer van het radioactieve afval op verschillende plaatsen in het conditioneringsproces controles ingebouwd, om de conformiteit van het afval met de oppervlaktebergingsinrichting te Dessel te kunnen garanderen (HS03 §3.7.2.2.1)
- Worden in de beheerstrategie (§2.5.4) ook volgende activiteiten voorzien:
 - ▶ Een monitoring- en toezichtprogramma (art.46 van [R2-5])
 - ▶ Een verouderingsbeheerprogramma (art.10 van [R2-3]),
 - ▶ Een programma voor het beheer van ervaringsfeedback (art.4.2 en 11 van [R2-3])
 - ▶ Programma's voor onderhoud, testen, controles en inspecties (art.12 van [R2-3])
 - ▶ Periodieke herzieningen (art.14 van [R2-3]).

Het beheer van onzekerheden (vereiste d) uit art.33.2.2 van [R2-5]) is een element van de veiligheidsstrategie voor de oppervlaktebergingsinrichting te Dessel, zie §2.2.3.5. Het beheer van

onzekerheden omvat het geheel van activiteiten die tot doel hebben om onzekerheden te identificeren, te karakteriseren, te analyseren naar relevantie voor de veiligheid, te behandelen in de veiligheidsevaluatie en te verminderen of te elimineren. Het doel van het beheer van de onzekerheden is om de aanvaardbaarheid van de effecten van alle voor de veiligheid relevante onzekerheden te kunnen aantonen.

2.4.3 Conformiteit van strategische veiligheidsoriëntaties met reglementaire vereisten en aanbevelingen

In onderstaande Tabel 2-2 wordt een overzicht gegeven van de link tussen enerzijds de veiligheidsdoelstelling (§2.4.1) en de strategische veiligheidsoriëntaties (§2.4.2.1, §2.4.2.2 en §2.4.2.3) en anderzijds de nationale wetgeving en nota's en leidraden van het FANC.

Tabel 2-2: Link tussen enerzijds de veiligheidsdoelstelling en de strategische veiligheidsoriëntaties en anderzijds de nationale wetgeving en nota's en leidraden van het FANC

Veiligheidsdoelstelling en strategische veiligheidsoriëntaties	Nationale Wetgeving	FANC leidraad/nota
Veiligheidsdoelstelling (§2.4.1)	art.3/1 van KB Veiligheidsvoorschriften [R2-3]	§5 van [R2-44]
Strategische veiligheidsoriëntaties (§2.4.2)		
1. Basisprincipes voor berging (§2.4.2.1)		
Bescherming toekomstige generaties		art.33.1.a) van [R2-5] §6 van [R2-44]: Principe 1 "Bescherming van gezondheid van de mens", Principe 2 "Bescherming van het leefmilieu" Principe 4 "Bescherming van de toekomstige generaties" Principe 6 "Veiligheid van de installaties" §4.2 van [R2-47]
Geen bovenmatige lasten voor toekomstige generaties		art.33.1.b) van [R2-5] §6 van [R2-44]: Principe 5 "Belasting van de toekomstige generaties"
Inperking van effecten over de landsgrenzen		art.33.1.c) van [R2-5] §6 van [R2-44]: Principe 3 "Grens-overschrijdende bescherming"
Verzekeren van langetermijnveiligheid		art.33.1.d) van [R2-5] §6 van [R2-44]: Principe 6 "Veiligheid van de installaties"
2. Stralingsbeschermingsprincipes (§2.4.2.2)		
Rechtvaardiging van een handeling	art.20.1.1.1.a van ARBIS [R2-1]	§3 van [R2-46]
Optimalisering van de bescherming	art.20.1.1.1.b van ARBIS [R2-1] art.3, 4.2, 5, 7.1 van KB Veiligheidsvoorschriften [R2-3]	§3, §5 van [R2-46] §6 van [R2-46] met uitzondering van de figuur waarvoor §4 Fig.1 van [R2-53] geldt §5.1.2, §5.2.1 van [R2-47] art.33.2.1, art. 33.3, art.36.2, art.36.5, art.36.10 van [R2-5]

Veiligheidsdoelstelling en strategische veiligheidsoriëntaties	Nationale Wetgeving	FANC leidraad/nota
Individuele dosislimieten	art.20.1.1.1.c, 20.1.3, 20.1.4, 20.1.5 van ARBIS [R2-1] art.7.1 van KB van 30/11/2011 [R2-3]	§3, §5, §6 van [R2-46]
3. Veiligheidsprincipes voor berging aan het oppervlak (§2.4.2.3)		
Passieve veiligheid	art.179 §6,3° [R2-10]	§6.2 van [R2-45] art.36.2, art.48 van [R2-5]
Afzonderen en insluiten	art.20.1.1.2 van ARBIS [R2-1] art.7.2 van KB van 30/11/2011 [R2-3] art.179 §6,4° [R2-10]	§6.2, §6.3, §6.4 van [R2-45] §6.1.1 van [R2-48] art.33.3, art.36.2, art.36.3, art.49.2, art.49.4 van [R2-5]
Beperken van de activiteit van langlevende radionucliden	art.9 van KB van 30/11/2011 [R2-3] art.179 §6,2° [R2-10]	§6.1 van [R2-45] art.36.3, art.49.1 van [R2-5]
Robuustheid	art.7.1, 7.5 van KB van 30/11/2011 [R2-3]	art.33.2.1 a) en b), art.33.3, art.36.2, art.36.3, art.36.5 van [R2-5]
Diversiteit	art.7.5 van KB van 30/11/2011 [R2-3]	
Gelaagde bescherming	art.7.1, 7.2, 7.5 van KB van 30/11/2011 [R2-3]	art.33.2.1, art. 33.3, art. 36.2, art.36.3, art.36.4, art.36.5, art.36.6, art.36.8, art.36.9, art.37, art.46 van [R2-5]
Veiligheidsevaluaties gebaseerd op betrouwbare elementen	art.4.2 van KB van 30/11/2011 [R2-3]	art.33.2.2 c) en d), art.36.3 van [R2-5]
Aantoonbaarheid	art.4.2, 7.5, 8, 10, 11, 12, 14 van KB van 30/11/2011 [R2-3]	art.33.2.2, art.36.3, art.40, art.41, art.44, art.46 van [R2-5]

Uit de ratificatie door België van de IAEA ‘*Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management*’ [R2-16], [R2-82] volgt dat de fundamentele principes voor afvalbeheer toegepast moeten worden (zie ook §2.4.2.1). Met deze principes is rekening gehouden in de FANC documenten [R2-5] en [R2-44]. De wijze waarop de veiligheidsoriëntaties in overeenstemming zijn met [R2-5] en [R2-44] wordt verder in Bijlage 2-1 (§2.11.4) beargumenteerd.

De IAEA ‘*Convention on Nuclear Safety*’ en ratificatie ervan door België [R2-17], [R2-83] is weliswaar niet van toepassing omdat berging niet onder het begrip “kerninstallatie” uit artikel 2 van deze referentie valt, maar bevat desalniettemin maatregelen voor een doeltreffende bescherming tegen stralingsrisico’s die ook in een berging genomen kunnen worden. Inderdaad, de principes uit [R2-17] werden op nationaal vlak overgenomen in de KB van 30/11/2011 [R2-3] waarvan hoofdstuk 2 van toepassing verklaard werd op alle nucleaire klasse I inrichtingen met inbegrip van een bergingsinrichting.

Het Euratom Verdrag artikel 37 heeft geen betrekking op de veiligheidsoriëntaties.

Europese richtlijnen dienen te worden omgezet in Belgische wetgeving.

Volgende elementen van het nationale regelgevende kader bevatten vereisten met betrekking tot de strategische veiligheidsoriëntaties:

1. Het ARBIS [R2-1]
2. Het KB van 30/11/2011 [R2-3]
3. De omzetting door België van de richtlijn 2011/70/Euratom (art.179, §5-11 [R2-10]).

De conformiteit wordt aangetoond in Bijlage 2-1 in Tabel 2-16, Tabel 2-17 en Tabel 2-18.

In §1.1.5 van hoofdstuk 1 van het veiligheidsrapport wordt gesteld dat het engagement met betrekking tot de nucleaire veiligheid gedocumenteerd is in de beleidsverklaring inzake nucleaire veiligheid. Voor de beleidsverklaring inzake nucleaire veiligheid, zie §2.2.1.

De twee elementen uit deze beleidsverklaring die een invloed hebben op de strategische veiligheidsoriëntaties zijn:

- 1) In de beleidsverklaring is één van de krachtlijnen een ‘beleid van continue verbetering van de nucleaire veiligheid’. De ‘Optimalisering van de bescherming’ (§2.4.2.2.2) is in overeenstemming hiermee.
- 2) Een ander element uit de beleidsverklaring met een impact op de strategische veiligheidsoriëntaties is: ‘NIRAS voert haar taken uit strevend naar een evenwichtige balans tussen de vier aspecten van duurzaam beheer, zodat geen buitensporige lasten worden doorgeschoven aan toekomstige generaties’. De basisprincipes ‘Bescherming toekomstige generaties’ en ‘Geen bovenmatige lasten voor toekomstige generaties’ (§2.4.2.1) zijn in overeenstemming hiermee.

De strategische veiligheidsoriëntaties uit §2.4.2.1-2.4.2.3 zijn in overeenstemming met de reglementaire vereisten, de als pertinent geïdentificeerde aanbevelingen, en met het ‘engagement van de exploitant’.

2.4.4 Invloed van de overige gegevens op de veiligheid

Een specifieke toelichting van de potentiële invloed op de veiligheid van de institutionele beslissingen en voorwaarden van andere belanghebbenden beschreven in §2.3.4 is nodig voor de volgende voorwaarden.

2.4.4.1 De site van Dessel

Insluiting en afzondering kunnen bij oppervlakteberging te Dessel niet door natuurlijke barrières verkregen worden (§2.4.2.3).

2.4.4.2 Minimaal landgebruik

De afstand tussen de module en de grenzen van de site wordt bepaald door het ontwerp van de aarden afdekking en ophogingen aan de zijkant van de modules.

Om de blootstelling aan de grens van de site te beperken tijdens het vullen van de modules, wordt er vanaf de plaatsing van monolieten in modules een afschermingsplaat geplaatst bovenop iedere monolietstapel en zal het dosisdebiet gemiddeld per laag van monolieten binnen de modules begrensd worden. Op die wijze is de vereiste van minimaal landgebruik verenigbaar met de optimalisering van de bescherming en met de individuele dosislimieten (§2.4.2.2).

Het landgebruik werd verder geminimaliseerd door de modules rechtstreeks te laten grenzen aan de site 1 waar de gecentraliseerde door Belgoprocess geëxploiteerde voor behandeling/conditionering en opslag van categorie A-afval staan, zodanig dat er maximaal gebruik wordt gemaakt van bestaande infrastructuur. Ook wordt het afvaltransport geminimaliseerd door de bergingssite rechtstreeks te laten grenzen aan de site 1.

2.4.4.3 Integratie van de bergingsinstallatie en de site in het landschap

Om aan de vereiste inzake integratie in het landschap te voldoen zal NIRAS infiltratiebekkens bouwen opdat het verzamelde regenwater geleidelijk terug in de bodem kan dringen, een groenscherm van bomen

voorzien en een grasvegetatie op de afdekking aanplanten. De potentiële invloed daarvan op het veiligheidsniveau van de installatie en het optimale karakter van de gekozen oplossingen zijn hieronder beschreven:

- *Infiltratiebekken* — infiltratiebekkens zijn ook verplicht door de wetgeving inzake milieubescherming (§2.3.2.4): het Vlaams Decreet Integraal waterbeheer [R2-39] en het Vlaams Besluit tot vaststelling van nadere regels voor de toepassing van de watertoets [R2-40] (zie §3.4 van de project-MER [R2-9]). Infiltratiebekkens hebben geen invloed op het veiligheidsniveau van de installatie, want er is slechts een beperkte invloed op het waterstromingsveld (en dus ook op de geotransferfactor³) bij veranderingen in infiltratie ter hoogte van de tumuli (HS14 §14.4.5.2.3.1).
- *Groenscherm van bomen* – een groenscherm ten zuiden van de bergingssite is voorzien en heeft geen invloed op het veiligheidsniveau van de installatie, omdat de afstand tot alle gebouwen groter is dan 27 m welke de berekende veiligheidsafstand voor bosbrand is (HS13 §13.5.2)
- *Grasvegetatie op de afdekking* – de grasvegetatie op de afdekking heeft een positieve invloed op het veiligheidsniveau van de installatie. Een grasvegetatie vermindert de erosiegevoeligheid en bevordert evapotranspiratie (HS05 §5.2.1.4 en §5.2.2.1.1).

De vereiste inzake integratie in het landschap heeft dus geen invloed op de veiligheid van de installatie en brengt het afzonderen en insluiten (§2.4.2.3.2) niet in het gedrang.

2.4.4.4 Terugneembaarheid

Het terugnemen van het afval kan een ultieme remediërende maatregel zijn in het geval dat er defecten of beschadigingen zijn (corrigerende maatregelen als onderdeel van gelaagde bescherming §2.4.2.3.6). Terugneembaarheid mag de langetermijnveiligheid niet in gevaar brengen en is nooit een vervangmiddel voor een minder performant ontwerp. De bergingsinstallatie is zodanig ontworpen dat de terugneembaarheid van afval wordt vereenvoudigd via monolieten, maar tegelijk blijven de passieve veiligheid (§2.4.2.3.1), robuustheid (§2.4.2.3.4) en afzondering (§2.4.2.3.2) behouden in het ontwerp. De specifieke ontwerpimplicaties voor de monolieten worden in meer detail beschreven in hoofdstuk 7 van het veiligheidsrapport (HS07 §7.4.2.1 DR15b).

2.4.4.5 Controleerbaarheid

Het voorzien van maatregelen om defecten en beschadigingen op te sporen en te corrigeren, is onderdeel van de gelaagde bescherming (§2.4.2.3.6). Controleerbaarheid mag de langetermijnveiligheid niet in gevaar brengen en is nooit een vervangmiddel voor een minder performant ontwerp. In lijn met internationale ervaringsfeedback voor bestaande bergingen en BBT wordt er een drainagesysteem voorzien onderaan de bergingsmodules. De afzondering en insluiting (§2.4.2.3.2) van het bergingssysteem worden maximaal behouden door het aantal en de afmetingen van de perforaties van de ondersteunende plaat in de modules te beperken. De vloer van de inspectieruimtes draagt bovendien bij tot een bijkomende insluiting in de installatie, indien er zich problemen zouden voordoen aan het drainagesysteem erboven.

³ Verhouding van de radionuclidenconcentratie (Bq.m^{-3}) in een biosfeerreceptor tot de radionuclidenflux uit het bergingssysteem naar het grondwater (Bq.a^{-1}). Bij de langetermijnveiligheidsevaluaties is de berekende dosisimpact (Sv.a^{-1}) evenredig met de geotransferfactor in de scenario's met geleidelijke uitloging.

De voordelen en nadelen van dit monitoringelement worden in meer detail beschreven in hoofdstuk 16 van het veiligheidsrapport (HS16 §16.5.2.3).

2.4.4.6 Inspectieruimtes

De controleerbaarheid van het drainagesysteem wordt verbeterd door onderaan de modules inspectieruimtes te voorzien.

Een adequate en robuuste afzondering en insluiting (§2.4.2.3.2) door het bergingssysteem worden gegarandeerd via de volgende maatregelen:

- De inspectieruimtes en -galerijen worden boven de in het ontwerp voorziene overstromingsniveaus gebouwd
- De inspectieruimte heeft een beperkte hoogte en de afmetingen van de doorgangen van de galerij naar de inspectieruimte werden geminimaliseerd waardoor de inspectieruimte ontoegankelijk is voor mensen
- Het aantal toegangen tot de inspectiegalerijen en de ruimte ingenomen door de inspectiegalerijen wordt beperkt door in plaats van twee inspectiegalerijen aan weerszijden van iedere dubbele rij modules uit het voorontwerp (§2.3.4), slechts één centrale inspectiegalerij te voorzien tussen de twee rijen modules
- In de inspectieruimte is onder elke stapel monolieten één steunkolom geplaatst. Dit verbetert de robuustheid ten opzichte van instortingen door mechanische belastingen.

De inspectieruimtes moeten in een later stadium tijdens de sluiting, ongeveer een eeuw vanaf de start van de exploitatie, nog opgevuld worden. De nodige ontwerpmaatregelen om dergelijke opvulling mogelijk te maken worden besproken in HS10 §10.2 en §10.3. De doenbaarheid van het opvullen van de inspectieruimte bij de sluiting werd nu al aangetoond (HS10 §10.3.2).

Het niet-opvullen van de inspectieruimtes, dit wil zeggen het niet of slechts gedeeltelijk sluiten van de berging als gevolg van contextuele onzekerheden zoals het verlies van knowhow en de onzekerheden gelinkt aan sociaal-politieke factoren, wordt beschouwd bij de risicoanalyse die verder beschreven is in §2.9.

Een niet perfecte opvulling van de inspectieruimte en onzekerheden qua traject van radionuclidenmigratie worden meegenomen in de langetermijnveiligheidsevaluaties (HS14 §14.4.3.1.3.3 en §14.5.3.1.1).

De specifieke ontwerpeisen voor de inspectieruimtes, drainagesystemen en module worden in meer detail beschreven in hoofdstuk 8 van het veiligheidsrapport.

2.4.4.7 Vast stalen dak

In het ontwerp van de betonnen modules en het stalen dak wordt terdege rekening gehouden met de interacties tussen het stalen dak en de module, bijvoorbeeld bij de evaluatie van de seismische belastingen en de zettingen (HS08 §8.5.1.3, §8.5.6.3). Door met deze interacties rekening te houden bij het ontwerp van de modules en het stalen dak, wordt de afzondering en insluiting (§2.4.2.3.2) niet aangetast door het vastmaken van het stalen dak aan de modules.

De specifieke ontwerpimplicaties voor de module en het vaste stalen dak worden in meer detail beschreven in hoofdstuk 8 van het veiligheidsrapport (HS08 §8.5.1.4, §8.5.6.4).

2.5 Beheerstrategie

2.5.1 Geïntegreerd beheersysteem

Het begrip *Geïntegreerd Beheersysteem* (IMS – *Integrated Management System*), zoals geïntroduceerd in de IAEA-normen ([R2-61],[R2-66],[R2-67]), *combineert* de verschillende maatregelen en processen die nodig zijn ter realisatie van alle doelstellingen van de organisatie. De doelstellingen hebben onder andere betrekking op veiligheid, gezondheid, milieu, kwaliteit, beveiliging, en maatschappelijke en economische elementen. Het doel van een IMS voor nucleaire klasse I inrichtingen wordt in art.5 van het KB van 30/11/2011 bepaald.

De keuzes van NIRAS met betrekking tot het geïntegreerde beheersysteem zijn de volgende:

- NIRAS heeft een integraal kwaliteitszorgsysteem dat ISO9001 gecertificeerd is. Interne en externe audits worden regelmatig gehouden en zijn gericht op verbetering. Binnen dit kader wordt veiligheid zowel op een algemeen niveau voor NIRAS benaderd (beleidsverklaring [R2-4]) als op het specifieke niveau van de realisatie van de berging voor categorie A-afval te Dessel (veiligheidsbenadering uit §2.2.2).
- NIRAS zal de nucleaire exploitant zijn van de bergingsinrichting voor categorie A-afval. Bijgevolg:
 - ▶ Ligt de hoofdverantwoordelijkheid voor de veiligheid van de categorie A-bergingsinrichting bij NIRAS, conform principe 1 van de IAEA Safety Fundamentals [R2-59].
 - ▶ Is een gedegen veiligheidsbeheer vereist, en meer specifiek een doeltreffend leiderschap en promotie van een veiligheidscultuur [R2-59].
- NIRAS ontwikkelt een IMS dat zal worden toegepast in de bergingsinrichting voor categorie A-afval.
- Er worden procedures en *arbitrage instanties* voorzien om potentiële conflicten tussen vereisten op te lossen. Op die manier wordt rekening gehouden met uiteenlopende en soms tegenstrijdige vereisten resulterend uit de uiteenlopende doelstellingen van de organisatie. De mogelijke conflicten worden opgelost:
 - ▶ Op een traceerbare manier
 - ▶ Op een trapsgewijze manier, rekening houdend met:
 - De belangrijkheid en de complexiteit van de vereiste
 - De gevaren en omvang van een mogelijke impact op de veiligheid, economische factoren, maatschappelijke factoren
 - ▶ Met veiligheid als de hoogste prioriteit.

2.5.2 Optimalisering

Het ontwerp werd ontwikkeld en geëvalueerd volgens de veiligheidsbenadering beschreven in §2.2.2. Zoals reeds aangehaald in §2.2.2 blijft de primaire focus bij elke stap liggen bij de veiligheidsdoelstelling en waar mogelijk de verdere verbetering van de nucleaire veiligheid. Optimalisering van de bescherming is beschreven in §2.4.2.2.2. NIRAS heeft op vraag van het FANC een optimaliseringsoefening uitgevoerd op een aantal ontwerpkeuzes [OD-279]. Tijdens deze oefening werd op systematische wijze de meest optimale technische optie voor bepaalde SSC's geselecteerd.

De optimalisering van de bescherming zal verder gezet worden tijdens de volledige levensduur van de bergingsinrichting, binnen het kader van het beleid met continue verbetering van de nucleaire veiligheid (zie §2.2.2).

Voor toekomstige ontwerpopties en –keuzes zal de volgende systematiek gevolgd worden:

- 1) Identificeren van opties en keuzes
- 2) Bepalen van de score voor elke attribuut (Tabel 2-3) voor de verschillende opties en keuzes
- 3) Bepalen van de optimale optie of keuze op basis van de score voor elk attribuut en rekening houdende met sociale en economische factoren.

Dat proces zal in een procedure geformaliseerd worden en door het SAC (Safety Assessment Committee) opgevolgd worden.

Tabel 2-3: Lijst van attributen bij de optimalisering

1.	Performantie van het bergingssysteem bij verwachte evolutie	
1.1	I1	Beperken van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie (afzondering)
1.2	R1	Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval (insluiting)
1.3	R2a	Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (insluiting)
1.4	R3	Chemisch vasthouden van radionucliden (insluiting)
1.5	R4a	Beperken van diffusie van radionucliden (insluiting)
1.6	R4b	Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media (insluiting)
1.7	Duurzaamheid	Duurzaamheid van de SSC's (met betrekking tot de verwachte evolutie van insluiting en afzondering)
2.	Snelheid van realisatie van passieve middelen	
2.1	Realisatie van de barrières	Vertraging van de start van de eigenlijke realisatie van de berging en/of IPM omdat er bijkomende o&o, berekeningen, technische nota, ... nodig zijn
2.2	Transitie naar langetermijnveiligheid	Vertraging van de realisatie van passieve middelen binnen de deels gerealiseerde berging, en dus vertraging van de transitie naar langetermijnveiligheid
3.	Gelaagde bescherming	
3.1	Preventie en minimalisatie van bedreigingen	Vermijden dat bedreigingen optreden of ervoor zorgen dat de kans van optreden voldoende laag is of vermijden dat bedreigingen tot aan andere SSC's geraken; beschermen van andere SSC's (ondersteuning van andere SSC's)
3.2	Robuustheid	Behoud van prestaties van barrières of componenten als zij belast worden
3.3	Complementariteit en onafhankelijkheid	Complementariteit en onafhankelijkheid van SSC's
3.4	Controle en correctie	Mogelijkheid tot opsporen en corrigeren van defecten en beschadigingen
4.	Aantoonbaarheid	
4.1	Realisatie	Aantonen dat het bergingssysteem gerealiseerd kan worden
4.2	Beoogde prestatie	Aantonen dat het bergingssysteem zijn rol zal kunnen vervullen met de beoogde prestatie (inclusief onzekerheden)
5.	Operationele radiologische veiligheid	
5.	Operationele radiologische veiligheid	Operationele radiologische veiligheid van het bergingssysteem (impact op de werknemers en op het publiek)
6.	Operationele klassieke veiligheid	
6.	Operationele klassieke veiligheid	Operationele klassieke veiligheid voor werknemers binnen de bergingsinrichting
7.	Andere impact	
7.	Andere impact	Andere dan radiologische milieu-impacts van het bergingssysteem

2.5.3 Beheer van de nucleaire veiligheid

In onderstaande secties 2.5.3.1 en 2.5.3.2 wordt het systeem beschreven waarmee toezicht gehouden wordt op de prestaties op het gebied van nucleaire veiligheid, om zich ervan te kunnen vergewissen dat de van kracht zijnde veiligheidsregels worden nageleefd en het veiligheidsniveau wordt verbeterd.

2.5.3.1 Het opvolgen van de nucleaire veiligheid in de bergingsinrichting

De vorderingen op het vlak van de nucleaire veiligheid in de bergingsinrichting worden in overeenstemming met art.3 van [R2-3] opgevolgd. De opvolging gebeurt aan de hand van de sleutelparameters, doelstellingen en mikpunten uit Tabel 2-4.

Tabel 2-4: Sleutelparameters, doelstellingen en mikpunten voor het opvolgen van de nucleaire veiligheid in de bergingsinrichting

Element van nucleaire veiligheid of van veiligheidsdoelstelling (§2.4.1)	Sleutelparameter	Doelstelling/mikpunt
Bescherming werknemers tegen ioniserende straling (operationele veiligheid)	1. Collectieve dosis werknemers	Doelstelling = ALARA (As Low As Reasonably Achievable, rekening houdend met sociale en economische factoren) Mikpunt: lager dan de collectieve dosis gegeven in sectie §12.7.1.5 van hoofdstuk 12 (referentiewaarde 2,4 man.mSv). Mikpunten en voorevaluatie zijn opgenomen in werkvergunningen (HS12 §12.4.4.5). ALARA-programma wordt gecoördineerd door DFC (HS12 §12.4.2.3) en wordt behandeld op PORC (Plant Operational Review Committee) en SAC (HS12 §12.4.2.4).
Bescherming werknemers tegen ioniserende straling (operationele veiligheid)	2. Maximale individuele dosis werknemers	Doelstelling = ALARA Mikpunten: - Lager dan administratieve controle-niveau's, zie HS12 §12.5.3: 10 mSv/12 maanden en 0,4 mSv/week - Lager dan de maximale individuele dosis gegeven in §12.7.1 van hoofdstuk 12 (de geschatte maximale individuele dagdosis bedraagt 20 µSv-referentiewaarde). Mikpunten en voorevaluatie zijn opgenomen in werkvergunningen (HS12 §12.4.4.5). ALARA-programma wordt gecoördineerd door DFC (HS12 §12.4.2.3) en wordt behandeld op PORC en SAC (HS12 §12.4.2.4).
Bescherming werknemers, bevolking en milieu tegen ioniserende straling (operationele veiligheid)	3. Radiologische vrijzetting	Mikpunten: geen vrijzetting Voor beheer van operationele stralingsbescherming, zie §12.4 van hoofdstuk 12
Voorkoming en beperking van de gevolgen van incidenten en ongevallen		
Deugdelijke bedrijfsomstandigheden, voorkoming van incidenten en ongevallen en beperking van gevolgen van incidenten en ongevallen	4. Aantal incidenten en ongevallen	Mikpunten: - Aantal incidenten = 0 - Aantal ongevallen met werknemers en subcontractors in de bergingsinrichting = 0
Bescherming van mens en milieu <i>in de toekomst</i> tegen ioniserende straling (langetermijnveiligheid)	5. Aantal non-conformiteiten op SSC's	Doelstellingen = Alle SSC's belangrijk voor de langetermijnveiligheid moeten hun beoogde performantie hebben.
	6. Aantal afwijkingen van monitoring-resultaten	- De transitie naar een volledig passief systeem gebeurt zo snel als redelijkerwijze mogelijk, zonder de doelstellingen van controle en monitoring in het gedrang te brengen - Radiologische blootstelling ALARA

Element van nucleaire veiligheid of van veiligheidsdoelstelling (§2.4.1)	Sleutelparameter	Doelstelling/mikpunt
	7. Berekende dosis ⁴	Mikpunten = ▪ Aantal non-conformiteiten op SSC's= 0 ▪ Alle onderstellingen en parameters voor de langetermijnveiligheid die gemonitord worden (HS16 §16.2.4) zijn geldig of leiden tot impacts die lager zijn dan deze uit hoofdstuk 14 van het veiligheidsrapport ▪ Berekende dosis: ○ voor referentiescenario⁵ lager dan dosisbeperking van 0,1 mSv.a⁻¹ ○ voor penaliserende en menselijke intrusiescenario's impacts lager dan de referentiewaarde van 3 mSv.a⁻¹ ○ voor alternatieve evolutiescenario's aanvaardbaar op basis van combinatie dosis en waarschijnlijkheid ▪ Totale score toegekend aan de verschillende attributen voor optimalisering (Tabel 2-3) is gelijk of verhoogt. De attributen omvatten de verschillende veiligheidsprincipes incl. snelheid van realisatie van passieve maatregelen alsook de verschillende veiligheidsfuncties.
	8. Attributen voor optimalisering	

2.5.3.2 Toezicht op het niveau van nucleaire veiligheid in de berging

In overeenstemming met [R2-3] worden de systemen en componenten bewaakt, geïnspecteerd, geverifieerd, geijkt en getest volgens een gepast toezichtsprogramma. Deze programma's garanderen dat het betrouwbaarheids- en beschikbaarheidsniveau van alle structuren, systemen en componenten die belangrijk zijn voor de veiligheid in overeenstemming blijven met de verwachtingen van de exploitant en de hypothesen en de doelstellingen van het ontwerp tijdens de ganse levensduur van de installatie.

Ter aanvulling van in andere kaders uitgevoerde studies van de nucleaire veiligheid, zoals de opvolging van sleutelparameters en doelstellingen/mikpunten, heeft een periodieke herziening tot doel een systematische evaluatie van de nucleaire veiligheid van een installatie door te voeren, en in het bijzonder:

- Te bevestigen dat de installatie nog minstens even veilig is als oorspronkelijk aanvaard of aanvaard na de vorige periodieke herziening, en aan te tonen dat geen enkele vermindering van de nucleaire veiligheid zonder corrigerende actie is gebleven
- De toestand van de installatie en haar uitbatingsregime vast te stellen met bijzondere aandacht voor de structuren, systemen en componenten die kunnen verslechteren, teneinde elke factor te identificeren en te evalueren die de veilige uitbating van de installatie tot de volgende periodieke herziening of tot het geprogrammeerde einde van de levensduur van de installatie zou kunnen beperken
- Het huidige veiligheidsniveau te rechtvaardigen ten aanzien van de huidige normen en praktijken, en verbeteringen van de veiligheid te identificeren en toe te passen waar dit redelijkerwijze mogelijk is.

⁴ Parameters die a minima bij elke periodieke herziening en bij belangrijke en niet-belangrijke wijzigingen opgevolgd worden, maar niet op een meer regelmatige basis zoals de andere parameters.

⁵ De verschillende types van scenario's voor langetermijnveiligheid worden verderop beschreven in §2.6.3.2.

De DFC (Dienst Fysische Controle) zal toezicht houden op het niveau van nucleaire veiligheid, zoals in HS03 §3.3.3.2 en §3.7.3.1.2 beschreven. De werkelijke resultaten op het vlak van nucleaire veiligheid van de bergingsinrichting worden regelmatig geëvalueerd en vergeleken met de verwachtingen van de directie (Directeur-Generaal van NIRAS en Site Manager van NIRAS Site-Dessel), met de uitbatingservaring en de wettelijke vereisten, inclusief de toepasselijke vergunningen en toelatingen. Deze overwaking wordt gedocumenteerd.

Teneinde de nucleaire veiligheid op te volgen, coördineert de DFC het ALARA-programma (HS12 §12.4.2.3) en worden de sleutelparameters met betrekking tot de nucleaire veiligheid in de SAC en PORC regelmatig besproken en vergeleken met de mikpunten en doelstellingen, en waar mogelijk naar mogelijke verbeteringen onderzocht (HS03 §3.3.3.1).

2.5.4 Rol van de verschillende activiteiten en processen die de veiligheid beïnvloeden en hun interfaces

2.5.4.1 Ontwerp en realisatie van het bergingssysteem

Rol

Het ontwerpproces van het bergingssysteem voor een berging aan het oppervlak vertaalt de bestaande gegevens en de veiligheidsstrategie (i.e. de veiligheidsdoelstelling, veiligheidsoriëntaties, ontwerpkeuzes en veiligheidsconcept) naar een keuze van vestigingsplaats, geometrie, materialen, constructietechnieken, en sluitingsactiviteiten voor de structuren, systemen en componenten die belangrijk zijn voor de veiligheid alsook een keuze voor bergingsoperaties (art.36.1 van [R2-5]). De realisatie omvat het geheel van bouwactiviteiten, de berging van het afval en de sluitingsactiviteiten (art.36.1 van [R2-5]).

Interfaces

De ontwerpbasis is een basisgegeven nodig voor de volgende activiteiten en processen die de veiligheid beïnvloeden:

- Veiligheidsevaluatie
- Realisatie van het bergingssysteem
- Kwalificatieprogramma
- Periodieke herzieningen
- Monitoring- en toezichtsprogramma
- Verouderingsbeheerprogramma
- Programma voor het onderhoud, testen, controleren en inspecteren van de systemen, structuren en componenten
- Intern noodplan.

De resultaten van volgende activiteiten en processen die de veiligheid beïnvloeden kunnen aanleiding geven tot een aanpassing van de ontwerpbasis:

- Veiligheidsevaluatie
- Kwalificatieprogramma bij realisatie van het bergingssysteem

- Periodieke herzieningen
- Monitoring- en toezichtsprogramma
- Verouderingsbeheerprogramma
- Programma voor het beheer van ervaringsfeedback
- Programma voor het onderhoud, testen, controleren en inspecteren van de systemen, structuren en componenten
- Wijzigingen
- Intern noodplan.

De ontwerpbasis voor de inrichting voor eindberging wordt regelmatig herzien en wordt herzien telkens wanneer dat nuttig is als gevolg van ervaringsfeedback of als gevolg van elke nieuwe informatie die significant is voor de veiligheid (art.36.10 van [R2-5]). De periodieke veiligheidsherzieningen vullen dit nazicht van de ontwerpbasis aan (art.36.10 van [R2-5]). De DFC is verantwoordelijk voor het onderzoek en de voorafgaande goedkeuring van de ontwerpen van installaties, die een gevaar voor blootstelling of kritikaliteit inhouden en van hun inplanting in de inrichting, wanneer er voor die ontwerpen geen nieuwe vergunning nodig is (art.23 van [R2-1]).

Interfaces met de andere activiteiten en processen verloopt via de systematische documentatie van het ontwerp. Het ontwerp van de installatie moet systematisch worden gedocumenteerd, gearchiveerd en bijgehouden om een beeld te geven van de bestaande installatie (art.7.3 van [R2-3]). Dat gebeurt op niveau van de exploitatiesite, volgens procedures die vastgelegd zijn door de managementondersteunde diensten (HS03 §3.3.5 en §3.4.1).

2.5.4.2 Kwalificatieprogramma

Rol

Er moeten kwalificatieprocedures worden ingevoerd om bij realisatie te bevestigen dat de voor de nucleaire veiligheid belangrijke structuren, systemen en componenten tijdens hun hele ontwerplevensduur in staat zijn om de gevraagde functies te vervullen in de omgevingsomstandigheden die zich kunnen voordoen op het ogenblik dat men deze zal nodig hebben, bij normale werking en in voorkomend geval tijdens de voorziene bedrijfsincidenten en in ongevalsituaties (art.8.4 van [R2-3]).

Wanneer vaststaat dat uitrustingen kunnen worden blootgesteld aan externe voorvallen zoals natuurverschijnselen of andere invloeden van buitenaf en een veiligheidsfunctie moeten kunnen vervullen tijdens of na een dergelijk voorval, voorziet het kwalificatieprogramma voor deze uitrustingen de voorwaarden die door deze externe voorvallen worden opgelegd (art.8.4 van [R2-3]).

Tijdens de indiensttellingsfase voert gekwalificeerd personeel een programma uit van conformiteitsverificatie van de gebouwde producten en voorzieningen met de ontwerpbasis en met de vergunning (HS03 §3.4.12). Het programma en het dossier dat wordt overhandigd aan de veiligheidsautoriteit met het oog op de reglementaire oplevering moet worden goedgekeurd door de DFC (art.6.9 van [R2-1], HS03 §3.3.6.1). Daarbij gaat de DFC na of het programma en het dossier dat aan de veiligheidsautoriteit wordt overhandigd volledig zijn en in overeenstemming zijn met de bepalingen van het ARBIS [R2-1] en van de oprichtings- en exploitatievergunning van de inrichting.

Realisatie van systemen, structuren en componenten van de bergingsinstallatie na de bouwfase worden op dezelfde manier benaderd als de elementen die werden gebouwd tijdens de bouwfase. De indienstellingsactiviteiten zijn ook van toepassing tijdens de operationele periode voor activiteiten met configuratiewijzigingen, zoals bijkomende, geplande of niet-geplande SSC's of aanpassingen en interventies, die de uitvoering van configuratiecontroles vereisen (HS09 §9.3.1.2).

Interfaces

Voor de interface tussen het kwalificatieprogramma en het ontwerp en realisatie, zie §2.5.4.1. De conformiteitsverificatie wordt ontworpen door personeel dat de ontwerpbasis van de bergingsinstallatie kent en uitgevoerd door personeel dat vertrouwd is met de testtechnieken (HS03 §3.4.12).

Veiligheidsevaluaties leveren input voor het kwalificatieprogramma: de resultaten van de veiligheidsevaluaties zijn invoerdata om het belang voor de nucleaire veiligheid te bepalen van alle structuren, systemen en componenten.

De OSG (Operational Start-up Group) onderzoekt de bouw- en controleverslagen en testen om te oordelen over de aanvaardbaarheid van de uitrustingen die werden geleverd voor de bergingsinstallatie tijdens de bouwfase (HS03 §3.3.6.1). De interfaces met het ontwerp worden in eerste instantie binnen de OSG beheerd.

Het PORC heeft als opdracht om vanaf de inbedrijfstellingsfase van de bergingsinstallatie te zorgen voor een opvolging van de bouw van nieuwe onderdelen en voor de bespreking van controleverslagen, naast andere opdrachten met betrekking tot procedures voor de veiligheid, voorstellen tot wijziging (HS03 §3.3.6.2). De interfaces tussen:

- Ontwerp van de berging
- Kwalificatieprogramma
- Periodieke herzieningen
- Monitoring- en toezichtsprogramma
- Programma voor het beheer van ervaringsfeedback
- Programma voor het onderhoud, testen, controleren en inspecteren van de systemen, structuren en componenten
- Wijzigingen

worden in eerste instantie binnen het PORC beheerd. Het PORC brengt verslag uit aan de directeur-generaal van NIRAS (HS03 §3.3.6.2).

De resultaten van het kwalificatieprogramma worden opgenomen in de documentatie van het ontwerp van de berging.

2.5.4.3 Monitoring- en toezichtprogramma

Rol

Zie art.9.5 van [R2-3] en art.46.1 van [R2-5].

Rol van DFC: zie art.23 van het ARBIS [R2-1].

Interfaces

Voor de interface tussen het monitoring- en toezichtprogramma en het ontwerp en realisatie, zie §2.5.4.1. Voor de interfaces binnen het PORC, zie §2.5.4.2.

Interface tussen het monitoring- en toezichtprogramma en de veiligheidsevaluaties:

- Resultaten van de veiligheidsevaluaties geven indicaties over het effect op de veiligheid en prestatie van onzekerheden, en kunnen op die manier het monitoring- en toezichtprogramma focussen op die aspecten die een belangrijk effect hebben op de veiligheid.
- Er is monitoring en toezicht voorzien teneinde specifieke veiligheidsfuncties, hypothesen en essentiële parameters van de veiligheidsevaluaties te bevestigen via een opvolging in de tijd (HS16 §16.2.4).
- De resultaten van het monitoring- en toezichtprogramma worden besproken in het PORC (HS03 §3.3.6.2)

De exploitant moet regelmatig activiteitenverslagen opstellen met daarin onder meer een samenvatting van de resultaten van het monitoring- en toezichtprogramma (art.47 van [R2-5], HS16 §16.3.4).

De bevindingen van het monitoring- en toezichtprogramma worden opgenomen in de documentatie voor de berging.

2.5.4.4 Verouderingsbeheerprogramma

Rol

De veroudering omvat zowel de fysieke als economische veroudering, zie art.10.1 van [R2-3].

Het beheer van de veroudering is het geheel van technische, operationele en onderhoudshandelingen die bedoeld zijn om de beschadiging van de systemen, structuren en componenten die aan hun veroudering te wijten is, binnen aanvaardbare limieten te behouden (art.10.1 van [R2-3]).

Voor de rol van het verouderingsbeheerprogramma voor een berging die niet enkel een operationele periode heeft, maar ook een periode na sluiting, zie art.40 van [R2-5]. Voor de SSC's die belangrijk zijn voor de veiligheid tijdens de periode na sluiting moeten de verouderingsmechanismen en de mogelijke gevolgen van de veroudering geïdentificeerd worden en stelselmatig geanalyseerd worden in de veiligheidsevaluatie. Deze analyse moet er toe leiden dat men ervan verzekerd is dat de SSC's wel degelijk hun functie zullen vervullen tijdens de voorziene levensduur.

Interfaces

Voor de interfaces met het ontwerp en realisatie, zie §2.5.4.1. Voor de interface met de periodieke herzieningen, zie §2.5.4.7.

De periodieke veiligheidsherziening moet bevestigen dat er met de verouderingsmechanismen in het verouderingsbeheerprogramma correct rekening werd gehouden (art.10.3 van [R2-3]). In de periodieke veiligheidsherziening zitten veiligheidsevaluaties inbegrepen.

Alle uitrustingen inclusief de controle en bediening hebben gedetailleerde onderhouds- en vervangingsschema's waardoor de veroudering opgevolgd zal worden door preventief en curatief onderhoud (HS09 §9.3.11). De fysieke veroudering wordt dus meegenomen in §2.5.4.6.

De veroudering van structuren, systemen en componenten die belangrijk zijn voor de veiligheid tijdens de periode na sluiting wordt meegenomen via het monitoring- en toezichtprogramma (HS09 §9.3.11, HS16 §16.2.4).

2.5.4.5 Programma voor het beheer van ervaringsfeedback

Rol

Zie art. 4.2, 11.1 en 11.5 van [R2-3].

Interfaces

Voor de interface met het ontwerp en realisatie, zie §2.5.4.1. Voor de interfaces binnen het PORC, zie §2.5.4.2. Voor de interface met de periodieke herzieningen, zie §2.5.4.7.

De documentatie van het ontwerp wordt gebruikt in het programma van ervaringsfeedback.

Het SAC, dat ook peers of deskundigen van buiten NIRAS-Site Dessel bevat, is onder andere belast met het formuleren van aanbevelingen in verband met ervaringsfeedback en onderzoek, ontwikkeling en demonstratie (HS03 §3.3.3).

Waar relevant, wordt er met de resultaten van ervaringsfeedback rekening gehouden in de veiligheidsevaluaties.

2.5.4.6 Programma voor onderhoud, testen, controles en inspecties van SSC's

Rol

Zie art.12.1 van [R2-3].

Interfaces

Voor de interface met het ontwerp en realisatie, zie §2.5.4.1. Voor de interfaces binnen de PORC, zie §2.5.4.2. Voor de interface met het verouderingsbeheerprogramma, zie §2.5.4.4.

De resultaten van de veiligheidsevaluaties zijn invoerdata om het belang voor de nucleaire veiligheid te bepalen van alle SSC's en aldus die SSC's te bepalen die 'belangrijk zijn voor de veiligheid'.

Omdat de programma's voor onderhoud, testen, controles en inspecties garanderen dat het betrouwbaarheids- en beschikbaarheidsniveau van alle SSC's belangrijk voor de veiligheid in overeenstemming zijn met de verwachtingen en hypothesen, kan men in de veiligheidsevaluaties ervan uitgaan dat de SSC een betrouwbaarheid en beschikbaarheidsniveau heeft zoals vooropgesteld.

2.5.4.7 Periodieke herzieningen

Rol

Zie art.14.1 van [R2-3].

De periodieke herziening zal in drie fasen gebeuren [R2-54]:

- 1) Voorbereidingsfase – methodologiedocument
- 2) Evaluatiefase – evaluatieverslagen, actieplannen

3) Implementatiefase – implementatieverslag van het actieplan.

Na elke fase maakt de exploitant officieel één of meerdere documenten aan de veiligheidsautoriteit over [R2-54]. Deze documenten zijn geverifieerd en goedgekeurd door de DFC.

Interfaces

Voor de evaluatie van de veiligheid bij de periodieke herziening dienen onder andere volgende elementen in aanmerking genomen te worden (§14.1 van [R2-3]):

- Ervaringsfeedback
- Veroudering van de installaties
- Ontwerpbasis en aan de installatie aangebrachte wijzigingen.

Bij de periodieke herziening dienen de volgende thema's behandeld te worden (art.14.2 van [R2-3]):

- Ontwerp van de installatie
- Huidige toestand van de SSC's, vermoedelijke toestand tot de volgende periodieke herziening
- Kwalificatie van de uitrustingen
- Veroudering
- Deterministische veiligheidsanalyses
- Probabilistische veiligheidsanalyses
- Risicostudies
- Veiligheidsprestaties
- Ervaringsfeedback van andere installaties en onderzoeksresultaten
- Organisatie, managementsysteem en veiligheidscultuur
- Procedures
- Menselijke factoren
- Noodplan
- Radiologische impact op het milieu.

De periodieke herziening bevat een evaluatie van de nucleaire veiligheid waaruit mogelijke nieuwe wijzigingen voortvloeien (art.14.2 van [R2-3]):

- Een lijst van uit voeren corrigerende acties en verbetering van de veiligheid
- De gedetailleerde planning van de uitvoering van deze acties.

De documentatie met betrekking tot de periodieke herziening moet door de exploitant worden bewaard (art.14.2 van [R2-3]).

Periodieke veiligheidsherzieningen worden beheerd door NIRAS-Site Dessel (HS03 §3.3.6).

De voorziene wijzigingen in het actieplan zijn reglementair vereist [R2-54]. Voor beheer van wijzigingen zie verder §2.5.4.8.

2.5.4.8 Programma voor wijzigingen

Rol

Zie art.12 van het ARBIS [R2-1].

Wijzigingen dienen in dit kader als volgt begrepen te worden [R2-55]:

- Wijzigingen, toevoegingen en uitbreidingen aan installaties / exploitatieprocedés / -processen of nieuwe activiteiten die niet reeds impliciet of expliciet goedgekeurd werden in de basisvergunning moeten worden beschouwd als een ‘wijziging’
- Wijzigingen in de structuur van de organisatie (zoals beschreven in het veiligheidsrapport) en wijzigingen van de exploitatievoorwaarden (bijvoorbeeld technische specificaties voor exploitatie, lozingslimieten) worden eveneens beschouwd als ‘wijzigingen’.

De wijzigingen kunnen in drie categorieën worden onderverdeeld [R2-55]:

- 1) *Belangrijke wijziging* — Wijziging waarvoor een vergunning nodig is en waarvan de aanvraagprocedure analoog is aan deze voor een nieuwe vergunning volgens de procedure voor klasse I (artikel 6 van het ARBIS [R2-1]). Er dient tevens te worden opgemerkt dat artikel 12 van het ARBIS [R2-1] voorziet dat er bij de vergunningsprocedure voor een uitbreiding/wijziging kan worden afgeweken van bepaalde administratieve formaliteiten.
- 2) *Niet-belangrijke wijziging* — Wijziging die een mogelijke impact heeft op de stralingsbescherming of de nucleaire veiligheid en die wordt behandeld overeenkomstig artikel 23 van het ARBIS [R2-1], maar die niet moet worden onderworpen aan de vergunningsprocedure van artikel 6 van het ARBIS [R2-1].
- 3) *Kleine wijziging* — Wijziging die geen potentiële impact heeft op de stralingsbescherming of de nucleaire veiligheid.

Een managementsysteem van de wijzigingen dient ingevoerd te worden om zich ervan te vergewissen dat alle wijzigingen op een gepaste wijze zijn ontworpen, gecontroleerd, geverifieerd en geïmplementeerd en of alle veiligheidsvereisten worden gerespecteerd (art.15.1 van [R2-3]).

Elke exploitant stelt een procedure op voor het beheer van wijzigingen van de inrichting [R2-55]. Deze procedure dient goedgekeurd te worden door DFC en de veiligheidsautoriteit [R2-55]. Deze procedure verduidelijkt de praktische modaliteiten van het overleg tussen de DFC en de veiligheidsautoriteit betreffende het bepalen van de categorie van een wijziging en het onderzoek, de keuring en de oplevering van niet-belangrijke wijzigingen conform artikel 23 van het ARBIS [R2-55]. De DFC onderzoekt op voorhand elk wijzigingsontwerp en doet een voorstel van categorie (belangrijke wijziging, niet-belangrijke wijziging, kleine wijziging) [R2-55]. Rol van DFC bij wijzigingen, zie ook art.23.1,4° en art.23.1,6° van het ARBIS [R2-1].

Interfaces

Voor de interface met het ontwerp en realisatie, zie §2.5.4.1. Voor de interfaces binnen het PORC, zie §2.5.4.2. Voor de interface met de periodieke herzieningen, zie §2.5.4.7.

Interface tussen het programma voor wijzigingen en de veiligheidsevaluatie: vóór elke wijziging moet een veiligheidsevaluatie worden uitgevoerd waarin alle potentiële gevolgen voor de nucleaire veiligheid

worden bepaald (art.15.3 van [R2-3]). Het veiligheidsrapport moet dienst doen als basis voor de exploitant om de effecten van wijzigingen aan de installatie of aan de uitbatingspraktijk op de nucleaire veiligheid te evalueren (art.13.1 van [R2-3]).

2.5.4.9 Intern noodplan

Rol

Zie art.16.2 van [R2-3].

Interfaces

Voor de interface met het ontwerp en realisatie, zie §2.5.4.1. Voor de interface met de periodieke herzieningen, zie §2.5.4.7.

De veiligheidsevaluatie omvat een analyse van de redelijkerwijs voorspelbare voorvallen en situaties die de toepassing van beschermingsacties op of buiten de site kunnen vergen, en is bijgevolg een invoergegeven voor het intern noodplan.

Interface met opleidingsprogramma: zie §2.5.4.10.

Voor de rol van de DFC, zie art.67.2 van het ARBIS [R2-1].

2.5.4.10 Opleiding en kwalificatie van personeel

Rol

Zie art. 6.3 van [R2-3].

De algemeen gevolgde benadering voor kwalificatie en opleiding van het personeel wordt beschreven in het subproces ‘Informatie- en kennisbeheer’ in HS03 §3.4.1.

Interfaces

Voor de interface met het ontwerp en de realisatie van de berging, zie HS03 §3.4.1.

Resultaten van de veiligheidsevaluaties leveren een beeld over de veiligheid van de installatie en de daarin tussenkomende factoren, en vormen dus input voor de opleiding. Voor opleiding, deskundigheid, kwalificaties personeel zie art.6.2 van [R2-3].

Interface met noodplan zie art.6.3 van [R2-3]. De vereisten tot opleiding, training en oefeningen voor het interne noodplan worden verder gespecificeerd in art. 16.5 van [R2-3]. De eerste oefening van het interne noodplan dient te gebeuren voorafgaand aan de inbedrijfstelling van de inrichting en vóór de ingebruikname van elke nieuwe installatie voor het gedeelte van het intern noodplan dat wordt beïnvloed door deze inbedrijfstelling.

2.5.4.11 Rol van de dienst voor fysieke controle

Rol

De rol van de DFC is in §3.3.2 van HS03 beschreven.

Interfaces

De DFC neemt deel aan de verschillende coördinerende organen die het beheer van interfaces verzekert, zie §3.3.3 van HS03.

2.6 Veiligheidsevaluatiestrategie

2.6.1 Doelstellingen

Zie §2.4.2.3.7 voor de definitie en het doel van veiligheidsevaluaties.

Art.43.2 van [R2-5] stelt dat met de veiligheidsevaluaties men beoogt om aan te tonen dat:

- De prestaties van het bergingssysteem voor elke fase met voldoende marge in verhouding staan tot de risico's verbonden met het afval
- De radiologische impact op mens en milieu aanvaardbaar is in alle redelijkerwijze te voorzienbare situaties
- Het bergingssysteem en zijn componenten robuust zijn ten overstaan van redelijkerwijze te voorzienbare belastingen waarin zij kunnen worden blootgesteld
- Het bergingssysteem het resultaat is van het toepassen van het principe van optimalisering van de bescherming tegen ioniserende straling (§2.4.2.2.2)
- De onzekerheden bestudeerd werden en een gepast programma voor het beheer ervan wordt toegepast.

De componenten en functies die bijdragen tot de veiligheid en waarop gesteund kan worden in de veiligheidsevaluatie, zijn beschreven in het veiligheidsconcept (§2.8).

De rekenmethodes en -programma's die in de veiligheidsevaluaties gebruikt worden, moeten geverifieerd en gevalideerd zijn (art.4.2 [R2-3]). De modellen gebruikt in de veiligheidsevaluaties ondergaan daartoe en proces van kwalificatie, verificatie en validatie (QVV – *Qualification, Verification, Validation*). Het kwalificatieproces verzekert dat de conceptuele modellen in overeenstemming zijn met de wetenschappelijke kennis en een adequate weergave vormen van de beschouwde fenomenen en processen. Verificatie wordt uitgevoerd op drie niveaus: verificatie van het wiskundige model, verificatie van de codering, en verificatie van het computermodel. Validatie betreft het vergelijken van modelvoorspellingen met observaties op een echt systeem, rekening houdend met de betrokken tijdschalen en ruimteschalen. Over de tijdschalen relevant voor de langetermijnveiligheid, i.e. de veiligheid na sluiting van de bergingsinstallaties, is het potentieel voor validatie in het algemeen beperkt.

De veiligheidsevaluaties worden gedocumenteerd en maken, volgens een trapsgewijze aanpak, het voorwerp uit van een nazicht door een geschikte onafhankelijke, interne of externe, door de exploitant georganiseerde expertise (art.4.2, art.15.3 [R2-3]).

2.6.2 Te beschouwen aspecten

In lijn met de IAEA aanbevelingen voor veiligheidsevaluaties (§4.16 en Figuur 1 uit [R2-60]) en conform aan art.33.2.2 en art.43.2 van [R2-5] worden de volgende aspecten beschouwd in de veiligheidsevaluaties:

- De identificatie en evaluatie van mogelijke radiologische risico's tijdens alle fases en periodes in de levensloop van een installatie:
 - ▶ Zowel operationele veiligheid, i.e. voor de sluiting van de bergingsinstallaties, als langetermijnveiligheid, i.e. na de sluiting van de bergingsinstallaties, worden behandeld.
 - ▶ Zowel verwachte als niet-verwachte maar mogelijke gebeurtenissen en evoluties worden behandeld.

- ▶ De veiligheidsgevolgen van menselijke interacties met de installatie en activiteit - menselijke factoren - worden zowel bij de operationele als de langetermijnveiligheid in beschouwing genomen. In de ontwikkeling van de scenario's voor de langetermijnveiligheid wordt aandacht besteed aan operationele activiteiten die gevolgen hebben op de langetermijnveiligheid.
 - ▶ Er wordt geëvalueerd dat de activiteitslimieten van langlevende radionucliden in het afval en de berging dusdanig zijn dat de langetermijnveiligheid gewaarborgd blijft.
 - ▶ De mogelijke radiologische impacts voor werknemers, publiek en leefmilieu worden geëvalueerd.
 - ▶ De aanvaardbaarheid wordt nagegaan door middel van de relevante dosis- en risicolimieten, beperkingen en referentiewaarden voor mens en leefmilieu.
- De evaluatie of de veiligheidsfuncties met voldoende betrouwbaarheid worden vervuld zoals voorzien in het veiligheidsconcept en een evaluatie van functionele defecten: deze *performantie-analyse* is enerzijds gebaseerd op een fenomenologisch inzicht in het ontwerp en anderzijds op specifieke kwantitatieve performantie-analyses die rekening houden met mogelijke verstoringen aan het bergingssysteem en bouw- en uitbatingstoevalligheden.
 - De behandeling van onzekerheden (voor de beschrijving van het beheer en behandeling van onzekerheden, zie §2.2.3.5).
 - De evaluatie van de risico's die verbonden zijn aan mogelijke wijzigingen aan bestaande gegevens (globale risicoanalyse) (zie §2.9).

2.6.3 Methodologie

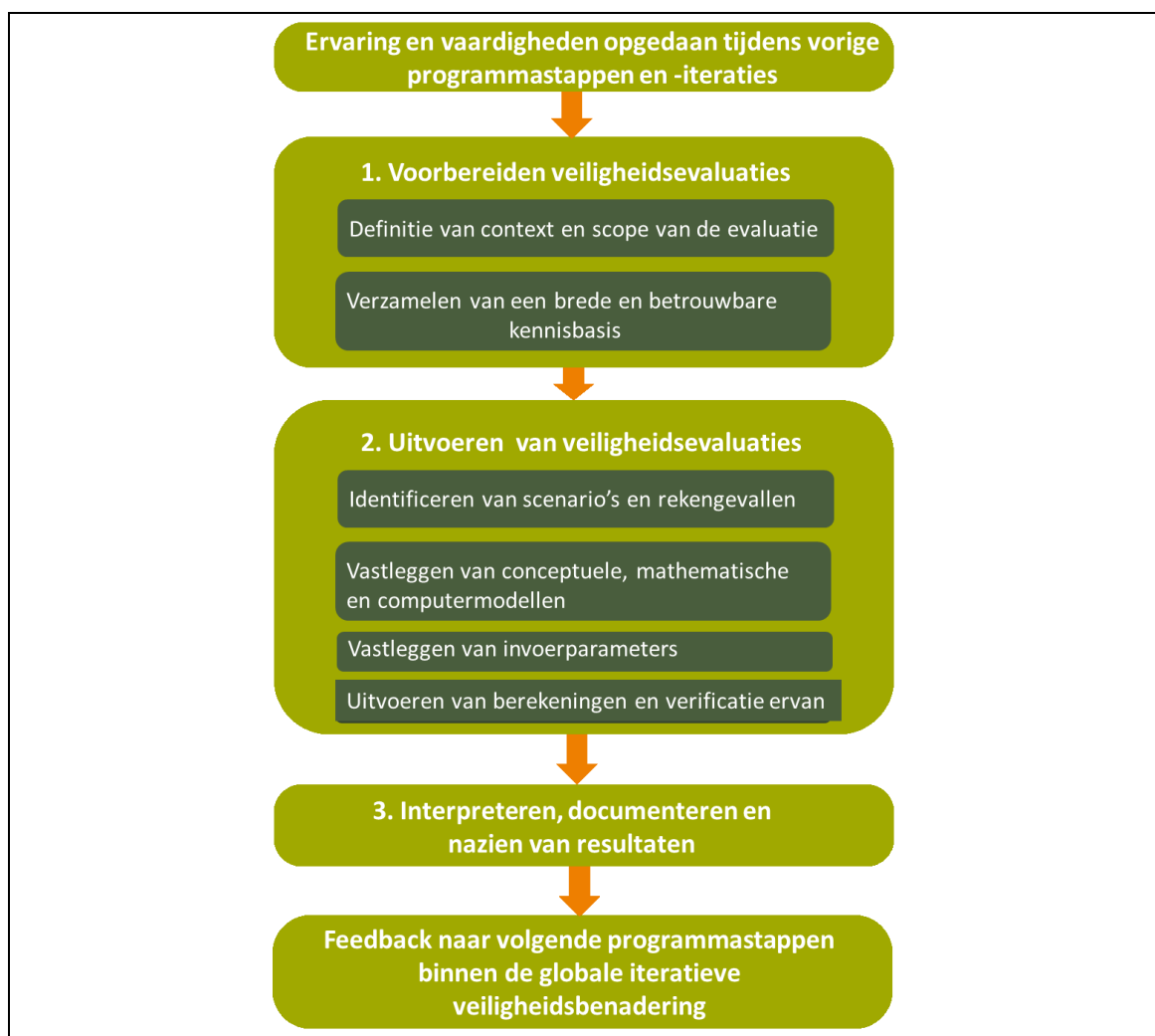
De veiligheidsevaluatiemethodologie die gebruikt wordt voor de oppervlakteberging van categorie A-afval te Dessel, is gebaseerd op de IAEA ISAM-methodologie die internationaal erkend is als een generieke methodologie voor veiligheidsevaluaties van oppervlaktebergingen.

De veiligheidsevaluaties omvatten de volgende stappen (Figuur 2-4):

- 1) Het voorbereiden van de evaluaties, voortbouwend op de ervaringen, middelen, expertise en vaardigheden opgebouwd bij vorige programmastappen en -iteraties. Deze voorbereiding omvat:
 - a) Het bepalen van de reikwijdte van de veiligheidsevaluatie, bijvoorbeeld:
 - i) Aspecten van langetermijnveiligheid of operationele veiligheid
 - ii) Keuze van elementen voor welke kwalitatieve en kwantitatieve evaluaties zullen worden uitgevoerd
 - iii) Bepaling van de evaluatiedoelen, d.w.z. de doelstellingen en berekeningseindpunten van de kwantitatieve analyses
 - b) Het verzamelen van een brede en betrouwbare kennisbasis voor de evaluatie
- 2) Het uitvoeren van veiligheidsevaluaties op basis van de kennis en bijbehorende onzekerheden.
 - a) Kwalitatieve evaluaties, bijvoorbeeld beoordelingen gebaseerd op resultaten van eerdere programmastappen en/of iteraties
 - b) Kwantitatieve analyses met het:
 - i) Identificeren van scenario's en rekengevallen

- ii) Vastleggen van conceptuele, mathematische en computermodellen
 - iii) Vastleggen van invoerparameters
 - iv) Uitvoeren van berekeningen evenals de kwalificatie, verificatie en, waar mogelijk, de validatie ervan
- 3) Het interpreteren, documenteren en nazien van de resultaten. De resultaten en hun documentatie dienen om een duidelijk beeld te geven van:
- a) De veiligheid van het bergingssysteem
 - b) De prestatie van het bergingssysteem qua afzonderen en insluiten
 - c) De invloed van de behandelde onzekerheden.

De veiligheidsevaluaties worden in meer detail behandeld in latere hoofdstukken: voor operationele veiligheid, zie hoofdstukken 12 en 13, voor langetermijnveiligheid, zie hoofdstuk 14. Hieronder wordt de aanpak voor de evaluatie van de operationele veiligheid (§2.6.3.1) en voor de langetermijnveiligheids-evaluaties (§2.6.3.2) beschreven.



Figuur 2-4: Stappen in de veiligheidsevaluaties

2.6.3.1 Aanpak voor de evaluatie van de radiologische operationele veiligheid

Op basis van de kennis van het afval, de installaties, de activiteiten die moeten worden uitgevoerd en de maatregelen met betrekking tot tijd, afstand en afscherming in de inrichting wordt er een raming gemaakt van de doses die bij de normale werking van de exploitatie kunnen opgelopen worden door werknemers en het publiek. Daarmee wordt geverifieerd dat er voldaan is aan de begrenzing van de doses uit §2.4.2.2.3, Tabel 2-1. De dosisramingen zullen eveneens gebruikt worden om tijdens de exploitatie van de bergingsinrichting de bescherming van werknemers tegen ioniserende straling op te volgen en te verbeteren, zie §2.5.3.1, Tabel 2-4. De operationele stralingsbescherming en de dosisramingen worden beschreven in hoofdstuk 12 ‘Stralingsbescherming’.

Een gebeurtenis, of initiatorgebeurtenis, is om het even welk voorval dat de operatoren van de installatie niet hadden voorzien, bijvoorbeeld een operationele fout, technisch defect of een ander probleem, met gevolgen of mogelijke gevolgen vanuit het standpunt van stralingsbescherming of veiligheid. Een gebeurtenis kan aanleiding geven tot bedrijfsincidenten of ongevalsomstandigheden.

Gebeurtenissen die voor de bergingsinrichting van categorie A-afval te Dessel mogelijke gevolgen kunnen hebben worden via risicoanalyses geïdentificeerd op basis van de verwachte waarschijnlijkheid van optreden, een inschatting van de impact op veiligheid en gezondheid, een inschatting van de doses die opgelopen kunnen worden, de mogelijke vrijzetting van radioactieve stoffen, de duur van onbeschikbaarheid van de bergingsinstallatie en de economische schade.

Op basis van de risicoanalyses wordt een lijst opgesteld van gebeurtenissen van interne en externe oorsprong die bij het ontwerp beschouwd moeten worden.

De aanvaardbaarheid van de inschatting van de waarschijnlijkheid en doses wordt bepaald aan de hand van de door het FANC vastgelegde dosis-waarschijnlijkheidscurve (Figuur 1 uit [R2-53]).

Bedrijfsincidenten en ongevalsomstandigheden worden behandeld in hoofdstuk 13 ‘Operationele veiligheid’.

2.6.3.2 Aanpak voor de evaluatie van de radiologische langetermijnveiligheid

De veiligheidsevaluaties moeten een geheel van representatieve scenario’s voor mogelijke gedragingen van het bergingssysteem in beschouwing nemen. Het geheel van deze scenario’s moet alle mogelijke evoluties van het systeem en zijn omgeving afdekken (art.43.2 van [R2-5]).

Eerst worden de fenomenologisch verwachte evolutie(s) van het bergingssysteem en onzekerheden binnen de verwachte evolutie(s) bepaald. Dat gebeurt aan de hand van de karakteristieken van het afval, het bergingssysteem en de omgeving en aan de hand van een wetenschappelijk gefundeerde evaluatiebasis over de processen. Een andere input daarvoor zijn de onzekerheden die relevant zijn voor de veiligheid.

Er wordt geverifieerd dat de fenomenologisch verwachte evolutie(s) van het bergingssysteem en onzekerheden binnen de verwachte evolutie(s) in overeenstemming zijn met de insluitingsstrategie (zie §2.4.2.3.2), waarin gedurende ongeveer 1 000 jaar zoveel als mogelijk het vrijkomen van radionucliden voorkomen wordt en daarna het vrijkomen van de restactiviteit en -radiotoxiciteit gespreid wordt in de tijd.

In de veiligheidsevaluaties worden de fenomenologisch verwachte evolutie(s) van het bergingssysteem en onzekerheden binnen de verwachte evolutie(s) vertaald in het ‘verwachte evolutiescenario’ EES (*Expected*

Evolution Scenario) dat beoogt om een zo representatief mogelijke voorstelling te vormen van de fenomenologisch verwachte evolutie(s) en de onzekerheden binnen de verwachte evolutie(s).

Voor het *basisgeval* van het EES worden de hypothesen en parameters vastgelegd volgens volgende principes:

- Waar de wetenschappelijke kennis van dien aard is dat een *best estimate* aanpak gevolgd kan worden, wordt hiervoor gekozen.
- Om de inzichten met betrekking tot de processen en karakteristieken die de performantie van het bergingssysteem en/of de migratie van de radionucliden sturen te verbeteren, worden zo nodig ondersteunende berekeningen uitgevoerd ter staving van de modelhypothesen.
- Waar fenomenen niet-kenbaar zijn ('ontische' onzekerheden) en onzekerheden dus niet te reduceren of te begrenzen zijn door verdere acties of onderzoek, wordt een gestileerde aanpak gevolgd.

De relevante onzekerheden voor EES worden geanalyseerd door middel van rekengevallen van het EES. De effecten van de onzekerheden binnen de verwachte evolutie worden vervolgens omhuld in het 'referentiescenario' RS waarvoor er nagegaan wordt dat de raming van de dosisimpact voor het publiek en het leefmilieu aanvaardbaar zullen zijn. Voor het RS dient de impact kleiner of gelijk te zijn aan de dosisbeperking van $0,1 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$ (zie Tabel 2-5). Tevens dient er voldaan te zijn aan de dosislimieten voor personen van het publiek betreffende de equivalente dosis voor de huid en de ooglen (zie Tabel 2-1).

Naast de verwachte evolutie, zijn er ook niet-verwachte maar mogelijke evoluties waarbij de verwachte evolutie verstoord wordt.

Menselijke intrusie kan leiden tot een verstoring van de SSC's, en aanleiding geven tot een plots verlies aan afzonderings- en insluitingscapaciteit. Voor een berging aan het oppervlak dienen de mogelijke dosisimpacts ten gevolge van menselijke intrusie geëvalueerd te worden. Bij deze evaluatie wordt ervan uitgegaan dat het radioactieve karakter van het materiaal uit de berging niet ontdekt wordt, het gaat met andere woorden over *onopzettelijke menselijke intrusie* (§1.5 en §3.2 van [R2-48]).

Gegeven de inherente onzekerheid met betrekking tot toekomstige menselijke acties en menselijk gedrag wordt er een beperkt aantal *gestileerde* intrusiescenario's ontwikkeld, die representatief zijn voor de verschillende denkbare types van menselijke intrusies en schalen van intrusie. Het omhullende karakter van de 'menselijke intrusie scenario's' moet worden beargumenteerd (§6.2.2 en §6.2.3 van [R2-48]).

Onafhankelijk van de maatregelen die genomen zijn om het optreden van intrusies te voorkomen of de waarschijnlijkheid ervan te beperken, dient in de evaluatie ondersteld te worden dat een onopzettelijke menselijke intrusie kan plaatsvinden vanaf het opheffen van de nucleaire reglementaire controle (§6.2.4 van [R2-48]).

Bij de evaluatie van de dosisimpact van menselijke intrusiescenario's dient men zowel de indringers zelf, die blootgesteld worden aan de directe effecten, als de omliggende bevolking, die blootgesteld kan worden aan uitgestelde effecten, te beschouwen (§6.2.9 van [R2-48]).

De dosisreferentiewaarde die gehanteerd wordt om de aanvaardbaarheid van de menselijke intrusiescenario's te evalueren bedraagt 3 mSv geïntegreerd over één jaar, waarbij voor de directe effecten de dosis berekend wordt ten gevolge van een enkele intrusie (§6.3 van [R2-48]). Tevens dient er voldaan te zijn aan de dosislimieten voor personen van het publiek betreffende de equivalente dosis voor de huid en de ooglen (zie Tabel 2-1).

In §3 van [R2-47] wordt de notie ‘referentiewaarde’ gedefinieerd. Een referentiewaarde laat toe om een aanvaardbare ordegrootte van impact of risico vast te leggen, zonder op voorhand uit te sluiten dat een hogere waarde aanvaardbaar zou kunnen zijn. Een referentiewaarde mag niet gelijkgesteld worden met een drempelwaarde of limiet die niet overschreden mag worden.

Overige verstoringen aan de verwachte evolutie worden bepaald op basis van een lijst van initiërende FEP's (*Feature, Event, Process*). Een initiërende FEP is gedefinieerd als: een mogelijke gebeurtenis of proces die aan de basis ligt van een verandering van toestand van het bergingssysteem of de routes waarlangs radionucliden kunnen vrijkomen en aldus een nadelige invloed heeft op de insluitingsperformantie van het bergingssysteem.

De methodologie voor identificatie van initiërende FEP's vertrekt vanuit een gescreende FEP-lijst, die enkel de FEP's bevat die relevant zijn voor de evaluatie, en waaruit mogelijk initiërende FEP's worden geïdentificeerd. FEP's die te wijten zijn aan contextuele elementen worden behandeld in een afzonderlijke risicoanalyse (zie §2.9) en worden niet geselecteerd als initiërende FEP in deze evaluatie. Naargelang het beschouwde tijdvak waarin een mogelijk initiërende FEP zich kan voordoen zijn er verschillende effecten te verwachten en dienen deze, indien ze significant en plausibel zijn en ze niet afgedekt worden door het omhullende karakter van het RS of menselijke intrusiescenario's, expliciet beschouwd te worden in een ‘*alternatief evolutiescenario*’ AES.

Men beoogt de afleiding van een beperkt aantal AES'en die representatief en/of omhullend zijn voor de mogelijke evoluties van het bergingssysteem. De selectie van AES'en houdt rekening met enerzijds combinaties van afhankelijke initiërende FEP's (oorzaken, gevolgen, versterkende effecten) en FEP's met gelijkaardige effecten, en anderzijds met onafhankelijke initiërende FEP's waarvan hun gezamenlijk voorkomen in het tijdsbestek van de evaluatie nog enigszins plausibel is, en die leiden tot een degradatietoestand van het bergingssysteem die nog niet is afgedekt.

De conceptualisatie van een AES in één of meerdere rekengevallen houdt rekening met onzekerheden die gelinkt zijn aan intensiteit en waarschijnlijkheid van de verstoring, en met mogelijke verschillende radionuclidentrajecten die als gevolg van de verstoring kunnen optreden.

Om het aantal rekengevallen te beperken en het conservatieve karakter van het gekozen rekengeval te waarborgen wordt bij de conceptualisering steeds het vroegst mogelijke tijdstip van optreden van de verstoring en de grootst mogelijke schade aan de SSC's als gevolg van de verstoring ondersteld, rekening houdend met de fenomenologische kennisbasis en/of ondersteunende modelberekeningen voor zover deze beschikbaar zijn. Er wordt dus *één* conservatief rekengeval gekozen dat de effecten van alle initiërende FEP's binnen het beschouwde scenario, met zijn bijhorende onzekerheden, afdekt. Enkel indien er meerdere radionuclidentrajecten mogelijk zijn waarvoor de impact afzonderlijk dient berekend te worden, worden verschillende rekengevallen beschouwd voor eenzelfde scenario.

De AES'en worden ook gebruikt om, binnen het kader van de gelaagde bescherming (zie §2.4.2.3.6), de complementariteit en onafhankelijk van barrières en veiligheidsfuncties te evalueren, en na te gaan dat er steeds voldoende insluitingsperformantie van het bergingssysteem behouden blijft bij verschillende bedreigingen. Dat gebruik van AES'en is beschreven in §2.8.8.

De geraamde waarschijnlijkheden en doses voor de AES'en dienen te worden gecombineerd tot het radiologische risico. Voor blootstellingen te wijten aan het geheel van AES'en geldt een risicobeperking van 10^{-5} a^{-1} . Voor ieder afzonderlijk AES is er een risicoreferentiewaarde van 10^{-6} a^{-1} (§5.2.1 van [R2-47]).

Tevens dient er voldaan te zijn aan de dosislimieten voor personen van het publiek betreffende de equivalente dosis voor de huid en de ooglenzen (zie Tabel 2-1).

Na enkele duizenden jaren wordt het moeilijk om het oppervlaktebergingssysteem en zijn mogelijke evolutie eenduidig af te lijnen. De performantie van het bergingssysteem kan daardoor niet meer op een betrouwbare manier geschat worden (art.43.2 van [R2-5]). Deze onzekerheden worden behandeld in de *penaliserende scenario's*, waarvoor het omhullende karakter beargumenteerd wordt, en waarin nagegaan wordt dat de impact van de resterende activiteit en radiotoxiciteit na enkele duizenden jaren aanvaardbaar is. De dosisreferentiewaarde die gehanteerd wordt om de aanvaardbaarheid van de penaliserende scenario's te evalueren bedraagt 3 mSv.a^{-1} (§5.3 van [R2-47]). Tevens dient er voldaan te zijn aan de dosislimieten voor personen van het publiek betreffende de equivalente dosis voor de huid en de ooglenzen (zie Tabel 2-1).

Tabel 2-5: Toetsingscriteria voor de verschillende scenario's uit de langetermijnveiligheidsevaluaties

Scenario	Tijdvak	Toetsingscriterium
Verwachte evolutiescenario (EES) Referentiescenario (RS)	$\leq$ enkele duizenden jaren	$\leq 0,1 \text{ mSv.a}^{-1}$; dosisbeperking [R2-47]
Menselijke intrusiescenario's	$\leq$ enkele duizenden jaren	$\sim 3 \text{ mSv.a}^{-1}$; dosisreferentiewaarde [R2-48]
Alternatieve evolutiescenario's (AES)	$\leq$ enkele duizenden jaren	$\leq 10^{-5} \text{ a}^{-1}$; risicobeperking voor het geheel van AES'en $\sim 10^{-6} \text{ a}^{-1}$; risicoreferentiewaarde per AES [R2-47]
Penaliserende Scenario's	$>$ enkele duizenden jaren	$\sim 3 \text{ mSv.a}^{-1}$; dosisreferentiewaarde [R2-47]

Naast dosisimpact en radiologische risico worden er in de veiligheidsevaluatie ook complementaire indicatoren gebruikt, die bepaalde deelaspecten van de veiligheid en de performantie naar voor brengen (§5.5 van [R2-47], §5.6 van [R2-49]). Ook dient de blootstelling van niet-menselijke biota (flora en fauna) aan straling geëvalueerd te worden (§5.3 van [R2-50]). Deze impact wordt geëvalueerd ten opzichte van een referentiewaarde van het dosistempo van $10 \text{ } \mu\text{Gy/h}$ [R2-84].

Wanneer de verre toekomst wordt beschouwd, verliezen kwantitatieve schattingen van dosis en risico hun intrinsieke betekenis en behouden ze enkel een waarde als relatieve vergelijkende factoren van de potentiële radiologische impact (§2.4.2.2.2, §(79-80) in [R2-76]). Aanvullend aan de kwantitatieve argumenten, worden er ook kwalitatieve bewijzen en argumenten toegevoegd. Die houden verband met het vertrouwen in de technisch-wetenschappelijke basis van de veiligheidsevaluatie, in het behoud van de performantie van het bergingssysteem en de geschiktheid van de site, alsook het vertrouwen in de scenario's, modellen, parameters en hypothesen beschouwd voor de kwantitatieve analyses.

Onzekerheden die relevant zijn voor de veiligheid worden behandeld in de veiligheidsevaluaties. Aan de hand van de resultaten van de veiligheidsevaluatie wordt er nagegaan of de impact en/of het risico van de resterende onzekerheden aanvaardbaar zijn of niet. Er wordt tevens bepaald wat de belangrijkste hypothesen en parameters zijn voor de performantie van het bergingssysteem.

De aanvaardbaarheid van de geraamde impacts, risico's en onzekerheden is gelinkt aan de beschouwde radiologische bronterm.

De beschouwde radiologische bronterm respecteert de limieten qua langlevende radionucliden in afval en de berging. Bij de bepaling van de limieten is er uitgegaan van de inventaris 2013 V2, waaruit colli

geconditioneerd afval gehaald worden zodat er voldaan wordt aan de criteria qua splijtstoffen en kritikaliteit (zie §2.4.2.3.3) en zodat de impacts van kleinschalige intrusie en van het referentiescenario aanvaardbaar zullen zijn. In aanvulling op de veiligheidsevaluaties voor een globale bronterm, zijn er bij opvulling van de berging nog verificaties van de impact nodig om te kunnen argumenteren dat de impact aanvaardbaar is. De scenario's en limieten waarvoor er nog een verificatie nodig is bij opvulling van de berging worden aangegeven in de conclusies van de langetermijnveiligheidsevaluaties.

De langetermijnveiligheidsevaluaties worden behandeld in hoofdstuk 14 'Veiligheidsevaluatie - langetermijnveiligheid'.

2.7 Ontwerpstrategie

2.7.1 Inleiding

De ontwerp- en realisatiestrategie bevat de keuzes bij het ontwerp en realisatie, alsook de veiligheidsfuncties van het bergingssysteem (Art.33.3. van [R2-5]).

2.7.2 Proces van de ontwikkeling van het ontwerp

Het ontwerpproces van het bergingssysteem vertaalt de vereisten met betrekking tot het ontwerp van de berging naar een keuze van vestigingsplaats, geometrie, materialen, constructietechnieken, en sluitingsactiviteiten voor de SSC's die belangrijk zijn voor de veiligheid alsook een keuze voor bergingsoperaties.

De vereisten met betrekking tot het ontwerp van de berging zijn afkomstig uit het Belgische regelgevende kader, de FANC leidraden en nota's, de beperkingen opgelegd door een institutionele beslissing of de lokale stakeholders, het veiligheidsconcept, de ontwerpkeuzes en het reeds bestaande en reeds voorziene afval. De realisatie omvat het geheel van bouwactiviteiten, de berging van het afval en de sluitingsactiviteiten (Art.36.1 van [R2-5]).

Het ontwerpproces dat bij het ontwerp toegepast wordt, bestaat uit drie stappen (Figuur 2-5).

In een eerste stap worden de 'ontwerpinputs' afgeleid van:

- De vereisten afkomstig uit:
 - ▶ Het Belgische regelgevende kader (§2.3.2)
 - ▶ FANC leidraden en nota's (§2.3.3.1)
 - ▶ Beperkingen opgelegd door een institutionele beslissing of de lokale stakeholders (§2.3.4)
- Het veiligheidsconcept (§2.8)
- De ontwerpkeuzes (§2.7.3)
- Het reeds bestaande afval, de huidige afvalproductieprocedures en afval voorzien voor een oppervlakteberging op basis van de afvalacceptatiecriteria van NIRAS voor een generieke referentie-eindbestemming (§2.3.1 beschrijft afvalacceptatiesysteem en het concept van referentie-eindbestemming).

De ontwerpinputs bepalen de specifieke elementen die moeten worden verstrekt en de voorwaarden waaraan moet worden voldaan om een veilig bergingssysteem te ontwikkelen. De afleiding van ontwerpinputs uit de vereisten van het regelgevend kader en uit het veiligheidsconcept zorgt ervoor dat er voldaan wordt aan de veiligheidsdoelstelling en de strategische veiligheidsoriëntaties.

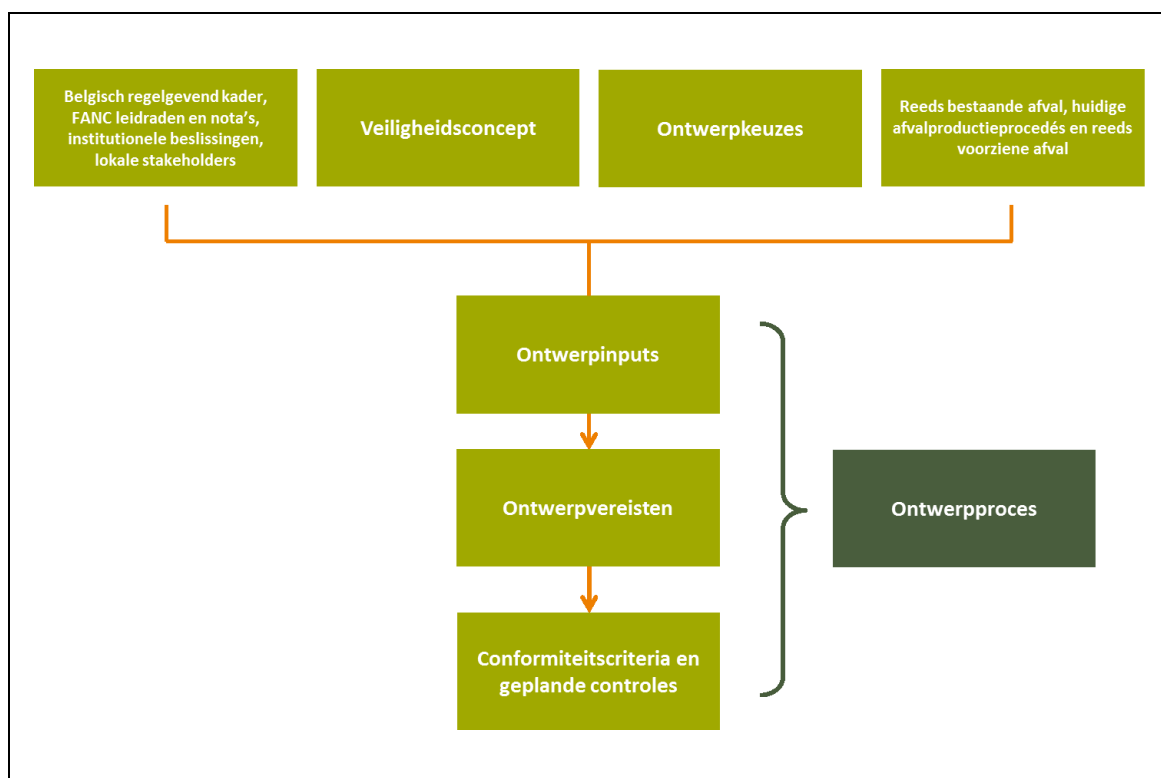
In een tweede stap worden hieruit 'ontwerpvereisten' afgeleid voor de voor de nucleaire veiligheid belangrijke SSC's. Ontwerpvereisten vertalen ontwerpinputs naar instructies die meer direct bruikbaar zijn voor een ontwerper, bijvoorbeeld het beschrijven van restricties op SSC's of gewenste karakteristieken van bepaalde SSC's.

In een derde stap worden er voor de nucleaire veiligheid belangrijke SSC's 'conformiteitscriteria' beschreven waarmee bij realisatie van de SSC's afgetoetst kan worden dat aan de ontwerpvereisten voldaan is. Conformiteitscriteria zijn typische kenmerken die moeten worden geverifieerd om redelijke

zekerheid te verschaffen dat het item zijn beoogde functie zal vervullen. Het geheel van conformiteitscriteria op de SSC's is gegeven in hoofdstukken 7, 8 en 15.

Voor elke SSC zijn passende codes en normen bepaald, rekening houdend met het belang ervan voor de veiligheid. Het belang voor de veiligheid voor de SSC's wordt verderop besproken in §2.8.7 (klassering van de SSC's besproken). De controles voor elk conformiteitscriterium zijn gegeven in hoofdstuk 8 (HS08 §8.7).

Met de conformiteitscriteria en de controles zal worden aangetoond dat het beoogde performantieniveau na realisatie van de componenten van de berging effectief bereikt wordt, conform het principe van aantoonbaarheid (zie §2.4.2.3.8, §2.5.4.2).



Figuur 2-5: Ontwerpproces

2.7.3 Ontwerpkeuzes

In overeenstemming met het principe van aantoonbaarheid (zie §2.4.2.3.8) moeten de technieken die bij het ontwerp en realisatie van de berging worden toegepast ondersteund zijn door ervaring, testen of analyses. Oppervlakteberging van radioactief afval is wereldwijd sinds meerdere decennia een gangbare en beproefde industriële praktijk. NIRAS heeft rekening gehouden met de ervaring opgedaan in bestaande installaties voor oppervlakteberging in het buitenland, in het bijzonder in het Verenigd Koninkrijk (LLWR nabij Drigg), Frankrijk (Centre de la Manche, Centre de Faible et Moyenne Activité – l'Aube) en Spanje (El Cabril). Bovendien neemt NIRAS deel aan de IAEA activiteiten met betrekking tot oppervlakteberging, bijvoorbeeld de ISAM en ASAM projecten en het DISPONET netwerk.

Moderne installaties voor oppervlakteberging gaan uit van een berging van vast of gesolidificeerd radioactief afval in betonnen modules die na de bergingsoperaties afgedekt worden door een aarden afdekking. De afdekking zorgt voor een beperking van de waterinfiltratie en beschermt de onderliggende barrières en het afval. Onderaan iedere module is er een drainagesysteem voorzien. Op basis van de ervaring opgedaan in Centre de la Manche, is er in het ontwerp van Centre de l'Aube een beweegbare dakstructuur voorzien boven de modules die in opvulling zijn. De dakstructuur beschermt het afval in de modules tegen regenwater. In El Cabril werd het ontwerp van Centre de l'Aube verder verfijnd door alle afval te plaatsen in betonnen monolieten en door de monolieten afstandsbediend in de berging te plaatsen.

Na het bergen van het afval worden de modules in een latere fase bedekt met een afdekking. Aarden afdekkingen worden op grote schaal toegepast als infiltratiebarrières voor oppervlakteberging van radioactief en niet-radioactief afval. Bij het definiëren van het profiel van de afdekking voor de oppervlakteberging van categorie A-afval in Dessel, heeft NIRAS zich grotendeels gebaseerd op bestaande nationale en internationale ervaring. De bepaling van het profiel heeft kunnen steunen op de ervaringsterugkoppeling uit bestaande afdekkingen zoals:

- De afdekking gebouwd in 1986 op de UMTRAP installaties in Olen op ongeveer 10 km van de bergingssite (UMTRAP installatie is het gevolg van de sanering van radiumproducten en residu's)
- De afdekking gebouwd tussen 1991 en 1997 in Centre de la Manche
- De proefafdekking gebouwd in 1996 bij Centre de l'Aube.

De bepaling van de afdekking heeft ook gebruikt gemaakt van de ervaringsterugkoppeling uit een specifiek internationaal panel van deskundigen dat NIRAS heeft bijeengeroepen.

In vergelijking met de bestaande moderne buitenlandse oppervlaktebergingsinstallaties zijn volgende uitgangspunten voor het bergingssysteem te Dessel geoptimaliseerd:

- Thermisch geïsoleerde vaste dakstructuur boven alle modules totdat de afdekking geïnstalleerd wordt, om het afval en het beton bijkomend te beschermen tegen waterinfiltratie en vries-dooi cycli
- Afschermingsplaten uit vezelversterkt beton bovenop de monolietstapels vanaf de plaatsing van monolieten in modules, zodat blootstelling door externe straling aan de grens van de site wordt beperkt tijdens het vullen van de module en om voor langere performantie te kunnen zorgen in het afleiden naar de ruimte tussen de monolietstapels van water dat in de modules binnengesijpeld is
- Transportcontainer met afscherming, om de straling bij het transport van monolieten op de bergingssite te verminderen
- Vervoer via spoor van monolieten naar de berging om de kans op botsing met modules bij ongevallen tijdens transport te verminderen
- Gebruik van Single Failure Proof (SFP – enkelvoudig storingsvrij) kranen om de kans op val van monolieten te verminderen

- Ondoorlatende topplaat uit vezelversterkt beton⁶ bovenop de modules om voor langere performantie van de afdekking te kunnen zorgen en bijkomende complementariteit te voorzien in de performantie, omdat de topplaat de performantie van de andere delen van de afdekking kan overnemen.

Een ander nieuw element ten opzichte van de bestaande moderne buitenlandse oppervlaktebergingsinstallaties is de aanwezigheid in het ontwerp van een open inspectieruimte onder elke module (overige bestaande gegevens, zie §2.3.4 en §2.4.4).

Conform het aantoonbaarheidsprincipe (zie §2.4.2.3.8), worden testprogramma's uitgevoerd met als doel om de uitvoerbaarheid, beheersing en betrouwbaarheid aan te tonen van de materialen en de realisatie van de berging. Bij de geplande toepassing van nieuwe technieken dient hun uitvoerbaarheid, beheersing en betrouwbaarheid immers aangetoond te worden alvorens ze toegepast worden. Voor materialen en realisatieprocedures die nieuwigheden vertonen ten opzichte van de bestaande ervaring dienen testprogramma's uitgevoerd te worden.

De duurzaamheid van beton en mortel wordt geoptimaliseerd door in de geplande constructiesequentie bijzondere aandacht te besteden aan het vermijden en minimaliseren van krimp en uithardingsscheuren op jonge leeftijd. Voor de modules is er een demonstratieproefprogramma lopende dat zal afgerond worden voor de start van de eigenlijke constructie. In dat programma worden de te gebruiken constructietechnieken en betonsamenstelling getest. De uitvoerbaarheid en beheersbaarheid van de constructie van monolieten werd nagegaan door middel van prototype monolieten. Het is gepland om in parallel met de constructie en exploitatie van de eerste delen van de bergingsinstallaties een proefafdekking te bouwen en de performantie ervan op te volgen.

Op basis van de resultaten en de ervaring uit de testprogramma's, zal de constructie van de eigenlijke bergingsinstallaties verder geoptimaliseerd worden. Ook zullen dankzij het modulaire karakter op niveau van monolieten en modules latere realisatiestappen gebruik kunnen maken van de vroegere ervaringen, ten einde de realisatietechnieken verder te verbeteren.

Een overzicht van de ontwerpkeuzes gemaakt voor de oppervlakteberging van categorie A-afval te Dessel wordt hieronder gegeven in Tabel 2-6.

⁶ Er worden daarvoor staalvezels gebruikt, type Dramix of equivalent. Er zijn geen klassieke wapeningsstaven voorzien.

Tabel 2-6: Overzicht van de ontwerpkeuzes

Ontwerpkeuzes voor de oppervlakteberging te Dessel	
Oppervlakteberging te Dessel	Algemene ontwerpinput, zie §2.3.4 en §2.4.4
Bergingssite rechtstreeks grenzend aan site 1: minimaliseren landgebruik door gemeenschappelijk gebruik van bepaalde randinfrastructuren, minimaliseren afvaltransport	Algemene ontwerpinput, zie §2.3.4 en §2.4.4
Het bergen van afval in bergingsmodules, geplaatst op een zand-cement ophoging en na het bergen van het afval afgedekt door een afdekking	Algemene ontwerpinput, zie §2.3.4
De afdekking beschermt de onderliggende betonnen barrières	Ontwerpinput waaruit ontwerpvereisten voor ssc's volgen, zie §2.7.7
34 modules	Algemene ontwerpinput, zie §2.3.4 en §2.4.4
Modules beschikken over een inspectieruimte en drainagesysteem	Ontwerpinput waaruit ontwerpvereisten voor ssc's volgen, zie §2.7.7
Thermisch geïsoleerde stalen dakstructuur over alle modules	Ontwerpinput waaruit ontwerpvereisten voor ssc's volgen, zie §2.7.7
Modules moeten zich buiten het bereik van oppervlakte- en grondwater bevinden	Ontwerpinput waaruit ontwerpvereisten voor ssc's volgen, zie §2.7.7
De modules worden ondergebracht in twee tumuli	Algemene ontwerpinput, zie §2.3.4
Lay-out in twee rijen van modules per tumulus	Algemene ontwerpinput, zie §2.3.4
Een centrale inspectiegalerij tussen de rijen van modules	Algemene ontwerpinput, zie §2.4.4
Infiltratiebekkens op de site opdat het verzamelde regenwater geleidelijk terug in de bodem kan dringen	Algemene ontwerpinput, zie §2.3.4 en §2.4.4
Groenscherm van bomen ten zuiden van de bergingssite	Algemene ontwerpinput, zie §2.3.4 en §2.4.4
Gestandaardiseerde monolieten gebruiken als bergingsverpakking om bergingsoperaties te vergemakkelijken en manipulatiefouten te minimaliseren. De monoliet bestaat uit een betonnen caisson, afval en opvulmortel die het afval immobiliseert.	Ontwerpinput waaruit ontwerpvereisten voor ssc's volgen, zie §2.7.7
De berging van de monolieten in de modules gebeurt met een afstandsbediend systeem om de blootstelling van werknemers zo laag als redelijkerwijze te houden	Algemene ontwerpinput, zie §2.3.4.
Afschermingsplaten bovenop monolietstapels vanaf de plaatsing van monolieten in modules, zodat blootstelling door externe straling aan de grens van de site wordt beperkt tijdens het vullen van de module. Nadat de module volledig is gevuld, blijven de afschermingsplaten op hun plaats. Bovenop deze afschermingsplaten wordt er een structurele topplaat gebouwd om de module af te dichten.	Algemene ontwerpinput, zie §2.4.4

2.7.4 Veiligheidsfuncties

De strategie om bij het bergen van vast of gesolidificeerd radioactief afval de veiligheid en stralingsbescherming te realiseren bestaat erin het afval ‘af te zonderen’ en de radionucliden ‘in te sluiten’ (§2.4.2.3). Verder is tijdens de operationele periode ook nog ‘afschermen van externe straling’ een veiligheidsfunctie. De veiligheidsfuncties voor de oppervlakteberging van categorie A-afval te Dessel zijn weergegeven in Tabel 2-7.

Tabel 2-7: Veiligheidsfuncties voor de oppervlakteberging van categorie A-afval te Dessel

Periode	Veiligheidsfuncties
Operationele periode	<i>Operationele veiligheidsfuncties</i> ▪ Afzonderen ▪ Insluiten ▪ Afschermen
Periode na sluiting	<i>Langetermijnveiligheidsfuncties</i> Afzonderen: ▪ Beperken van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie (I1) Insluiten: ▪ Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a) ▪ Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval (R1) ▪ Chemisch vasthouden van radionucliden (R3) ▪ Beperken van diffusie van radionucliden (R4a) ▪ Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media (R4b)

De operationele veiligheidsfuncties zijn *afzonderen*, *insluiten* en *afschermen van externe straling*.

De langetermijnveiligheidsfuncties zijn verbonden met de insluiting en afzondering in de periode na sluiting.

Volgende langetermijnveiligheidsfunctie met betrekking tot ‘afzondering’ wordt beschouwd: *Beperken van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie (I1)*.

De veiligheidsfunctie I1 bestaat in het afzonderen van het afval. De afzondering berust op het beperken van de toegang tot de bergingssite en op de mechanische eigenschappen en hoeveelheid/dikte van het materiaal rondom het afval die een menselijke intrusie bemoeilijken en de gevolgen beperken. Het behoud van het geheugen door grondbestemmingen en de maatschappelijke verankering van de berging in de lokale gemeenschappen dragen verder bij tot de afzondering.

Volgende langetermijnveiligheidsfuncties dragen bij tot insluiting in de periode na sluiting:

- *Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a)*
- *Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval (R1)*
- *Chemisch vasthouden van radionucliden (R3)*
- *Beperken van diffusie van radionucliden (R4a)*
- *Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media (R4b).*

Voor insluiting op lange termijn wordt er functionele diversiteit verkregen door in het ontwerp SSC's te voorzien die de verschillende langetermijnveiligheidsfuncties met betrekking tot insluiting vervullen.

Omdat het bergingssysteem op lange termijn degradeert door scheurvorming, evolueert ook de wijze waarop insluiting verkregen wordt.

Insluiting van radionucliden wordt als volgt verkregen voor het niet-gescheurd systeem:

- *Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a)* door:
 - ▶ Evapotranspiratie door de begroeiing op de afdekking
 - ▶ Het voorzien van barrières met lage hydraulische geleidbaarheid en het voorzien van een (laterale) afwatering boven die barrières
- *Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval⁷ (R1)* via fysicochemische processen zoals trage diffusie, precipitatie, sorptie, trage corrosie ...
- *Beperken van diffusie van radionucliden (R4a)* door trage diffusie in een poreus medium
- *Chemisch vasthouden van radionucliden (R3)* door chemische retentieprocessen zoals sorptie, 'solid solution', co-precipitatie en gecombineerde mechanismen.

Op lange termijn zal het systeem echter evolueren naar een gescheurd systeem waarin:

- De waterinsijpeling minder beperkt is
- Radionucliden uit de matrix nog traag vrijkomen naar de scheuren en tussenruimten door de lage diffusiviteit en sorptie op de matrix
- Radionucliden voornamelijk via scheuren en tussenruimten vrijkomen uit het systeem
- Radionucliden sneller kunnen vrijkomen in de omgeving dan bij een volledig diffusief systeem zonder scheuren.

In een gescheurd systeem wordt het vrijkomen van de resterende radionucliden nog gespreid in de tijd door:

- Het vrijkomen van radionucliden naar scheuren en tussenruimten te beperken door volgende processen:
 - ▶ *Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a)* door
 - Evapotranspiratie uit de begroeiing op de afdekking

⁷ Afval is ofwel een collo geconditioneerd afval in type I en II ofwel de stukken afval die in een type III monoliet met de opvulmortel geïmmobiliseerd worden.

- Afschermingsplaten die de monolietstapels overkappen zodat water afgeleid wordt naar de tussenruimtes tussen de monolietstapels
- Een goede drainage in de tussenruimtes tussen de monolietstapels (conductief opvulmateriaal)
- Een goede drainage onderaan de modules (maatregelen onderaan de modules om een accumulatie van water te voorkomen, conform de vereiste uit §6.3.8 van [R2-45])
- Een goede drainage in de inspectieruimtes (maatregelen onderaan de modules om een accumulatie van water te voorkomen, conform de vereiste uit §6.3.8 van [R2-45]).
- ▶ *Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval (R1)* via fysicochemische processen zoals trage diffusie, precipitatie, sorptie, trage corrosie ...
- ▶ *Beperken van diffusie van radionucliden (R4a)* in de matrix van de barrières waarin radionucliden zich bevinden; het vertragen en spreiden in de tijd van het vrijkomen van radionucliden uit barrières naar scheuren en tussenruimtes door trage diffusie in een poreus medium
- ▶ *Chemisch vasthouden van radionucliden (R3)* in de matrix van de barrières waarin radionucliden zich bevinden, door chemische retentieprocessen zoals sorptie, ‘solid solution’, co-precipitatie en gecombineerde mechanismen binnen de matrix.
- Het vrijkomen van radionucliden die zich in scheuren en tussenruimtes bevinden te spreiden in de tijd door volgende processen:
 - ▶ *Beperken van waterinsijpeling (R2a)* in de modules door evapotranspiratie uit de begroeiing op de afdekking
 - ▶ *Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media (R4b)*
 - Door mechanische dispersie worden de radionucliden binnen de matrix ruimtelijk uitgespreid; mechanische dispersie is evenredig met de dispersielengte en de poriënwatersnelheid; door te kiezen voor conductieve media met hoge hydraulische geleidbaarheid wordt gekozen voor media met hoge poriënsnelheid, zodat de mechanische dispersie de diffusieterm domineert in de diffusiviteitstensor
 - Mechanische dispersie zorgt ook voor een uitspreiding in de tijd en dus verlaging van de piek van een radionuclidenflux
 - Door de hoge hydraulische geleidbaarheid van het materiaal is de advectie voldoende hoog opdat een scheur doorheen het materiaal geen bypass zou vormen van de sorptiecapaciteit van het materiaal
 - ▶ *Chemisch vasthouden van radionucliden (R3)* in conductieve sorberende media door chemische retentieprocessen zoals sorptie, ‘solid solution’, co-precipitatie en gecombineerde mechanismen.

2.7.5 Verzekeren van een robuuste afzondering en insluiting op lange termijn

Sommige SSC's dienen andere SSC's te kunnen ondersteunen en beschermen, zodat die laatste hun veiligheidsfuncties kunnen vervullen. Het betreft in hoofdzaak mechanische ondersteuning, beschermen tegen vorst, chemische buffering en vermijden van extra chemische degradatie van cementgebonden SSC's. Het gradueel verdwijnen van die ondersteuning en bescherming, alsook de gevolgen ervan op de degradatie van SSC's, waterstroming in de berging, transport van radionucliden en configuratie van het bergingssysteem zitten inbegrepen in de strategie en verwachte evolutie van de insluiting.

In het ontwerpproces dient het concept van gelaagde bescherming te worden toegepast om radioactieve lozingen te voorkomen, of indien preventie mislukt, te beperken (art.7.2 [R2-3]). Belangrijk bij het ontwerp is dat er, in toepassing van de principes van robuustheid en gelaagde bescherming (zie §2.4.2.3.4 en §2.4.2.3.6), robuuste SSC's voorzien worden waarvoor de performanties behouden worden als zij belast worden. Voor de robuustheid van het bergingssysteem is het nodig om het zo te ontwerpen dat er complementaire en onafhankelijke barrières en/of veiligheidsfuncties aanwezig zullen zijn.

2.7.6 Ontwerpaanpassingen op basis van optimaliseringsoefening

Op basis van de optimaliseringsoefening (zie § 2.5.2) zijn de volgende ontwerpaanpassingen gemaakt:

- Een tussenruimte van ~5cm tussen de monolietstapels (de monolieten worden niet tegen elkaar geplaatst) om kans op beschadigingen van monolieten bij aardbevingen te beperken en in de module binnen gesijpeld water preferentieel rondom de monolieten te laten stromen in plaats van in doorgaande scheurnetwerken doorheen de monolieten
- Een anti-badkuipsysteem (ABS) om een accumulatie van water in de modules te voorkomen zonder de insluiting van radionucliden in het systeem in het gedrang te brengen
- Grondverbetering: het in-situ infrezen van een kleine hoeveelheid bentoniet om een complementair materiaal te hebben aan uitgehard cement voor het chemisch vasthouden van radionucliden
- Toepassing van een CPF-liner (Controlled Permeability Formwork) op de buitenzijdes van de modulewanden bij de constructie van de modules om de duurzaamheid van de modules met betrekking tot carbonatatie te verhogen.

In het kader van de optimaliseringsoefening werd er ook besloten om de mogelijkheid van het gebruik van vezelversterkt beton voor de monolieten verder te onderzoeken. De beperking van waterinfiltratie door de aarden afdekking zal door middel van een proefafdekking geëvalueerd worden, waarbij tevens de performantie en doenbaarheid van twee alternatieve profielen geëvalueerd zullen worden in het kader van optimalisering.

2.7.7 Ontwerpinputs en ontwerpvereisten

De ontwerpinputs (*Design Inputs* – DI) die het ontwerp verder bepalen omdat er specifieke vereisten uit volgen voor componenten van de bergingsinstallaties, zijn weergegeven in Tabel 2-8, samen met hun oorsprong, dat wil zeggen naargelang het gaat om reeds bestaande afval en reeds voorzien afval, ontwerpkeuzes, afgeleid van het veiligheidsconcept of opgelegd door een vroegere institutionele beslissing, lokale stakeholders of het Belgische regelgevende kader en de FANC leidraden en nota's.

In Tabel 2-8 is een onderscheid gemaakt tussen een vereiste ten aanzien van het systeem en een 'keuze' die gemaakt werd: “Belgisch regelgevend kader en FANC-leidraden” (vereiste) versus “Ontwerpkeuze”. In

Bijlage 2-2 Tabel 2-20 is het geheel van ontwerpvereisten (*Design Requirements* – DR) en hun link met de DI's gegeven. Hoofdstukken 7 en 8 van het veiligheidsrapport bevatten de beschrijving van de ontwerpoplossingen die aan die vereisten beantwoorden.

Tabel 2-8: Geheel van ontwerpinputs en hun oorsprong. DI = *Design Input* – ontwerpinput. BR = Belgisch regelgevend kader en FANC-leidraden/nota's, ID = *institutional decision*, LS = lokale stakeholders, SC = *safety concept*, DC = *design choice* – ontwerpkeuze, RA = Reeds bestaand en voorzien afval

DI#	Ontwerpinputs	B R	I D	L S	S C	D C	R A
1	Waarschijnlijkheid van onopzettelijke menselijke intrusie beperken Deze DI is gekoppeld aan de veiligheidsfunctie I1. Deze input is een aanvulling op de fysieke bescherming tijdens de operationele periode (bouw, exploitatie, sluiting) en het toezicht op de site tijdens de nucleaire reglementaire controlefase na sluiting.	x			x		
2	Mogelijkheid om alle reeds geproduceerde categorie A-afval en geplande types categorie A-afval in de berging onder te brengen De berging afstemmen op de bestaande gegevens.						x
3	Chemisch vasthouden van radionucliden door chemische retentieprocessen Deze DI is gekoppeld aan de veiligheidsfunctie R3.	x			x		
4	Radionucliden binnen de monoliet insluiten tijdens de operationele periode tijdens dewelke bouw-, exploitatie- en sluitingsactiviteiten uitgevoerd worden	x			x		
5	Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval Deze DI is gekoppeld aan de veiligheidsfunctie R2a.	x			x		
6	Vermijden van advectieve bypass van water aan de zijkant van de modules				x		
7	Beperken van diffusie van radionucliden Deze DI is gekoppeld aan de veiligheidsfunctie R4a.				x		
8	Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media Deze DI is gekoppeld aan de veiligheidsfunctie R4b. Het doel is om de radionucliden te verspreiden in het materiaal zodat de chemische retentiecapaciteit ervan benut kan worden.				x		
9	Gepaste levensduur verzekeren van materialen belangrijk voor de veiligheid Deze DI bepaalt de algemene eigenschappen die de materialen van de belangrijkste SSC's moeten hebben of de processen die tijdens de realisatie van de SSC's moeten worden toegepast om een hoge duurzaamheid te verkrijgen.	x			x		
10	Compatibiliteit van de materialen onderling en met het afval verzekeren Deze DI heeft betrekking op specifieke compatibiliteitskwesties (tijdens het ontwerp, de bouw of de exploitatie) waarmee rekening moet worden gehouden om de vereiste voorwaarden te bepalen tijdens de realisatie en exploitatie van de bergingsinstallaties en aldus de langetermijnveiligheid te verzekeren.	x					x
11	Bevolking en werknemers beschermen tegen ioniserende straling door middel van gepaste afscherming Afscherming is een fundamentele veiligheidsfunctie voor een doeltreffende bescherming tegen ioniserende straling. Deze DI is gekoppeld aan de veiligheidsfunctie afscherming. Afscherming door de SSC's rondom het afval is een middel om de bevolking en de werknemers tijdens de exploitatiefase te beschermen tegen ioniserende straling.	x			x		
12	Ontwerpbasis-voorvallen en ontwerpbasis-ongevallen weerstaan Er wordt een lijst met alle vooronderstelde initiatorgebeurtenissen opgesteld die alle gebeurtenissen omvatten die de nucleaire veiligheid van de installatie in het gedrang kunnen brengen. Uit deze lijst worden een aantal ontwerpbasis-voorvallen geselecteerd, om de randvoorwaarden te bepalen volgens welke de voor de nucleaire veiligheid belangrijke SSC's moeten worden ontworpen, om aan te tonen dat de vereiste veiligheidsfuncties worden gewaarborgd en dat de veiligheidsdoelstellingen bereikt worden (Art.7.3 [R2-3]). Ontwerpbasisvoorvallen zijn gebeurtenissen van externe of interne oorsprong of <i>design load cases</i> waarvoor de installatie moet worden ontworpen. Ontwerpbasisongevallen zijn de vooropgestelde ongevallen die zich kunnen voordoen en waarmee rekening moet worden gehouden bij de ontwikkeling van het ontwerp van de bergingsinstallaties, zodat het ontwerp er enigszins op berekend is.	x					

DI#	Ontwerpinputs	B R	I D	L S	S C	D C	R A
13	Gevolgen van defecten, incidenten of ongevallen voorkomen en mitigeren (<i>fail safe</i>) Om de operators in staat te stellen het ongeval te beheersen, moeten systemen voorhanden zijn die ontworpen zijn om de gevolgen van defecten, incidenten en ongevallen (al dan niet het gevolg van menselijke fouten) vroeg te detecteren en te voorkomen. Als dat niet mogelijk is, moeten er systemen bestaan om de berging in een veilige toestand te brengen; die systemen zijn niet bedoeld om incidenten of ongevallen te voorkomen, maar om de gevolgen ervan te mitigeren als er effectief een ongeval heeft plaatsgevonden.	x					
14	Gestandaardiseerde monolieten gebruiken als bergingsverpakking Om de bergingsoperaties te vergemakkelijken en manipulatiefouten te minimaliseren, wordt het categorie A-afval in gestandaardiseerde monolieten met dezelfde doorsnede geplaatst. Deze ontwerpinput vloeit voort uit een ontwerpkeuze van NIRAS.					x	
15	Terugneembaarheid mogelijk maken tot en met de nucleaire reglementaire controlefase Deze vereiste betekent dat de monolieten in het kader van specifieke operaties en met verschillende middelen kunnen worden teruggenomen uit de bergingsinstallatie. Ze impliceert dat de integriteit van de monoliet gegarandeerd moet worden tot het einde van de nucleaire reglementaire controlefase.			x			
16	Beschikken over een inspectieruimte en een drainagesysteem Deze DI maakt het mogelijk eventuele waterdoorsijpelingen zo dicht mogelijk bij hun bron te controleren om vertrouwen te scheppen in de evolutie van het bergingssysteem.		x	x	x	x	
17	Beschikken over een stalen dakstructuur over alle modules Een stalen dakstructuur beschermt de modules tijdens de exploitatie tegen de weersomstandigheden. Zoals gevraagd door de lokale stakeholders zal de stalen dakstructuur over alle modules worden geplaatst als preventieve maatregel, zodat de modules zowel voor, tijdens als na opvulling te allen tijde beschermd worden tegen waterinfiltratie.	x		x		x	
18	Beschikken over een afdekking De realisatie van een afdekking helpt intrusies (van mensen, dieren of planten) voorkomen. De afdekking helpt om het contact van afval met water te vermijden.	x			x		
19	Bergingsmodules buiten het bereik van oppervlakte- en grondwater De bergingsmodules moeten buiten het bereik van oppervlakte- en grondwater worden gehouden om het contact van afval met water te vermijden.	x				x	
20	Badkuipeffect vermijden Het risico op de accumulatie van water in de bergingsinstallatie moet worden voorkomen zonder de insluiting van radionucliden in het systeem in het gedrang te brengen.	x			x		
21	Materialen kiezen die gasproductie in het bergingssysteem voorkomen en de performantie van het systeem niet schaden De keuze van de materialen moet zoveel mogelijk gasproductie in de bergingsinstallatie, die de performantie van het bergingssysteem kan beïnvloeden, helpen voorkomen.	x					
22	Materialen gebruiken die de waarschijnlijkheid en de impact van brand tot een minimum beperken Het beperken van waarschijnlijkheid van brand en het inperken van de mogelijke gevolgen bij brand.	x					
23	Tijdens de exploitatiefase over noodtoevoer beschikken voor de SSC's die belangrijk zijn voor de veiligheid Het optimaal in een veilige toestand kunnen brengen van de installatie bij elektriciteitsuitval.	x					
24	Aanwezigheid van lege ruimtes in de bergingsverpakkingen beperken	x					
25	Structurele integriteit garanderen	x					
26	Andere barrières beschermen Chemische buffering en vermijden van extra chemische degradatie van de cementgebonden SSC's.					x	
27	Instrumentatie voorzien die de informatie kan leveren die nodig is om de installatie op een betrouwbare en veilige manier te exploiteren	x					

2.8 Veiligheidsconcept

Zoals gesteld in §2.2.3.1 ‘Elementen van de veiligheidsstrategie’, worden in het veiligheidsconcept de systemen, structuren en componenten (SSC’s) van het bergingssysteem geïdentificeerd die de veiligheid verzekeren, en worden de veiligheidsfuncties en verwachte performanties van de componenten beschreven voor de verschillende periodes en fases in het leven van de inrichting. Er dient ook beschreven te worden hoe de combinatie van de SSC’s en veiligheidsfuncties er voor zorgt dat het principe van gelaagde bescherming toegepast wordt. Nauw verbonden met het veiligheidsconcept is ook de klassering waarin het belang van de SSC’s voor de nucleaire veiligheid bepaald wordt, conform art.8 van [R2-3].

Het veiligheidsconcept legt enerzijds vereisten op aan het ontwerp waarmee rekening gehouden dient te worden bij de ontwikkeling ervan (§2.7) en omvat anderzijds de componenten en functies waarop kan worden gesteund in veiligheidsevaluaties (§2.6).

In overeenstemming met de veiligheidsprincipes voor berging aan het oppervlak, beschreven in §2.4.2.3, berust de veiligheid van het oppervlaktebergingssysteem op vier fundamenteën:

- 1) De eigenschappen van de bergingsinstallatie om het radioactieve afval op passieve wijze in te sluiten en af te zonderen van mens en milieu, dit wil zeggen de veiligheidsfuncties van de verschillende componenten van het bergingssysteem
- 2) De eigenschappen van de bergingslocatie die bijdragen aan deze passieve insluiting en afzondering
- 3) De maatregelen die getroffen worden om de activiteit, voornamelijk de langlevende activiteit, te beperken in het afval dat kan geborgen worden
- 4) De controles van en het toezicht op de bergingsinstallatie en de onmiddellijke omgeving om te voorkomen dat menselijke activiteiten de passieve insluiting en afzondering door de bergingsinstallatie verstoren.

Bij de oppervlakteberging te Dessel kunnen de insluiting en afzondering niet door natuurlijke barrières verkregen worden, en steunen ze uitsluitend op de SSC’s van de bergingsinstallaties. De bergingslocatie zorgt voor een stabiele omgeving zodat de insluitings- en afzonderingscapaciteit van het bergingssysteem niet aangetast of verminderd wordt.

2.8.1 Duur van periodes en fases

De verschillende fases en periodes in de levensloop van een afvalbergingsinstallatie worden onderverdeeld in een periode voor en een periode na sluiting (zie Figuur 2-6). De periode voor sluiting is de *operationele periode*. Daarna volgt de *periode na sluiting*.

Tijdens de operationele periode worden de volgende fases afgebakend:

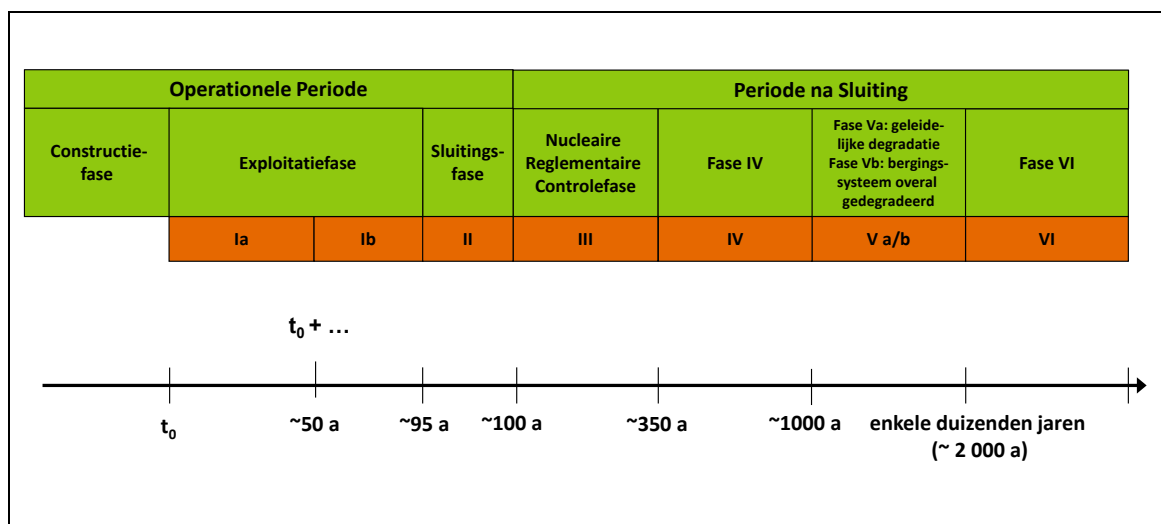
- Tijdens de *constructiefase*, die start na het verlenen van de oprichtings- en exploitatievergunning volgens art.6 van het ARBIS, wordt een eerste deel van de bergingsinrichting gebouwd. De tijd die nodig is voor de bouw van de initiële structuren en de inbedrijfstelling ervan wordt geschat op ongeveer drie jaar.
- Tijdens de *exploitatiefase*, die start na het bevestigingsbesluit van de oprichtings- en exploitatievergunning volgens art.6 van het ARBIS, wordt afval in de bergingsinstallaties geplaatst, worden het drainagesysteem onderaan de modules en de inspectieruimtes gemonitord en wordt de afdekking geplaatst. De exploitatiefase wordt verder verdeeld in twee sub-fases:
 - ▶ Tijdens de *exploitatiefase 1a* wordt er radioactief afval in de bergingsinstallaties geplaatst en wordt het drainagesysteem onderaan de modules en de inspectieruimtes gemonitord (*indicatieve duur van 50 jaar*).
 - ▶ Tijdens de *exploitatiefase 1b* wordt het stalen dak verwijderd, wordt de afdekking aangelegd en worden het drainagesysteem onderaan de modules en de inspectieruimtes verder gemonitord (*indicatieve duur van 45 jaar*).
- Tijdens de *sluitingsfase II*, die start met de beslissing tot sluiting van de bergingsinstallaties, worden de drainagesystemen ontmanteld en de overblijvende lege ruimtes in de inspectieruimtes en -galerijen opgevuld, om de berging in haar definitieve configuratie te brengen (*indicatieve duur van 5 jaar*).

Tijdens de periode na sluiting worden de volgende fases afgebakend:

- Tijdens de *nucleaire reglementaire controlefase III* worden de monitoring, bewaking, onderhoud en toegangscontrole van de inrichting en de installaties verdergezet. De duur van de nucleaire reglementaire controlefase wordt geschat op ongeveer *tweehonderdvijftig jaar*.
- Na de opheffing van de nucleaire reglementaire controle start de *fase IV*. In de verwachte evolutie van het bergingssysteem (HS14 §14.3.2) wordt op basis van de fenomenologie en rekening houdend met de omgeving van het bergingssysteem geargumenteed dat behoudens lokale afwijkingen aan de beoogde performantie van het bergingssysteem, het vrijkomen van radionucliden tot ongeveer 1 000 jaar gedomineerd wordt door diffusie. Voor lokale afwijkingen aan de beoogde performantie kan deze tijdspanne korter zijn. In de veiligheidsevaluaties wordt rekening gehouden met de verwachte evolutie en met lokale afwijkingen.
- Vanaf ongeveer 1 000 jaar verdwijnt de beperking van waterinsijpeling in de verschillende barrières van het bergingssysteem geleidelijk, en treedt een transiënt op waarin de kunstmatige barrières traag beginnen degraderen – er zal geen abrupt verlies optreden van fysische eigenschappen, daar er geen processen of gebeurtenissen geïdentificeerd konden worden die aanleiding kunnen geven tot een plotse, grootschalige blootstelling van de modules (HS14 §14.3.2.6). Het is niet langer mogelijk een uniek pad van systeemevolucie vast te leggen vanaf fase V. Er wordt verwacht dat door een

opeenvolging van lokale afwijkingen het gehele bergingssysteem geleidelijk zal degraderen over een periode van enkele honderden jaren.

- ▶ De tijdspanne waarover het bergingssysteem geleidelijk degradeert is *fase Va*.
- ▶ Tijdens *fase Vb* is het bergingssysteem overal gedegrademd, maar is het bergingssysteem nog eenduidig af te lijnen.
- Na enkele duizenden jaren start *fase VI* en is het bergingssysteem niet meer eenduidig af te lijnen, wegens de groeiende onzekerheden over de evolutie, geometrie en configuratie van het bergingssysteem. Het geheel van afval, monolieten, modules en afdekking zal uiteindelijk verworpen tot een vermenging van brokstukken met een onzekere configuratie en heterogene chemische toestand. Zelfs onder die omstandigheden verwachten we nog steeds chemische retentie door de kunstmatige barrières in die componenten waar diffusie van radionucliden mogelijk is, of die een voldoende hoge hydraulische geleidbaarheid hebben om advectie toe te laten. Voor de duur van de fase VI verwijzen we naar HS14 §14.2.2.2.



Figuur 2-6: Fases en periodes in het leven van de bergingsinrichting

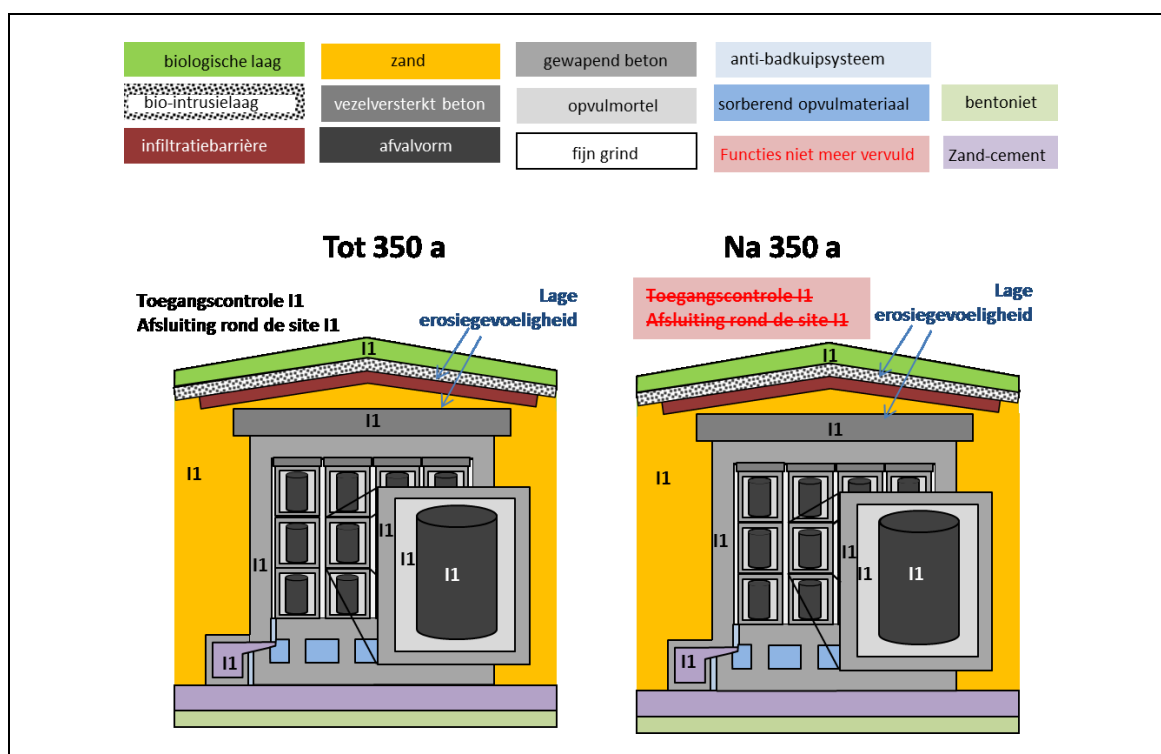
2.8.2 Strategie en verwachte evolutie van insluiting en afzondering tijdens de periode na sluiting

Op lange termijn (fases III, IV, Va en Vb) steunt de veiligheid op de insluitings- en afzonderingscapaciteit van de bergingsinstallatie.

2.8.2.1 Strategie en verwachte evolutie van afzondering

De afzondering tot 350 jaar (fase III) berust op enerzijds het beperken van toegang (toegangscontrole, afsluiting rond de site) en anderzijds op de mechanische eigenschappen en hoeveelheid/dikte en samenstelling van het materiaal rondom het afval, met name het materiaal van de afdekking (zie §2.4.2.3.2). Voor afzondering wordt de veiligheidsfunctie I1 ‘beperken van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie’ gebruikt.

De radiologische limieten voor berging en de daarmee verbonden radiologische bronterm in de berging dienen zodanig te zijn, dat op ieder moment na 350 jaar de radiologische impact ten gevolge van contact tussen het radioactieve afval en mens en omgeving aanvaardbaar zal zijn. Menselijke intrusiescenario's (onopzettelijke intrusie) dienen te leiden tot een aanvaardbare impact ten opzichte van de referentiewaarde van 3 mSv.a^{-1} uit de FANC leidraad over het risico op menselijke intrusies [R2-48] (zie ook §2.6.3.2). Na 350 jaar zal een verlies aan afzonderingscapaciteit niet leiden tot onaanvaardbare risico's, zoals bevestigd door resultaten van de menselijke intrusiescenario's (HS14, §14.7-10).



Figuur 2-7: Verwachte evolutie van afzondering en de belangrijkste processen en ssc's die bijdragen tot de afzondering (veiligheidsfunctie I1 – zie §2.7.4, Tabel 2-7)

De afdekking in zijn geheel speelt ook na 350 jaar een cruciale rol in het vermijden van contact tussen het afval en de biosfeer (inclusief de mens) (zie Figuur 2-7). De erosiegevoeligheid van de aarden afdekking wordt aanzienlijk verminderd door een weloverwogen keuze van de helling en de aanwezigheid van de erosieresistente bio-intrusielaag. Hierdoor blijven erosieve processen in de verwachte evolutie beperkt tot oppervlakkige lagen voor een periode van 1 000 jaar. Complementair aan de aarden lagen van de afdekking is er binnen de afdekking nog de vezelversterkte ondoorlatende topplaat, die niet erosiegevoelig is. Er wordt niet verwacht dat het afval bloot zal komen te liggen door erosie.

2.8.2.2 Strategie en verwachte evolutie van insluiting

Op basis van de radiologische karakteristieken van de voorziene bronterm (Figuur 2-3) bestaat de insluitingsstrategie van het bergingssysteem erin om gedurende ongeveer 1 000 jaar zoveel als mogelijk het vrijkomen van radionucliden te voorkomen en daarna het vrijkomen van de restactiviteit en -radiotoxiciteit te spreiden in de tijd (zie §2.4.2.3.2).

Het vrijkomen van radionucliden uit het bergingssysteem wordt voorkomen en gespreid door enerzijds de waterinsijpeling tot bij het afval te beperken (§2.8.2.2.1) en anderzijds het vrijkomen van radionucliden uit het bergingssysteem te beperken (§2.8.2.2.2).

2.8.2.2.1 Beperken van waterinsijpeling

Het vrijkomen van radionucliden uit het bergingssysteem wordt voorkomen en gespreid in de tijd door de waterinsijpeling tot bij het afval te beperken (R2a veiligheidsfunctie – zie §2.7.4).

Zoveel als mogelijk verhinderen van waterinsijpeling tot in de modules tot 1 000 jaar

Tot 1 000 jaar wordt het vrijkomen van radionucliden zoveel als mogelijk voorkomen door waterinsijpeling tot in de modules te verhinderen. Dit gebeurt door diverse processen en materialen (zie Figuur 2-8):

- 1) Evapotranspiratie uit de begroeiing op de afdekking
- 2) Laterale afwatering door de ophoging aan de zijdes en het zand in de bio-intrusielaag bovenop de infiltratiebarrière (klei)
- 3) Laterale afwatering door de ophoging aan de zijdes en de zandlaag bovenop de vezelversterkte ondoorlatende topplaat
- 4) Lage hydraulische geleidbaarheid van de modulewand (klassiek gewapend beton) zodat ook aan de zijkant waterinsijpeling tot in de modules verhinderd wordt.

De afdekking zou een verwachte levensduur hebben van een duizendtal jaar rekening houdend met verwachte erosie, scheuren van de kleilaag door uitdroging en met aardbevingen (zie de verwachte evolutie beschreven in HS14 §14.3.2).

De biologische laag van de afdekking moet eerst worden geërodeerd voor de tweede laag (de bio-intrusielaag) een rol speelt in dit proces. Op de plaatsen waar de biologische laag weg geërodeerd werd, zou de ontwikkeling van enige vegetatie op de bio-intrusielaag verwacht worden. Voor de bio-intrusielaag, filterlaag onder de bio-intrusielaag en voor de voet van de helling is er rekening gehouden met de NUREG-1623 criteria [R2-78] zodat de afdekking als erosieresistent kan beschouwd worden gedurende een periode van 1 000 jaar.

Omdat de onderste gecompacteerde kleilaag bedekt blijft door meer dan 1,5 m materiaal, wordt er niet verwacht dat deze laag zal uitdrogen (en scheuren), ook niet bij erosie van de biologische laag tot op de bio-intrusielaag.

Om het gedrag van de aarden afdekking onder seismische belasting te begrijpen, werd de stabiliteit van de aarden afdekking geëvalueerd. Op basis hiervan verwachten we in de eerste duizend jaar geen degradatie van de aarden afdekking vanwege seismische belasting, ook niet bij erosie van de biologische laag tot op de bio-intrusielaag.

De aarden afdekking legt ingegraven omstandigheden op aan de vezelversterkte ondoorlatende topplaat en de onderliggende modules en caissons waardoor deze niet onderhevig zijn aan vries-dooi cycli en de carbonatatie erin quasi tot stilstand komt.

Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval na 1 000 jaar

Na 1 000 jaar, wanneer de radiotoxiciteit reeds ongeveer 2 grootteordes is afgenomen, kunnen door degradatie aan de afdekking (erosie, aardbevingen) de ondoorlatende topplaat, modulewanden en monolieten lokaal worden blootgesteld aan atmosferische omstandigheden (carbonatatie en vries-dooi cycli).

Door de blootstelling van de ondoorlatende topplaat en de modulewanden kunnen deze na verloop van tijd doorgaande scheuren vertonen waardoor waterinsijpeling tot binnen de modules niet meer voorkomen wordt. Door de daaropvolgende blootstelling van de monolieten kunnen de caisson en opvulmortel ook doorgaande scheuren gaan vertonen enige tijd daarna. Er is nog steeds een beperking van waterinsijpeling door de evapotranspiratie uit de begroeiing op de restanten van de afdekking.

De strategie tijdens deze fase bestaat erin om het water dat tot *binnen* de modules geïnfiltreerd is weg te leiden van het afval (R2a) door volgende processen, materialen en componenten (zie Figuur 2-8):

- 1) De vezelsterkte afschermingsplaten overkappen de monolietstapels zodat water afgeleid wordt naar de tussenruimtes tussen de monolietstapels. Het feit dat de afschermingsplaten uit vezelversterkt beton zullen worden gemaakt draagt bij tot hun duurzaamheid.
- 2) Water dat in de tussenruimtes stroomt, zal een kleine kans op infiltreren in de monolieten hebben door:
 - a) Het conductieve opvulmateriaal in de tussenruimtes tussen de monolietstapels dat een goede drainage verzekert; er wordt geen fijn materiaal toegelaten in het opvulmateriaal zodat clogging vermeden wordt
 - b) Een verticale stapeling van monolieten zodat water dat doorheen de tussenruimten met conductief materiaal stroomt, slechts in beperkte mate in de stapel kan infiltreren (via scheurnetwerken in de monolieten)
 - c) De afschuining van de ribben van de caisson wat de horizontale oppervlakten waarop water zou kunnen terechtkomen verkleint
 - d) Maatregelen tegen het badkuipeffect die een voldoende drainage verzekeren; de drainagebuizen in de ondersteunende plaat en opening in de verbindingstunnels worden opengelaten en er is redundantie in het aantal drainagepunten
 - e) De conductieve grout in de inspectieruimtes die een voldoende drainage verzekert.
- 3) Het water dat infiltreert tot in de monolieten wordt weggeleid naar de tussenruimtes: de wanden van de caissons zullen bovenaan voorzien zijn van gootjes zodat water dat toch door de

afschermingsplaten of bovenliggende monolieten uit de stapel zou sijpelen afgevoerd wordt naar de ruimtes tussen de monolietstapels alvorens eventueel in contact te komen met onderliggende monolieten; om dit te faciliteren komt de onderkant van de gootjes dieper dan de bovenkant van het deksel van de monoliet.

2.8.2.2.2 Beperken van vrijkomen van radionucliden

Complementair aan de veiligheidsfunctie ‘Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval’ (R2a) zorgen de andere insluitingsfuncties (zie §2.7.4, Tabel 2-7):

- ‘Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval’ (R1)
- ‘Beperken van diffusie van radionucliden’ (R4a)
- ‘Chemisch vasthouden van radionucliden’ (R3)
- ‘Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media’ (R4b)

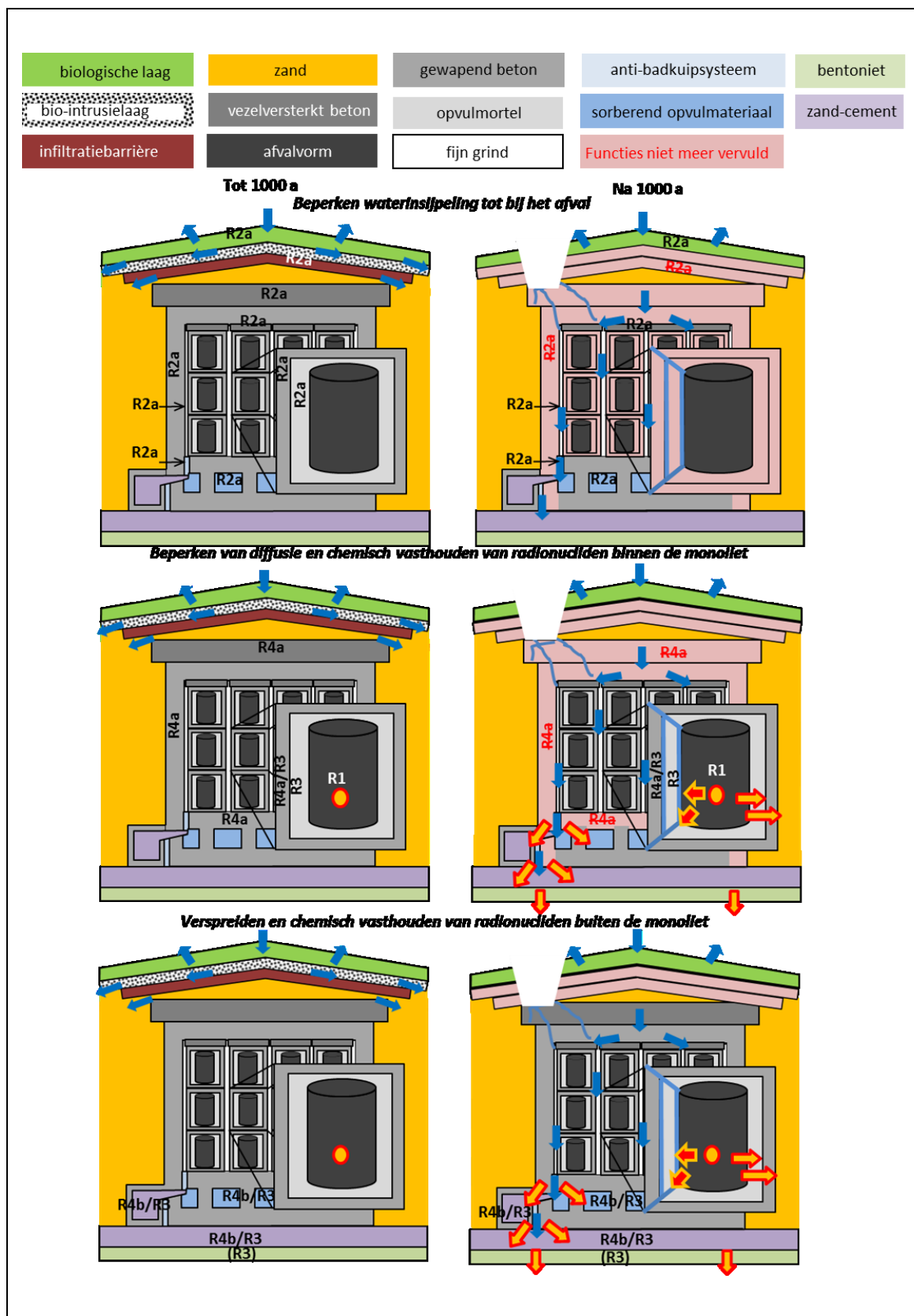
er verder voor dat het vrijkomen van radionucliden uit de bergingsinstallatie voorkomen en gespreid wordt in de tijd (zie Figuur 2-8).

Voorkomen van vrijkomen van radionucliden tot 1 000 jaar

Afval in de berging moet een hoge weerstand tegen uitloging bezitten. Bijvoorbeeld mag het afval geen vrije vloeistoffen bevatten en moeten de vrije ruimtes beperkt worden. De verpakking van geconditioneerd afval draagt bovendien bij tot insluiting van radionucliden tijdens transport en tijdelijke opslag. Afval voor berging bezit dus inherent karakteristieken die de insluiting van radionucliden ook op lange termijn bevorderen.

Bovendien zorgen de veiligheidsfunctie R2a en de trage saturatie van betonnen componenten ervoor dat er in het afval tot 1 000 jaar weinig water beschikbaar is voor chemische reacties. Dit zorgt voor weinig uitloging van radionucliden uit het afval tot 1 000 jaar.

De sorptie op uitgeharde cement in de conditioneringsmatrix, het afval en de betonnen afschermingen in de afvalcolli zorgt daarenboven nog voor een voorkomen en beperken van het vrijkomen uit het afval (R1 veiligheidsfunctie). Tot 1 000 jaar is insluiting gericht op het voorkomen van het vrijkomen van radionucliden. Door de combinatie van de R2a en R1 veiligheidsfuncties wordt verwacht dat de meeste radionucliden binnen het afval zullen blijven tot 1 000 jaar (zie Figuur 2-8).



Figuur 2-8: Verwachte evolutie van de insluiting en de belangrijkste ssc's die bijdragen tot de insluiting (langetermijnveiligheidsfuncties R2a, R1, R3, R4a en R4b – zie §2.7.4, Tabel 2-7)

Diverse veiligheidsfuncties en barrières rondom het afval om te belemmeren dat radionucliden uit de installatie zouden vrijkomen, worden bij de verwachte evolutie in de periode tot 1 000 jaar bijna niet gebruikt wegens de effectieve insluiting door de functies R2a en R1, maar zijn wel aanwezig (zie Figuur 2-8):

- 1) De beperkte fractie van radionucliden die toch zou vrijkomen uit het afval ondanks de R1 en R2a veiligheidsfuncties, wordt chemisch vastgehouden (R3) in de opvulmortel
- 2) Het beperken van diffusie van radionucliden (R4a) in de caisson zodat migratie naar en in deze barrière tegengegaan wordt
- 3) De beperkte fractie van radionucliden die toch naar de caisson zou migreren ondanks de R1 veiligheidsfunctie, de sorptie in de opvulmortel en de lage diffusie in de caisson, wordt chemisch vastgehouden (R3) in de caisson zodat radionucliden binnen de monoliet ingesloten zouden blijven
- 4) Beperken van diffusie van radionucliden (R4a) in het beton van de modulewand, ondoorlatende topplaat en ondersteunende plaat zodat migratie naar en in deze barrières tegengegaan wordt.

Met deze veiligheidsfuncties en barrières rondom het afval wordt bij een niet-gescheurd systeem het vrijkomen van radionucliden uit de installatie zoveel als mogelijk voorkomen.

Beperken van vrijkomen van radionucliden na 1 000 jaar

Vanaf 1 000 jaar kunnen erosie van de aarden afdekking en het optreden van doorgaande scheuren in het bergingssysteem niet meer uitgesloten worden. Waterinsijpeling kan dan niet meer worden voorkomen, en insluiting is dan gebaseerd op het principe van spreiden in de tijd (beperken van vrijkomen).

Het vrijkomen van radionucliden uit het afval wordt beperkt (veiligheidsfunctie R1) door sorptie op de immobilisatiematrix voor type I monolieten. Ook de inherente karakteristieken van de verschillende soorten geconditioneerd en bulkafval dragen bij tot een vertraagd en gespreid vrijkomen van radionucliden.

Eens radionucliden zijn opgelost wordt hun migratie naar doorgaande scheuren en tussenruimten zoveel mogelijk beperkt door het:

- 1) Het beperken van waterinsijpeling tot bij het afval zelf (R2a, zie §2.8.2.2.1)
- 2) Het beperken van het vrijkomen uit het afval (R1)
- 3) Het chemisch vasthouden van radionucliden in de opvulmortel (R3)
- 4) Het beperken van diffusie van radionucliden (R4a) in de caisson zodat migratie naar en in deze barrière tegengegaan wordt
- 5) Het chemisch vasthouden (R3) in de caisson van de beperkte fractie van radionucliden die toch naar deze barrière zou migreren ondanks de R1 veiligheidsfunctie, de sorptie in de opvulmortel en de lage diffusie in de caisson.

Voor radionucliden die tot in de scheuren van een weinig conductief medium (zoals beton) vrijgekomen zijn, zal de sorptiecapaciteit van dat materiaal grotendeels gebypassed worden tijdens de verdere migratie van die radionucliden doorheen dat medium. Het spreiden in de tijd van het vrijkomen van radionucliden die zich in scheuren bevinden wordt verkregen door de veiligheidsfuncties R4b (verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media) en R3 (chemisch vasthouden van radionucliden) in conductieve sorberende media. De componenten die hiertoe bijdragen zijn:

- 1) het opvulmateriaal in de inspectieruimte (grout),
- 2) het zand-cement in de inspectiegalerij en de funderingen.

Ten slotte is er een grondverbetering met bentoniet (zie §2.7.4) die in bijkomende, enigszins complementaire sorptiecapaciteit kan voorzien (R3). De performantie van deze bentonietlaag op lange termijn en in de verwachte omgevingscondities dient nog aangetoond te worden.

2.8.2.2.3 Afwijkingen van de beoogde performantie van de kunstmatige barrières

Hoewel een onwaarschijnlijke opeenvolging van gebeurtenissen en processen (of een combinatie hiervan) zou moeten plaatsvinden om het volledige bergingssysteem aanzienlijk te laten afwijken van zijn beoogde performantie, kunnen lokale afwijkingen niet formeel worden uitgesloten. Dit zou zich uiten in een gedeelte van het bergingssysteem dat vroeger degradeert dan vanaf 1 000 jaar. Voor dit gedeelte zijn dezelfde SSC's en veiligheidsfuncties van toepassing als in Figuur 2-8, enkel treedt de degradatie vroeger op in de tijd dan vanaf 1 000 jaar.

2.8.2.2.4 Evolutie van de insluiting en bevestiging via veiligheidsevaluaties

In de verwachte evolutie wordt dus een geleidelijk verlies aan performantie en functionaliteit van het systeem verwacht, maar blijft de insluiting behouden in overeenstemming met het resterende risico. De verwachte functionaliteiten en afwijkingen van de beoogde performanties zijn in de veiligheidsevaluaties opgenomen in het verwachte evolutiescenario en referentiescenario, rekening houdend met de heersende onzekerheden. Er is in beide scenario's ondersteld dat een gedeelte van het bergingssysteem vroeger degradeert dan vanaf 1 000 jaar (HS14, §14.4.2 en §14.5.2). Resultaten van deze veiligheidsevaluaties bevestigen dat het geleidelijke verlies aan performantie en functionaliteit in de verwachte evolutie niet leidt tot onaanvaardbare risico's (HS14, §14.4.9 en §14.5.7).

2.8.3 Mogelijke trajecten van radionucliden op lange termijn tijdens de periode na sluiting

2.8.3.1 Mogelijke trajecten van radionucliden tijdens fase III

De evolutie van het bergingssysteem en het transport van radionucliden bij geleidelijke uitloging tijdens fase III worden beschreven in de verwachte evolutie, HS14 §14.3.2.4:

- De afdekking zal de waterinsijpeling in de modules beperken.
- Het carbonatatiefront zal de wapeningsstaven van de klassiek gewapende betonnen componenten nog niet bereiken, waardoor geen doorgaande macroscheuren verwacht worden.
- De ondoorlatende topplaat, structurele topplaat, prefab afschermingsplaten, modulewanden en een gedeelte van de buitenste monolieten worden verwacht om bijna gesatureerd te zijn. Een geleidelijke verdere saturatie van de buitenste monolieten zal plaatsvinden tijdens deze fase. Fysicochemische verouderingsprocessen binnen het afval zullen traag zijn, omdat ze voornamelijk diffusiegecontroleerd zijn en de hernieuwing van poriënwater zeer traag zal zijn door de lage hydraulische geleidbaarheid van de omliggende cementgebonden barrières en de door de afdekking beperkte waterinsijpeling in de modules.

- Het beton van de modules en monolieten bevindt zich in chemische toestand I⁸, met uitzondering van een dunne gecarbonateerde laag in toestand IV⁹. De mortel van de monoliet bevindt zich in chemische toestand III¹⁰ aan het begin van de pH-daling en de mortel in het afval in toestand I of II¹¹ afhankelijk van het gebruikte type cement. Het zand-cement in de funderingen bevindt zich in toestand II. Toestanden I en II hebben een aanzienlijke chemische retentie voor chemische elementen zoals Nb, Sn, Ni en de meeste actiniden.

Tijdens fase III bevinden de meeste radionucliden zich binnen het afval en monoliet. Een uitzondering hierop zijn niet-gesorbeerde en dus zeer mobiele nucliden, zoals ³H en ¹⁰Be, waarvan een kleine fractie door diffusie tot in naburige monolieten, prefab afschermingsplaten, structurele topplaat en in de modulebasis kan komen. Omdat de waterinsijpeling in de modules nog steeds beperkt wordt door de afdekking en omdat het insijpelend water voornamelijk dient ter verdere saturatie van de monolieten, zijn de tussenruimten tussen de monolietstapels en tussen de buitenste monolieten en modulewand niet-gesatureerd en vormen deze een diffusiebarrière. Deze tussenruimten vormen in deze fase dus geen preferentiële transportweg voor deze radionucliden.

2.8.3.2 Mogelijke trajecten van radionucliden tijdens fase IV

De evolutie van het bergingssysteem en het transport van radionucliden bij geleidelijke uitloging tijdens fase IV worden beschreven in de verwachte evolutie, HS14 §14.3.2.5. De performantie blijft gelijklopend aan fase III, i.e. voor de meeste modules nog altijd beperking van waterinsijpeling door de afdekking, carbonatatiefront dat de wapeningsstaven nog niet bereikt, progressieve saturatie van de monolieten, traag vrijkomen van radionucliden uit het afval, poriënwater in het beton in chemische toestand I, poriënwater in de mortel van de monoliet in toestand III, poriënwater in de mortel binnen het afval in toestand I of II afhankelijk van het gebruikte type cement en poriënwater in de zand-cement fundering in toestand II.

Tijdens fase IV zijn de trajecten van de meeste radionucliden gesitueerd binnen de monoliet. Een uitzondering hierop zijn niet of weinig gesorbeerde nucliden, zoals ³H, ¹⁰Be, ¹³⁵Cs/¹³⁷Cs, ¹²⁹I ... , waarvan een fractie door diffusie kan terechtkomen in naburige monolieten, prefab afschermingsplaten, structurele topplaat, ondoorlatende topplaat en in de modulebasis. Omdat de waterinsijpeling in de modules nog steeds beperkt wordt door de afdekking en omdat het insijpelend water voornamelijk dient ter verdere saturatie van de monolieten, zijn de tussenruimten tussen de monolietenstapels en de buitenste monolieten en modulewand niet-gesatureerd en vormen deze een diffusiebarrière.

⁸ Poriënwater in evenwicht met deze toestand heeft bij 10°C een pH ~ 13,8 gebufferd door alkali-elementen Na en K (HS05 §5.3.2.5 Figuur 5-5).

⁹ Poriënwater in evenwicht met deze toestand heeft bij 10°C een pH < 10 waarin enkel calciëet CaCO₃ een bufferende werking heeft (HS05 §5.3.2.5 Figuur 5-5).

¹⁰ Deze toestand wordt bepaald door een opeenvolging van oplos- en neerslagreacties van C-S-H, AFm en AFt fasen en eindigt wanneer deze fasen niet meer aanwezig zijn. De pH daalt daarbij (HS05 §5.3.2.5 Figuur 5-5).

¹¹ Poriënwater in evenwicht met deze toestand heeft bij 10°C een pH ~ 13 gebufferd door portlandiet Ca(OH)₂ (HS05 §5.3.2.5 Figuur 5-5).

Bij lokale afwijkingen aan de beoogde performantie kunnen lokaal oxische niet-ingegraven omstandigheden optreden, kan de waterinsijpeling in de modules gradueel toenemen en kan het dat de modules en daarna de monolieten gradueel scheuren beginnen te vertonen. De situatie voor plaatsen met lokale afwijkingen tijdens fase IV is gelijk aan deze voor fase V.

2.8.3.3 Mogelijke trajecten van radionucliden tijdens fases Va en Vb

De evolutie van het bergingssysteem en transport van radionucliden bij geleidelijke uitloging tijdens fases Va en Vb zijn beschreven in de verwachte evolutie, HS14 §14.3.2.6.

Het feit dat de ophoging aan de zijdes in de steile delen van de afdekking meer voor erosie vatbaar is dan het gedeelte van de afdekking bovenop de modules met een lichtere helling, maakt dat het bovenste gedeelte van de modulewanden en de zijkant van de ondoorlatende topplaat waarschijnlijk de eerste componenten zijn die lokaal blootgesteld worden aan oxische niet-ingegraven omstandigheden. Op dat ogenblik zullen deze componenten worden blootgesteld aan vries-dooicycli en atmosferische carbonatatie, wat niet het geval was onder ingegraven omstandigheden. Beide processen kunnen de degradatie versnellen. In deze fase zou het wetenschappelijk ongegrond zijn om één specifiek pad van systeemevolucie naar voren te schuiven. Zowel de (inherente) onzekerheden over wat er zal gebeuren als de toenemende heterogeniteit van het bergingssysteem (van plaats tot plaats verschillende evolutie) vormen hiervoor belangrijke redenen.

Door de degradatie zal de waterinsijpeling in de modules gradueel toenemen en zullen de modules en daarna de monolieten gradueel scheuren beginnen te vertonen. Scheuren zorgen voor een aanvoer van water tot bij het afval en zijn verpakking. Deze combinatie van oxische omstandigheden en beschikbaar water zal zorgen voor chemische reacties waardoor de activiteit uit het afval beschikbaar komt voor migratie uit de afvalcolli. Er wordt verwacht dat door een opeenvolging van lokale oxische niet-ingegraven omstandigheden het gehele bergingssysteem geleidelijk zal degraderen over een periode van enkele honderden jaren (fase Va). Het is in deze fase Va onzeker of het onderste deel van de module (wanden en basis) doorgaande scheuren vertoont wanneer de waterinsijpeling toeneemt. Daardoor valt een tijdelijk optreden van het badkuipeffect tijdens fase Va niet uit te sluiten zonder extra ontwerpmaatregelen, en wordt bijkomend het anti-badkuipsysteem (ABS) voorzien om dit effect uit te sluiten.

De waterstroming en het transport van radionucliden is beschreven in de verwachte evolutie, HS14 §14.3.2.6:

- Aangezien netwerken van doorgaande scheuren in opvulmortel en de caisson ontstaan, zou het transport geleidelijk naar een bimodale toestand moeten evolueren waarin advectiegedomineerd transport plaatsvindt in de tussenruimten tussen de monolieten en doorgaande scheuren terwijl diffusiegedomineerd transport plaatsvindt in de matrix tussen deze tussenruimten en scheuren. Ook in lege ruimtes, scheuren en matrices van bepaalde types afval zou er advectief transport van radionucliden zijn.
- De waterstroming gaat voornamelijk doorheen de tussenruimten tussen de monolietstapels en doorgaande scheuren en in mindere mate doorheen de matrix. Water aan de bovenkant van de monolieten wordt bovendien lateraal afgeleid door de gootjes bovenaan de caissons.
- Radionucliden komen door diffusiegecontroleerde kinetica uit de matrix van het afval, opvulmortel en caisson vrij naar doorgaande scheuren in de monolieten en komen via deze scheuren uit de monolieten vrij.

- Mogelijke verdere trajecten van radionucliden:
 - ▶ De radionucliden die uit de monolieten vrijkomen in de tussenruimten tussen de monolietstapels en in de doorgaande scheuren doorheen de monolieten en betonnen delen van de module (ondersteunende plaat, kolommen, funderingsplaat), zouden in deze tussenruimten en scheuren door advectie worden getransporteerd tot buiten de module. Sorptie in scheuren is moeilijk aantoonbaar.
 - ▶ Het is in fase Va onzeker of het onderste deel van de module (wanden en basis) doorgaande scheuren vertoont wanneer de waterinsijpeling toeneemt. We beschouwen twee gevallen voor fase Va:
 - Het onderste deel van de module vertoont geen doorgaande scheuren en het ABS dient het badkuipeffect te verhinderen.
 - Radionucliden die uit de monolieten vrijkomen in de tussenruimten tussen de monolietstapels en doorgaande scheuren doorheen de monolieten en vervolgens in het ABS in de ondersteunende plaat komen, zouden in het ABS door advectie migreren. Op hun verdere traject doorheen het opvulmateriaal van de inspectieruimte en het ABS in de verbindingstunnels zouden de radionucliden ook hoofdzakelijk door advectie migreren en de sorptiecapaciteit van het opvulmateriaal van de inspectieruimte benutten.
 - De fractie van de radionucliden die naar de matrix van de ondersteunende plaat diffundeert, zou van daaruit verder diffunderen naar de kolommen, de opvulling van de inspectieruimte, de funderingsplaat. In de opvulling van de inspectieruimte en in het ABS van de verbindingstunnels zouden ze voornamelijk door advectie migreren. Tijdens dit traject zullen de radionucliden de sorptiecapaciteit van de matrix van de betoncomponenten en van het opvulmateriaal van de inspectieruimte benutten.
 - Het onderste deel van de module vertoont wel doorgaande scheuren. Er zijn twee verschillen met het voorgaande geval.
 - Ten eerste migreren radionucliden bij dit geval ook in de doorgaande scheuren door ondersteunende plaat en funderingsplaat in plaats van migratie doorheen het ABS in ondersteunende plaat en verbindingstunnels. Radionucliden die zich in doorgaande scheuren uit de ondersteunende plaat bevinden en naar het opvulmateriaal van de inspectieruimte migreren, kunnen zich daar verspreiden in het conductief sorberend opvulmateriaal en zullen in dat materiaal de sorptiecapaciteit van de matrix benutten tijdens hun advectief transport. De radionucliden die afkomstig zijn uit het opvulmateriaal migreren door advectie verder in doorgaande scheuren van de funderingsplaat en in het anti-badkuisysteem van de verbindingstunnels.
 - Ten tweede diffunderen radionucliden in de ondersteunende plaat niet alleen verder naar kolommen, opvulmateriaal van de inspectieruimte en funderingsplaat maar ook naar doorgaande scheuren.
 - ▶ In fase Vb is het onderste deel van de module gescheurd. De trajecten zijn gelijk aan deze uit het tweede geval voor fase Va.
- In de zand-cement ophoging migreren de radionucliden door advectie en worden ze gesorbeerd op de cementfasen.

In de verwachte evolutie, HS14 §14.3.2.1 wordt vermeld dat de opgevulde inspectiegalerij geen invloed heeft op de evolutie van het bergingssysteem. Door de maatregelen tegen het badkuipeffect, door het advectioneel transport in het opvulmateriaal van de inspectieruimte, door het afsluiten van openingen tussen de inspectieruimte en inspectiegalerij, ligt de inspectiegalerij niet op het verwachte traject van radionucliden. Bovendien wordt het gedeelte van de inspectiegalerij boven de footprint van de zand-cement ophoging opgevuld met een zand-cement mengsel.

2.8.3.4 Mogelijke trajecten van radionucliden tijdens fase VI

Fase VI wordt afgedekt door de penaliserende scenario's (zie §2.6.3.2) en wordt niet beschouwd in het veiligheidsconcept. De onzekerheden op de evolutie van het bergingssysteem, te wijten aan externe gebeurtenissen, natuurlijke processen, heterogeniteiten en koppelingen worden dusdanig groot dat het moeilijk wordt om het bergingssysteem eenduidig af te lijnen. Het systeem van afval, monolieten, modules, afdekking kan wijzigen tot een vermenging van brokstukken met onzekere configuratie.

2.8.4 Veiligheidsconcept voor de langetermijnveiligheid

Het veiligheidsconcept voor de langetermijnveiligheid is gebaseerd enerzijds op de strategie en verwachte evolutie van insluiting en afzondering (§2.8.2) en anderzijds op de mogelijke trajecten van radionucliden op lange termijn (§2.8.3).

Het toekennen van een M-rol ('Main') aan een SSC in het veiligheidsconcept betekent dat de SSC in staat moet zijn om gedurende een bepaald tijdsinterval een bepaalde veiligheidsfunctie te vervullen en dus noodzakelijk is

- Om de globale performantie van het bergingssysteem en trajecten van radionucliden doorheen barrières te verzekeren bij de verwachte evolutie van het systeem (insluitings- en afzonderingsperformantie)
- En/of indien nodig, om de gevolgen te beperken bij falen¹² van een SSC of veiligheidsfunctie.

Het toekennen van een C-rol ('Contribute') aan een SSC in het veiligheidsconcept betekent dat de componenten weliswaar geen M-rol vervult, maar toch een zekere bijdrage levert of kan leveren aan het vervullen van een bepaalde langetermijnveiligheidsfunctie. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als

- Er voor de SSC geen specifieke vereiste wordt opgelegd voor deze veiligheidsfunctie
- Onzekerheden op het vervullen van de veiligheidsfunctie te groot zijn
- De veiligheidsfunctie van de SSC niet noodzakelijk is om de globale performantie te garanderen bij de verwachte evolutie van het systeem of om de gevolgen te beperken bij falen van een SSC of veiligheidsfunctie.

Vermits in fase IV slechts een beperkt aantal lokale afwijkingen van de beoogde performantie verwacht worden, wordt voor die fase de algemene evolutie weergegeven. De situatie voor de plaatsen met lokale afwijkingen tijdens fase IV is gelijk aan die voor fase V.

De toekenning van de langetermijnveiligheidsfuncties aan verschillende SSC's wordt besproken in Bijlage 2-3 Tabel 2-21 tot en met Tabel 2-26. Een overzicht van het veiligheidsconcept voor de langetermijnveiligheid is hieronder in Tabel 2-9 gegeven.

¹² Faling dient begrepen te worden als een totale of quasi totale bypass of een aanzienlijk verlies van performantie van een barrière of veiligheidsfunctie, waardoor deze weinig of niet meer bijdraagt aan de nucleaire veiligheid.

Tabel 2-9: Veiligheidsconcept voor de langetermijnveiligheid

	Insluiten																Afzonderen							
	R2a				R1				R3				R4a				R4b				I1			
SSC	III	IV	va	vb	III	IV	va	vb	III	IV	va	vb	III	IV	va	vb	III	IV	va	vb	III	IV	va	vb
1. Afdekking																								
Begroeiing op afdekking (evapotranspiratie)	M	M	M	M																				
Systeem “infiltratiebarrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusie laag en ophoging aan de zijdes”	M	M	C	C																				
Bio-intrusie laag																								
GCL in de infiltratiebarrière	C	C	C	C																				
Systeem “Ondoorlatende topplaat + laterale drainage door zandlaag en ophoging aan de zijdes”	M	M	C	C																				
Aarden afdekking en ophoging aan de zijdes																								
HDPE op de ondoorlatende topplaat en vlotplaten	C												C								M	M	C	C
Ondoorlatende topplaat									C	C	C	C	M	M							M	M	C	C
Vlotplaten	C	C																						
Bitumen op structurele topplaat	C												C											
3. Module dak																								
Structurele topplaat	C	C											C	C							C	C	C	C
Prefab afschermingsplaat	M	M	M	M																				
4. Module midden																								
Opvulmateriaal in tussenruimten	M	M	M	M									C	C										
Modulewand	M	M	C	C									M	M							M	M	C	C
5. Monoliet																								
Caisson	M	M	C	C									M	M	M	M					M	M	C	C

	Insluiten																Afzonderen																			
	R2a				R1				R3				R4a				R4b				I1															
SSC	III	IV	va	vb	III	IV	va	vb	III	IV	va	vb	III	IV	va	vb	III	IV	va	vb	III	IV	va	vb												
Mortel	M	M	C	C					M	M	M	M									M	M	C	C												
Collo GA (type I/II)					M	M	M	M																	M	M	C	C								
Afval in type III					C	C	C	C																	M	M	C	C								
6. Modulebasis																																				
Ondersteunende plaat																					C	C	C	C	M	M										
ABS/drainagesysteem in ondersteunende plaat	M	M	M	M																	C	C	C	C												
Prefab element																					C	C	C	C												
Kolommen																					C	C	C	C												
Opvulmateriaal inspectieruimte	M	M	M	M																	M	M	M	M												
Funderingsplaat																					C	C	C	C												
ABS in verbindingstunnels	M	M	M	M																	C	C	C	C												
7. Opgevulde inspectiegalerij																	M	M	M	M					M	M	M	M	M	M	C	C				
8. Funderingen																																				
Zand-cement																	M	M	M	M					M	M	M	M								
Drainagelaag																																				
Grondverbetering (bentoniet)																	C	C	C	C																
9. Site en omgeving																																				
Toegangscontrole																																	M			
Afsluiting rond de site																																	M			
Markers en archieven																																	C	C	C	C

SSC's zonder M/C in bovenstaande Tabel 2-9 (bio-intrusie laag in de afdekking en drainagelaag onderaan de berging) beschermen de berging tegen externe factoren (erosie, opstijgend grondwater). Voor een overzicht van alle rollen die een SSC vervult, inclusief ondersteuning, zie de ontwerpvereisten per SSC (HS08 bijlage 2 en §8.7).

2.8.5 Insluitings-, afschermings- en afzonderingsstrategie en mogelijke trajecten van radionucliden tijdens de operationele periode

Tijdens de operationele periode (fases Ia, Ib en II) zitten de radionucliden in hoofdzaak binnen het afval ingesloten. Bijgevolg is de belangrijkste blootstellingsroute voor mens en omgeving ‘externe straling’. De blootstelling aan externe straling wordt beperkt door:

- Te voorzien in barrières die afscherming bieden voor de externe straling afkomstig uit het afval
- Het afval af te zonderen van de mens (afval en mens scheiden in ruimte en tijd).

Het afval wordt ook afgezonderd van de biosfeer (inclusief de mens) om (onopzettelijke) menselijke intrusie tot in het afval tegen te gaan.

2.8.5.1 Transport van monolieten

Het traject dat het afval aflegt tijdens de operationele periode omvat de outputbuffer IPM, het transport op de bergingssite en het inbrengen van de monolieten in de bergingsmodules.

Voordat een monoliet in de outputbuffer van de IPM wordt geplaatst, wordt het oppervlak van de monoliet op oppervlaktebesmetting gecontroleerd. In normale omstandigheden is er geen oppervlaktebesmetting mogelijk (HS12 §12.5.4.2).

De berging van de monolieten in de modules gebeurt met een afstandsbediend systeem dat bediend wordt vanuit de controlekamer in het administratief gebouw. De trolley waarop de transportcontainer is bevestigd wordt in de IPM geladen. Na het laden wordt de transportcontainer vanop afstand gesloten (HS09 §9.3.3.2).

Vanaf de IPM kunnen de modules via twee sporen worden bereikt. De trolley gaat via een spoor naar één van de twee actieve draaiplatformen, afhankelijk van de rij van de module waar de monoliet moet worden geplaatst. Voor de trolley het draaiplatform oprijdt, wordt gecontroleerd of de draaischijf in de juiste stand staat. Zodra de trolley stilstaat op het draaiplatform, draait het platform en kan de trolley vertrekken naar de loszone tussen de modules (HS09 §9.3.3.3).

Voordat de trolley ontladen kan worden moet de operator het commando geven om de prefab afschermingsplaat te verwijderen die op de plaats ligt waar de nieuwe monoliet moet komen. Nadat de plaat correct werd verplaatst, wordt de grijper in de lospositie gebracht. Daarna wordt de monoliet in de berging geplaatst.

De sporen en infrastructuur op de site zorgen voor een vast traject van het afval op de site. Samen met de afsluiting rond de site en de toegangscontrole op de site zorgen deze SSC's voor de afzondering van het afval.

De monoliet en de transportcontainer zorgen voor afscherming van externe straling. Tijdens het optillen van de monoliet in de loszone tussen de modules, zorgt het beton van de inspectiegalerij voor afscherming van externe straling in de inspectiegalerij.

2.8.5.2 Drainagesysteem

Het drainagesysteem onder in de modules en in de inspectiegalerijen staat beschreven in HS08 §8.5.5. Het wordt gebruikt om al het water op te vangen dat de bergingsstructuren zou binnendringen en dat mogelijkwijze in contact geweest is met het afval.

Het drainagesysteem in de inspectiegalerij maakt het mogelijk om water afkomstig van de inspectieruimtes en de modules zelf te verzamelen langs twee kanalen:

- Water uit de module wordt naar de inspectiegalerij geleid door drie leidingen die door de ondersteunende plaat gaan en door de inspectie-openingen in de modulewand. Elke leiding eindigt in een transparante container. Dit maakt het mogelijk om de aanwezigheid van water per module te detecteren en te bemonsteren voor analyse. Een klep maakt het mogelijk om water uit de transparante container af te laten naar de hoofdleiding in de inspectiegalerij. Bij accidenteel hoge waterinstroming leidt een overloop het overtollige water rechtstreeks naar de hoofdleiding in de inspectiegalerij.
- Water vanuit de inspectieruimte wordt via de vloer van de inspectieruimte die afhelt richting galerij, verzameld in de hoofdleiding in de inspectiegalerij.

De hoofdleiding in de inspectiegalerij leidt naar opvangtanks in het WCB (Water Collection Building) op het einde van de inspectiegalerij. Na staalname worden effluenten (radioactief of niet) afgevoerd naar Belgoprocess. Het drainagesysteem is ontworpen om gravitair te functioneren, ook na zettingen.

Het water dat opgevangen wordt in modules waarin zich nog geen monolieten bevinden, dient niet in de opvangtanks verzameld te worden en kan apart conventioneel afgevoerd worden. Het drainagesysteem is onafhankelijk van het algemene systeem van de site om regenwater te collecteren.

2.8.5.3 Radon

Radon afkomstig uit betonnen constructiematerialen kan gevonden worden in de inspectieruimte en de inspectiegalerij (HS12 §12.5.4.4).

De inspectieruimten zijn zodanig ontworpen dat ze niet toegankelijk zijn voor personen. De inspectiegalerijen zijn uitgerust met een meettoestel voor radon. De radonconcentratie in de galerij is aanvaardbaar (HS12 §12.6.3). Om redenen van klassieke veiligheid zijn de inspectiegalerijen uitgerust met een ventilatiesysteem. Dat systeem zal de radonconcentraties bijkomend verlagen.

2.8.5.4 Noodzaak van elektrische noodvoeding

De operationele veiligheid steunt vooral op passieve SSC's. Zoals gemeld in HS13 §13.5.12 leidt het wegvallen van de elektriciteit niet tot radiologische gevolgen voor de leden van de bevolking en het leefmilieu. Exploitatieprocedures zullen bepalen dat de exploitatie bij het wegvallen van de voeding moet worden stilgelegd. Ook is er elektrische noodvoeding voorzien voor monitoring, verlichting, alarmen en toegangscontrole. Er zijn werktuigen beschikbaar om een monoliet eventueel veilig terug in de transportcontainer of in een module te plaatsen (neerlaten van de monoliet tot in de modules of transportcontainer met handlieren en emergency box – HS08 §8.5.8.4, HS13 §13.4.6.1).

Een elektrische noodvoeding is ook voor de brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen voorzien. De elektrische noodvoeding en UPS ('Uninterrupted Power Supply') zorgen er ook voor dat lopende activiteiten binnen de inrichting bij netuitval kunnen afgewerkt worden (bijvoorbeeld opslag van kritische data voordat servers uitschakelen, continuïteit van brandbeveiliging).

2.8.5.5 Noodzaak van instrumentatie en controle

De instrumentatie en controle aangestuurd vanuit de controlezaal is voor het behoud van de nucleaire veiligheid niet absoluut vereist omdat

- Alles sequentieel verloopt, dit wil zeggen na elke belangrijke stap moet de operator opnieuw een commando geven
- Het centrale controlesysteem de uitrusting niet rechtstreeks aanstuurt; alle signalen – in beide richtingen – gaan door de sturingssystemen van de uitrusting zelf
- De transportcontainer afdoende afscherming bezit zodat de inrichting ook bij een stilstand van de transportcontainer in veilige toestand is
- De componenten zoals de rolbruggen, transportcontainer voorzien zijn van manuele bedieningsmogelijkheden los van de halfautomatische bediening op afstand.

2.8.5.6 Ongevallen

Een ongeval kan leiden tot de vrijzetting van radioactieve stoffen binnen de bergingsinstallatie en/of de omgeving (§2.6.3.1). Bij een ongeval kan er direct contact zijn tussen radionucliden uit het afval en de mens. Atmosferische verspreiding van radionucliden dient beschouwd te worden.

2.8.5.7 Strategie van insluiting tijdens de operationele periode

De radionucliden worden tijdens de operationele periode ingesloten door de mortel en de caisson.

Diverse barrières rondom de monoliet om te belemmeren dat radionucliden in het grondwater onder de installatie zouden vrijkomen, worden in normale omstandigheden tijdens de operationele periode niet gebruikt wegens de effectieve insluiting door de mortel en de caisson, maar zijn wel aanwezig om bij onverwachte gebeurtenissen mee in te staan voor de insluiting:

- 1) De fractie van radionucliden die bij onverwachte gebeurtenissen zou vrijkomen uit de monolieten en in water terecht komt in de tussenruimtes, blijft ingesloten in de installatie door:
 - a) Het beperken van diffusie van radionucliden in de ondersteunende plaat zodat migratie naar en in deze barrière tegengegaan wordt
 - b) Het opvangen van water in de componenten van het drainagesysteem
- 2) In het geval van de onverwachte gebeurtenis van een breuk in het drainagesysteem tijdens fases 1a/1b wordt mogelijk besmet water opgevangen door de funderingsplaat, de vloer van de inspectiegalerij en de opslagtanks in de WCB.

2.8.5.8 Strategie van beperking van externe straling tijdens de operationele periode

De afscherming door de vulmortel en de caisson beperkt de externe straling buiten de monoliet. Het contactdosistempo op monolieten is voor de oppervlaktebergingsinrichting begrensd tot 20 mSv/h. Er dient echter opgemerkt te worden dat slechts 4% van de monolieten een dosistempo op contact heeft van meer dan 2 mSv/h en 1% van de monolieten een dosistempo op contact heeft van meer dan 15 mSv/h (HS12 §12.6.4).

Gezien de mogelijkheid van een beperkt aantal monolieten met een contactdosistempo tot 20 mSv/h, wordt een monoliet zoveel als mogelijk verder afgeschermd. Het optreden van een configuratie met

‘onafgeschermd’ monolieten¹³ wordt in de bergingsinrichting dan ook zoveel als mogelijk beperkt in de tijd: enkel bij het optillen van de monoliet in de loszone tussen de modules en het plaatsen van monolieten in de modules. Tijdens deze operaties wordt er ook voor gezorgd dat de blootstelling aan externe straling verder beperkt wordt door afstand.

In het veiligheidsconcept dragen volgende veiligheidsfuncties bij tot de beperking van de externe straling: ‘afschermen’ en ‘afzonderen’.

Daarbij wordt in eerste instantie gezocht naar het ‘Afschermen’ door barrières om het stralingsveld te beperken, en pas daarna naar ‘Afzonderen’ waarbij op tijd en afstand ingespeeld wordt.

Voor afzonderen wordt in eerste instantie beroep gedaan op barrières die zorgen voor voldoende afstand (afsluitingen, modules). Vervolgens wordt eerst getracht om collectieve maatregelen te nemen die de duur van een stralingsveld beperken (duur van operaties zonder bepaalde afschermingen beperken) en de afstand voldoende groot houden (bediening op afstand). Daarna volgen individuele maatregelen die de verblijfsduur in het stralingsveld beperken en afstand tussen bron en blootgestelde voldoende groot houden (toegangscontrole).

Bij het beschermen tegen de blootstelling aan externe straling door afschermen en afzonderen wordt er rekening gehouden met de verschillende configuraties van de berging, de verschillende activiteiten die plaatsvinden in de bergingsinrichting, de locatie waar werknemers in de bergingsinrichting taken uitvoeren en ten slotte met het publiek rondom de bergingsinrichting.

Bij het optreden van een configuratie met onafgeschermd monolieten zullen er, als dat nodig is¹⁴, extra maatregelen genomen worden zodat monolieten snel opnieuw afgeschermd zijn. Interventies door werknemers in de nabijheid van onafgeschermd monolieten kunnen nodig zijn als het incident niet van op afstand kan worden verholpen. Om maatregelen snel en doeltreffend te kunnen nemen zullen tijdens exploitatie steeds gepaste uitrustingen en materialen die van essentieel belang zijn daarvoor beschikbaar gehouden worden, zoals takels en kabels bij ontsporing van een trolley en bij defect van de rolbrug (HS12 §12.6.6.3), alsook handlieren en een emergency box waarvan het remsysteem gevoed wordt door noodstroom (HS08 §8.5.8.4).

Er wordt bij interventies bij incidenten/ongevallen gebruik gemaakt van werkvergunningen voor ‘specifiek werk’ voor het optimaliseren en bewaken van de doses die opgelopen worden bij werkzaamheden (werkvergunning is een ALARA-document). Voor de gecontroleerde zone waar een incident/ongeval optreedt, worden de ‘standaard’ werkvergunningen ingetrokken tot de situatie terug geëvolueerd is naar normale omstandigheden (HS12 §12.4.4.5).

¹³ Dat zijn monolieten zonder afschermingsbarrières *errond*. Binnen de monoliet zelf zijn er steeds radiologische afschermingsbarrières aanwezig: de mortel en de caisson beperken de externe straling buiten de monoliet. Voor sommig afval is er ook een interne afschermingsbarrière binnen het afvalcollo aanwezig.

¹⁴ Maatregelen zullen genomen worden volgens een trapsgewijze aanpak in functie van het risico. Zo hoeven bepaalde maatregelen niet noodzakelijk meer genomen te worden bij een contactdosis lager dan 0,02 mSv/h (ARBIS, art. 27 [R2-1]). Meer dan 55% van de monolieten heeft een contactdosistempo lager dan 0,02 mSv/h.

2.8.5.8.1 Afschermen tijdens de operationele periode

Werknemers

Het afschermen van de werknemers tijdens fase Ia is op volgende SSC's gesteund voor verschillende activiteiten en configuraties:

- 1) Verplaatsen van afval naar de modules — monoliet in transportcontainer (HS09 §9.3.3.1 Figuur 9-3):
 - a) Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules, werknemers verantwoordelijk voor de manipulaties op de site, werknemers in bewaakte zone: mortel, caisson, transportcontainer
 - b) Werknemers in inspectiegalerij (inspectiegalerij behoort tot de gecontroleerde zone): mortel, caisson, transportcontainer, bovenkant en zijanten van de inspectiegalerij
- 2) Optillen van de monoliet in de loszone tussen de modules en plaatsen van monolieten in de modules — monoliet niet in transportcontainer (HS09 §9.3.3.1 Figuur 9-3 en HS12 Figuur 12-28, Figuur 12-29):
 - a) Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules, werknemers verantwoordelijk voor de manipulaties op de site, werknemers in bewaakte zone: mortel, caisson, modulewanden (wanneer de monoliet zich binnen een module bevindt)
 - b) Werknemers in inspectiegalerij: mortel, caisson, bovenkant en zijanten van de inspectiegalerij (wanneer de monoliet zich in de loszone tussen de modules bevindt), modulewanden (wanneer de monoliet zich binnen of boven een module bevindt)
- 3) Modules in opvulling:
 - a) Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules, werknemers in bewaakte zone: mortel, caisson, prefab afschermingsplaten, modulewanden
 - b) Werknemers in inspectiegalerij: mortel, caisson, modulewanden, ondersteunende plaat¹⁵
 - c) Werknemers die de structurele sluiting van een module uitvoeren: mortel, caisson, prefab afschermingsplaten
- 4) Gevulde modules:
 - a) Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules,
 - b) Werknemers in bewaakte zone: mortel, caisson, prefab afschermingsplaten, structurele topplaat, modulewanden
 - c) Werknemers in inspectiegalerij: mortel, caisson, modulewanden, ondersteunende plaat

Tijdens fases Ib en II blijft enkel het geval over van afval in gevulde modules, die bovendien afgedekt zijn. Voor werknemers op de site bovenop de afdekking wordt voor afscherming op de volgende SSC's gesteund: mortel, caisson, prefab afschermingsplaten, structurele topplaat, modulewanden. Voor werknemers in de inspectiegalerij: mortel, caisson, modulewanden, ondersteunende plaat.

¹⁵ Configuratie: iemand die vanuit de inspectiegalerij door een inspectieopening in een verbindingstunnel kijkt naar de inspectieruimte.

Publiek

Het afschermen van het publiek tijdens fase Ia steunt op dezelfde elementen als voor werknemers in gecontroleerde zone (rondom en boven de modules) en voor werknemers in bewaakte zone. Het afschermen van het publiek tijdens fases Ib en II steunt op dezelfde elementen als voor de werknemers op de site bovenop de afdekking.

2.8.5.8.2 Afzonderen met betrekking tot externe straling tijdens de operationele periode

Werknemers

Het scheiden in tijd en ruimte van externe straling ten opzichte van *werknemers* op de site tijdens fase Ia is op volgende SSC's en maatregelen gesteund voor verschillende activiteiten¹⁶ en configuraties:

- 1) Verplaatsen van afval naar de modules – monoliet in transportcontainer:
 - a) Werknemers verantwoordelijk voor de manipulaties op de site:
 - i) Het gebruik van een afstandsbediend systeem dat bediend wordt vanuit de controlekamer in het administratief gebouw
 - ii) Een niet-afstandsbediende tussenkomst binnen de gecontroleerde zone na een onverwachte gebeurtenis:
 - Caisson, transportcontainer, beperken van tijd voor niet-afstandsbediende tussenkomst, toegangscontrole tot de gecontroleerde zone¹⁷ om tijd in stralingsveld binnen de gecontroleerde zone te beperken
 - Indien, na een onverwachte gebeurtenis, een onafgeschermd monoliet verplaatst moet worden in de gecontroleerde zone: beperken van de (interventie)tijd nodig om de monoliet te verplaatsen, toegangscontrole: werkvergunning voor specifiek werk
 - b) Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules, uitgezonderd de werknemers verantwoordelijk voor de manipulaties behandeld in punt a): caisson, transportcontainer, toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld binnen de gecontroleerde zone te beperken
 - c) Werknemers in inspectiegalerij: caisson, transportcontainer, sporen op de site die zorgen voor een vast traject van het afval op de site op zekere afstand van de inspectiegalerij, toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld binnen de gecontroleerde zone te beperken
 - d) Werknemers in bewaakte zone: caisson, transportcontainer, binnenomheining rond en toegangscontrole tot gecontroleerde zone om toegang te vermijden, sporen op de site die zorgen voor een vast traject van het afval op de site op zekere afstand van de binnenomheining

Indien, na een onverwachte gebeurtenis, een onafgeschermd monoliet verplaatst moet worden in de gecontroleerde zone, dan wordt dat snel gedaan. Door die verplaatsing is er rondom die

¹⁶ Voor een principeplattegrond van de site met de belangrijkste plaatsen van activiteit, zie HS09 §9.2.2.

¹⁷ Toegang tot de gecontroleerde zone is enkel mogelijk voor geautoriseerde personen die de nodige opleidingen hebben genoten en indien de toegang nodig is voor het uitoefenen van hun functie.

monoliet opnieuw afscherming. De werknemers in de bewaakte zone worden dan terug aan een beperktere stralingsbron blootgesteld.

- 2) Optillen van de monoliet en plaatsen in de modules – monoliet niet in de transportcontainer:
 - a) Werknemers verantwoordelijk voor de manipulaties op de site:
 - i) Het gebruik van een afstandsbediend systeem dat bediend wordt vanuit de controlekamer in het administratief gebouw
 - ii) Een niet-afstandsbediende interventie binnen de gecontroleerde zone na een onverwachte gebeurtenis: caisson, beperken van interventietijd, toegangscontrole: werkvergunning voor specifiek werk
 - b) Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules, uitgezonderd de werknemers verantwoordelijk voor de manipulaties behandeld in punt a): caisson, afbakening van de oranje zone (in de buurt van onafgeschermd monolieten, HS12 §12.6.4.3) door hekwerk en nooddeuren¹⁸, geen personen toegelaten in de tijdelijke oranje zone¹⁹, beperken van tijd gedurende dewelke de monoliet onafgeschermd is (opgetild wordt), toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld binnen de gecontroleerde zone te beperken
 - c) Werknemers in inspectiegalerij: caisson, beperken van tijd gedurende dewelke de monoliet onafgeschermd is (opgetild wordt), toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld binnen de gecontroleerde zone te beperken
 - d) Werknemers in bewaakte zone:
 - i) Caisson, binnenomheining rond en toegangscontrole tot gecontroleerde zone om toegang tot de gecontroleerde zone te vermijden, sporen en infrastructuur zorgen ervoor dat er bij het tillen altijd een afstand is tussen het afval op de site en de binnenomheining, beperken van tijd gedurende dewelke de monoliet onafgeschermd is (opgetild wordt)
 - ii) Indien, na een onverwachte gebeurtenis, een onafgeschermd monoliet verplaatst moet worden in de gecontroleerde zone, dan wordt dat snel gedaan. Door die verplaatsing is er rondom die monoliet opnieuw afscherming. De werknemers in de bewaakte zone worden dan terug aan een beperktere stralingsbron blootgesteld.
- 3) Modules in opvulling + gevulde modules:
 - a) Werknemers in gecontroleerde zone rondom de modules: caisson, modulewanden, toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld binnen de gecontroleerde zone te beperken
 - b) Werknemers in gecontroleerde zone boven de modules: caisson, infrastructuur (loopbruggen, dak) zorgt ervoor dat er een afstand is tussen het afval op de site en werknemers, toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld binnen de gecontroleerde zone te beperken

¹⁸ Voor de afbakening van oranje zone, zie schema's in HS12 §12.6.4.4.

¹⁹ Toegang enkel toegelaten mits voorafgaandelijke toestemming van de dienst fysische controle die de gepaste maatregelen zal definiëren.

- c) Werknemers die de structurele sluiting van een module uitvoeren: caisson, toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld binnen de gecontroleerde zone te beperken
- d) Werknemers in inspectiegalerij: caisson, modulewanden, toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld binnen de gecontroleerde zone te beperken
- e) Werknemers in bewaakte zone: caisson, modulewanden, binnenomheining rond en toegangscontrole tot gecontroleerde zone om toegang tot de gecontroleerde zone te vermijden

Tijdens fases Ib en II (gevulde en afgedekte modules):

- 1) Werknemers bovenop de afdekking: afdeklagen en ophoging aan de zijdes, ondoorlatende topplaat, modulewanden, caisson, toegangscontrole tot de site (kan beperkingen opleggen)
- 2) Werknemers in de inspectiegalerij: afdeklagen, modulewanden, caisson, toegangscontrole tot de site (kan beperkingen opleggen)

Ook is elektrische noodvoeding voorzien om bij stroomonderbrekingen de toegangscontrole te behouden.

Publiek

Het afzonderen ten opzichte van het *publiek* tijdens fase Ia is op volgende elementen gesteund voor verschillende activiteiten en configuraties:

- 1) Verplaatsen van afval naar modules – monoliet in transportcontainer:
 - a) Caisson, transportcontainer, afsluiting rond de site (bewaakte zone) en toegangscontrole tot de site om toegang tot de site te vermijden, sporen en infrastructuur op de site die zorgen voor een vast traject van het afval op de site op zekere afstand van de afsluiting rond de site
 - b) Indien, na een onverwachte gebeurtenis, een onafgeschermd monoliet verplaatst moet worden in de gecontroleerde zone, dan wordt dat snel gedaan. Door die verplaatsing is er rondom die monoliet opnieuw afscherming. Het publiek wordt dan terug aan een beperktere stralingsbron blootgesteld.
- 2) Optillen van de monoliet in de loszone en plaatsen in de modules – monoliet niet in de transportcontainer:
 - a) Caisson, afsluiting rond de site (bewaakte zone) en toegangscontrole tot de site om toegang tot de site te vermijden, sporen en infrastructuur zorgen ervoor dat er bij het tillen altijd een afstand is tussen de monoliet en de afsluiting rond de site, beperken van tijd gedurende dewelke een monoliet onafgeschermd is (opgetild wordt)
 - b) Indien, na een onverwachte gebeurtenis, een onafgeschermd monoliet verplaatst moet worden in de gecontroleerde zone, dan wordt dat snel gedaan. Door die verplaatsing is er rondom die monoliet opnieuw afscherming. Het publiek wordt dan terug aan een beperktere stralingsbron blootgesteld.
- 3) Modules in opvulling + gevulde modules: caisson, modulewanden, afsluiting rond de site (bewaakte zone) en toegangscontrole tot de site om toegang tot de site te vermijden.

Tijdens fases Ib en II, zie fase Ia voor gevulde modules met daaraan toegevoegd: afdeklagen en ophoging aan de zijdes, ondoorlatende topplaat.

Ook is er elektrische noodvoeding om bij stroomonderbrekingen de toegangscontrole te behouden (§2.8.5.4).

2.8.5.9 Strategie van afzonderen met betrekking tot intrusie tijdens de operationele periode

De veiligheidsfunctie “Afzonderen” heeft tijdens de operationele periode ook als doelstelling om (onopzettelijke) menselijke intrusie tot in het afval tegen te gaan.

De afzondering met betrekking tot onopzettelijke intrusie tijdens de operationele periode berust op enerzijds het beperken van toegang (toegangscontrole, afsluiting rond de site) en anderzijds op de mechanische eigenschappen en hoeveelheid/dikte en samenstelling van het materiaal rondom het afval. Dat is dezelfde strategie als tijdens fase III (zie §2.8.2.1).

Het afzonderen met betrekking tot intrusie is tijdens fase Ia op volgende SSC's gesteund: modulewand, caisson, mortel, afval (collo geconditioneerd afval of afval in type III monolieten), toegangscontrole en afsluiting rond de site. Tijdens fases Ib en II komen daar nog bij: aarden afdekking en ophoging aan de zijdes, ondoorlatende topplaat.

Ook is er elektrische noodvoeding om bij stroomonderbrekingen de toegangscontrole te behouden (§2.8.5.4).

2.8.6 Veiligheidsconcept tijdens de operationele periode

Het veiligheidsconcept tijdens de operationele periode (Tabel 2-10) is gebaseerd op de insluitings- en afzonderingsstrategie en op de mogelijke trajecten van radionucliden tijdens de operationele periode (§2.8.5).

Het toekennen van een M-rol aan een SSC betekent dat de SSC in staat moet zijn om gedurende een bepaald tijdsinterval een bepaalde veiligheidsfunctie te vervullen en dus noodzakelijk is om

- de globale performantie van het bergingssysteem te verzekeren onder normale omstandigheden (insluitings- en afzonderingsperformantie, afscherming)
- en/of, indien nodig²⁰, de gevolgen te beperken bij falen van een SSC of veiligheidsfunctie.

Tabel 2-10: Veiligheidsconcept tijdens de operationele periode. ssc's die enkel aanwezig zijn tijdens de operationele periode worden in het grijs aangeduid

SSC	Insluiten			Afschermen			Afzonderen		
	ia	ib	II	ia	ib	II	ia	ib	II
1. Afdekking									
Aarden afdekking en ophoging aan de zijdes								M	M
Ondoorlatende topplaat		M	M					M	M
2. Vast stalen dak									
3. Module dak									
Structurele topplaat				M	M	M			
Prefab afschermingsplaat				M	M	M			
4. Module midden									
Opvulmateriaal in tussenruimten									
Modulewand		M	M	M	M	M	M	M	M
5. Monoliet									
Caisson	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Mortel	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Collo GA (type I/II)							M	M	M
Afval in type III							M	M	M
6. Modulebasis									
Ondersteunende plaat	M	M	M	M	M	M			
Drainagesysteem									
- Leidingen/ABS in ondersteunende plaat	M	M							
- Transparante container	M	M							
- Vloer van de inspectieruimte (funderingsplaat)	M	M							
- Hoofdleiding in inspectieruimte	M	M							
- Opslagtanks in WCB	M	M							
- Afvoeren (naar Belgoprocess) van effluënten voor verwerking	M	M							
Prefab element									
Kolommen									

²⁰ Op basis van het radiologische risico.

SSC	Insluiten			Afschermen			Afzonderen		
	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II
Opgevulde inspectieruimte									
Afsluiting van openingen tussen inspectieruimte en inspectiegalerij									
Funderingsplaat									
ABS in verbindingstunnels									
7. Inspectiegalerij									
- Bovenkant en zijkanten van de inspectiegalerij				M					
- Vloer van de inspectiegalerij	M	M							
8. Funderingen									
Zand-cement									
Drainagelaag									
Site zand egalisatie									
Grondverbetering (bentoniet) te bevestigen									
9. Site en omgeving									
Zandlagen onder de berging									
Toegangscontrole							M	M	M
Afsluiting rond de site							M	M	M
Markers en archieven									
Sporen en andere voorzieningen voor vervoer							M		
10. Transportcontainer				M					
11. Rolbrug									
11.1 Kraan									
11.2 Grijper									
12. Trolley									
13. Instrumentatie en controle									
14. Elektrische voeding									
14.1 Hoog- en laagspanning									
14.2 Noodvoeding (en UPS)	M	M	M				M	M	M
15. Brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen	M	M	M						
16. HVAC (heating, ventilation, air-conditioning)									
17. Weerstation (orkaan, wind, sneeuw, temperatuur)									

2.8.7 Klassering van SSC's

Conform art.8 van [R2-3] moet voor alle SSC's het belang voor de nucleaire veiligheid worden bepaald en moet er een klasseringssysteem worden opgesteld om voor elke veiligheidsklasse de kwaliteitsvereisten te bepalen.

Voor de SSC's van belang voor de nucleaire veiligheid zijn er drie veiligheidsklassen (VK) gedefinieerd:

- 1) 'Safety Class' SSC (SC SSC): SSC met een M-rol voor een veiligheidsfunctie in het veiligheidsconcept (§2.8.4 en §2.8.6)
- 2) 'Safety Significant' SSC (SS SSC): SSC met een C-rol (geen M-rol) voor een veiligheidsfunctie in het veiligheidsconcept (§2.8.4 en §2.8.6)
- 3) 'Safety Related' SSC (SR SSC): SSC van belang voor de veiligheid die geen M- of C-rol heeft voor een veiligheidsfunctie in het veiligheidsconcept.

De veiligheidsklasse van een SSC legt de van toepassing zijnde kwaliteitsvereisten op. De kwaliteitsborging (QA) die toegepast wordt op vervaardiging, bouw en keuring van de SSC's van de installatie en administratieve controles die gebruikt worden om veiligheid te garanderen, volgt een trapsgewijze aanpak naargelang de veiligheidsklasse. Het QA-programmadocument voor de oppervlaktebergingsinstallatie voor categorie A-afval te Dessel bevat drie kwaliteitsklassen: QC1 tot QC3 [R2-85]. De kwaliteitsklasse van elke SSC wordt bepaald in functie van de veiligheidsklassering. De kwaliteitsklasse bepaalt de draagwijdte van het QA-programma voor elke SSC.

Een SC SSC zal een QC1 hebben, een SS SSC zal minimaal een QC2 hebben, en een SR SSC zal minimaal een QC3 hebben. De SSC's die een ondersteunende rol voor andere SSC's spelen (ontwerpvereisten DR25a tot en met d en DR26 uit Tabel 2-20 in §2.7.7), hebben minimaal een QC2. Voor operationele redenen (beschikbaarheid) kan de kwaliteitsklasse van bepaalde SSC's worden verhoogd. Zo wordt vanwege de mogelijke gevolgen van het falen van de kraan of de gripper op de exploitatie van de installatie, een QC1 toegewezen aan deze twee SSC's.

De aan de SSC's toegekende veiligheidsklasse en kwaliteitsklasse in functie van de veiligheidsfuncties en het veiligheidsbelang (hoogste rol van de SSC voor een veiligheidsfunctie) zijn weergegeven in Tabel 2-11.

Tabel 2-11: Klassering van de SSC's

SSC	Hoogste rol	VK	DR25.a tot d / DR26	Operationele redenen	QC
1. Afdekking					
Begroeiing op afdekking (evapotranspiratie)	M	SC			1
Bio-intrusielaag		SR	✓		1 ⁽¹⁾
Systeem "infiltratiebarrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusielaag en ophoging aan de zijdes"	M	SC			1
GCL in de infiltratiebarrière	C	SS	✓		2
Systeem "Ondoorlatende topplaat + laterale drainage door zandlaag en ophoging aan de zijdes"	M	SC	✓		1
HDPE op de ondoorlatende topplaat en vlotplaten	C	SS	✓		2
Ondoorlatende topplaat	M	SC	✓		1
Vlotplaten	C	SS	✓		2
Bitumen op structurele topplaat	C	SS	✓		2
2. Vast stalen dak		SR	✓		2
3. Module dak					
Structurele topplaat	M	SC	✓		1
Prefab afschermingsplaat	M	SC	✓		1
4. Module midden					
Opvulmateriaal in tussenruimten	M	SC	✓		1
Modulewand	M	SC	✓		1
Betonnen sokkels		-	✓		2
5. Monoliet					
Caisson	M	SC	✓		1
Mortel	M	SC	✓		1
6. Modulebasis					
Ondersteunende plaat	M	SC	✓		1

SSC	Hoogste rol	VK	DR25.a tot d / DR26	Operationele reden	QC
ABS in ondersteunende plaat/leidingen drainagesysteem in ondersteunende plaat	M	SC			1
Drainagesysteem					
- Leidingen in ondersteunende plaat	M	SC			1
- Transparante container	M	SC			1
- Vloer van de inspectieruimte (funderingsplaat)	M	SC			1
- Hoofdleiding in inspectieruimte	M	SC			1
- Opslagtanks in WCB	M	SC			1
Prefab element	C	SS	✓		2
Kolommen	C	SS	✓		2
Opvulmateriaal inspectieruimte	M	SC	✓		1
Afsluiting van openingen tussen inspectieruimte en inspectiegalerij		SR	✓		2
Funderingsplaat	M ⁽³⁾	SC	✓		1
ABS in verbindingstunnels	M	SC			1
7. Inspectiegalerij (bovenkant en zijkanten, vloer van de inspectiegalerij / Opgevulde inspectiegalerij)	M	SC			1
8. Funderingen					
Zand-cement	M	SC	✓		1
Drainagelaag		SR	✓		2
Site zand egalisatie		SR			3
Grondverbetering (bentoniet)	C	SS	✓		2
9. Site en omgeving					
Zandlagen onder de berging		SR	✓		2
Toegangscontrole	M	SC			1
Afsluiting rond de site	M	SC			1
Markers en archieven	C	SS			2
Sporen en andere voorzieningen voor vervoer	M	SC			1
10. Transportcontainer	M	SC			1
11. Rolbrug					
11.1 Kraan		SR	✓	✓	1 ⁽²⁾
11.2 Grijper		SR	✓	✓	1 ⁽²⁾
12. Trolley		SR	✓		2
13. Instrumentatie en controle		SR			3
14. Elektrische voeding					
14.1 Hoog- en laagspanning		SR			3
14.2 Noodvoeding (en UPS)	M	SC			1
15. Brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen	M	SC			1
16. HVAC (heating, ventilation, air-conditioning)		SR			3
17. Weerstation (orkaan, wind, sneeuw, temperatuur)		SR			3

⁽¹⁾ Gegeven het belang voor de langetermijnveiligheid (sleutelrol bescherming tegen erosie)

⁽²⁾ Vanwege de mogelijke gevolgen van het falen van de kraan of de grijper op de exploitatie van de installatie, wordt een QC1 toegewezen aan deze twee SSC's.

⁽³⁾ Vloer van de inspectieruimte (funderingsplaat) heeft een M-rol bij drainagesysteem.

2.8.8 Gelaagde bescherming voor het oppervlaktebergingssysteem te Dessel

De belangrijkste elementen die bijdragen tot de gelaagde bescherming voor het oppervlaktebergingssysteem te Dessel zijn hieronder weergegeven.

- 1) Een eerste laag van bescherming bestaat erin te vermijden dat bedreigingen optreden of tot aan de SSC's geraken (§2.8.8.1)
- 2) Vervolgens wordt er voorzien in *robuuste* barrières en componenten die een veiligheidsfunctie vervullen (§2.8.8.2)
- 3) Op niveau van het systeem zijn er bovendien complementaire en onafhankelijke barrières en veiligheidsfuncties voorzien, zodat er één of meerdere complementaire barrières en/of veiligheidsfuncties beschikbaar zijn indien één barrière en/of veiligheidsfunctie faalt (§2.8.8.3)
- 4) Er zijn binnen het bergingssysteem controle- en corrigerende maatregelen voorzien om afwijkingen van normale exploitatie, defecten of beschadigingen op te sporen en corrigerende maatregelen te nemen (§2.8.8.4).
- 5) Ten slotte zijn er maatregelen voor ongevalsbeheer (§2.8.8.5)

2.8.8.1 Preventie en minimalisatie van bedreigingen

Er wordt vermeden dat bedreigingen optreden²¹ of tot aan SSC's geraken door de volgende elementen: de eigenschappen van de bergingslocatie (§2.8.8.1.1), de materiaalkeuzes voor SSC's (§2.8.8.1.2), de beschermingen door de afdekking (§2.8.8.1.3), het gebruik van beheerste technieken en controles tijdens constructie (§2.8.8.1.4), de verificaties van de karakteristieken van het afval (§2.8.8.1.5), de maatregelen om tijdens de operaties bedreigingen van de veiligheidsfuncties te vermijden of te vermijden dat bedreigingen tot aan SSC's geraken (§2.8.8.1.6).

2.8.8.1.1 Eigenschappen van de bergingslocatie – operationele periode en lang termijn

De bergingslocatie zorgt voor een stabiele omgeving.

Bij de siteselectie en –bevestiging konden in dit kader immers de volgende conclusies getrokken worden (HS04 §4.5.5):

- De site heeft een stabiele geologie en vertoont een laag niveau van seismische activiteit
- De geotechnische karakteristieken van de site zijn dusdanig dat de site voldoende draagvermogen bezit en dat de zettingen beperkt zijn en beheerst kunnen worden.

De site heeft een vlakke topografie en is niet onderworpen aan extreme temperatuurschommelingen of andere factoren die verwerking, aardverschuivingen of soortgelijke instabiliteiten bevorderen. Bovendien wordt de site gekenmerkt door lage verticale landbewegingen en een geringe erosiegevoeligheid (HS04 §4.3.2.1.2).

De site heeft niet-agressieve hydrogeologische en geochemische kenmerken.

²¹ “Vermijden van optreden” is ofwel een volledig vermijden van het optreden ofwel ervoor zorgen dat de kans van het optreden voldoende laag is (minimalisatie van bedreigingen).

De site ligt buiten overstromingsgebied. Op basis van neerslagintensiteiten met een waarschijnlijkheid van 10^{-7} a^{-1} wordt een overstromingsniveau lager dan 24,8 mTAW bepaald, met betrekkelijk weinig verschil tussen het huidige klimaat en het beschouwde toekomstige klimaat (HS04 §4.6.1.3.3). Kaarten met gesimuleerde overstromingsgebieden in overeenstemming met een overschrijdingsfrequentie van 10^{-7} a^{-1} tonen dat de bergingsite, die zich boven 25 mTAW bevindt (met een licht hogere topografie aan oostzijde), niet bereikt wordt voor beide klimaatscenario's (HS04 §4.6.1.3.3).

Grondwater als bedreiging voor het bergingssysteem kan niet tot aan de berging geraken door de site zelf. De grondwatertafel op de site schommelt tussen 1 à 2 m onder het maaiveld en bereikt dus het maaiveld niet (HS04 §4.6.2.1)

De in de ondergrond voorkomende natuurlijke rijkdommen zijn niet van dien aard dat exploratie/exploitatie een bedreiging vormt voor de bergingsite, wat het risico op menselijke intrusie op lange termijn beperkt. Het noordoosten van België is een belangrijk grondwaterbekken. Het plaatsen van de bergingsinstallatie bovenop het oppervlak leidt tot tumuli van ~ 20 m hoog. Dit is gunstig voor het vermijden dat (water)putten zouden geslagen worden die de bergingsinstallatie verstoren. Er zijn geen minerale bronnen die economisch gezien van belang kunnen zijn in de bergingsinstallatie en de site (HS04 §4.9). Het Mol Zand wordt momenteel gewonnen in het winningsgebied nabij de kruising van de kanalen Bocholt-Herentals en Dessel-Turnhout-Schoten, ongeveer 6 km oostelijk van de site. Het meest westelijke punt van de vroegere zandwinningen ligt aan de Gravenstraat, ongeveer 1 km van de site. Mogelijke toekomstige exploitatiegebieden zijn gelegen ten noorden van het huidige winningsgebied, dus op een afstand van ongeveer 6 km. De dikte van het Mol Zand op de site is te gering om momenteel geschikt geacht te worden voor exploitatie (HS04 §4.9.4.4).

2.8.8.1.2 Materiaalkeuzes – operationeel en lange termijn

Door de zorgvuldige keuze van materialen (voornamelijk de cementgebonden) worden bedreigingen voor SSC's op lange termijn in de mate van het mogelijke vermeden:

- Cement met een laag alkaligehalte (HS05 §5.3 Tabel 5-1) vermindert de hoeveelheid alkali en de keuze van kalkhoudende aggregaten vermindert de hoeveelheid silica waardoor het risico op alkali-aggregaat reacties geminimaliseerd wordt (HS05 §5.3.2.3)
- De keuze van een cement met beperkte hydratiewarmte voor de modules (HS05 §5.3 Tabel 5-1) beperkt de toename van temperatuur in de modulewand en voorkomt zo scheuren door hydratiewarmte
- De keuze van specifieke op naftaleensulfonaat en op polycarboxylaat gebaseerde superplastificeerders in beton (HS05 §5.3 Tabel 5-1) vermijdt complexering van radionucliden
- Door de compatibiliteit van materialen onderling (en met het afval) te verzekeren (Bijlage 2-2 Tabel 2-20, DR10) worden interne verstoringen in de mate van het mogelijke vermeden
- De keuze van materialen die gasproductie in het bergingssysteem voorkomen (Bijlage 2-2 Tabel 2-20, DR21)
- De keuze van materialen die de waarschijnlijkheid en impact van brand tot een minimum beperken (§2.7.7 Tabel 2-20, DR22)

- De selectie van een pyriet/sulfaat-arme klei in de aarden afdekking (HS08 §8.7 Tabel 8-27 Afd09) zal de externe sulfaataantasting (met inbegrip van thaumasiet sulfaataantasting) uitsluiten als potentieel degradatiemechanisme van het onderliggende beton.

Door de keuze van materialen die de waarschijnlijkheid en impact van brand tot een minimum beperken worden bedreigingen voor de operationele SSC's in de mate van het mogelijke vermeden. De brandlast in het modulegebouw en de inspectiegalerij is laag, voornamelijk staal en beton, en opslag van brandbare materialen in het modulegebouw en de inspectiegalerij is niet toegelaten (HS13 §13.4.5.2).

2.8.8.1.3 Beschermingen door de afdekking – operationele periode (fases Ib en II) en lange termijn

De evolutie van de aarden afdekking is bepalend voor de langetermijnevolutie van de onderliggende cementgebonden barrières in die zin dat de aarden afdekking ingegraven omstandigheden aan de modules moet opleggen, en zo vermijdt dat de onderliggende betoncomponenten blootgesteld worden aan vorstdooi en atmosferische carbonatatie.

Ook de evolutie van de waterhuishouding in de cementgebonden barrières en afval wordt bepaald door de prestatie van de aarden afdekking. Door de veiligheidsfunctie R2a van de afdekking en de trage saturatie van betonnen componenten is er in het afval weinig water beschikbaar voor chemische reacties en uitloging van radionucliden.

In de aarden afdekking is boven de klei-infiltratiebarrière een bio-intrusielaag toegevoegd om deze te beschermen tegen wortelpenetratie en gravende dieren (HS13 §13.5.11).

2.8.8.1.4 Specifieke en beheerste technieken en controles bij constructie

2.8.8.1.4.1 Lange termijn

Specifieke technieken die worden aangewend om verstoringen of bronnen van verstoring van de langetermijnveiligheidsfuncties te vermijden:

- Om schade aan de GCL (Geosynthetic Clay Liner) in de klei als gevolg van compactie en verdichting van de klei tijdens constructie van de afdekking te vermijden, is er een niet-gecompacteerd kleilaag voorzien direct boven de GCL
- De modulewanden worden in één fase gestort. Dit vermijdt hernemingsvoegen zodat het risico op eventuele doorgaande macro-scheuren ter hoogte van hernemingsvoegen volledig uitgesloten is
- De caissons worden in één fase gestort. De binnenste bekisting wordt na de eerste uitharding losgezet zodat verhinderde krimp geen aanleiding zal geven tot scheuren.

2.8.8.1.4.2 Operationele periode en lange termijn

Constructiefouten kunnen een bedreiging vormen voor de goede werking van de veiligheidsfuncties omdat ze kunnen leiden tot niet-conformiteiten op de betrokken SSC's ten opzichte van de conformiteitscriteria uit hoofdstukken 7, 8 en 15. Niet-conformiteiten worden in de mate van het mogelijke vermeden en geminimaliseerd door:

- Beroep te doen op beheerste technieken conform het aantoonbaarheidsprincipe (§2.4.2.3.8)

- Controles bij het QA/QC programma bij de constructie van monolieten, modules en aanbehoren en een specifieke behandeling van non-conformiteiten (HS08 §8.6.9 en §8.8.2)
- Kwalificatieprocedures en reglementaire oplevering om te bevestigen dat de voor de nucleaire veiligheid belangrijke SSC's tijdens hun hele ontwerplevensduur in staat zijn om de gevraagde functies te vervullen (§2.5.4.2).

2.8.8.1.5 Verificaties karakteristieken van het afval – operationele periode en lange termijn

In het proces dat het afval doorloopt van ontstaan, verwerking en conditionering, opslag, productie van monolieten tot uiteindelijke berging zijn er meerdere verificaties voorzien, die erop gericht zijn:

- Te vermijden dat er afval wordt geborgen dat elementen bevat die problemen kunnen geven wat betreft stabiliteit of performantie van SSC's tijdens de operationele periode en op lange termijn. Door conformiteitscriteria op het afval in verband met cellulose, chloride, sulfaten, alkali-silica reacties en vertraagde ettringietvorming wordt er vermeden dat chemische verstoringen een significante impact kunnen hebben op de stabiliteit en op de performantie van SSC's (HS15 §15.3.4 en §15.4.2).
- Te vermijden dat er afval zou worden geborgen dat, qua radiologische inhoud, niet voldoet aan de opgelegde conformiteitscriteria voor oppervlakteberging te Dessel. Bijvoorbeeld radiologische karakteristieken die niet zouden voldoen aan de criteria qua splijtstoffen, kritikaliteit, radium/thorium of aan de radiologische limieten voor berging (HS15 §15.6.1 en §15.7).

Gevolgen van menselijke fouten worden bovendien geminimaliseerd doordat de afvalkarakteristieken door meerdere personen en diensten bekeken worden in het afvalacceptatiesysteem (erkenningen, afvalacceptatie) (HS06 §6.3.2) en daarna in het kader van de productie van monolieten en van de eigenlijke berging (HS03 §3.4.13.2).

In normale omstandigheden is er geen oppervlaktebesmetting mogelijk bij de exploitatie van de bergingsinrichting (fases Ia, Ib, II en III). Vooraleer een monoliet naar de berging komt tijdens fase Ia, wordt het oppervlak van de monoliet op afneembare oppervlaktebesmetting gecontroleerd. Enkel monolieten die voldoen aan de limieten voor afneembare oppervlaktebesmetting worden naar de berging getransporteerd (HS12 §12.5.4.2).

Het beperken van externe straling, voornamelijk tijdens de operationele periode, gebeurt in de eerste plaats door het dosistempo van de monolieten die naar de berging komen te beperken. Vooraleer een monoliet naar de berging komt tijdens fase Ia wordt het dosistempo gecontroleerd. Enkel monolieten die voldoen aan de limiet van 20 mSv/h worden naar de berging getransporteerd.

2.8.8.1.6 Tijdens operaties bedreigingen van de operationele veiligheidsfuncties en langetermijn-veiligheidsfuncties vermijden of vermijden dat bedreigingen tot aan SSC's geraken

2.8.8.1.6.1 Explosies en brand

De impact op de modules ten gevolge van mogelijke explosies in de omgeving is lager dan 35 mbar overdruk, met uitzondering van een binnenschiptransport met LPG waarvoor de waarschijnlijkheid voor inslagen en overdruk boven 35 mbar kleiner is dan 10^{-7} a^{-1} (HS08 Bijlage 8-3 gebeurtenis 39). De bedreiging door explosies bereikt dus de modules niet.

De monolieten worden per spoor van de IPM naar de bergingsinstallatie getransporteerd. Hierdoor worden bedreigingen aan de modules door brandende vrachtwagens of botsingen van vrachtwagens tegen de modules vermeden bij het transport van monolieten.

Het gebruik van bepaalde types batterijen in de trolley geeft een potentieel risico op de vrijgave van waterstof. Er zal met droge batterijen worden gewerkt, deze geven bij het opladen waterstof af maar in kleine hoeveelheden. Er wordt een specifieke laadzone ingericht voor het opladen van batterijen met voorzorgsmaatregelen (voldoende ventilatie, voldoende vrije ruimte, een specifiek instructie,...) om explosie en brand ten gevolge van het opladen van batterijen te voorkomen. Het opladen van de batterijen van de trolley gebeurt voornamelijk in de IPM, maar er is ook een laadstation voorzien in de garage. Beide locaties bevinden zich op een veilige afstand van het modulegebouw zodat de bedreiging van de veiligheidsfuncties voorkomen wordt (HS13 §13.4.3 en §13.4.4).

Voor bepaalde werkzaamheden (onderhoud, leveren van materialen) is het nodig dat er voertuigen op de site komen. Van zodra de afdekking geplaatst is in fase Ib kunnen er geen voertuigen meer komen in de nabijheid van het afval.

In geval van een bosbrand bedraagt de minimale veilige afstand voor gebouwen 27 m. Aaneengesloten bebossing zal niet voorkomen binnen een straal van 65 m van de modules (HS13 §13.5.2). De bedreiging door brand kan dus de modules en monolieten niet bereiken gedurende fase Ia. Een vegetatiebrand op de afdekking tijdens fases Ib en II heeft geen impact op de modules en monolieten: tussen de vegetatielaag op de afdekking en de monolieten bevindt zich immers meer dan 6 m aan zand, stenen, klei en beton (HS13 §13.5.2). De bedreiging door bos- of vegetatiebrand kan dus niet tot aan de modules en monolieten geraken.

2.8.8.1.6.2 Crash van een militair vliegtuig

Boven de site is een zone afgebakend waarbinnen vluchten van militaire toestellen verboden zijn (HS04 §4.3.3.2.4).

Tijdens de fases Ib en II bieden de ondoorlatende topplaat en de aarden afdekking bescherming bij de crash van een militair vliegtuig (HS13 §13.5.3), en dus meer algemeen voor de crash van kleine luchtvaartuigen. In het geval van een crash van een militair vliegtuig wordt verwacht dat de diepte van de impactkrater beperkt blijft: uit militaire statistieken blijkt dat slechts zelden een krater dieper dan 1 m geslagen wordt. Wat betreft mogelijke schade aan onderliggende structuren, is de belasting vergelijkbaar met de belasting van een aardbeving met terugkeerperiode van 8 575 jaar. Aangezien de betonnen SSC's door hun ontwerp hiertegen bestand zijn, wordt geen schade aan de modules of monolieten verwacht bij deze belasting (HS14 §14.3.3).

2.8.8.1.6.3 Schade aan dakstructuur door onvoldoende regenwaterafvoer

Voor de afvoer van regenwater is het dak voorzien van regenafvoeren en van spuwers die vermijden dat water zich ophoopt en een (te) zware belasting zou vormen. De spuwers treden in werking als het waterniveau op het dak te hoog dreigt te worden. Dit kan zijn in geval van een regenbui die heviger is dan de ontwerpomstandigheden of indien er enkele afvoerbuizen verstopt zouden zijn. Het water dat geëvacueerd wordt via de spuwers valt onderaan tussen de bekleding van de dakstructuur en de sporen en wordt uiteindelijk afgevoerd via de drainage die voorzien is onder de sporen (HS08 §8.5.9.4).

2.8.8.1.6.4 *Extreme temperatuur van modules en monolieten*

Het dak is geïsoleerd en houdt extreme temperaturen en temperatuurschommelingen buiten (HS13 §13.5.5.1 en §13.5.7). De bedreiging extreme temperaturen en temperatuurschommelingen kan dus niet tot aan de modules en monolieten geraken.

2.8.8.1.6.5 *Accumulatie van water in de modules*

Het plaatsen van een vast stalen dak over het geheel van één dubbele rij modules zorgt ervoor dat binnendringend regenwater voorkomen wordt en dat de monolieten binnen modules niet in contact met water komen. Verder is in het ontwerp van de installatie een gescheiden, gravitatiegebonden drainagesysteem voorzien. Op die manier wordt een accumulatie van water in de modules vermeden en wordt vermeden dat monolieten binnen modules langdurig in contact staan met water. Het opvangen water wordt steeds na controle afgevoerd voor behandeling naar Belgoprocess (HS13 §13.5.13.1).

Zolang het drainagesysteem nog in werking is, wordt het eventuele condensatiewater afgevoerd via het drainagesysteem. Van zodra de afdekking is geplaatst (fases Ib, II) wordt er bijna geen condensatiewater meer verwacht (HS13 §13.5.6).

2.8.8.1.6.6 *Corrosie van stalen dakstructuur*

Uitwerpselen van vogels kunnen de stalen dakstructuur beschadigen tijdens fase Ia (corrosie). De bovenkant van de stalen dakstructuur is beschermd door een membraan (bv. EPDM) en er worden regelmatig inspecties uitgevoerd van de stalen dakstructuur, met inbegrip van de bovenkant (HS13 §13.5.11).

2.8.8.1.6.7 *Val van monolieten en afschermingsplaten*

De manipulatie toestellen in de bergingsinstallatie zijn SFP opdat de monolieten en afschermingsplaten niet zouden vallen en daardoor beschadigd worden of andere SSC's (monolieten, modules, afschermingsplaten) beschadigen (HS13 §13.4.6 en §13.4.8).

2.8.8.1.6.8 *Storingen aan I&C apparatuur*

Door I&C-apparatuur te gebruiken met een EMC-kwalificatie (elektromagnetische compatibiliteit) zal elektromagnetische interferentie er geen storingen aan veroorzaken (HS13 §13.4.10 en §13.5.9). Het risico op kantelen van een monoliet door een onopgemerkte storing op de I&C-apparatuur wordt zoveel mogelijk vermeden door gebruik te maken van apparatuur met een EMC-kwalificatie (HS13 §13.4.12).

Er zal een aangepast bliksembeveiligingssysteem geïnstalleerd worden om de elektrische en elektronische circuits van de installatie te beschermen tegen blikseminslag (HS13 §13.5.8). Daardoor kan de bliksem niet tot aan de elektrische en elektronische circuits geraken.

Bij neerslag kunnen waterdruppels van het regenscherm van de trolley op het elektrisch circuit van de trolley vallen en kortsluiting geven. Er is een weersbestendig ontwerp voorzien voor de trolley en het laadstation van de trolley, zodat bij er bij hevige neerslag (sneeuw, regen) geen kortsluiting in de elektrische circuits kunnen optreden (HS13 §13.5.13.3 en §13.5.5.3).

2.8.8.1.6.9 *Ontsporen van de trolley*

Er zijn verschillende maatregelen om een ontsporing van de trolley te voorkomen: ontijzingssysteem voor de sporen, beperking van de snelheid van de trolley, geen transport van monolieten bij extreme

weersomstandigheden (HS13 §13.5.13.4). Daardoor wordt zoveel als mogelijk vermeden dat de bedreiging ‘ontsporing van een trolley’ kan optreden.

2.8.8.1.6.10 Wegvallen van elektriciteit

Elektrische noodstroomvoorziening en UPS zorgen ervoor dat bij stroomonderbrekingen de lopende activiteiten waar nodig kunnen afgewerkt worden (bijvoorbeeld opslag van kritische data in servers vooraleer uitschakeling) of verder uitgevoerd worden (monitoring, alarmen, branddetectie,...), zodat de inrichting in een veilige toestand kan gebracht worden (HS13 §13.5.12). De noodstroomvoorziening door dieselgroepen in het technische gebouw van de toegangscluster en de werkplaats/garage en de UPS in het technische gebouw van de toegangscluster worden geplaatst op een niveau boven het overstromingsniveau (25,2 mTAW) (HS08 §8.5.9.4).

2.8.8.1.6.11 Bedreiging van de bewegingsmogelijkheden van de rolbrug door zettingen en verplaatsingen

Zettingen en verplaatsingen kunnen tijdens fase Ia problemen veroorzaken voor de bewegingsmogelijkheden van de rolbrug boven de modules. Om differentiële zettingen te beperken worden de modules per vier homogeen opgevuld. Er worden compensatiemogelijkheden aangebracht in de structuur van de berging om de stand van de rolbanen zo aan te passen dat de rolbrug tijdens fase Ia binnen toelaatbare limieten afhelt (HS13 §13.4.11 en §13.5.10).

2.8.8.1.6.12 Overstroming van de site door onvoldoende regenwaterafvoer

De infiltratiebekkens op de site hebben voldoende capaciteit om regenwater op te vangen en te vermijden dat het waterpeil op de site bovenmatig zou stijgen. Mochten de bekkens bij een uitzonderlijke regenval toch ontoereikend blijken te zijn, is er een overloop voorzien (op 25,3 mTAW). Deze voert het overtollige water af naar het terrein ten zuiden van de bergingssite dat lager gelegen is dan de bergingssite zodat het daar zal infiltreren ofwel via de verderop gelegen Hooibeeck afgevoerd wordt.

2.8.8.1.6.13 Overstroming van de bergingsmodules en inspectiegalerij

Het maximale overstromingsniveau is lager dan 24,8 mTAW op basis van neerslagintensiteiten met een waarschijnlijkheid van 10^{-7} /jaar. Het maximaal gesimuleerde waterpeil in de buurt van de site veroorzaakt door een dijkbreuk komt overeen met 25,2 mTAW. Het laagste toegangspunt van de bergingsinstallaties, het toegangsniveau van de inspectiegalerij, ligt aanzienlijk hoger (~ 25,7 mTAW) dan die overstromingsniveaus (HS13, §13.5.1). De modules bevinden zich nog hoger (28 mTAW), bovenop op de funderingen.

2.8.8.1.6.14 Menselijke fouten

Bedreigingen door menselijke fouten worden geminimaliseerd door volgende ontwerp- en beheersmaatregelen:

- Gebruik van SFP-bruggen
- Configuratiebeheer van de installaties en uitrustingen via de documentatie van de ontwerpbasis (§2.5.4.1), het kwalificatieprogramma (§2.5.4.2), een programma voor monitoring- en toezicht (§2.5.4.3)

- Een programma voor opleiding en kwalificatie van personeel (§2.5.4.10) voor hun opdrachten met betrekking tot die installaties en uitrustingen
- De activiteiten die belangrijk zijn voor de kwaliteit van de SSC's zullen in functioneringsgidsen, procedures en/of instructies beschreven worden (HS03 §3.4.13.2)
- Werkvergunningen voor activiteiten in de bewaakte en gecontroleerde zones (HS12 §12.4.4.5)
- Het hebben, gebruiken en effectief zijn van werkprocedures
- Via rondgangen en audits nagegaan of de maatregelen, regels en werkprocedures nageleefd worden (HS03 §3.4.3)
- Een programma voor het beheer van ervaringsfeedback (§2.5.4.5).

2.8.8.2 Robuustheid van barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen

Een bedreiging kan leiden tot een verstoring van de prestatie van een component. Een component is robuust indien ondanks interne/externe verstoringen en onzekerheden de prestatie of een deel ervan behouden kan worden (§2.4.2.3.4).

De robuustheid van de barrières is een van de attributen die in rekening werd gebracht tijdens de optimalisering van het ontwerp (§2.5.2 Tabel 2-3).

De verwachte en mogelijke bedreigingen zijn meegenomen bij het vastleggen van de ontwerpvereisten en conformiteitscriteria van de SSC's (§2.7.7 Tabel 2-20 DR12a-d), zodanig dat deze hun prestatie behouden als ze belast worden.

2.8.8.2.1 Robuustheid met betrekking tot de langetermijnevolutie

De selectie van een pyriet/sulfaat-arme klei zal de externe sulfaataantasting (met inbegrip van thaumasiet- en sulfaataantasting) uitsluiten als potentieel degradatiemechanisme van het onderliggende beton. Bovendien is de ondoorlatende topplaat toch ontworpen om te weerstaan aan interne en externe sulfaataantasting (HS08 §8.5.7.2 DR9a).

Het opvulmateriaal in de tussenruimtes tussen de monolieten, het conductief sorberend opvulmateriaal in de inspectieruimtes en het zand-cement in de inspectiegalerij en in de funderingen zullen hun prestatie behouden in geval van aardbevingen. Eventuele scheuren hebben in conductieve materialen immers niet tot effect dat de sorptie binnen de matrix gebypassed wordt.

De sleutelprocessen die bepalend zijn voor de langetermijnevolutie van de berging zijn dus:

- 1) Erosie van de aarden afdekking (§2.8.8.2.1.1)
- 2) Scheurvorming in beton als gevolg van carbonatie (§2.8.8.2.1.2)
- 3) Schade aan beton als gevolg van vries-dooi cycli (§2.8.8.2.1.3)
- 4) Scheurvorming in beton als gevolg van aardbevingen (§2.8.8.2.1.4)

2.8.8.2.1.1 Erosie van de aarden afdekking

Op basis van verwachte erosie en aardbevingen, zou de aarden afdekking een levensduur van een duizendtal jaar hebben (HS14 §14.3.2.5). De maatregelen uit de NUREG-1623 [R2-78] zullen bij het ontwerp van de afdekking toegepast worden. Niet verwacht, maar wel mogelijk, is extreme erosie van de aarden afdekking door gebeurtenissen die krachtig genoeg zijn om de bio-intrusielaag aan te tasten,

bijvoorbeeld door een aardbeving groter dan de aardbeving beschouwd in de verwachte evolutie, of door andere onverwachte gebeurtenissen zoals valwinden en tornado's, extreme regenval met een grotere terugkeerperiode dan 1 225 jaar en explosies, al dan niet in combinatie met en mogelijk versterkt door vorstschade en klimaateffecten. In een extreem geval kan dit leiden tot lokale denudatie van de ondoorlatende topplaat. Dit zal vooral een lokaal verdwijnen zijn van de aarden afdekking. Door de aanwezigheid van een grote massa aan materiaal in de aarden afdekking is er robuustheid tegen het totaal verdwijnen van de aarden afdekking. We merken ook op dat de aarden afdekking qua stabiliteit bij aardbevingen met marge voldoet: veiligheidsfactor 1,6 versus aanvaardbaarheids criterium van 1,1 voor rekengevallen met en zonder de biologische laag (HS08 §8.5.7.3).

2.8.8.2.1.2 Scheurvorming in beton als gevolg van carbonatatie

Om te weerstaan aan scheurvorming in beton als gevolg van carbonatatie is er voor de componenten van klassiek gewapend beton van belang voor de veiligheid een wapeningsdekking van minstens 4 cm voorzien.

Deze componenten zullen dus hun performantie behouden, met marges, ondanks carbonatatie: de gecarbonateerde betondikte zou na 1 000 jaar respectievelijk minder dan 1 cm moeten bedragen voor de monolieten en minder dan 2 cm voor de modules (HS05 §5.3.2.6.1 Tabel 5-4). Dat betekent dat voor alle gewapende kunstmatige barrières de wapeningsstaven gepassiveerd zijn. De schatting van de gecarbonateerde betondikte van de modules houdt bovendien nog geen rekening met de hoge kwaliteit van betonhuid aan de buitenzijde van de modulewanden door het gebruik van een CPF-liner (§2.7.4).

De ondoorlatende topplaat en afschermingsplaten uit vezelversterkt beton behouden hun performantie bij carbonatatie.

2.8.8.2.1.3 Schade aan beton als gevolg van vries-dooi cycli

Het beton wordt door de afdekking beschermd tegen vries-dooi cycli. Door de aanwezigheid van een grote massa aan materiaal in de aarden afdekking is er robuustheid tegen het totaal verdwijnen van de aarden afdekking en dus een algehele blootstelling van de onderliggende betonnen componenten aan vries-dooi cycli. Om het risico op schade door vorst-dooi cycli verder te beperken zijn voor alle betonnen componenten (vezelversterkte ondoorlatende topplaat en afschermingsplaten, klassiek gewapende modules en caissons) conformiteitscriteria opgelegd om te weerstaan aan vries-dooi cycli (HS08 §8.7 DR9c). *Peeling* tests op het beton van de modules en caissons tonen bovendien aan dat het beton goed stand houdt onder vorst-dooi cycli: na 56 cycli is er slechts tussen 0,02 en 0,08 kg/m² verlies aan materiaal terwijl de grens 0,6 kg/m² bedraagt (HS05 §5.3.2.8).

2.8.8.2.1.4 Scheurvorming in beton als gevolg van aardbevingen

Onderaan de afdekking bevindt zich bovendien een ondoorlatende topplaat uit vezelversterkt beton voorzien die weerstaat aan de aardbeving met een terugkeerperiode van 8 575 jaar (DR12a uit Tabel 2-20 § 2.7.7). Het ontwerp van de ondoorlatende topplaat werd getoetst aan zijn weerstand tegen aardbevingen:

- Verkennende berekeningen geven aan dat de ondoorlatende topplaat zelfs zonder wapening de belasting vanwege krimp en seismische belasting vanwege de aardbeving met een terugkeerperiode van 8 575 jaar kan weerstaan (HS08 §8.5.7.3). Dit betekent dat er een grote marge is ten opzichte van deze aardbeving: in de berekening worden er bij een aardbeving met een terugkeerperiode van 8 575

jaar geen scheuren gevormd in de ondoorlatende topplaat waarbij opgemerkt wordt dat het model scheuren rapporteert vanaf 0,1 mm ([R2-86], §3).

- Met hetzelfde eindige elementen model werd ook de weerstand tegen de BDBE (terugkeerperiode van 20 000 jaar) bekeken. Deze berekening toonde weliswaar aan dat er scheurvorming optreedt maar dit is enkel het geval aan de zijkanten van de ondoorlatende topplaat ([R2-86], §3). Dit is ten eerste geen belemmering voor de veiligheidsfunctie van de ondoorlatende topplaat (omdat de scheuren zich in het gedeelte naast de modulewanden bevinden) en – belangrijker – ten tweede is het niet langer relevant aangezien het ontwerp van de ondoorlatende topplaat op die plaats aangepast is.

Voor de seismische kwalificatie van de monolieten en de afschermingsplaten werd een specifiek model ontwikkeld ([R2-86], §4).

- De resultaten tonen aan dat de monolieten en de afschermingsplaten met marge weerstaan aan de aardbeving met een terugkeerperiode van 8 575 jaar (DBE350). De toelaatbare druk- en trekspanning bedragen respectievelijk 42 MPa en 2,3 MPa. Voor de monolieten werd een maximale drukspanning van 5,84 MPa en een maximale trekspanning van 0,62 MPa berekend. Voor de afschermingsplaten respectievelijk 4,11 MPa en 1,13 MPa. De berekende maximale druk- en trekspanningen zijn dus met marge (~factor 2 tot 10) lager dan de toelaatbare spanningen.
- Met hetzelfde eindige elementen model werd ook de weerstand tegen de BDBE (terugkeerperiode van 20 000 jaar) bekeken. De resulterende drukspanningen zijn 25 à 55 % hoger dan bij de DBE350. De resulterende trekspanningen zijn ~75% hoger dan bij de DBE350. Dit wil zeggen dat er nog steeds geen schade optreedt. Voor de afschermingsplaten is de marge nog groter aangezien deze uitgevoerd zijn in vezelbeton en de uitgevoerde berekening (conservatief) geen rekening hield met de betere breukeigenschappen (*strain hardening* gedrag) van dit type beton.

Het ontwerp van modules werd getoetst aan zijn weerstand tegen aardbevingen ([R2-86], §3). Die toetsing vond plaats aan de hand van de figuren met de benodigde bewapening resulterend uit het ontwerp. Wapeningsplannen die ook rekening houden met de praktische uitvoerbaarheid vertonen nog een extra marge ten opzichte van de benodigde bewapening.

- De modules werden ontworpen om te weerstaan in geval van een aardbeving met een terugkeerperiode van 8 575 jaar (DBE350). Deze resultaten worden bevestigd door een eindige elementen berekening: in de berekening worden er bij een aardbeving met een terugkeerperiode van 8 575 jaar geen scheuren > 0,3 mm gevormd in de module.
- De weerstand van de module tegen de BDBE (terugkeerperiode van 20 000 jaar) werd eveneens bekeken. De resultaten geven aan dat in de meeste onderdelen van de module scheuren kleiner blijven dan 0,3 mm. In de modulewanden zijn er wel indicaties voor scheuren met residuele opening > 0,3 mm, al zijn die zeer beperkt, lokaal en niet-doorgaand. Bijgevolg hebben deze scheuren geen onmiddellijke invloed op de waterstroming.

2.8.8.2.2 Robuustheid van de berging tijdens de operationele periode

2.8.8.2.2.1 Scheurvorming in beton als gevolg van carbonatatie

Om te weerstaan aan scheurvorming in beton als gevolg van carbonatatie is er voor de componenten van klassiek gewapend beton van belang voor de veiligheid een wapeningsdekking van minstens 4 cm voorzien.

Deze componenten zullen hun performantie tijdens de operationele periode behouden, met grote marge, ondanks carbonatie: de gecarbonateerde betondikte zou op einde van de operationele periode na 100 jaar respectievelijk minder dan 0,6 cm moeten bedragen voor de monolieten en minder dan 2 cm voor de modules (HS05 §5.3.2.6.1 Tabel 5-4). Dat betekent dat voor alle gewapende technische barrières de wapeningsstaven gepassiveerd zijn. De schatting van de gecarbonateerde betondikte van de modules houdt bovendien nog geen rekening met de hoge kwaliteit van betonhuid aan de buitenzijde van de modulewanden door het gebruik van een CPF-liner.

De ondoorlatende topplaat en afschermingsplaten uit vezelversterkt beton behouden hun performantie bij carbonatie.

2.8.8.2.2.2 Scheurvorming in beton als gevolg van aardbevingen

Voor de fase Ia is de ontwerpaardbeving DBE50 (terugkeerperiode van 1 225 jaar). De berging is tijdens fase Ia ook bestand tegen een buiten-ontwerpaardbeving met een terugkeerperiode van 8 575 jaar:

- Tegenover aardbevingen is de marge van de betonnen componenten ten opzichte van een DBE50 nog groter dan tegenover de hiervoor (§2.8.8.2.1.4) besproken aardbeving met een terugkeerperiode 8 575 jaar op de lange termijn (DBE350). De monolieten en afschermingsplaten zullen dus met grote marge weerstaan aan de DBE50.
- Er is voor de modulewanden geverifieerd dat de configuratie met de vaste stalen structuur onder een DBE50 lagere wapeningsdichtheden zou nodig hebben dan wat er in de configuratie met afdekking voorzien is voor de aardbeving met terugkeerperiode 8 575 jaar: tussen 0 en 20 cm²/m voor DBE50 te vergelijken met tussen 13 en 39 cm²/m voor DBE350 (§9 van [R2-87] en §5.3.4.1 van [R2-88]).
- Voor de monolietstapels is de glijding onder invloed van aardbevingen nagegaan wanneer de tussenruimten tussen de stapels nog niet opgevuld is (§5.5 uit [R2-89]). Voor DBE50 is er geen glijding van monolietstapels verwacht, en aangezien de stapels 3 à 7 cm uit elkaar staan wordt er geen interactie verwacht. Voor DBE350 is er slechts een beperkte glijding verwacht (2,5 cm), en aangezien de stapels 3 à 7 cm uit elkaar staan wordt er zelfs bij deze grotere dan ontwerpaardbeving geen interactie verwacht. De monolieten zullen dus ook door glijding tijdens fase Ia wanneer de stapels nog niet opgevuld zijn, niet beschadigd worden ingeval de DBE50 (en zelfs de DBE350).

Voor de fases Ib en II is de ontwerpaardbeving DBE350 (terugkeerperiode van 8 575 jaar). Voor de weerstand van de berging tegen een buiten-ontwerpaardbeving met een terugkeerperiode van 20 000 jaar, zie hoger §2.8.8.2.1.4.

2.8.8.2.2.3 Aantasting modules en monolieten door brand van voertuigen op de site

Voor bepaalde werkzaamheden (onderhoud, leveren van materialen) is het nodig dat er voertuigen op de site komen. Hoewel zeer klein, bestaat de kans dat een voertuig op de site vuur vat. Brand in de nabije omgeving van het modulegebouw tast de structurele integriteit van de modules en de monolieten niet aan (HS13 §13.4.5).

2.8.8.2.2.4 Schade aan monolieten door val van objecten (tijdens fase Ia)

Bij hevige winden en tornado's kunnen objecten door de wind de gecontroleerde zone binnendringen en kunnen grote objecten de installatie beschadigen. Als referentie-object voor de inslag wordt een auto in een tornadowindveld getild en op een module in opvulling geprojecteerd. De overgedragen energie

75,5 kJ is onvoldoende om de insluitingscapaciteit van de monoliet in gedrang te brengen²² (HS13 §13.5.5.2).

Als de dakbedekking op monolieten valt in een module in opvulling, heeft dat geen radiologische gevolgen (HS13 §13.5.5.2). Bij val van de dakbedekking op de onderste laag van monolieten is de gemiddelde energie per monoliet voor de val op een laag van monolieten 22 kJ [R2-89], wat onvoldoende is om de insluitingscapaciteit van een monoliet in gedrang te brengen.

Bij het kantelen van een monoliet bovenop een stapel monolieten bij het plaatsen van de monolieten in de modules tijdens fase Ia, valt de monoliet hoogstens 1,62 meter naar beneden, omdat de modules laagsgewijs opgevuld worden. De potentiële energie van de monolieten bij val van dergelijke hoogte (318 kJ) is onvoldoende om schade te berokkenen aan de insluitingscapaciteit van de monoliet (HS13 §13.4.12).

2.8.8.2.2.5 Schade aan dakstructuur door sneeuwbelasting

De stalen dakstructuur, die gebruikt wordt tijdens de exploitatiefase Ia is in zijn ontwerp sterk genoeg om een sneeuwbelasting voor een retourperiode van 100 jaar met marge aan te kunnen (HS13 §13.5.5.3). De berekende sneeuwbelasting voor die retourperiode is 0,46 kN/m² (§3.4 uit [R2-87]). Er is in de ontwerpbasis conservatief een waarde van 0,50 kN/m² gebruikt (HS08 §8.3.2.1 Tabel 8-2). Bovendien wordt in de ontwerpberekeningen een veiligheidscoëfficiënt 1,5 toegepast op de sneeuwbelasting (HS08 §8.5.6.3 Tabel 8-21).

2.8.8.2.2.6 Overstroming van de site door onvoldoende regenwaterafvoer

De infiltratiebekkens zijn ontworpen voor regenintensiteiten met een terugkeerperiode van 100 jaar (HS08 §8.5.9). De waterhoogte in het bekken bij de beschouwde regenval bedraagt 24,8 mTAW terwijl de bovenzijde van het bekken gelegen is op 25,4 mTAW. Dit geeft een extra volume van ~4 250 m³.

²² Bij een valproef met een potentiële energie van 608 kJ is vastgesteld dat de insluiting binnen de afvalcolli behouden blijft (§10 van [R2-90]).

2.8.8.3 Complementariteit en onafhankelijkheid van barrières en veiligheidsfuncties

De complementariteit wordt beargumenteerd aan de hand van de in het veiligheidsconcept voorziene SSC's en veiligheidsfuncties.

De onafhankelijkheid wordt geargumenteed aan de hand van 'Common Cause Failures' (CCF) en 'Common Mode Failures' (CMF). De mogelijke CCF en CMF zijn systematisch geïdentificeerd aan de hand van het veiligheidsconcept en de bedreigingen aan SSC's en veiligheidsfuncties. In overeenstemming met de terminologie van het IAEA [R2-71] is een CMF het falen van twee of meerdere SSC's op dezelfde wijze of mode als gevolg van een enkele gebeurtenis of oorzaak. Dit impliceert dat een CMF een speciaal type is van een CCF.

2.8.8.3.1 Complementariteit en onafhankelijkheid qua afzondering op lange termijn

Voor de strategie en verwachte evolutie van afzondering, zie § 2.8.2.1.

In het veiligheidsconcept wordt voor afzondering (I) de langetermijnveiligheidsfunctie I1 "Beperken van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie" gebruikt tijdens fases III, IV en Va/b.

De mogelijke bedreigingen, en dus de mogelijke CCF en CMF, bestaan uit:

- 1) Gebeurtenissen van interne en externe oorsprong tijdens fase III
- 2) Onopzettelijke menselijke intrusie tijdens fases III, IV, Va en Vb
- 3) Gebeurtenissen of processen die aan de basis liggen van niet-verwachte maar mogelijke evoluties van het bergingssysteem tijdens fases III, IV, Va en Vb.

Gebeurtenissen van interne en externe oorsprong tijdens fases Ia/b, II en III worden geïdentificeerd en geanalyseerd in HS13. Daaruit volgt dat tijdens fase III een vliegtuigcrash op de berging met een krater tot in het afval aanleiding kan geven tot een bedreiging van de afzondering. In het geval van een crash van een militair vliegtuig wordt verwacht dat de diepte van de impactkrater beperkt blijft en niet tot in het afval komt (HS14 §14.3.3), waardoor de afzondering behouden blijft.

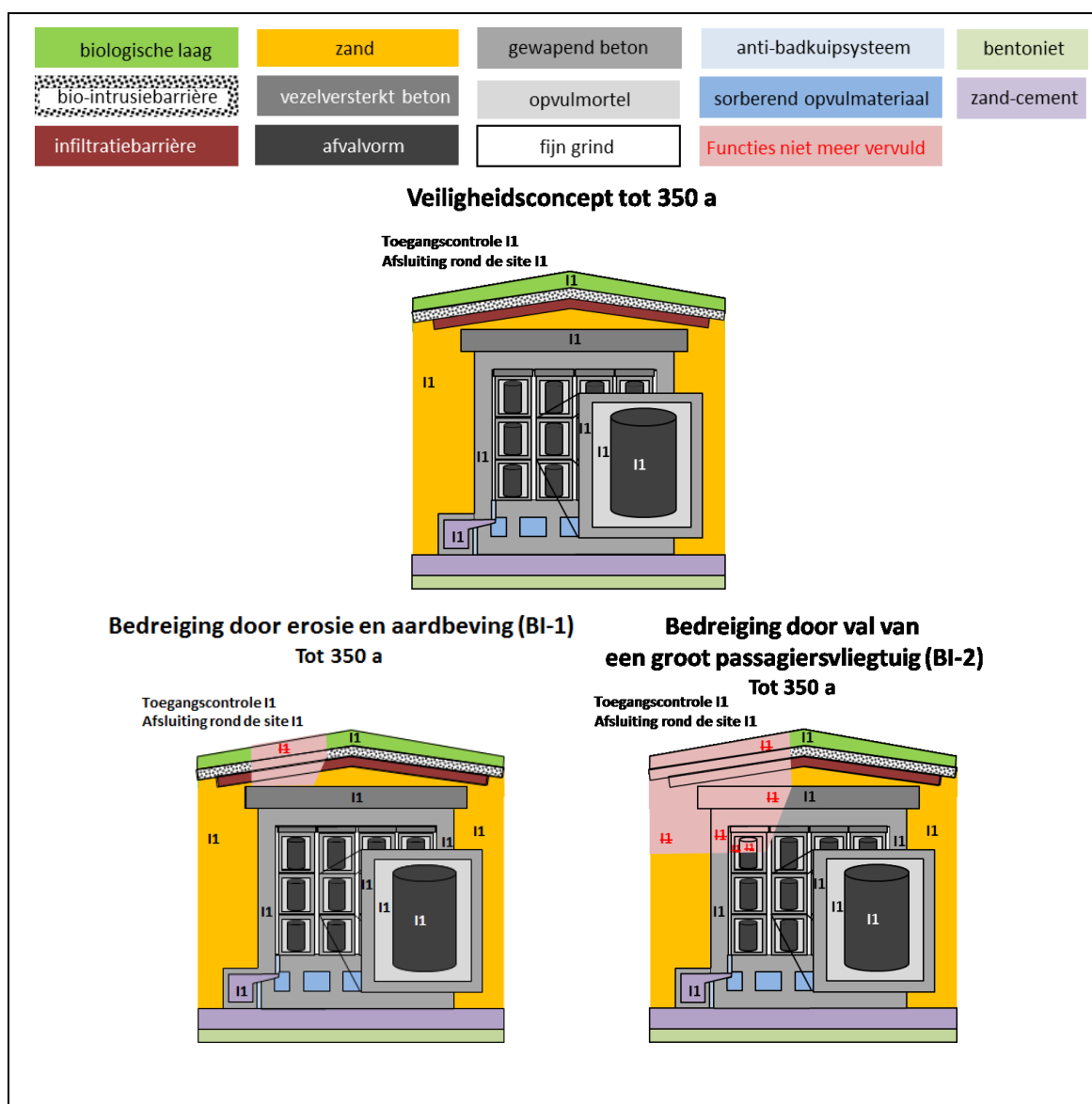
Een crash van een passagiersvliegtuig zou kunnen leiden tot een grotere schade aan de afdekking en de modules tot in het afval zelf (HS14 §14.3.3). Bij een verstoring door de val van een groot passagiersvliegtuig kunnen volgende systemen en componenten die bijdragen aan de afzondering in de krater lokaal aangetast zijn aan de bovenkant en zijkanten van het bergingssysteem: de afdekking, ondoorlatende topplaat, modulewand, caisson, mortel en afval. De afzondering blijft daar tot 350 jaar nog verzekerd door de toegangscontrole en de afsluiting rond de site (zie Figuur 2-9) en de schade aan de afdekking zal hersteld worden.

Ook kunnen de restanten van de inspectiegalerij lokaal aangetast zijn door de val van een groot passagiersvliegtuig. Daardoor kan de afsluiting van de inspectiegalerij (materiaal met een zekere sterkte) zijn afzonderingsfunctie verliezen. In dat laatste geval is de lengte van de pathway tot bij het afval door het opvulmateriaal in de inspectiegalerij nog steeds aanwezig zodat de afzondering via de restanten van de inspectiegalerij nog steeds mede op die component gebaseerd is.

Voor onopzettelijke menselijke intrusies worden menselijke intrusiescenario's ontwikkeld, waarvoor zowel de gevolgen tijdens fase III tot 350 jaar (HS11 §11.4) als daarna (HS14 §14.7-10) beschouwd worden. Tot 350 jaar worden *onopzettelijke* menselijke intrusies tot in het afval tegengegaan door de toegangscontrole, de afsluiting rond de site en de verschillende barrières in het bergingssysteem.

Voor niet-verwachte maar mogelijke evoluties zijn er alternatieve evolutiescenario's (AES'en) ontwikkeld. Uit de AES'en volgt dat enkel de val van een groot passagiersvliegtuig een verstoring van de afzonderingscapaciteit teweeg kan brengen (HS14 §14.3.3).

Merk op dat er geen erosietype werd geïdentificeerd waardoor erosie van de ondoorlatende topplaat of modulewanden mogelijk is (HS14 §14.3.3). De verstoring van de afzonderingscapaciteit van de berging door erosie, bijvoorbeeld veroorzaakt door een aardbeving groter dan de aardbeving beschouwd in de verwachte evolutie, en door de val van een groot passagiersvliegtuig is schematisch weergegeven in Figuur 2-9.



Figuur 2-9: Verstoringen aan de afzonderingscapaciteit

Tot 350 jaar blijft de afzondering dus ook bij de verschillende bedreigingen telkens behouden door de toegangscontrole en de afsluiting rond de site.

Na het stopzetten op 350 jaar van de beperking van de toegang aan de hand van toegangscontrole en de afsluiting rond de site kan een direct contact tussen het afval en de biosfeer (inclusief de mens) bij menselijke intrusie en val van een groot passagiersvliegtuig niet uitgesloten worden. De radiologische limieten voor berging en de daarmee verbonden radiologische bronterm in de berging dienen zodanig te zijn, dat na 350 jaar de radiologische impact in die omstandigheden aanvaardbaar zal zijn.

Er is niettemin tussen 350 en 1 000 jaar nog een zekere mate aan gelaagde bescherming aanwezig om direct contact tussen afval en de biosfeer (inclusief de mens) te vermijden door de dikte en samenstelling van het materiaal rondom het afval, door de mechanische sterkte van de betonbarrières en door de monolieten die als geheel gemakkelijker te verwijderen dan erin binnen te dringen bij grootschalige uitgravingswerken. Ook door extreme erosie zal er voor de verschillende trajecten geen direct contact tussen afval en de biosfeer zijn.

Na 1 000 jaar is het radiologische risico nog verder afgenomen, en kan er niet meer gerekend worden op fysieke barrières om direct contact tussen afval en de biosfeer te beperken.

Volgende trajecten van direct contact tussen afval en de biosfeer zijn in principe mogelijk:

- 1) Via bovenkant van bergingssysteem
- 2) Via zijkanten van bergingssysteem
- 3) Via restanten van inspectiegalerij.

Voor ieder van deze trajecten zijn er tijdens fase III (tot 350 jaar) bij de verschillende bedreigingen onafhankelijke en complementaire SSC's beschikbaar bij de verschillende bedreigingen, zodat afzondering ook behouden blijft bij de bedreigingen, zoals beargumenteerd in Bijlage 2-4 §2.14.1 Tabel 2-27-Tabel 2-29).

2.8.8.3.2 Complementariteit en onafhankelijkheid qua insluiting op lange termijn

Voor de strategie en verwachte evolutie van de insluiting, zie §2.8.2.2.

In het veiligheidsconcept dragen de volgende veiligheidsfuncties bij tot insluiting (R):

- R2a: Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval
- R1: Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval
- R3: Chemisch vasthouden van radionucliden
- R4a: Beperken van diffusie van radionucliden
- R4b: Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media.

De mogelijke bedreigingen aan de SSC's en veiligheidsfuncties, en dus de *mogelijke* CCF en CMF, zijn bij de ontwikkeling van de AES'en systematisch geïdentificeerd als "Initiërende FEP's" waarvoor ook mogelijke effecten beschreven zijn (zie §2.6.3.2). Dit resulteert in volgende bedreigingen qua insluiting (HS14 §14.6.2.1):

- Vroege aardbeving
- Vroege en zware aardbeving

- Val militair vliegtuig
- Val groot passagiersvliegtuig²³
- Versnelde erosie
- Extreme erosie
- Niet-gedetecteerde complexanten in afvalvorm.

Verder kunnen ook onopzettelijke menselijke intrusies ‘boring’ en ‘uitgraving’ resulteren in uitgestelde effecten waarin de insluiting bedreigd wordt (HS14 §14.2.3.3.3). De scenario’s geassocieerd met uitgestelde effecten na een boring en uitgraving zijn respectievelijk ‘residentie op de bergingsinstallatie’ en ‘grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit’.

Deze bedreigingen resulteren in verstoringen ten opzichte van de verwachte evolutie van de insluiting (zie Figuur 2-8). De verstoringen betreffen zowel de toestand van het bergingssysteem als de trajecten van uitlogging (zie Tabel 2-12).

²³ Merk op dat de val van een groot passagiersvliegtuig bijkomend beschouwd werd als bedreiging voor afzondering (§2.8.8.3.1).

Tabel 2-12: Overzicht van de verstoringen van de toestand van het bergingssysteem en trajecten van uitloging door de bedreigingen qua insluiting

Bedreigingen	Veroorzaakte verstoringen	
	< 1 000 jaar	> 1 000 jaar
▪ Vroege aardbeving ▪ Val militair vliegtuig ▪ Versnelde erosie ▪ Extreme erosie	Degradatie aan aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, modulewanden en monolieten treedt vroeger op dan in de verwachte evolutie Geeft advection terwijl verwachte evolutie enkel diffusie betreft	Toestand van het bergingssysteem en trajecten blijven dezelfde als in verwachte evolutie
▪ Residentie op de bergingsinstallatie (uitgestelde effecten na boring)	Lokaal vroegere degradatie aan aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, afschermingsplaten, modulewanden en monolieten Snellere en grotere degradatie dan in de verwachte evolutie in de doorboorde monolietstapel Geeft advection terwijl verwachte evolutie enkel diffusie betreft Bypass van de modulebasis en funderingen (zand-cement) in doorboorde module	Lokaal grotere degradatie dan in de verwachte evolutie; grotere degradatie geeft aanleiding tot minder beperking van waterinsijpeling tot bij het afval Bypass van de modulebasis en funderingen (zand-cement) in doorboorde module; verder blijven trajecten dezelfde als in de verwachte evolutie
▪ Vroege en zware aardbeving ▪ Val groot passagiersvliegtuig ▪ Grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit (uitgestelde effecten na uitgraving)	Degradatie aan aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, afschermingsplaten, modulewanden en monolieten treedt vroeger op en is sneller en groter dan in de verwachte evolutie Geeft advection terwijl verwachte evolutie enkel diffusie betreft	Grotere degradatie dan bij verwachte evolutie geeft aanleiding tot minder beperking van waterinsijpeling tot bij het afval Trajecten blijven dezelfde als in verwachte evolutie
▪ Niet-gedetecteerde complexanten in afvalvorm	Lokale aantasting van sorptiecapaciteit in afval, opvulmortel, caisson, opvulmateriaal inspectieruimte, zand-cement in inspectiegalerij en funderingen Trajecten blijven dezelfde als in verwachte evolutie	

2.8.8.3.2.1 Vroege aardbeving, val militair vliegtuig, versnelde erosie en extreme erosie

De verstoring door vroege aardbeving, val militair vliegtuig, versnelde erosie en extreme erosie is gelijkaardig en wordt gekenmerkt door een vroeger optredende degradatie van de bergingsinstallaties dan in de verwachte evolutie (Tabel 2-12). Na degradatie zijn de toestand van het bergingssysteem en de trajecten van de radionucliden (Figuur 2-10) dezelfde als na degradatie in de verwachte evolutie (toestand na 1 000 jaar in Figuur 2-8, §2.8.2.2.1 en §2.8.2.2.2).

Effecten worden beschouwd vanaf fase IV (na 350 jaar). Tijdens fase III zal actief onderhoud worden verricht aan de afdekking zodat eventuele schade hersteld zal worden.

Bij die verstoringen blijft de insluiting in beperkte mate²⁴ behouden omdat (zie Figuur 2-10):

- 1) De waterinsijpeling tot bij het afval nog steeds beperkt blijft
- 2) Het vrijkomen van radionucliden uit het afval en monoliet naar de scheuren en tussenruimtes beperkt blijft door beperkte diffusie en het chemisch vasthouden van radionucliden
- 3) Het verspreiden en chemisch vasthouden van radionucliden onderaan de module in het opvulmateriaal van de inspectieruimtes, opvulmateriaal van de inspectiegalerij en zand-cement laag in de funderingen behouden blijft.

Ondanks de degradatie van de aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, modulewanden en monoliet blijft de waterinsijpeling tot bij het afval zelf nog steeds beperkt door (zie Figuur 2-10, R2a veiligheidsfunctie):

- 1) De vezelversterkte afschermingsplaten die de monolietstapels overkappen zodat water afgeleid wordt naar de tussenruimtes tussen de monolietstapels
- 2) Het conductieve fijne grind in de tussenruimtes tussen de monolietstapels dat een goede drainage verzekert
- 3) De ABS'en in de ondersteunende plaat en verbindingstunnels die een voldoende drainage verzekeren
- 4) De conductieve grout in de inspectieruimtes die een voldoende drainage verzekert.

Ondanks de degradatie van de aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, modulewand en ondersteunende plaat en het vormen van netwerken van doorgaande scheuren in de monoliet, blijft het vrijkomen van radionucliden uit het afval en de monoliet beperkt door:

- 1) Het beperken van de waterinsijpeling tot bij het afval zelf (R2a veiligheidsfunctie)
- 2) Het beperken van diffusie en chemisch vasthouden van radionucliden (zie Figuur 2-10, R4a, R1, R3 veiligheidsfuncties) door:
 - a) Het beperken van het vrijkomen uit het afval (R1),
 - b) Het chemisch vasthouden van radionucliden in de opvulmortel (R3)
 - c) Het beperken van diffusie van radionucliden (R4a) in de caisson zodat migratie naar en in deze barrière tegengegaan wordt

²⁴ Aangezien er ten opzichte van de verwachte evolutie een vroegere bypass zal zijn van bepaalde veiligheidsfuncties.

- d) Het chemisch vasthouden (R3) in de caisson van de beperkte fractie van radionucliden die toch naar deze barrière zou migreren ondanks de R1 veiligheidsfunctie, de sorptie in de opvulmortel en de lage diffusie in de caisson.

De beperkte fractie van radionucliden die uit de monolieten vrijgekomen is, wordt ten slotte verder verspreid en chemisch vastgehouden in de conductieve sorberende materialen (R4b/R3) van het opvulmateriaal in de inspectieruimte en het zand-cement in de inspectiegalerij en de funderingen (zie Figuur 2-10, R4b/R3 veiligheidsfuncties).

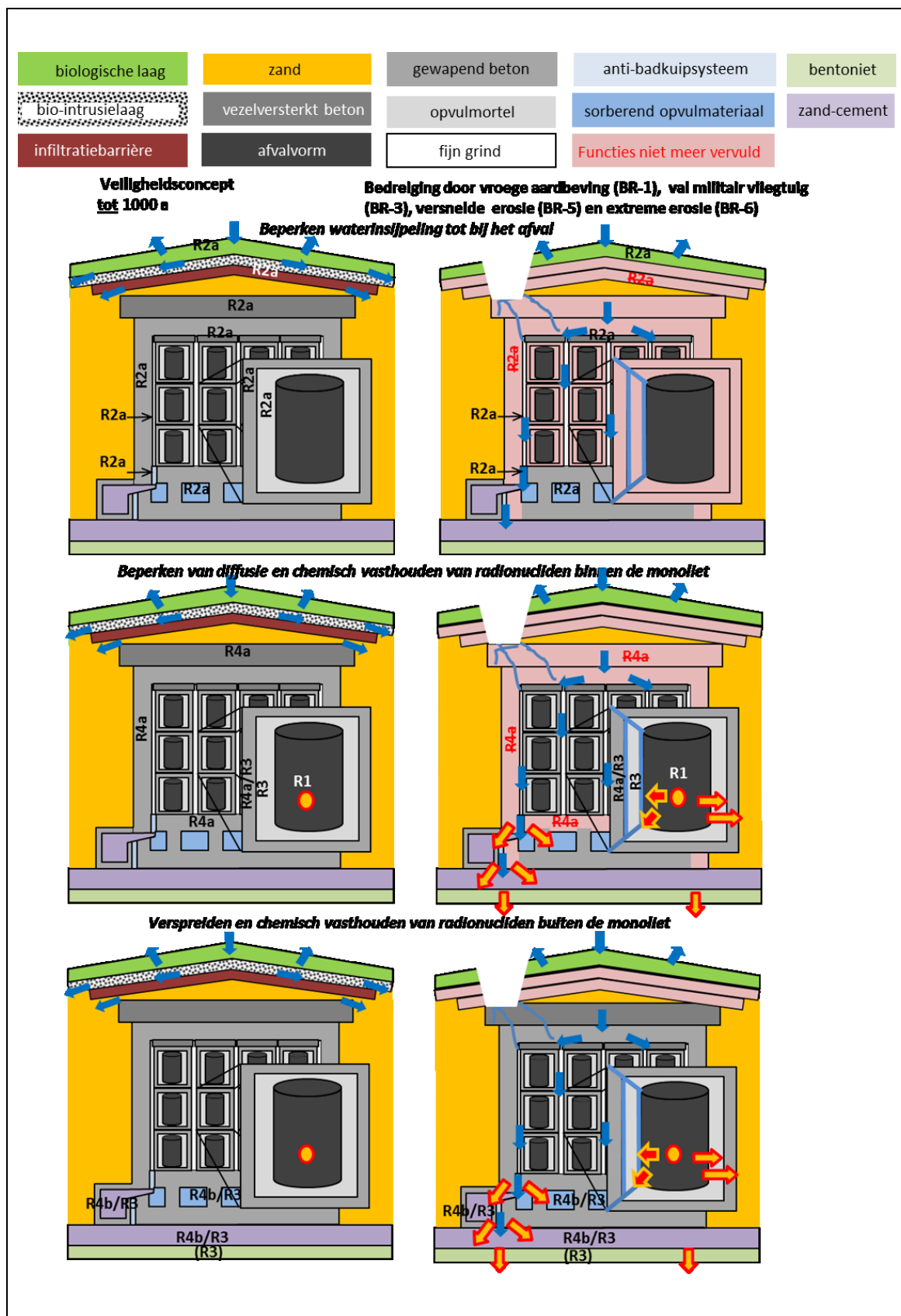
De berekende impacts voor AES'en veroorzaakt door vroege aardbeving, val militair vliegtuig, versnelde erosie en extreme erosie blijken slechts beperkt te stijgen ten opzichte van 0,096 mSv.a⁻¹ voor het referentiescenario en verschillen onderling niet sterk (Tabel 2-13).

Tabel 2-13: Overzicht van berekende impacts voor verschillende AES'en en types van degradatie (HS14 §14.6.6)

AES	Type degradatie	Impact [mSv.a ⁻¹]
vroege aardbeving (AES1-1)	Vroeger optreden van degradatie: op 350	0,114 (AES2-1) à
vliegtuigval militair vliegtuig (AES2-1)	jaar in plaats van op 1 000 jaar	0,118 (AES1-1 en AES3-2)
extreme erosie (AES3-2)		
versnelde erosie (AES3-1)	Vroeger optreden van degradatie: op 650	0,112
	jaar in plaats van op 1 000 jaar	

Dit duidt er op dat de insluitingsperformantie van de aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, modulewanden en ondersteunde plaat modules en niet-gescheurde monolieten in de periode voor 1 000 jaar bijna volledig gecompenseerd wordt door:

- 1) De vezelversterkte afschermingsplaten en afwatering binnen de module die de waterinsijpeling tot bij het afval zelf en dus het vrijkomen van radionucliden uit het afval beperken
- 2) Het afval en de monoliet die zorgen voor het beperken van diffusie en het chemisch vasthouden van radionucliden, waardoor slechts een fractie van de radionucliden tot in de scheuren vrijkomt
- 3) Het opvulmateriaal in de inspectieruimte en het zand-cement in de inspectiegalerij en de funderingen die zorgen voor het verspreiden en chemisch vasthouden van de radionucliden die uit de monolieten vrijgekomen zijn.



Figuur 2-10: Verstoring aan de insluitingscapaciteit < 1 000 jaar door vroege aardbeving, val militair vliegtuig, versnelde erosie en extreme erosie

2.8.8.3.2.2 Residentie op de bergingsinstallatie

De verstoring door residentie op de bergingsinstallatie na boring wordt gekenmerkt door een vroeger optredende degradatie dan in de verwachte evolutie. Bovendien worden in de doorboorde module de modulebasis (ondersteunende plaat, opvulmateriaal inspectieruimte, funderingsplaat) en het zand-cement uit de funderingen gebypassed (Tabel 2-12). Na degradatie zijn de toestand van het bergingssysteem en de trajecten van de radionucliden (Figuur 2-11, Figuur 2-12) dezelfde als na degradatie in de verwachte evolutie, met uitzondering van de bypass van de modulebasis en zand-cement (toestand na 1 000 jaar in Figuur 2-8, §2.8.2.2.1 en §2.8.2.2.2) in de doorboorde module.

Bij residentie op de bergingsinstallatie blijft insluiting in nog beperktere mate behouden dan bij de verstoringen beschouwd hierboven in §2.8.8.3.2.1 omdat er in de doorboorde module een bypass is van de modulebasis en de zand-cement uit de funderingen. De insluiting van de doorboorde module wordt nog deels behouden omdat (zie Figuur 2-11):

- 1) De waterinsijpeling tot bij het afval nog steeds beperkt blijft in de niet-doorboorde monolietstapels
- 2) Het vrijkomen van radionucliden uit het afval en monoliet naar de scheuren en tussenruimtes beperkt blijft door beperkte diffusie en het chemisch vasthouden van radionucliden.

In de doorboorde monolietstapel wordt de waterinsijpeling tot bij het afval minder beperkt door de lokale degradatie van de aarden afdekking, de ondoorlatende topplaat, de vezelversterkt afschermingsplaten en de doorboorde monolieten. Ondanks de degradatie van de aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, modulewanden en monoliet blijft de waterinsijpeling tot bij het afval voor de niet-doorboorde monolietstapels in de betrokken module zelf nog steeds beperkt door (zie Figuur 2-11, R2a veiligheidsfunctie):

- 1) De vezelversterkte afschermingsplaten die de monolietstapels overkappen zodat water afgeleid wordt naar de tussenruimtes tussen de monolietstapels
- 2) Het conductieve fijne grind in de tussenruimtes tussen de monolietstapels dat een goede drainage verzekert
- 3) De bypass van de modulebasis die een voldoende drainage verzekert.

Ondanks de lokale degradatie van de aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, monolieten in de doorboorde monolietstapel en het vormen van een bypass van de modulebasis en het zand-cement voor alle monolietstapels uit de betrokken module, blijft het vrijkomen van radionucliden uit het afval en de monoliet beperkt door:

- 1) Het beperken van de waterinsijpeling tot bij het afval zelf voor de niet-doorboorde monolietstapels (R2a veiligheidsfunctie)
- 2) Het beperken van diffusie en chemisch vasthouden van radionucliden (zie Figuur 2-11, R4a, R1, R3 veiligheidsfuncties) door:
 - a) Het beperken van het vrijkomen uit het afval (R1)
 - b) Het chemisch vasthouden van radionucliden in de opvulmortel (R3)
 - c) Het beperken van diffusie van radionucliden (R4a) in de caisson zodat migratie naar en in deze barrière tegengegaan wordt

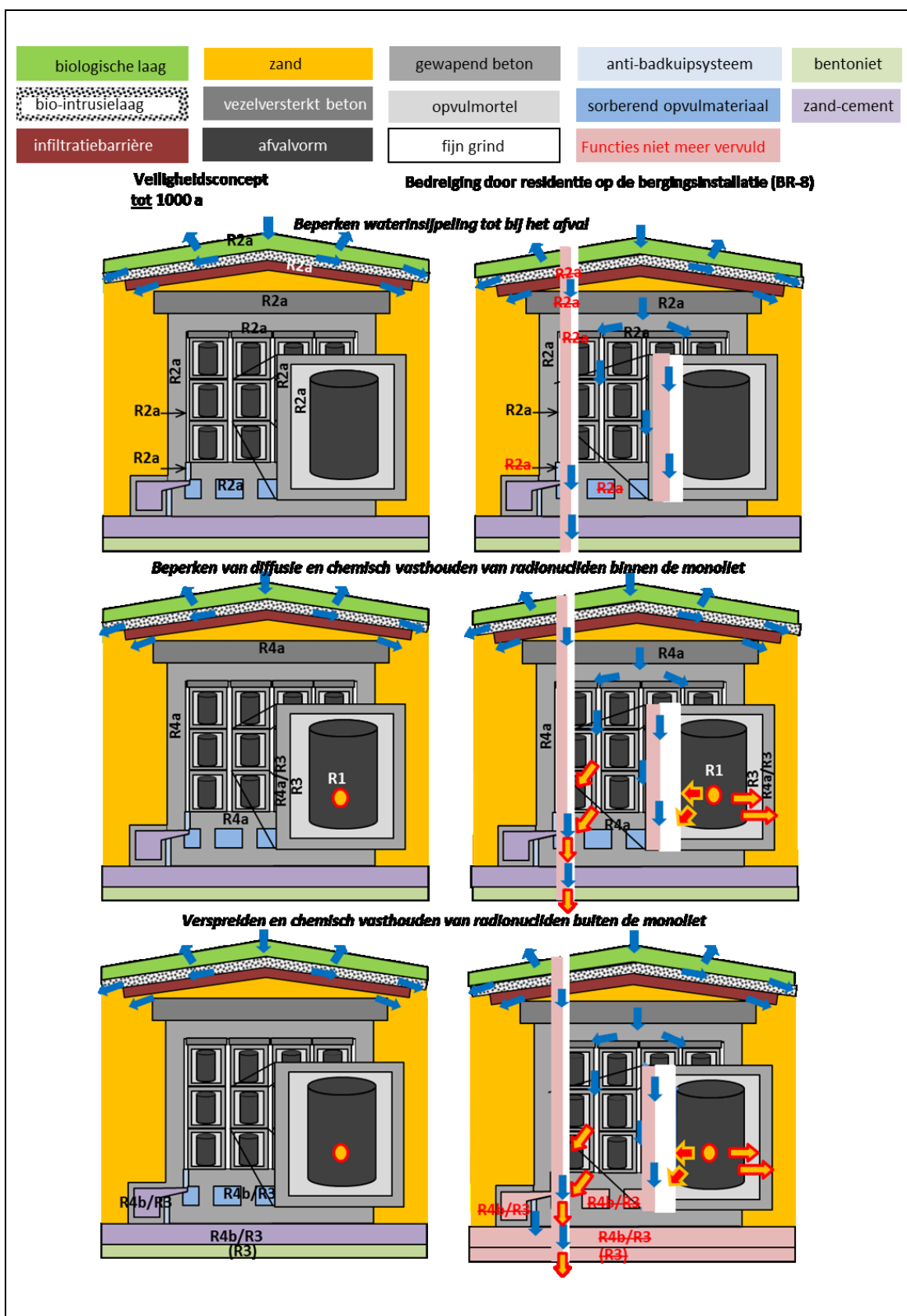
- d) Het chemisch vasthouden (R3) in de caisson van de beperkte fractie van radionucliden die toch naar deze barrière zou migreren ondanks de R1 veiligheidsfunctie, de sorptie in de opvulmortel en de lage diffusie in de caisson.

De beperkte fractie van radionucliden die uit de monolieten van de doorboorde module vrijgekomen is, wordt niet verder verspreid en chemisch vastgehouden wegens de bypass van modulebasis en funderingen (zie Figuur 2-11, degradatie van R4b/R3 veiligheidsfuncties).

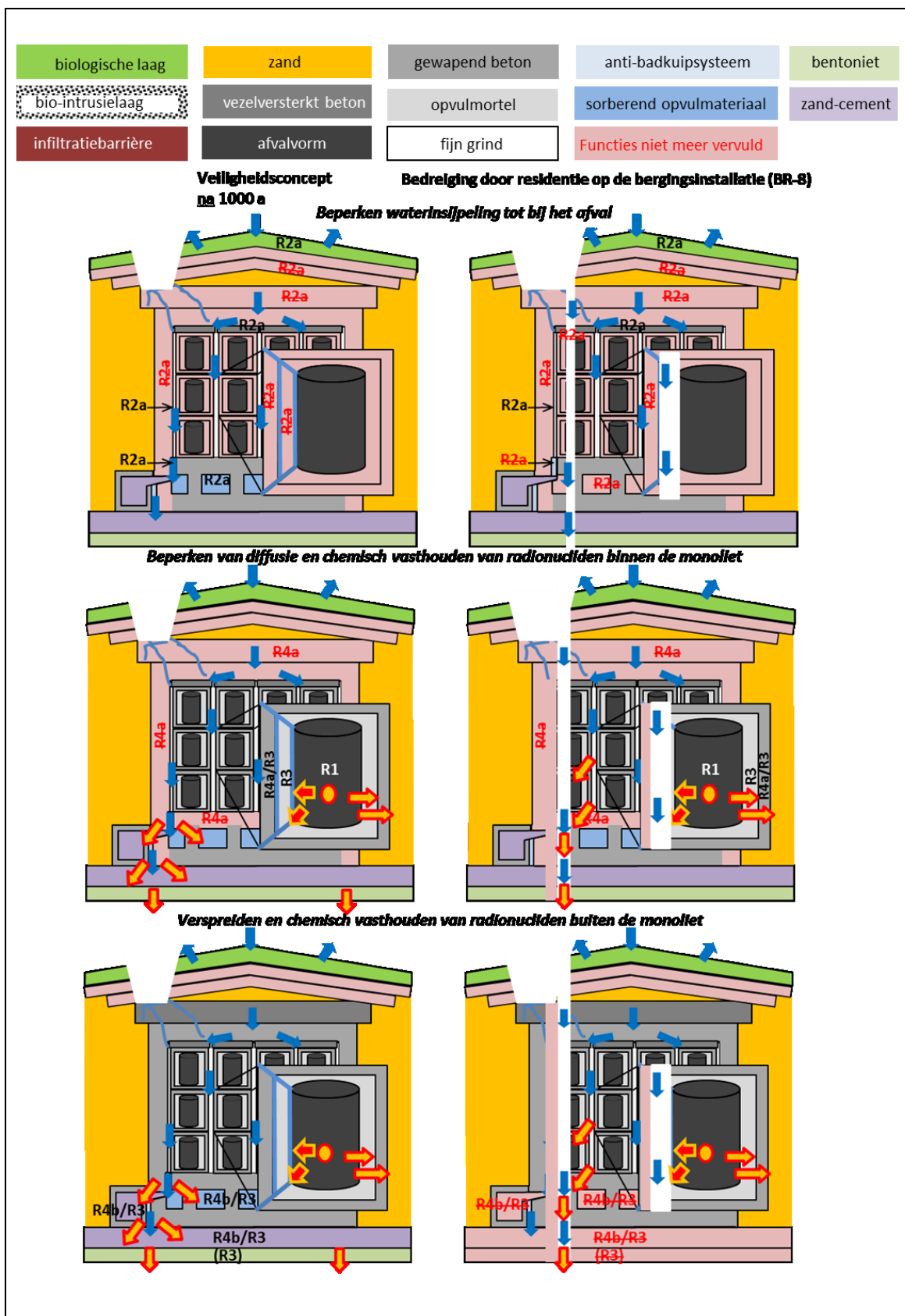
De berekende impact van residentie op de bergingsinstallatie stijgt tot $0,165 \text{ mSv.a}^{-1}$ (HS14 §14.10.4.1.1), ten opzichte van $0,096 \text{ mSv.a}^{-1}$ voor het referentiescenario en ongeveer $0,112$ à $0,118 \text{ mSv.a}^{-1}$ voor de versterking door degradaties vroeger dan 1 000 jaar maar zonder (gedeeltelijke) bypass van de modulebasis en zand-cement zoals hierboven beschouwd in §2.8.8.3.2.1.

Dit duidt erop dat de bypass van R4b/R3 veiligheidsfuncties in de modulebasis en funderingen een groter effect op de impact heeft dan het beschouwen van degradaties vroeger dan 1 000 jaar. De berekende impact van residentie op de bergingsinstallatie duidt er niettemin op dat het bergingssysteem een groot deel van haar insluitingsperformantie blijft behouden door:

- 1) De vezelversterkte afschermingsplaten en afwatering binnen de module die de waterinsijpeling tot bij het afval zelf en dus het vrijkomen van radionucliden uit het afval beperken voor de niet-doorboorde monolietstapels
- 2) Het afval en de monoliet die zorgen voor het beperken van diffusie en het chemisch vasthouden van radionucliden, waardoor slechts een fractie van de radionucliden tot in de scheuren vrijkomt voor de niet-doorboorde monolietstapels.



Figuur 2-11: Verstoring aan de insluitingscapaciteit < 1 000 jaar door residentie op de bergingsinstallatie na boring



Figuur 2-12: Verstoring aan de insluitingscapaciteit > 1 000 jaar door residentie op de bergingsinstallatie na boring

2.8.8.3.2.3 Vroege en zware aardbeving, val groot passagiersvliegtuig, grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit

De verstoring door een vroege en zware aardbeving, val van een groot passagiersvliegtuig en grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit is gelijkaardig en wordt gekenmerkt door een vroeger optredende, snellere en grotere degradatie van de bergingsinstallatie dan in de verwachte evolutie (Tabel 2-12).

Effecten worden beschouwd vanaf fase IV (na 350 jaar). Indien de verstoringen door een vroege en zware aardbeving en val van een groot passagiersvliegtuig zouden optreden tijdens de nucleaire reglementaire controlefase III, hetgeen zeer onwaarschijnlijk is, zal de schade aan de afdekking en mogelijke schade aan de ondoorlatende topplaat en modules geanalyseerd worden en kan er beslist worden om de afdekking plaatselijk af te graven, op dat moment de enige manier om inspecties aan de ondoorlatende topplaat en modules uit te voeren, en eventuele schade te herstellen. De grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit is een gevolg van onopzettelijke menselijke intrusie, waartegen men tijdens fase III beschermd is door de afsluiting rond de site en de toegangscontrole.

De grotere degradatie dan in de verwachte evolutie uit zich in minder beperking van waterinsijpeling tot bij het afval door degradatie van de vezelversterkte afschermingsplaten en een sterkere degradatie van de monolieten (Figuur 2-13, Figuur 2-14).

Door de afwatering binnen de module (conductieve fijne grind tussen monolietstapels, maatregelen tegen het badkuipeffect, conductieve grout in de inspectieruimtes) wordt het badkuipeffect vermeden, en daarmee een ongewenste wijziging van het traject van vrijkomen van radionucliden uit de bergingsinstallatie.

Ondanks de degradatie van de ondoorlatende topplaat, modulewand en ondersteunende plaat, het vormen van netwerken van doorgaande scheuren in de monoliet en de mindere beperking van waterinsijpeling tot bij het afval door de degradatie van de vezelversterkte afschermingsplaten en de grotere degradatie van de monolieten, blijft het vrijkomen van radionucliden uit het afval en de monoliet naar de scheuren en tussenruimtes nog enigszins beperkt door het beperken van diffusie en chemisch vasthouden van radionucliden (zie Figuur 2-13, R4a, R1, R3 veiligheidsfuncties) door:

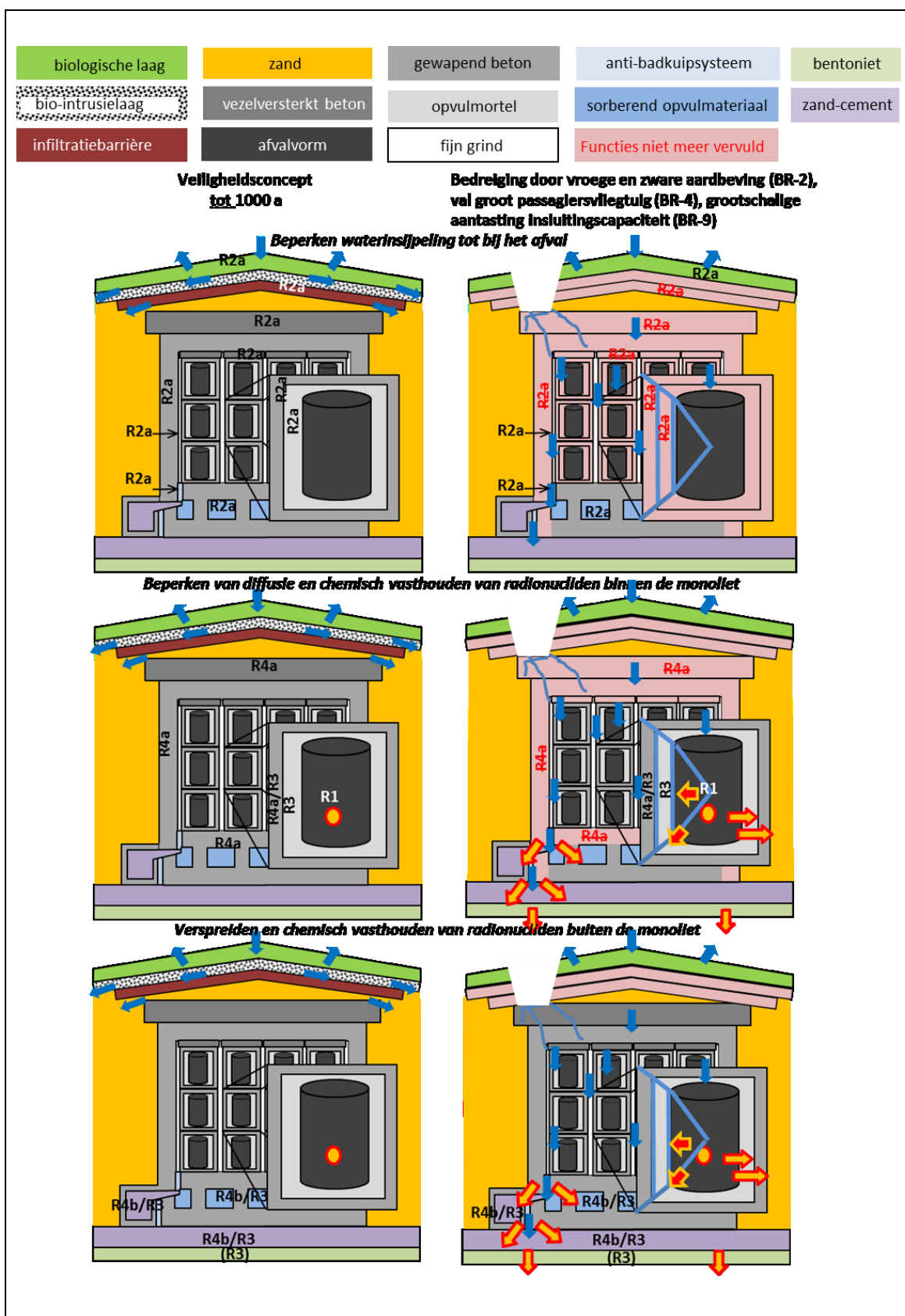
- 1) Het beperken van het vrijkomen uit het afval (R1)
- 2) Het chemisch vasthouden van radionucliden in de opvulmortel (R3)
- 3) Het beperken van diffusie van radionucliden (R4a) in de caisson zodat migratie naar en in deze barrière tegengegaan wordt
- 4) Het chemisch vasthouden (R3) in de caisson van de beperkte fractie van radionucliden die toch naar deze barrière zou migreren ondanks de R1 veiligheidsfunctie, de sorptie in de opvulmortel en de lage diffusie in de caisson.

De fractie van radionucliden die uit de monolieten vrijgekomen is, wordt ten slotte verder verspreid en chemisch vastgehouden in de conductieve sorberende materialen (R4b/R3) van het opvulmateriaal in de inspectieruimte en het zand-cement in de inspectiegalerij en de funderingen (zie Figuur 2-13, R4b/R3 veiligheidsfuncties).

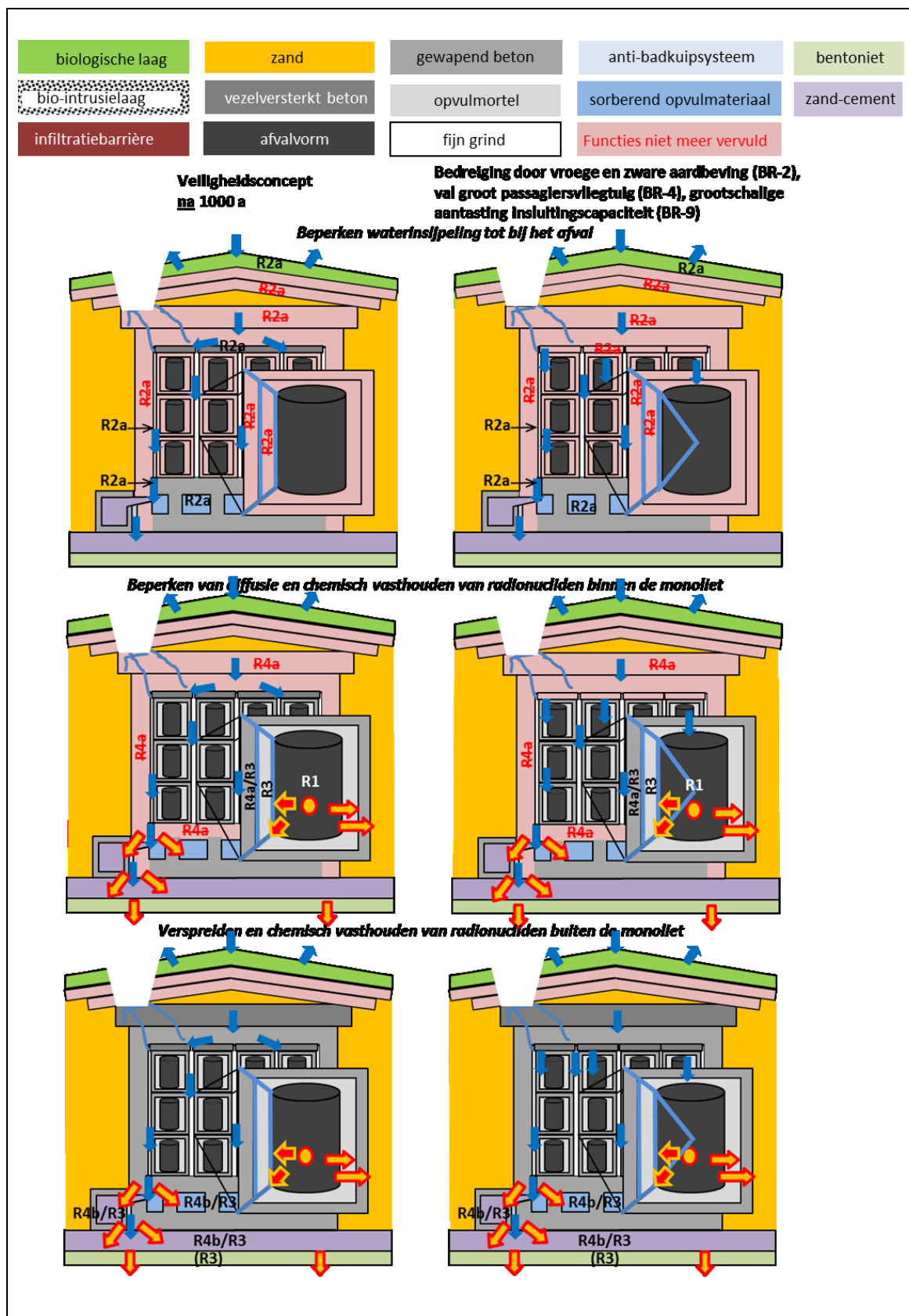
De berekende impacts voor de alternatieve evolutiescenario's veroorzaakt door vroege en zware aardbeving en val van een groot passagiersvliegtuig en voor het intrusiescenario grootschalige aantasting

van de insluitingscapaciteit, stijgen tot 1 à 2 mSv.a⁻¹ afhankelijk van het aantal modules dat daardoor degradeert. Dit is een stijging met ongeveer een factor 10 à 20 ten opzichte van 0,096 mSv.a⁻¹ voor het referentiescenario (HS14 §14.6.6 en §14.10.4.2.1). Dat duidt erop dat de beperking van waterinsijpeling tot bij het afval een grote invloed op de insluitingsprestatie van het systeem heeft indien de modules en monolieten gedegraden en gescheurd zijn.

De berekende impacts duiden er ook op dat een deel van de insluitingsprestatie behouden blijft. In een gevoeligheidsanalyse betreffende variatie van het startmoment van het penaliserende grondwaterscenario werd een maximale impact van ongeveer 10 mSv.a⁻¹ berekend bij de start van dat scenario op hetzelfde moment als voor deze alternatieve evolutiescenario's (350 jaar). Dat geeft aan dat zelfs bij de hier beschouwde bedreigingen, de impact toch nog beperkt wordt door het bergingssysteem.



Figuur 2-13: Verstoring aan de insluitingscapaciteit < 1 000 jaar door vroege en zware aardbeving, val groot passagiersvliegtuig en grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit (uitgestelde effecten na uitgraving)



Figuur 2-14: Verstoring aan de insluitingscapaciteit > 1 000 jaar door vroege en zware aardbeving, val groot passagiersvliegtuig en grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit (uitgestelde effecten na uitgraving)

2.8.8.3.2.4 Niet-gedetecteerde complexanten in de afvalvorm

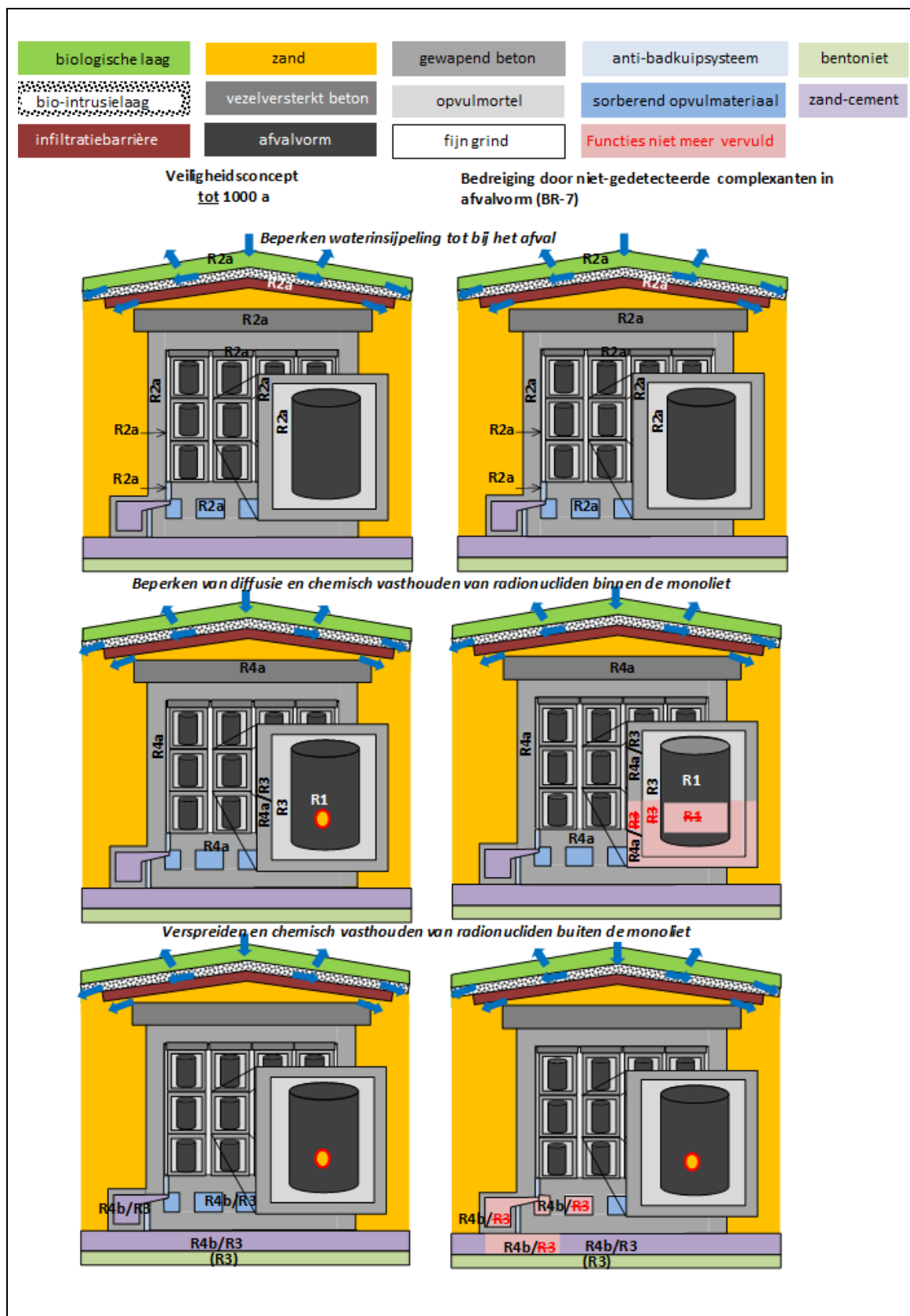
De verstoring door niet-gedetecteerde complexanten in de afvalvorm wordt gekenmerkt door een lokale aantasting van de sorptiecapaciteit in het afval, de opvulmortel, de caisson, het opvulmateriaal in de inspectieruimte en het zand-cement in de inspectiegalerij en funderingen (Tabel 2-12, Figuur 2-15, Figuur 2-16). Wegens de verificaties van het afval (zie §2.8.8.1.5) zou dit over zeer geringe aantallen gaan en dus beperkt blijven tot gelokaliseerde effecten in de berging.

Effecten worden beschouwd vanaf fase IV (na 350 jaar) omdat er tijdens fase III geen significante effecten te verwachten zijn.

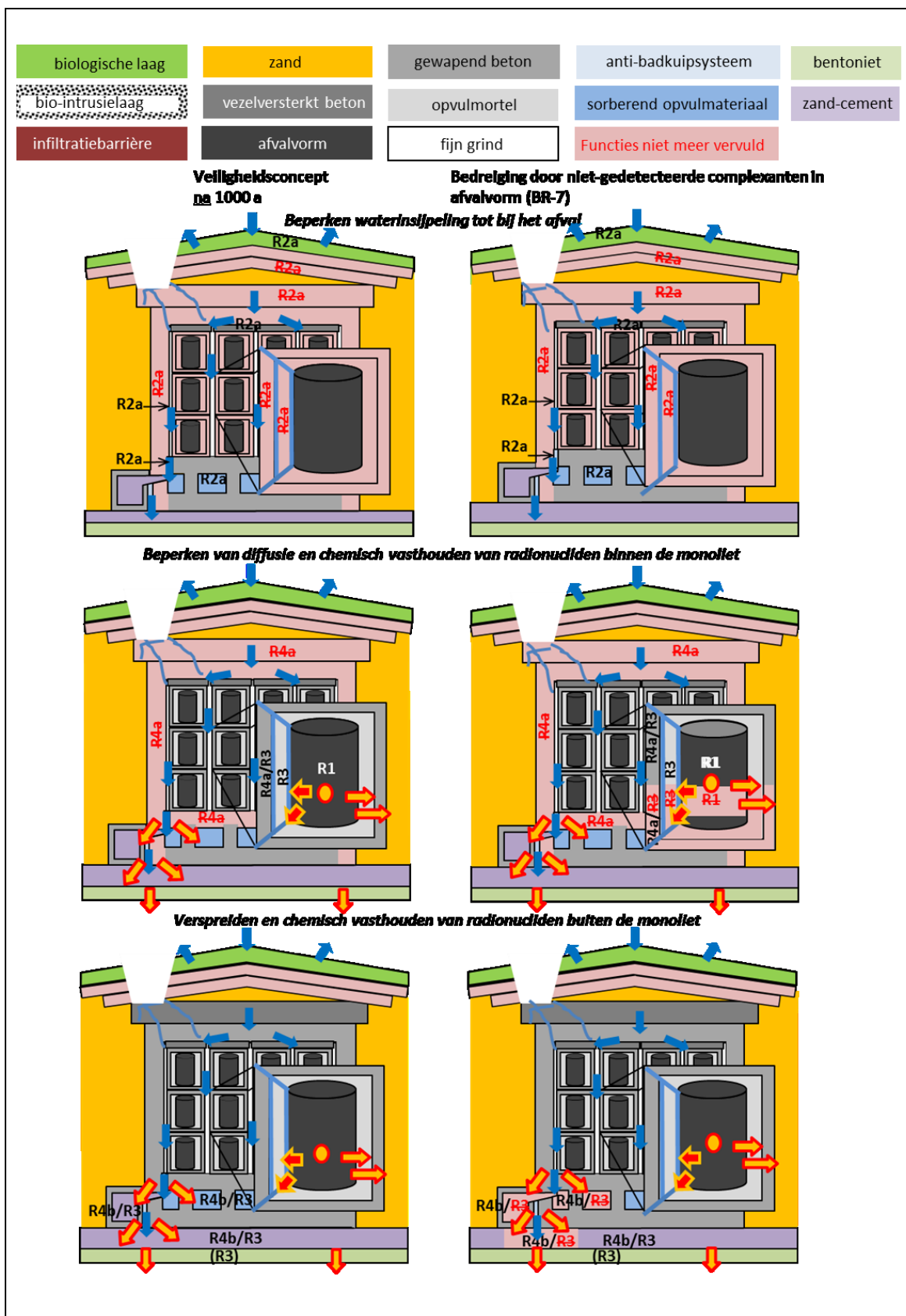
De lokale aantasting van de sorptiecapaciteit (R3, Figuur 2-15) wordt gedeeltelijk overgenomen door:

- 1) het beperken van de waterinsijpeling tot bij het afval (R2a functie, Figuur 2-15) die niet aangetast is ten opzichte van de verwachte evolutie
- 2) het beperken van diffusie in de caisson, modulewand, ondersteunende plaat en ondoorlatende topplaat (R4a, Figuur 2-15) zodat diffusie naar en in deze barrières tegengegaan wordt.

De berekende impact van het alternatieve evolutiescenario veroorzaakt door niet-gedetecteerde complexanten in de afval vorm bedraagt $0,112 \text{ mSv.a}^{-1}$ en stijgt dus slechts beperkt ten opzichte van de impact van $0,096 \text{ mSv.a}^{-1}$ van het referentiescenario (HS14 §14.6.6). Dit duidt erop dat de globale insluitingsperformantie van het bergingssysteem grotendeels behouden blijft, omdat de aantasting van de sorptiecapaciteit beperkt is tot gelokaliseerde effecten.



Figuur 2-15: Verstoring aan de insluitingscapaciteit < 1 000 jaar door niet-gedetecteerde complexanten in afvalvorm



Figuur 2-16: Verstoring aan de insluitingscapaciteit > 1 000 jaar door niet-gedetecteerde complexanten in afvalvorm

2.8.8.3.2.5 Insluiting op lange termijn bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten

Volgende trajecten van uitloging zijn in principe mogelijk in de periode tot 1000 jaar:

- 1) Naar onderkant van bergingssysteem door advectie doorheen scheuren in de funderingsplaat
- 2) Naar onderkant van bergingssysteem door advectie doorheen ABS in verbindingstunnels en restanten van inspectiegalerij
- 3) Naar onderkant van bergingssysteem door advectie doorheen boring en verstoorde zone van boring met bypass van modulebasis en funderingen
- 4) Naar onderkant van bergingssysteem door diffusie
- 5) Naar bovenkant van bergingssysteem
- 6) Naar zijkanten van bergingssysteem

Voor ieder van die trajecten zijn er onafhankelijke en complementaire SSC's beschikbaar bij de verschillende bedreigingen, zie Bijlage 2-4 §2.14.2.

In de verwachte evolutie (zie Figuur 2-8) is er vanaf 1000 jaar insijpeling tot in de modules door het falen van de R2a functie van het systeem infiltratiebarrière + ophoging aan de zijdes en van het systeem ondoorlatende topplaat + ophoging aan de zijdes. Het tot in de modules binnen gesijpelde water zal neerwaarts stromen door volgende SSC's: opvulmateriaal in tussenruimten, maatregelen tegen bathtubbing in ondersteunende plaat + in verbindingstunnels, opvulmateriaal inspectieruimte.

De SSC's die zorgen voor neerwaartse stroming blijven beschikbaar bij de overblijvende bedreigingen door vroege en zware aardbeving, val groot passagiersvliegtuig en niet-gedetecteerde complexanten BR-2/4/7/9 (zie Figuur 2-14 en Figuur 2-16) en bijgevolg dienen enkel volgende trajecten geanalyseerd te worden:

- 1) Naar onderkant van bergingssysteem doorheen scheuren in de funderingsplaat
- 2) Naar onderkant van bergingssysteem doorheen ABS in verbindingstunnels en restanten van inspectiegalerij
- 3) Naar onderkant van bergingssysteem door advectie doorheen boring en verstoorde zone van boring met bypass van modulebasis en funderingen.

Ook na 1000 jaar zijn er nog onafhankelijke en complementaire SSC's beschikbaar bij de resterende bedreigingen voor de mogelijke trajecten (Bijlage 2-4 §2.14.2). Het aantal combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties is weliswaar lager dan bij de insluiting voor 1000 jaar, maar na 1000 jaar is de radiotoxiciteit reeds met ongeveer 2 grootteordes afgenomen ten opzichte van het initiële niveau (§2.4.2.3.2), zodat dit in overeenstemming is met de tragsgewijze aanpak.

2.8.8.3.2.6 Conclusie voor complementariteit en onafhankelijkheid qua insluiting

Ook bij de verschillende bedreigingen blijven er over de volledige periode tot enkele duizenden jaren nog complementaire en onafhankelijke SSC's beschikbaar voor de insluiting, zodat steeds voldoende insluitingsperformantie van het bergingssysteem behouden blijft bij de verschillende bedreigingen.

De evaluatie in hoeverre de verschillende SSC's en het bergingssysteem in zijn geheel bijdragen tot de insluiting en hoe robuust het bergingssysteem is ten overstaan van gebeurtenissen en processen die de verwachte evolutie verstoren dient nog via de *performantie-analyse* bevestigd te worden.

2.8.8.3.3 Complementariteit en onafhankelijkheid van insluiting tijdens de operationele periode (fases Ia, Ib, II)

Voor de strategie van insluiting tijdens de operationele periode, zie §2.8.5.7.

In het veiligheidsconcept wordt voor insluiting de veiligheidsfunctie *Insluiten* gebruikt.

De mogelijke bedreigingen aan SSC's (mogelijke CCF en CMF) die bijdragen tot de insluiting tijdens de operationele periode zijn systematisch geanalyseerd in de veiligheidsevaluatie operationele veiligheid in HS13. Dit resulteert in de volgende bedreigingen die een verstoring kunnen teweegbrengen van de insluitingscapaciteit²⁵:

- Vliegtuigimpact (HS13 §13.5.3)
- Val van de rolbrug op de monolieten na hevige wind of na val van de stalen dakstructuur op de brug bij extreme sneeuw en neerslag (HS13 §13.5.5.2, §13.5.5.3, §13.5.13.2).

De in §2.8.8.2.2 beschouwde buiten-ontwerpaardbevingen hebben een waarschijnlijkheid $\sim 10^{-4} \text{ a}^{-1}$. Voor aardbevingen met een waarschijnlijkheid $\sim 10^{-7} \text{ a}^{-1}$ wordt er verwacht dat de directe beschadiging aan de insluiting binnen de monolieten niet extremer zal zijn dan wat er al beschouwd is voor de vliegtuigimpact en de val van de rolbrug.

2.8.8.3.3.1 Vliegtuigimpact

De val van een aantal kleinere luchtvaartuigen (militaire luchtvaart, algemene luchtvaart) heeft een waarschijnlijkheid groter of gelijk aan 10^{-7} a^{-1} . De inslag van een militair vliegtuig zal aanleiding geven tot de grootste impact, omdat de kinetische energie hoger ligt dan voor andere kleinere luchtvaartuigen (HS13 §13.5.3).

Bij de verstoring door de val van een klein luchtvaartuig kunnen volgende systemen en componenten met een M-rol voor 'insluiting' lokaal aangetast zijn aan de bovenkant en zijkanten van het bergingssysteem:

- Fase Ia: caisson, mortel
- Fase Ib/II: er wordt geen schade verwacht aan de betonnen insluitingsbarrières (§2.8.8.1.6.2).

Door de aantasting van de insluitingsfuncties van caisson en mortel tijdens fase Ia, kunnen radioactieve stoffen binnen de bergingsinstallatie en/of de omgeving vrijgezet worden door een plume and puff release en kerosinebrand. Het aantal beschadigde monolieten is echter beperkt: 121 monolieten bij een module in opvulling. Bij de val op gevulde modules zal het aantal beschadigde monolieten lager zijn door de aanwezigheid van de structurele topplaat.

Voor het ogenblikkelijk gasvormig vrijkomen, zijn er geen onafhankelijke en complementaire SSC's beschikbaar voor de beschadigde monolieten zelf (aantasting van insluitingsfuncties van caisson en mortel, zie Bijlage 2-4 §2.14.3.1 Tabel 2-37 en Tabel 2-38). Het aantal beschadigde monolieten is echter beperkt (121 monolieten), waardoor de insluiting grotendeels behouden wordt en de geschatte doses voor publiek en werknemers $< 0,1 \text{ mSv}$ is (HS13 §13.5.3.3). Die dosis is aanvaardbaar:

- De maximale waarschijnlijkheid van de val van kleine luchtvaartuigen op de berging is geschat op $7,33 \cdot 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ (algemene luchtvaart). Bij een waarschijnlijkheid van $7,33 \cdot 10^{-6} \text{ a}^{-1}$ is volgens Figuur 1 uit

²⁵ Falen van één of meerdere SSC's met een M-rol voor insluiting in het veiligheidsconcept

[R2-53] de doelstelling voor een berging om een dosisimpact lager dan 13,5 mSv te hebben voor het publiek.

- De begrenzing voor werknemers is 10 mSv/12 maanden (§2.4.2.2 Tabel 2-1).

In het geval van de val van een klein luchtvaartuig op de bergingsinstallaties met vrijzetting van radioactieve stoffen, blijven de brandbestrijdingssystemen operationeel (ook bij stroomonderbrekingen). Daardoor worden bijkomende schade en het verder vrijkomen van contaminatie vermeden. Bovendien zullen radionucliden die uit beschadigde monolieten terecht komen in potentieel besmet (blus)water in de tussenruimten nog mogelijks binnen de installatie ingesloten blijven door:

- Het beperken van diffusie van radionucliden in de ondersteunende plaat zodat migratie naar en in deze barrière tegengegaan wordt
- Het opvangen van water in de componenten van het drainagesysteem
- Bij defecten aan het drainagesysteem, het opvangen van water in de vloerplaat van de inspectieruimte, de vloer van de inspectiegalerij en de opslagtanks in de WCB

die bij de val van een klein luchtvaartuig mogelijks²⁶ onafhankelijk en complementair zijn ten opzichte van de insluiting door de caisson en de mortel (zie Bijlage 2-4 §2.14.3.2 Tabel 2-39, Tabel 2-40). Voor het opvangen van potentieel besmet water bij een ongeval met een klein luchtvaartuig, zitten we al in een verdere laag van bescherming: ‘maatregelen voor ongevalsbeheer’ (§2.8.8.5).

Bij de val van een klein luchtvaartuig tijdens fases Ib en II, wanneer de afdekking geplaatst is, blijven alle SSC's met een M-rol voor insluiting hun rollen vervullen, en blijft de insluiting binnen de monoliet dus verzekerd (bovenliggende beschermingslaag ‘preventie en minimalisatie van bedreigingen’ §2.8.8.1).

De waarschijnlijkheid voor de val van een groot passagiersvliegtuig ligt lager dan 10^{-7} a^{-1} en moet, in tegenstelling tot de lange termijn (§2.8.8.3.2), niet beschouwd worden tijdens de operationele periode (HS13 §13.5.3).

2.8.8.3.3.2 Val van de rolbrug op de monolieten

In uitzonderlijke gevallen kan de val van een rolbrug op de monolieten één monoliet beschadigen (HS13 §13.5.5.2). Deze bedreiging is enkel een mogelijke verstoring van de insluitingscapaciteit bij de configuratie “module in opvulling” (tijdens fase Ia). De insluiting binnen de caisson en mortel blijft behouden indien de structurele topplaten al geplaatst zijn (configuratie gevulde modules - zie Bijlage 2-4 §2.14.3.2 Tabel 2-40). Tijdens fases Ib en II is er geen rolbrug meer aanwezig.

De situatie is dezelfde als het ogenblikkelijk gasvormig vrijkomen na de val van een klein luchtvaartuig (zie Bijlage 2-4 §2.14.3.1 Tabel 2-37). Er zijn geen onafhankelijke en complementaire SSC's beschikbaar voor de beschadigde monoliet zelf (aantasting van insluitingsfuncties van caisson en mortel). Het aantal beschadigde monolieten is echter zeer beperkt (in uitzonderlijke gevallen 1 monoliet) waardoor de insluiting grotendeels behouden wordt. Het gasvormige vrijkomen geeft een radiologische impact voor publiek en werknemers $< 0,03 \text{ mSv}$. Die dosis is aanvaardbaar:

²⁶ Er dient geverifieerd te worden dat de ondersteunende plaat, het drainagesysteem, vloerplaat van de inspectieruimte en vloer van de inspectiegalerij hun insluitingsfunctie behouden.

- De waarschijnlijkheid van deze gebeurtenis zal veel lager zijn dan 10^{-2} a^{-1} , wat de grens is voor normale exploitatie. De geschatte radiologische impact is veel lager dan de dosisbeperking van $0,1 \text{ mSv.a}^{-1}$ bij normale exploitatie (§2.4.2.2 Tabel 2-1)
- De begrenzing voor werknemers is 10 mSv per 12 maanden (§2.4.2.2 Tabel 2-1).

De fractie van radionucliden die zou vrijkomen uit de monolieten en in water in de tussenruimten terecht zou komen (hevige wind waardoor dakbekleding wegvalt, in combinatie met regen) blijft mogelijks ingesloten binnen de installatie door:

- Het beperken van diffusie van radionucliden in de ondersteunende plaat zodat migratie naar en in deze barrière tegengegaan wordt
- Het opvangen van water in de componenten van het drainagesysteem
- Bij defecten aan het drainagesysteem, het opvangen van water in de vloerplaat van de inspectieruimte, de vloer van de inspectiegalerij en de opslagtanks in de WCB

die bij de val van een rolbrug mogelijks²⁷ onafhankelijk en complementair zijn ten opzichte van de insluiting door de caisson en de mortel (zie Bijlage 2-4 §2.14.3.2 Tabel 2-39). Voor het opvangen van potentieel besmet water bij de val van de rolbrug op de monolieten, zitten we al in een verdere laag van bescherming: ‘maatregelen voor ongevalsbeheer’ (§2.8.8.5).

2.8.8.3.3.3 Zwaardere dan de beschouwde buiten-ontwerpaardbevingen

Bij de verstoring door zwaardere dan de beschouwde buiten-ontwerpaardbevingen (waarschijnlijkheid tussen 10^{-7} en 10^{-4} a^{-1}) kan niet uitgesloten worden dat alle systemen en componenten met een M-rol voor ‘insluiting’ lokaal aangetast zijn:

- Fase Ia: caisson, mortel, ondersteunende plaat, leidingen in ondersteunende plaat, transparante container, hoofdleiding in inspectieruimte, opslagtanks in WCB, afvoeren van effluënten, vloer van inspectieruimte, vloer van inspectiegalerij, noodvoeding, brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen
- Fase Ib: caisson, mortel, ondoorlatende topplaat, modulewand, ondersteunende plaat, leidingen in ondersteunende plaat, transparante container, hoofdleiding in inspectieruimte, opslagtanks in WCB, afvoeren van effluënten, vloer van inspectieruimte, vloer van inspectiegalerij, noodvoeding, brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen
- Fase II: caisson, mortel, ondoorlatende topplaat, modulewand, noodvoeding, brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen.

Door de aantasting van de insluitingsfuncties van caisson en mortel kunnen radioactieve stoffen binnen de bergingsinstallatie en/of de omgeving vrijgezet worden door een plume and puff release.

Voor het ogenblikkelijke gasvormige vrijkomen, zijn er geen onafhankelijke en complementaire SSC's beschikbaar voor de beschadigde monolieten zelf. Het vrijkomen van radionucliden bij die plume and

²⁷ Er dient geverifieerd te worden dat de ondersteunende plaat, het drainagesysteem en de vloerplaat van de inspectieruimte hun insluitingsfunctie behouden.

puff release tijdens fases Ia/b en II wordt verwacht omhuld te worden door de vliegtuigimpact uit §2.8.8.3.3.1. De geschatte dosis voor publiek en werknemers $< 0,1 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$ is aanvaardbaar:

- De maximale waarschijnlijkheid van zwaardere dan de beschouwde buiten-ontwerpaardbevingen is 10^{-4} a^{-1} . Bij deze waarschijnlijkheid is volgens Figuur 1 uit [R2-53] de doelstelling voor een berging om een dosisimpact lager dan $2,3 \text{ mSv}$ te hebben voor het publiek.
- De begrenzing voor werknemers is 10 mSv per 12 maanden (§2.4.2.2 Tabel 2-1).

Bijkomende schade kan er zijn aan de ondersteunende plaat, drainagesysteem, vloer van de inspectieruimte, vloer van de inspectiegalerij, noodvoeding, brandbeveiligings- en brandbestrijdingssystemen waardoor radionucliden uit beschadigde monolieten bij regen kunnen migreren tot in de ophoging en grondwater en er voor dat traject geen complementaire en onafhankelijke SSC's en maatregelen meer zijn. Het blijft een nucleaire site waarbij reparaties en bewarende maatregelen zullen genomen worden. De interventies bij dit zware ongeval behoren tot de laag van het beheer van ongevallen (§2.8.8.5).

2.8.8.3.4 Complementariteit en onafhankelijkheid bij beperking van externe straling tijdens de operationele periode (fases Ia, Ib, II)

Voor de strategie van beperking van externe straling tijdens de operationele periode, zie §2.8.5.8.

In het veiligheidsconcept dragen volgende veiligheidsfuncties bij tot de beperking van de externe straling:

- Afschermen
- Afzonderen.

De mogelijke bedreigingen aan SSC's (mogelijke CCF en CMF) die bijdragen tot de beperking van externe straling tijdens de operationele periode zijn systematisch geanalyseerd in de veiligheidsevaluatie operationele veiligheid in HS13. Dit resulteert in de volgende bedreigingen die een verstoring kunnen teweegbrengen aan de beperking van externe straling:

- Storingen aan I&C apparatuur tijdens fase Ia, waardoor de trolley tijdens transport van een monoliet stilvalt (HS13 §13.4.6)
- Ontsporen van de trolley door ijs op de sporen, waardoor de monoliet mogelijk uit de transportcontainer valt (HS13 §13.5.13.4)
- Stroomonderbrekingen en/of storingen aan I&C apparatuur tijdens fase Ia waardoor de rolbrug tijdens manipulatie van een monoliet stilvalt (HS13 §13.4.6)
- Kantelen van een monoliet bovenop een stapel monolieten bij het plaatsen van monolieten in de modules (HS13 §13.4.12)
- Aanwezigheid van een obstakel voor het plaatsen van een monoliet (HS13 §13.4.13)
- Val van een klein luchtvaartuig (HS13 §13.5.3)
- Val van de rolbrug op de monolieten na hevige wind of na val van de stalen dakstructuur op de brug bij extreme sneeuw en neerslag (HS13 §13.5.5.2, §13.5.5.3, §13.5.13.2).

De in §2.8.8.2.2.2 beschouwde buiten-ontwerpaardbevingen hebben een waarschijnlijkheid $\sim 10^{-4} \text{ a}^{-1}$. Voor aardbevingen met een waarschijnlijkheden tussen $\sim 10^{-7}$ en 10^{-4} a^{-1} zal er een verstoring teweeggebracht worden aan de beperkingen van externe straling. Er kan niet uitgesloten worden dat alle maatregelen ter beperking van de externe straling falen bij dit zware ongeval, en dat voor alle

configuraties tijdens fases Ia, Ib en II. Het blijft echter een nucleaire site en het ongevalsbeheer moet ervoor zorgen dat de toegangscontrole (vermijden van toegang tot de site) snel opnieuw operationeel is.

In Tabel 2-14 wordt aangegeven op welke activiteiten en configuraties beschouwd in §2.8.5.8 de verschillende bedreigingen betrekking hebben, wat de veroorzaakte verstoringen zijn en welke complementariteit en onafhankelijkheid er aanwezig is. Voor details met betrekking tot complementariteit en onafhankelijkheid voor de verschillende mogelijke trajecten en configuraties, zie Bijlage 2-4 §2.14.4 Tabel 2-41 tot en met Tabel 2-45.

Tabel 2-14: Overzicht van de bedreigingen en verstoringen qua beperking van externe straling en aanwezigheid van complementariteit en onafhankelijkheid.

Configuratie	Bedreiging	Verstoring maatregelen ter beperking van externe straling	Complementariteit en onafhankelijkheid bij verstoring
Verplaatsen van afval naar de modules – monoliet in de transportcontainer (fase Ia)	Stilvallen van de trolley tijdens transport van een monoliet	(1) Werknemers verantwoordelijk voor de manipulaties op de site: er kan een niet-afstandsbediende tussenkomst nodig zijn (verplaatsen van trolley naar een veilige plaats met een multifunctioneel voertuig), waardoor de maatregel 'gebruik van een afstandsbediend systeem vanuit de controlekamer' deels gebypassed wordt	- De 2 veiligheidsfuncties 'afschermen' en 'afzonderen' blijven beschikbaar - Alle SSC's voor afscherming blijven beschikbaar - Verschillende SSC's en maatregelen met een afzonderingsfunctie ('beperken van de tijd', 'toegangscontrole tot gecontroleerde zone', 'caisson' en 'transportcontainer') zijn onafhankelijk van en complementair aan afzondering door 'afstandsbediend systeem vanuit de controlekamer' die deels gebypassed wordt Verwachte dosis voor werknemers die interventie uitvoeren < 1 mSv (HS13 §13.4.6.3). Die dosis is aanvaardbaar ten opzichte van de begrenzing voor werknemers van 10 mSv/12 maanden. De verwachte dosis voor de andere werknemers en het publiek wijzigt niet.
		(2) Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules: geen verstoring	Niet van toepassing
		(3) Werknemers in gecontroleerde zone in inspectiegalerij: geen verstoring	
		(4) Werknemers in bewaakte zone: geen verstoring	
		(5) Publiek: geen verstoring	

Configuratie	Bedreiging	Verstoring maatregelen ter beperking van externe straling	Complementariteit en onafhankelijkheid bij verstoring
	Val van de monoliet uit de transport-container	(1) Werknemers verantwoordelijk voor de manipulaties op de site: een niet-afstandsbediende interventie kan noodzakelijk zijn (recuperatie van de monoliet), waardoor de maatregel 'gebruik van een afstandsbediend systeem vanuit de controlekamer' deels gebypassed wordt, verder wordt ook de afscherming van de 'transportcontainer' gebypassed	- De 2 veiligheidsfuncties 'afschermen' en 'afzonderen' blijven beschikbaar - Verschillende SSC's en maatregelen met een afzonderingsfunctie ('beperken van de interventietijd', 'toegangscontrole tot gecontroleerde zone' en 'caisson') zijn onafhankelijk van en complementair aan 1) afzondering door 'afstandsbediend systeem vanuit de controlekamer' die deels gebypassed wordt en 2) afscherming door 'transportcontainer' die gebypassed wordt Verwachte dosis voor werknemers die interventie uitvoeren < 1 mSv (HS13 §13.5.13.4). Die dosis is aanvaardbaar ten opzichte van de begrenzing voor werknemers van 10 mSv/12 maanden. De verwachte dosis voor de andere werknemers en het publiek wijzigt niet.
		(2) Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules: bypass van de afscherming van de transportcontainer	- De 2 veiligheidsfuncties 'afschermen' en 'afzonderen' blijven beschikbaar - De afzonderingsmaatregel 'toegangscontrole tot gecontroleerde zone' is onafhankelijk van en complementair aan afscherming door 'transportcontainer' Geen wijziging aan verwachte dosis
		(3) Werknemers in gecontroleerde zone in inspectiegalerij: zie (2)	
		(4) Werknemers in bewaakte zone: zie (2)	- De 2 veiligheidsfuncties 'afschermen' en 'afzonderen' blijven beschikbaar - De afzonderingsmaatregel 'monoliet snel opnieuw afschermen' is onafhankelijk van en complementair aan afscherming door 'transportcontainer' Geen wijziging aan verwachte dosis
		(5) Publiek: zie (2)	
Optillen van de monoliet in de loszone en plaatsen in de modules – monoliet niet in de transport-container (fase 1a)	Stilvallen van de rolbrug tijdens manipulatie van monoliet naast en boven de module	(1) Werknemers verantwoordelijk voor de manipulaties op de site: er kan een niet-afstandsbediende interventie nodig zijn (neerlaten van de monoliet tot in module of transportcontainer), waardoor de maatregel 'gebruik van een afstandsbediend systeem vanuit de controlekamer' deels gebypassed wordt	- De 2 veiligheidsfuncties 'afschermen' en 'afzonderen' blijven beschikbaar - Verschillende SSC's en maatregelen met een afzonderingsfunctie ('beperken van de interventietijd', 'toegangscontrole tot gecontroleerde zone' en 'caisson') zijn onafhankelijk van en complementair aan afzondering door 'afstandsbediend systeem vanuit de controlekamer' die deels gebypassed wordt Verwachte dosis voor werknemers die interventie uitvoeren < 1 mSv (HS13 §13.5.12.3). Die dosis is aanvaardbaar ten opzichte van de begrenzing voor werknemers van 10 mSv/12 maanden. De verwachte dosis voor de andere werknemers en het publiek wijzigt niet.

Configuratie	Bedreiging	Verstoring maatregelen ter beperking van externe straling	Complementariteit en onafhankelijkheid bij verstoring
		(2) Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules: afzonderingsmaatregel 'Beperken van tijd gedurende dewelke een monoliet onafgeschermd is' wordt gebypassed	- De 2 veiligheidsfuncties 'afschermen' en 'afzonderen' blijven beschikbaar - De afzonderingsmaatregel 'toegangscontrole tot gecontroleerde zone' is onafhankelijk van en complementair aan 'beperken van tijd gedurende dewelke een monoliet onafgeschermd is'
		(3) Werknemers in gecontroleerde zone in inspectiegalerij: zie (2)	Geen wijziging aan verwachte dosis
		(4) Werknemers in bewaakte zone: zie (2)	- De 2 veiligheidsfuncties 'afschermen' en 'afzonderen' blijven beschikbaar - De afzonderingsmaatregel 'monoliet snel opnieuw afschermen' is onafhankelijk van en complementair aan 'beperken van tijd gedurende dewelke een monoliet onafgeschermd is'
		(5) Publiek: zie (2)	Geen wijziging aan verwachte dosis
	Kantelen van een monoliet/aanwezigheid van een obstakel voor plaatsen van en monoliet	(1) Werknemers verantwoordelijk voor de manipulaties op de site: er kan een niet-afstandsbediende interventie nodig zijn (als de gekantelde monoliet niet automatisch met de SFP-brug opgenomen kan worden of als het obstakel direct op de monoliet valt tijdens het optillen van de monoliet), waardoor de maatregel 'gebruik van een afstandsbediend systeem dat bediend wordt vanuit de controlekamer' deels gebypassed wordt	Zie 'stilvallen van de rolbrug' Verwachte dosis voor werknemers die interventie uitvoeren < 1 mSv (HS13 §13.4.13.3, §13.4.12.3, §13.4.6.3). Die dosis is aanvaardbaar ten opzichte van de begrenzing voor werknemers van 10 mSv/12 maanden. De verwachte dosis voor de andere werknemers en het publiek wijzigt niet.
		(2) Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules: zie 'stilvallen van de rolbrug'	Zie 'stilvallen van de rolbrug' Geen wijziging aan verwachte dosis
		(3) Werknemers in gecontroleerde zone in inspectiegalerij: zie 'stilvallen van de rolbrug'	Zie 'stilvallen van de rolbrug' Geen wijziging aan verwachte dosis
		(4) Werknemers in bewaakte zone: zie 'stilvallen van de rolbrug'	Zie 'stilvallen van de rolbrug' Geen wijziging aan verwachte dosis
		(5) Publiek: zie 'stilvallen van de rolbrug'	Zie 'stilvallen van de rolbrug' Geen wijziging aan verwachte dosis
Modules in opvulling (fase 1a)	Val van de rolbrug op de monolieten	(1) Werknemers in gecontroleerde zone rondom de modules: afscherming door mortel, caisson, prefab afschermingsplaten en modulewanden worden deels gebypassed, afzondering door caisson en modulewand wordt lokaal gebypassed	- Aantasting blijft lokaal, waardoor de beperking van de externe straling uit modules in opvulling grotendeels behouden blijft - De afzonderingsmaatregel 'toegangscontrole tot gecontroleerde zone' (die beperkingen zal opleggen) is complementair en onafhankelijk aan SSC's en maatregelen voor afscherming en afzondering die lokaal gebypassed worden
		(2) Werknemers in gecontroleerde zone boven de modules: afscherming door mortel, caisson, prefab afschermingsplaten en modulewanden worden deels gebypassed, afzondering door caisson en loopbruggen/dak wordt lokaal gebypassed	Geen wijziging aan verwachte dosis door externe straling – voor dosis door vrijkomen van radionucliden zie §2.8.8.3.3.2
		(3) Werknemers in gecontroleerde zone in inspectiegalerij: zie (1)	
		(4) Werknemers die de structurele sluiting van een module uitvoeren: afscherming door mortel, caisson en prefab afschermingsplaten worden deels gebypassed, afzondering door caisson wordt lokaal gebypassed	

Configuratie	Bedreiging	Verstoring maatregelen ter beperking van externe straling	Complementariteit en onafhankelijkheid bij verstoring
		(5) Werknemers in bewaakte zone: zie (1)	- Aantasting blijft lokaal, waardoor de beperking van de externe straling uit modules in opvulling grotendeels behouden blijft - Afzonderingsmaatregelen die een afstand garanderen blijven bewaard: binnenomheining en toegangscontrole tot gecontroleerde zone om toegang tot de gecontroleerde zone te vermijden. Geen wijziging aan verwachte dosis door <i>externe straling</i> – voor dosis door vrijkomen van radionucliden zie §2.8.8.3.3.2
		(6) Publiek: zie (1)	- Aantasting blijft lokaal, waardoor de beperking van de externe straling uit modules in opvulling grotendeels behouden blijft - Afzonderingsmaatregelen die een afstand garanderen blijven bewaard: afsluiting rond de site, toegangscontrole tot de site Geen wijziging aan verwachte dosis door <i>externe straling</i> – voor dosis door vrijkomen van radionucliden zie §2.8.8.3.3.2
	Val van een klein luchtvaartuig (militaire luchtvaart, algemene luchtvaart)	(1) Werknemers in gecontroleerde zone rondom de modules: zie 'val van de rolbrug'	Zie 'val van de rolbrug' Geen wijziging aan verwachte dosis door <i>externe straling</i> – voor dosis door vrijkomen van radionucliden zie §2.8.8.3.3.1
		(2) Werknemers in gecontroleerde zone boven de modules: zie 'val van de rolbrug'	
		(3) Werknemers in gecontroleerde zone in inspectiegalerij: zie 'val van de rolbrug'	
		(4) Werknemers die de structurele sluiting van een module uitvoeren: zie 'val van de rolbrug'	
		(5) Werknemers in bewaakte zone: zie 'val van de rolbrug'	
		(6) Publiek: zie 'val van de rolbrug'	
Gevulde modules (fase Ia)	Val van een klein luchtvaartuig (militaire luchtvaart, algemene luchtvaart)	(1) Werknemers in gecontroleerde zone rondom de modules: afscherming door mortel, caisson, prefab afschermingsplaten, modulewanden en structurele topplaat worden deels gebypassed, afzondering door caisson en modulewand wordt lokaal gebypassed	Zie 'val van de rolbrug' voor de configuratie 'Modules in opvulling (fase Ia)'
		(2) Werknemers in gecontroleerde zone boven de modules: afscherming door mortel, caisson, prefab afschermingsplaten, modulewanden en structurele topplaat worden deels gebypassed, afzondering door caisson en loopbruggen/dak wordt lokaal gebypassed	
		(3) Werknemers in gecontroleerde zone in inspectiegalerij: zie (1)	
		(4) Werknemers die de structurele sluiting van een module uitvoeren: zie (1)	
		(5) Werknemers in bewaakte zone: zie (1)	
		(6) Publiek: zie (1)	

Configuratie	Bedreiging	Verstoring maatregelen ter beperking van externe straling	Complementariteit en onafhankelijkheid bij verstoring
	Val van de rolbrug op gevulde module (tijdens structurele sluiting van de modules)	Geen aantasting van de veiligheidsfuncties verwacht	—
Gevulde modules (fase Ib/II)	Val van een klein luchtvaartuig (militaire luchtvaart, algemene luchtvaart)	(1) Werknemers bovenop de afdekking: de afzondering door afdekklagen en ophoging aan de zijdes is lokaal enigszins aangetast (kleinere afstand tot de bron van straling in de krater)	- Alle SSC's die instaan voor de veiligheidsfunctie 'afscherming' blijven behouden - De afzonderingsmaatregel 'toegangscontrole' (die beperkingen kan opleggen) is complementair aan en onafhankelijk van de afdekklagen en ophoging aan de zijdes die lokaal enigszins aangetast worden Geen wijziging aan verwachte dosis
		(2) Werknemers in inspectiegalerij: zie (1)	
		(3) Publiek: zie (1)	- Alle SSC's die instaan voor de veiligheidsfunctie 'afscherming' blijven behouden - De afzonderingsmaatregelen 'afsluiting rond de site' en 'toegangscontrole' die toegang tot de site voorkomen zijn complementair aan en onafhankelijk van de afdekklagen en ophoging aan de zijdes die lokaal enigszins worden Geen wijziging aan verwachte dosis
Alle configuraties tijdens fases Ia, Ib en II	Zwaardere dan beschouwde buiten-ontwerpaardbevingen	Alle maatregelen ter beperking van externe straling lokaal potentieel gebypassed voor de alle types werknemers en voor het publiek voor alle configuraties. Het blijft echter een nucleaire site en het ongevalsbeheer moet ervoor zorgen dat de toegangscontrole (vermijden van toegang tot de site) snel opnieuw operationeel is waardoor dosis door externe straling voor het publiek beperkt wordt.	Geen complementariteit en onafhankelijkheid beschikbaar, maar radiologische gevolgen aanvaardbaar. Dosis door externe straling voor werknemers en publiek direct na het zware ongeval worden omhuld door vliegtuigimpact < 0,1mSv. Voor werknemers is die dosis aanvaardbaar ten opzichte van 10 mSv/12 maanden. Voor het publiek is dosis aanvaardbaar ten opzichte van de combinatie "probabiliteit" en "dosis", zie §2.8.8.3.3.3.

2.8.8.3.5 Complementariteit en onafhankelijkheid van afzondering met betrekking tot intrusie tijdens de operationele periode (fases Ia, Ib, II)

Voor de strategie van afzondering met betrekking tot onopzettelijke menselijke intrusie tijdens de operationele periode, zie §2.8.5.9.

In het veiligheidsconcept wordt voor afzondering met betrekking tot onopzettelijke menselijke intrusie de veiligheidsfunctie *Afzonderen* gebruikt.

Gebeurtenissen van interne en externe oorsprong tijdens fases Ia/b, II en III die mogelijke bedreigingen, en dus mogelijke CCF en CMF vormen voor de afzondering m.b.t. intrusie, worden geïdentificeerd en geanalyseerd in HS13. Daaruit volgt dat tijdens de operationele periode (fases Ia, Ib, II) volgende

bedreigingen aanleiding kunnen geven tot een verstoring van één of meerdere SSC's die instaan voor de afzondering m.b.t. menselijke intrusie:

- Vliegtuigimpact – val van een klein luchtvaartuig (HS13 §13.5.3)
- Val van de rolbrug op de monolieten na hevige wind of na val van de stalen dakstructuur op de brug bij extreme sneeuw en neerslag (HS13 §13.5.5.2, §13.5.5.3, §13.5.13.2).

Bij de verstoring door de val van een klein luchtvaartuig kunnen volgende systemen en componenten met een M-rol voor afzondering lokaal aangetast zijn aan de bovenkant en zijkanten van het bergingssysteem:

- Fase Ia:
 - ▶ Monoliet in transportcontainer en plaatsen in de modules: caisson, mortel, collo GA/afval in type III
 - ▶ Modules in opvulling en gevulde modules: caisson, mortel, modulewand, collo GA/afval in type III
- Fase Ib/II: geen verstoring. Uit militaire statistieken blijkt dat slechts zelden een krater dieper dan 1 m geslagen wordt wat minder is dan de dikte van de afdekkingen. De aarden afdekking en ophoging aan de zijdes blijven daarom zorgen voor het beletten van contact met het afval.

De afzondering blijft tijdens fase Ia verzekerd door de toegangscontrole en de afsluiting rond de site.

In uitzonderlijke gevallen kan de val van een rolbrug op de monolieten één monoliet beschadigen. Bij de verstoring door de val van de rolbrug op de monolieten kunnen volgende systemen en componenten met een M-rol voor afzondering lokaal aangetast zijn:

- Fase Ia:
 - ▶ Monoliet in transportcontainer: niet van toepassing
 - ▶ Plaatsen van monoliet in modules: niet van toepassing
 - ▶ Modules in opvulling: caisson, mortel, collo GA/afval in type III
 - ▶ Gevulde modules: caisson, mortel, collo GA/afval in type III
- Fase Ib/II: niet van toepassing.

De afzondering blijft tijdens fase Ia verzekerd door de toegangscontrole en de afsluiting rond de site.

Voor de verschillende configuraties en fases blijft de afzondering nog verzekerd door verschillende SSC's die niet gezamenlijk falen bij de bedreiging door val van een klein luchtvaartuig en val van de rolbrug op de monolieten (Bijlage 2-4 §2.14.5 Tabel 2-46). Er zijn dus onafhankelijke SSC's voor deze bedreigingen.

Volgende complementariteit is beschikbaar: de toegangscontrole samen met de afsluiting rond de site zijn bij de bedreigingen 'val van een klein luchtvaartuig' en 'val van de rolbrug op de monolieten' complementair aan de caisson, mortel, collo GA/afval in type III en modulewand.

2.8.8.4 Controle- en corrigerende maatregelen

Ten slotte kunnen defecten of beschadigingen nog gedurende lange tijd opgespoord en gecorrigeerd worden. De berging blijft een nucleaire inrichting van klasse I tot het opheffen van nucleaire reglementaire controle op 350 jaar. Na 350 jaar berust de gelaagde bescherming uitsluitend op de drie passieve lagen uit §2.8.8.1, §2.8.8.2 en §2.8.8.3, maar is ook het radiologisch risico minder groot.

Om de goede werking van de bergingsinstallaties te kunnen nagaan en bij vaststelling van non-conformiteiten corrigerende maatregelen te kunnen nemen, zijn er controles voorzien.

2.8.8.4.1 Controles bij de operaties tijdens fase Ia

Bij het optillen van de monoliet in de loszone en het plaatsen in de modules zal de afwezigheid van personen in de oranje zone gecontroleerd en indien nodig gecorrigeerd worden. Meer algemeen zijn de handelingen van transport naar de berging en plaatsen in de berging geautomatiseerd, waarbij echter verschillende stoppunten worden ingesteld die de operator moet goedkeuren vooraleer het proces wordt verdergezet (HS09 §9.3.3.1 Figuur 9-3). Indien bij het transport naar de berging fouten aan de uitrusting voor de volgende stap vastgesteld worden door de operator (bijvoorbeeld draaitafel niet in juiste positie), kan de trolley met de monoliet in de transportcontainer blijven staan totdat de fout hersteld is. De trolley met de monoliet in de transportcontainer kan ook terug gebracht worden naar de IPM als corrigerende maatregel totdat de fout hersteld is.

Na het plaatsen van de monoliet in de module wordt gecontroleerd dat de monoliet op de positie uit het opvulplan geplaatst is. Is dat niet het geval, dan moet onderzocht worden of de monoliet toch op die plaats kan blijven staan en het opvulplan gewijzigd kan worden, dan wel of de monoliet teruggenomen of verplaatst moet worden (HS09 §9.3.3.6).

Bij het plaatsen van de monoliet in de module wordt er visueel gecontroleerd dat de monoliet geen beschadiging opgelopen heeft door de manipulaties ervan. Indien beschadigd, kan de monoliet verwijderd worden uit de berging en afgevoerd worden naar de bufferzone voor afwijkingen in de IPM, waar eventuele remediërmogelijkheden verder onderzocht worden (HS09 §9.3.3.6).

2.8.8.4.2 Nagaan dat voldaan is aan de normale exploitatielimieten en -voorwaarden (fases Ia, Ib, II, III – 0-350 jaar)

Er dient nagegaan te worden dat de technische specificaties (HS17) verzekerd worden. De volgende onderwerpen zullen in de technische specificaties opgenomen worden:

- Rolbrug
- Trolley
- Monitoring radiologische activiteit omgeving
- Monitoring dosisdebiët
- Monitoring drainagesysteem
- Monitoring camera's
- Monitoring weersomstandigheden
- Monitoring zettingen
- Branddetectie/bestrijding

Tijdens normale exploitatie dient geverifieerd te worden dat de “emergency box” voor de rolbrug beschikbaar is om een lading te kunnen neerlaten indien dat nodig is (zie §2.8.5.8).

Vooraleer een monoliet in de transportcontainer op de trolley ingebracht wordt, dient er geverifieerd te zijn dat hij voldoet aan de limieten voor afneembare oppervlaktebesmetting en aan de limiet voor het dosistempo. Vooraleer de trolley getransporteerd kan worden, dient er nagegaan te zijn dat het dosistempo voldoet aan de limiet voor het dosistempo.

Door het uitvoeren van atmosferische bemonstering op de site en in de omgeving, depositiebemonstering in de omgeving, metingen van grond- en oppervlaktewater in de omgeving en bemonstering van sedimenten in de omgeving wordt de activiteit in de omgeving gemeten en wordt er gecontroleerd dat de insluiting evolueert zoals voorzien (HS16 §16.4).

Op diverse plaatsen in de bergingsinrichting, op de site en op de grenzen ervan wordt de externe stralingsdosis gemeten, met als doel aan te tonen dat de bergingsinstallatie een bron is die onder controle is en dat steeds voldaan wordt aan de modaliteiten die van toepassing zijn op de gecontroleerde en bewaakte zones (HS16 §16.4). Er zijn ook hier zowel passieve als actieve dosimeters voorzien. De actieve dosimeters hebben bij normale werking van de bergingsinstallatie als doel een vroegtijdige waarschuwing te genereren bij een significante afwijking ten opzicht van hetgeen vooropgesteld werd.

Om na te gaan dat aan de normale exploitatielimieten en –voorwaarden voldaan is, worden de werknemers individueel gemonitord op externe straling (HS12 §12.6.5). De toestellen, bedoeld om te worden gedragen door een individu voor de beoordeling van het persoonlijk dosisequivalent, zijn integrerende dosimeters en actieve dosimeter (elektronisch). De actieve dosimeters zullen worden opgenomen in een dosisopvolgingsysteem. Dit systeem controleert voorafgaand aan de afgifte van de actieve dosimeter of de persoon voldoet aan de toelatingseisen wat stralingsbescherming betreft. De dosimeter geeft een visuele indicatie van de geaccumuleerde dosis en is ingesteld om het individu te waarschuwen indien de cumulatieve dosis of het dosistempo bij het uitvoeren van een taak vooraf bepaalde controleniveaus overschrijdt.

Het drainagesysteem en de inspectieruimte onder iedere bergingsmodule zullen op periodieke basis geïnspecteerd worden tot de sluiting van de berging. Daarbij zal er gecontroleerd worden of er geen water of sporen van water of andere anomalieën aanwezig zijn en of het drainagesysteem binnen de inspectieruimte geen defecten vertoont.

Bij plaatsing van de monolieten in de modules is er visuele controle van de juiste plaats en eventuele beschadigingen (zie §2.8.8.4.1) door middel van camera's. Vooraleer monolieten in de module geplaatst worden dient er geverifieerd te worden dat de camera's beschikbaar zijn om die controles te kunnen uitvoeren.

Er wordt gecontroleerd of er hevige winden in aantocht zijn. In dat geval wordt de rolbrug in een veilige positie boven de gangen geplaatst en worden geen monolieten gemanipuleerd (HS13 §13.5.4.3). Daartoe dient er ook nagegaan te worden dat de meteorologische gegevens beschikbaar zijn.

De sneeuwdikte wordt gemeten. Als de belasting op het dak groter wordt dan de ontwerpbelasting, wordt sneeuw van het dak geruimd (HS13 §13.5.5.3). Daartoe dient er ook nagegaan te worden dat de meting van de sneeuwdikte beschikbaar is.

De zettingen en verplaatsingen in modules en inspectiegalerij dienen opgevolgd te worden (Ia, Ib) omdat ze een invloed kunnen hebben op de rolbrugfunctionaliteiten binnen een set van vier modules in opvulling

en op het hoogteverschil tussen twee verschillende sets van vier modules wanneer de rolbrug van de ene set naar de andere verplaatst dient te worden (HS16 §16.5.4). Ze dienen ook opgevolgd te worden ter verificatie dat er zich in het drainagesysteem geen afwatering weg van het WCB kan voordoen. Om de zettingen en verplaatsingen te kunnen opvolgen dient de instrumentatie daarvoor beschikbaar te zijn bij normale exploitatie: beschikbaarheid van automatische totalstations en theodolieten en zichtbaarheid van de prisma's.

Om snel te kunnen ingrijpen bij brand dienen de systemen voor branddetectie en brandbestrijding beschikbaar te zijn bij normale exploitatie.

2.8.8.4.3 Continuïteit van controles tijdens de operationele periode (fases Ia, Ib, II – 0-100 jaar)

Het verlies van monitoringfuncties door het wegvallen van elektriciteit veroorzaakt een zekere blindheid voor de ontwikkeling van afwijkende bedrijfsomstandigheden. Het betreft volgende monitoring: dosistempometing op de modules in opvulling en ten noorden van deze modules op de buitenomheining (fase Ia), dosistempometing op de tumuli (fase Ia, II), radonmeting in de inspectiegalerij (fase Ia, Ib) en waterniveau meting op de recipiënten voor het drainagewater (fase Ia, Ib). Er is noodvoeding voorzien voor monitoringtoestellen, zodat hun functioneren gegarandeerd blijft bij het wegvallen van elektriciteit. Bij het wegvallen van de elektriciteit is een exploitatiestop voorzien in de procedures (HS13 §13.4.1).

Alarmsignalen kunnen uitvallen door verschillende oorzaken (stroomonderbreking, ...). Door deze gebeurtenis kan het bedrijfspersoneel niet controleren of de installatie zich binnen haar operationele limieten bevindt, en is men mogelijk niet op de hoogte van een op handen zijnde accidentele situatie. Bij het wegvallen van alarmsignalen is een exploitatiestop voorzien in de procedures. Alarmsignalen staan op noodstroom en UPS. Het gebruik van camera's kan bijkomende ondersteuning geven om visuele controles uit te oefenen op de bergingsinstallatie (HS13 §13.4.7).

2.8.8.4.4 Verouderingsbeheerprogramma tijdens de operationele periode (fases Ia, Ib, II, III – 0-350 jaar)

Het beheer van de veroudering is het geheel van technische, operationele en onderhoudshandelingen die bedoeld zijn om de beschadiging van de systemen, structuren en componenten die aan hun veroudering te wijten is, binnen aanvaardbare limieten te behouden. Alle uitrustingen inclusief de controle en bediening hebben gedetailleerde onderhouds- en vervangingsschema's waardoor de veroudering opgevolgd zal worden door preventief en curatief onderhoud.

De evolutie van het beton en de mortel zal in-situ gevolgd worden door een opvolging getuigemonolieten en proefstukken. Dankzij deze opstellingen kunnen verschillende beton- en mortelparameters opgevolgd worden onder andere door middel van ingecementeerde meetinstrumenten en destructieve proeven (HS16 §16.5.1). De monitoring en het toezicht op de modules laat toe om eventuele condensatie te verklaren en het vervormingsgedrag van beton op lange termijn op te volgen (kruip, effect van temperatuur/vochtigheid, toenemende belasting door het vullen/sluiten van de module, ...) (HS16 §16.5.3).

De veroudering van de voegen van de inspectiegalerij zal opgevolgd worden, aangezien deze belangrijk zijn voor insluiting tijdens de fases Ia en Ib.

De evolutie van de afdekking zal opgevolgd worden tijdens fases Ib, II en III.

De zettingen en verplaatsingen van de afdekking zullen tot het opheffen van nucleaire reglementaire controle opgevolgd worden door topografische metingen (zie HS16 §16.5.5.1). Een totale verplaatsing

groter dan de berekende zettingen of plotse toenames niet te wijten aan een gekende oorsprong, kan wijzen op een anomalie in het gedrag van onderliggende structuren. Correctieve maatregelen die in dat geval kunnen genomen worden zijn het herstellen van de afdekking en in het ultieme geval het afgraven van de afdekking en het herstellen van de onderliggende structuren of terugnemen van het afval.

Fysiek toezicht op de afdekking zal gebeuren tot het opheffen van de nucleaire reglementaire controle. Bij vaststellingen van beschadigingen aan de aarden afdekking door fysiek toezicht (zie HS16 §16.5.5.2) zoals bodemerosie, afschuivingen, bioturbatie en aanwezigheid van obstakels in de afwateringskanalen zal de afdekking hersteld worden.

2.8.8.4.5 Controles binnen het bergingssysteem vanaf de start van exploitatie tot de sluiting (0-95 jaar)

De inspecties van het drainagesysteem binnen de inspectieruimte zullen door een inspectierobot uitgevoerd worden. Deze inspectierobot zal uitgerust zijn met een camera en gereedschap voor het nemen van wrijfmonsters op de bodem van de inspectieruimte. Naast periodieke inspectie met behulp van de inspectierobot worden ook de relatieve vochtigheid, temperatuur, vervorming van betoncomponenten (d.m.v. interne en/of externe rekstrookjes) opgevolgd in de inspectieruimte (HS16 §16.5.3).

Indien het drainagesysteem binnen de inspectieruimte defecten vertoont, dan zullen deze hersteld worden.

In het geval er water gedetecteerd wordt, zal er verder gecontroleerd worden indien er sprake is van radioactieve besmetting te wijten aan defecten van insluiting van de radionucliden in het afval en berging. In dat laatste geval zou er zeer veel moeten zijn misgegaan: combinatie van defect aan drainagesysteem met degradatie van de aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, moduledak en monoliet. Corrigerende maatregelen die kunnen genomen worden zijn het openmaken van de module(s) in kwestie en het terugnemen van het afval.

2.8.8.4.6 Ervaringsfeedback (fases Ia, Ib, II, III – 0 -350 jaar)

NIRAS zal binnen het programma voor ervaringsfeedback stelselmatig de gegevens met betrekking tot de voorvallen die zich tijdens de exploitatie voordoen verzamelen, analyseren en documenteren.

De gegevens m.b.t. de ervaringsfeedback en de voorvallen die zich in andere gelijkaardige installaties voordoen, worden eveneens verzameld en geanalyseerd.

Op basis van de evaluatie en de analyse van de voorvallen, worden er corrigerende acties op technisch of administratief vlak, of op het vlak van de opleiding van het personeel bepaald.

2.8.8.5 Maatregelen voor ongevalsbeheer (fases Ia, Ib, II, III – 0-350 jaar)

Bij (ernstige) ongevallen zullen conform het interne noodplan bijkomende maatregelen getroffen worden om de radiologische risico's voor het publiek buiten de site toch nog zoveel als mogelijk te beperken en om te vermijden dat de ongevallen zich verder ontwikkelen met als gevolg een grotere en/of langer durende aantasting van de insluiting. Het interne noodplan zal geactiveerd worden bij de volgende voorvallen en situaties: aardbevingen groter dan de beschouwde buiten-ontwerpaardbevingen (waarschijnlijkheid $< 10^{-4} \text{ a}^{-1}$), bij de val van een klein luchtvaartuig tijdens fase Ia, val van een groot passagiersvliegtuig, val van de rolbrug tijdens fase Ia.

In het geval van de val van een klein luchtvaartuig op de bergingsinstallaties met vrijzetting van radioactieve stoffen tijdens fase Ia, blijven de brandbestrijdingssystemen operationeel (ook bij stroom-

onderbrekingen, zie §2.8.8.3.3). Daardoor worden bijkomende schade en het verder vrijkomen van contaminatie vermeden. Het drainagesysteem zorgt bovendien voor de opvang van potentieel besmet water. Bij defecten aan het drainagesysteem (HS13 §13.4.2) binnen de inspectieruimtes in combinatie met defecten aan de bovenliggende SSC's waardoor er water en radioactieve besmetting aanwezig zouden kunnen zijn, dan kunnen de vloerplaat van de inspectieruimte, de vloer van de inspectiegalerij en de opslagtanks in de WCB (HS08 §8.5.5.4) ervoor zorgen dat deze besmetting zich niet verder naar de zand-cement en de onderliggende aquifer verspreidt. Bij een breuk in één of beide opslagtanks in de WCB wordt het water opgevangen onder de opslagtanks (het WCB is voorzien van een ondoordringbare vloer) waarna het verzameld kan worden om af te voeren naar Belgoproces (HS13 §13.4.2). Op die manier worden de potentiële radiologische risico's voor het publiek buiten de site toch nog beperkt.

Een ongeval met de val van een passagiersvliegtuig op de berging heeft een waarschijnlijkheid van voorkomen $< 10^{-7} \text{ a}^{-1}$ en moet dus vanaf fase III beschouwd worden. Menselijk ingrijpen om de stofbelasting in de krater te beperken en de schade aan de afdekking te herstellen blijft mogelijk tijdens fase III. Ook tijdens fases Ia/b, II zal na de val van een passagiersvliegtuig op de berging (bijvoorbeeld terroristische aanslag) het interne noodplan geactiveerd worden.

De in §2.8.8.2.2 beschouwde buiten-ontwerpaardbevingen hebben een waarschijnlijkheid $\sim 10^{-4} \text{ a}^{-1}$. Na aardbevingen met een waarschijnlijkheid tussen 10^{-4} en 10^{-7} a^{-1} zijn de verwachte directe radiologische impacts voor een berging beperkt (omhuld door referentieongeval van val een militair vliegtuig zie §2.8.8.3.3). Er kan niet gegarandeerd worden dat brandbestrijdingsmiddelen en noodstroomvoorzieningen direct na de aardbeving operationeel zullen zijn, maar menselijk ingrijpen blijft mogelijk om schade te herstellen of in het uiterste geval het afgraven van de afdekking en het herstellen van de onderliggende structuren of terugnemen van het afval.

Bij de val van de rolbrug tijdens fase Ia wordt de insluiting grotendeels behouden (zie §2.8.8.3.3). Er dient geverifieerd te worden dat de ondersteunende plaat zijn insluitingsfunctie behoudt. De fractie van radionucliden die zou vrijkomen uit de monolieten en in water in de tussenruimten terecht zou komen kan dan ingesloten blijven binnen de installatie door de ondersteunende plaat, het drainagesysteem of bij defecten aan het drainagesysteem vloerplaat van de inspectieruimte, de vloer van de inspectiegalerij en de opslagtanks in de WCB.

In het overgangssas van het administratief gebouw is een decontaminatiedouche aanwezig. Deze decontaminatiedouche wordt enkel gebruikt in geval van besmetting van personeel, wat zich enkel kan voordoen in geval van een incident of ongeval in de gecontroleerde zone. Het water van de decontaminatiedouche wordt opgevangen in een opvangbak. Het water wordt na controle afgevoerd naar Belgoproces voor behandeling. Om te vermijden dat het besmette water in geval van een waterlek uit het opvangsysteem van de decontaminatiedouche in de bodem terecht komt, wordt de opvangbak onder de douche geplaatst in een kelder met een ondoordringbare muur en vloer, zodat het water bij een waterlek alsnog verzameld kan worden. Een waterlek uit het opvangsysteem van de decontaminatiedouche heeft geen radiologische gevolgen voor het publiek en heeft enkel in het geval van recuperatie van het water zeer beperkte radiologische gevolgen voor de werknemers (HS13 §13.4.9).

2.9 Risicoanalyse

De veiligheidsbenadering en veiligheidsstrategie houden rekening met de bestaande gegevens die de veiligheidsstrategie en haar toepassing kunnen beïnvloeden (zie §2.2). Mogelijke wijzigingen aan die gegevens vormen een bron van *contextuele onzekerheden*. In de risicoanalyse worden de risico's verbonden met de contextuele onzekerheden geanalyseerd en worden er maatregelen beschreven om de risico's te verminderen.

2.9.1 Contextuele onzekerheden

Volgende contextuele onzekerheden worden beschouwd:

- Onzekerheid gelinkt aan sociaal-politieke factoren met als mogelijk gevolg het vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie
- Verlies van knowhow met als mogelijke gevolgen slechte uitvoering van toekomstige activiteiten, vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie
- Wijzigingen van de activiteiten in de omgeving van de bergingsinrichting met als mogelijk gevolg dat het ontwerp van sommige installaties niet meer aangepast zou zijn aan de omgevingsrisico's
- Nieuwe wetenschappelijke inzichten over de omgevingsrisico's en kunstmatige barrières met als mogelijk gevolg dat het ontwerp van de berging niet meer aangepast zou zijn aan de risico's
- Wijzigingen qua productie en verwerking van categorie A-afval met als mogelijk gevolg een wijziging in het aantal benodigde modules
- Wijzigingen in het veiligheidskader met als mogelijk gevolg dat de bergingsinrichting niet langer in overeenstemming is met dit kader
- Gebrek aan resources en/of financiële middelen met als mogelijke gevolgen slechte uitvoering van toekomstige activiteiten, vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie.

2.9.2 Aanpak voor de risicoanalyse

Bij de appreciatie van de plausibiliteit wordt een kwalitatieve inschatting gemaakt:

- 1) Laag
- 2) Middelmatig
- 3) Aannemelijk.

Voor de evaluatie van radiologische consequenties baseren we ons op de mogelijke relatieve verhoging t.o.v. de dosisbeperking bij verwachte evolutie of de referentiewaarde voor onopzettelijke menselijke intrusies:

- 1) Laag = lager of gelijk aan de dosisbeperking of dosisreferentiewaarde
- 2) Middelmatig = tot een factor 10 hoger dan de dosisbeperking of dosisreferentiewaarde
- 3) Hoog = meer dan een factor 10 hoger dan de dosisbeperking of dosisreferentiewaarde.

We hanteren de risicomatrix uit Tabel 2-15.

Tabel 2-15: Risicomatrix voor de risicoanalyse van de contextuele onzekerheden

		Plausibiliteit		
		Laag	Middelmatig	Aannemelijk
Consequenties	Laag	D	D	D
	Middelmatig	D	C	B
	Hoog	C	B	A

De risicoklasse A is onaanvaardbaar: het systeem dient opnieuw bestudeerd te worden en aanvullende maatregelen dienen gedefinieerd te worden.

De risicoklasse B is ongewenst.

- Extra maatregelen om het risico te beperken zijn vereist
- In de procedures voor periodieke herziening dient voorzien te worden dat nagegaan wordt of extra maatregelen kunnen genomen worden.

De risicoklasse C is aanvaardbaar, maar in de procedures voor periodieke herziening dient voorzien te worden dat nagegaan wordt of extra maatregelen kunnen genomen worden. Extra maatregelen om het risico te verminderen zijn niet vereist, maar wel wenselijk indien ze eenvoudig zijn.

De risicoklasse D is aanvaardbaar. Er zijn geen extra maatregelen vereist maar wel wenselijk indien ze eenvoudig zijn.

2.9.3 Onzekerheid gelinkt aan sociaal-politieke factoren

De onzekerheid gelinkt aan sociaal-politieke factoren, namelijk de onzekerheid over continuïteit van de functies van de betrokken instanties.

Mogelijke gevolgen of risico's:

- Vroegtijdig verlaten van de berging en
 - ▶ Het slechts gedeeltelijk bergen van het daartoe voorziene afval
 - ▶ Niet of slechts gedeeltelijk aanleggen van de afdekking
 - ▶ Niet of slechts gedeeltelijk sluiten van de berging
- Het vroegtijdig sluiten van de installatie
- “Loss of records”
- Vroegtijdige onopzettelijke menselijke intrusie
- Verlies van knowhow (zie §2.9.4)
- Gebrek aan resources en/of financiële middelen (zie §2.9.9)

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met de

- Exploitatie van de inrichting door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid
- Financieringsmechanismen van NIRAS voor het langetermijnbeheer van het afval (fonds beheer op lange termijn impliceert dat de nodige financiële middelen beschikbaar zijn om de kosten van het beheer van radioactief afval op lange termijn te dekken, zie HS11 §11.2.3.3)
- Lokale maatschappelijke verankering van het bergingsproject waardoor er lokale maatschappelijke controle is op NIRAS en op de berging
- Controle op NIRAS door de veiligheidsautoriteit
- Vergelijkbare tijdsperiode van exploitatiefase Ia (50 jaar) met bestaande nucleaire klasse I inrichtingen (40 à 50 jaar),

is de geschatte plausibiliteit van vroegtijdig verlaten van de berging of “loss of records” door onzekerheid gelinkt aan sociaal politieke factoren en aan continuïteit van implementerende instantie tijdens de fase Ia, laag. Het vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie kan enkel optreden indien de volgende voorwaarden vervuld zijn:

- Implementerende instantie niet langer functioneel, ondanks het feit dat het gaat om een *openbare instelling*
- Fonds op Lange Termijn waaruit middelen zouden verdwijnen of dat niet voor de bestemde doelen gebruikt zou worden, ondanks alle voorziene maatregelen
- Een gelijktijdige afwezigheid van alle controlefuncties op NIRAS:
 - ▶ (Federale) voogdijoverheid
 - ▶ Lokale overheid en maatschappelijke context

► Veiligheidsautoriteit.

Rekening houdend met voorgaande elementen maar ook met de tijdsschalen voor fases Ib, II, III (start van fase Ib over ongeveer 50 jaar, einde fase III over ongeveer 350 jaar) kennen we een middelmatige plausibiliteit toe aan het verlaten van de installatie vanaf fase Ib.

Evaluatie van de consequenties: Indien het vroegtijdig sluiten correct uitgevoerd wordt en de installaties niet verlaten worden, zijn er geen extra consequenties.

Bij vroegtijdig verlaten van de site of “loss of records” kunnen er radiologische consequenties op lange termijn zijn: enerzijds kunnen onopzettelijke menselijke intrusies vroeger optreden, anderzijds kan het verlaten van de berging aanleiding geven tot afwezigheid van SSC's (niet of slechts gedeeltelijk aanleggen van de afdekking, niet of slechts gedeeltelijk sluiten van de berging) of snellere degradatie van de aarden afdekking (gebrek aan actief onderhoud van de afdekking) waardoor de geleidelijke uitloging versnelt.

- De consequenties van vroegtijdige onopzettelijke menselijke intrusies (referentiewaarde 3 mSv.a⁻¹) worden in HS11 §11.4 van het veiligheidsrapport behandeld
 - Op het einde van de exploitatiefase Ia (50 a) bedraagt de maximale impact enkele honderden mSv
 - Tijdens exploitatiefase Ib en de sluitingsfase II (50 – 100 jaar) bedraagt de maximale impact enkele tientallen mSv
 - Tijdens fase III bedraagt (100 – 350 jaar) bedraagt de maximale impact enkele mSv
- De mogelijke consequenties bij een uitlogingsscenario ten gevolge van het vroegtijdig verlaten van de site (dosisbeperking 0,1 mSv.a⁻¹)
 - De ingeschatte grootteorde van de impact is enkele mSv

Bepaling van het risico:

- Vroegtijdige sluiting: risicoklasse D
- Vroegtijdig verlaten van de site of “loss of records” en niet-sluiten:
 - Fase Ia: risicoklasse C
 - Fase Ib + II + III: risicoklasse C

Maatregelen om het risico te verminderen:

- Het plaatsen van de afdekking op een tumulus zo snel als redelijkerwijs mogelijk nadat deze met afval gevuld is
- Het plaatsen van monolieten met hogere activiteitsconcentratie onderaan in de modules
- Verderzetten van processen om blijvende lokale en nationale maatschappelijke steun te hebben voor de berging. Eén van de maatschappelijke voorwaarden voor de berging is het behoud van nucleaire expertise en archivering/overdracht/verdeling van informatie over de bergingsinrichting (§2.3.4)
- De toelating tot sluiting die van de veiligheidsautoriteit moet verkregen worden

2.9.4 Verlies van knowhow

Mogelijke gevolgen of risico's:

- Slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten
- Vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie

Dit kan mede in de hand gewerkt worden door gebrek aan resources en/of financiële middelen (zie §2.9.9).

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met

- De hoge graad aan werkzaamheden tijdens fase Ia, Ib en II,
- De exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid
- De opdracht van NIRAS om in samenspraak met de afvalproducenten programma's te bepalen voor toegepast onderzoek, ontwikkeling en demonstratie
- De lokale maatschappelijke verankering van het bergingsproject waardoor er lokale maatschappelijke controle is op de berging
- De controle door de veiligheidsautoriteit
- De maatregelen genomen met betrekking tot organisatiestructuur, beheer van nucleaire veiligheid, personeelsbezetting en deskundigheid (HS03), opleiding conform de vereisten voor klasse I inrichtingen (art.4 en 6 van [R2-3])
- Periodieke herzieningen die zullen uitgevoerd worden conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (art.14 van [R2-3])
- Het mee opnemen van toekomstige activiteiten (exploitatie, plaatsen afdekking, sluiting) in het veiligheidsrapport
- De vergelijkbare tijdspanne (50 tot 100 jaar) met bestaande nucleaire klasse I inrichtingen (40 à 50 jaar),

is de plausibiliteit van verlies van knowhow leidend tot het slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten, vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie tijdens fases Ia, Ib en II laag.

Rekening houdend met voorgaande elementen maar ook met de tijdsschalen voor fase III (start over ongeveer 100 jaar, einde over ongeveer 350 jaar) en de lage intensiteit qua werkzaamheden na sluiting kennen we een middelmatige plausibiliteit toe tijdens fase III.

Voor het behoud op lange termijn van de nodige expertise dienen volgende uitdagingen het hoofd geboden worden: lange tijdsperiode, lagere intensiteit qua exploitatie-activiteiten tijdens fase III, in de toekomst een mogelijke daling van tewerkstelling in de nucleaire brandstofcyclus in België (stopzetten activiteiten Belgonucleaire en FBFC, wet van 31 januari 2003 houdende de geleidelijke uitstap uit kernenergie voor nucleaire elektriciteitsproductie). Zoals beschreven in HS03 §3.4.1 streeft NIRAS naar een continuïteit in kennis via het expliciet voorzien van

- Aangepaste expertise voor de verdere realisatie van de bergingsinstallatie
- Informatieoverdracht naar toekomstige generaties.

Evaluatie van de consequenties:

Indien het vroegtijdig sluiten correct uitgevoerd wordt en de installatie niet verlaten wordt, zijn er geen extra consequenties.

Bij vroegtijdig verlaten van de site of slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten kunnen er radiologische consequenties op lange termijn zijn: enerzijds kunnen onopzettelijke menselijke intrusies mogelijk vroeger optreden, anderzijds kan het verlaten van de berging aanleiding geven tot afwezigheid van SSC's (niet of slechts gedeeltelijk aanleggen van de afdekking, niet of slechts gedeeltelijk sluiten van de berging) of snellere degradatie van de aarden afdekking (gebrek aan actief onderhoud van de afdekking) waardoor de geleidelijke uitloging versnelt. Voor de mogelijke radiologische consequenties verbonden aan deze scenario's, zie §2.9.3.

Bepaling van het risico:

- Vroegtijdige sluiting: risicoklasse D
- Slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten en vroegtijdig verlaten van de site:
 - ▶ Fase Ia: risicoklasse C
 - ▶ Fase Ib + II + III: risicoklasse C

Maatregelen om het risico te verminderen:

Zie §2.9.3 met daaraan toegevoegd:

- Tijdens constructie en exploitatie van de berging blijven uitvoeren van programma's voor toegepast onderzoek, ontwikkeling en demonstratie met betrekking tot de berging voor categorie A-afval te Dessel
- Uitvoeren van monitoring activiteiten tijdens fases Ia, Ib, II, III.

2.9.5 Wijzigingen aan activiteiten in de omgeving van de bergingsinrichting

Mogelijke gevolgen of risico's:

- Onverwachte maar mogelijke evoluties of gebeurtenissen in de omgeving zodat het ontwerp van sommige installaties niet meer aangepast zou zijn aan de omgevingsrisico's – dit kan mede in de hand gewerkt worden door gebrek aan resources en/of financiële middelen (zie §2.9.9).

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met:

- De exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid
- De lokale maatschappelijke verankering van het bergingsproject waardoor er maatschappelijke controle is op de berging en de omgeving
- De controle door de veiligheidsautoriteit
- De ontwerpbasis die gekend is, gedocumenteerd, gearhiveerd en bijgehouden wordt (hoofdstukken 7 en 8 van het veiligheidsrapport) om een beeld te geven van de bestaande installatie conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (art.7 van [R2-3])
- De ontwerpbasis die beoogt dat voorziene bedrijfsincidenten en ongevallen worden voorkomen conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (art.7 van [R2-3])
- De voorvallen van externe oorsprong die werden aangepast aan de berging en via het veiligheidsrapport (hoofdstuk 8) goedgekeurd worden door veiligheidsautoriteit conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (art.7 van [R2-3])
- De bergingsinstallatie die met marge ontworpen wordt zodat ze, zoveel als mogelijk weerstaat aan alle redelijkerwijze te voorziene externe gebeurtenissen, conform aan de FANC leidraad over de beschouwing van gebeurtenissen met externe oorsprong bij het ontwerp [R2-51]
- De periodieke herzieningen die zullen uitgevoerd worden conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (art.14 van [R2-3])
- De omkeerbaarheid die door de monolieten voorzien is in het bergingsconcept

is de plausibiliteit laag dat het ontwerp van de berging niet meer aangepast zou zijn aan de omgevingsrisico's bij onverwachte maar mogelijke evoluties of gebeurtenissen in de omgeving van de bergingssite.

Evaluatie van de consequenties:

Rekening houdend met:

- De maatregelen die getroffen worden om ervoor te zorgen dat de potentiële radiologische gevolgen voor de bevolking, de werkers en het leefmilieu zo laag als redelijkerwijze mogelijk worden gehouden – doelstelling om gevolgen van ongevallen te beperken indien ze niet kunnen worden voorkomen
- Het feit dat geen van de geïdentificeerde, onverwachte maar mogelijke evoluties of gebeurtenissen met een externe oorsprong tot onaanvaardbare radiologische gevolgen leidt (zie §2.8.8.3)

schatten we de eventuele consequenties als middelmatig tot laag in.

Bepaling van het risico: Risicoklasse D

Maatregelen om het risico te verminderen:

- Verderzetten van processen om blijvende lokale en nationale maatschappelijke steun te hebben voor de berging. Eén van de maatschappelijke voorwaarden voor de berging is het behoud van nucleaire expertise en archivering/overdracht/verdeling van informatie over de aanwezigheid van de bergingsinrichting (§2.3.4).
- Periodieke herziening van de activiteiten in de omgeving en van de ontwerpbasis

2.9.6 Nieuwe wetenschappelijke inzichten over omgevingsrisico's en kunstmatige barrières

Mogelijke gevolgen of risico's:

- Ontwerp van berging niet aangepast aan de risico's

Dit kan mede in de hand gewerkt worden door gebrek aan resources en/of financiële middelen (zie §2.9.9).

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met de:

- Het beheer van onzekerheden (§2.2.3.5),
- Het systeem voor analyse van voorvallen en ervaringsfeedback over de uitbating (Hoofdstuk 3) conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (art.11 van [R2-3])
- Periodieke herzieningen die zullen uitgevoerd worden conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (art.14 van [R2-3])
- Toepassing van best beschikbare technieken bij het ontwerp en constructie,

is de plausibiliteit laag dat de berging niet aangepast zou zijn aan de risico's bij nieuwe wetenschappelijke inzichten.

Evaluatie van de consequenties:

Rekening houdend met de maatregelen die getroffen worden om ervoor te zorgen dat de potentiële radiologische gevolgen voor de bevolking, de werkers en het leefmilieu zo laag als redelijkerwijze mogelijk worden gehouden – doelstelling om gevolgen van ongevallen te beperken indien ze niet kunnen worden voorkomen, schatten we de eventuele consequenties als middelmatig tot laag in.

Bepaling van het risico: Risicoklasse D

Maatregelen om het risico te verminderen:

- Tijdens constructie en exploitatie van de berging blijven uitvoeren van programma's voor toegepast onderzoek, ontwikkeling en demonstratie met betrekking tot de berging voor categorie A-afval te Dessel
- Beheer van onzekerheden
- Periodieke herzieningen
- Beheer van de ervaringsfeedback.

2.9.7 Wijzigingen qua productie en verwerking van categorie A-afval

Mogelijke gevolgen of risico's:

- Wijziging in het aantal benodigde modules

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met de:

- Exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid
- Afvalbeheeropdrachten van NIRAS stroomopwaarts aan de berging, in het bijzonder:
 - ▶ Het opmaken en up-to-date houden van een kwalitatieve en kwantitatieve inventaris van het radioactieve afval in België, met inbegrip van productievoorzichten inzake toekomstig afval (technische inventaris)
 - ▶ Het opstellen van acceptatiecriteria
 - ▶ Het erkennen van systemen voor de opslag, verwerking en conditionering van radioactief afval en apparatuur waarmee de radiologische kenmerken van het afval kunnen worden bepaald
 - ▶ De analyse van de naleving van acceptatiecriteria van het geconditioneerde en niet-geconditioneerde afval en de definitieve keuring ervan
 - ▶ Het verzamelen en evalueren van alle informatie die nodig is om programma's op te stellen voor het beheer van afval afkomstig van ontmantelingsactiviteiten
 - ▶ Het goedkeuren van ontmantelingsprogramma's
 - ▶ Het opstellen van een repertorium van de lokalisatie en de staat van alle nucleaire installaties en alle plaatsen die radioactieve stoffen bevatten, de raming van de kost van hun ontmanteling en sanering, de evaluatie van het bestaan en de toereikendheid van provisies voor de financiering van deze operaties, toekomstig of lopend, en de vijfjaarlijkse bijwerking van deze inventaris (inventaris van nucleaire passiva)
- Controle door de veiligheidsautoriteit op de berging en op vergunde nucleaire inrichtingen die afval produceren dat na conditionering tot categorie A behoort,
- Vereiste dat nucleaire exploitanten bij een nieuwe nucleaire vergunningsaanvraag de verbintenis moet aangaan om zich in te schrijven bij NIRAS en met deze instelling een overeenkomst af te sluiten betreffende het beheer van het geheel van de radioactieve afvalstoffen (art.6, 7 en 8 van het ARBIS [R2-1])
- Voorzichtige hypothesen qua hoeveelheid en activiteit van de totaliteit van het categorie A-afval in de operationele limieten en bergingslimieten die een bovengrens vormen van het bereik waarbinnen operationele limieten kunnen wijzigen om rekening te houden met toekomstige veranderingen van de inventaris – operationele limieten dienen steeds de dosisbeperking van $0,1 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$ te respecteren,
- Periodieke herzieningen die zullen uitgevoerd worden conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (art.14 van [R2-3])
- Mogelijkheid tot uitbreiding en wijziging van de bergingsinrichting en tot aanvullende voorwaarden en wijziging van de vergunningsvoorwaarden (art.12 en 13 van het ARBIS [R2-1])
- De reserve qua vooropgesteld aantal modules (HS06 §6.4.4.1)

is de plausibiliteit laag dat het aantal benodigde modules zal gewijzigd worden.

Evaluatie van de consequenties:

Rekening houdend met:

- De concentratielimieten per collo
- De concentratielimieten per module
- De sommatieregels zodat de heterogeniteit op niveau van monolieten, modules, groepen van de modules, tumulus beheerd kan worden (de sommatieregels zijn gebaseerd op de operationele limieten en dus op de inventaris en houden rekening met de hypothesen voor de uitlogingsscenario's)

schatten we de eventuele consequenties als laag in.

Bepaling van het risico: Risicoklasse D

Maatregelen om het risico te verminderen:

- Tijdens constructie en exploitatie van de berging blijven uitvoeren van programma's voor toegepast onderzoek, ontwikkeling en demonstratie met betrekking tot de berging voor categorie A-afval te Dessel.
- Beheer van onzekerheden
- Periodieke herzieningen
- Beheer van de ervaringsfeedback

2.9.8 Wijzigingen veiligheidskader

Mogelijke gevolgen of risico's:

- Inventaris en/of ontwerp van sommige installaties niet aangepast aan de risico's

Dit kan mede in de hand gewerkt worden door gebrek aan resources en/of financiële middelen (zie §2.9.9).

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met de:

- Exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid
- Robuustheid van het ontwerp
- Periodieke herzieningen die zullen uitgevoerd worden conform de vereisten voor nucleaire klasse I inrichtingen (art.14 van [R2-3])
- Internationale aanbevelingen van IAEA, NEA en ICRP die proactief reeds in rekening gebracht werden, naast de leidraden en nota's van het FANC en wetgeving (KB's, wetten)
- Controle door de veiligheidsautoriteit

is de plausibiliteit laag dat door wijzigingen aan het veiligheidskader, de inventaris en het ontwerp van de berging niet aangepast zouden zijn aan de risico's.

Evaluatie van de consequenties:

Er wordt geen toename van radiologische gevolgen verwacht als gevolg van wijzingen van het veiligheidskader.

Bepaling van het risico: Risicoklasse D

Maatregelen om het risico te verminderen:

- Tijdens constructie en exploitatie van de berging blijven uitvoeren van programma's voor toegepast onderzoek, ontwikkeling en demonstratie met betrekking tot de berging voor categorie A-afval te Dessel, inclusief proactieve opvolging van nationale en internationale veiligheidsaanbevelingen

2.9.9 Gebrek aan resources en/of financiële middelen

Mogelijke gevolgen of risico's:

- Het slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten, vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie, of “loss of records”
- Verlies van knowhow (zie §2.9.4)
- Geen rekening kunnen houden met wijzigingen aan activiteiten in de omgeving van de bergingsite (zie §2.9.5)
- Geen rekening kunnen houden met nieuwe wetenschappelijke inzichten over omgevingsrisico's en kunstmatige barrières (zie §2.9.6)
- Geen rekening kunnen houden met wijzigingen qua productie en verwerking van categorie A-afval (zie §2.9.7)
- Geen rekening kunnen houden met wijzigingen veiligheidskader (zie §2.9.8)

Appreciatie van de plausibiliteit:

Rekening houdend met

- De exploitatie door NIRAS als openbare instelling onder controle van de federale voogdijoverheid
- De financieringsmechanismen van NIRAS voor het langetermijnbeheer van het afval (fonds beheer op lange termijn impliceert dat de nodige financiële middelen beschikbaar zijn om de kosten van het beheer van radioactief afval op lange termijn te dekken, zie HS11 §11.2.3.3)
- Het mee opnemen van toekomstige activiteiten (exploitatie, plaatsen afdekking, sluiting) in het veiligheidsrapport

is de geschatte plausibiliteit dat door gebrek aan resources en/of financiële middelen toekomstige activiteiten slecht uitgevoerd zouden worden, er vroegtijdig gesloten zou worden of de installatie vroegtijdig verlaten zou worden tijdens fase Ia laag. Het vroegtijdig sluiten of verlaten van de installatie kan enkel optreden indien alle volgende voorwaarden vervuld zijn:

- Implementerende instantie niet langer functioneel, ondanks het feit dat het gaat om een *openbare instelling*
- Fonds op Lange Termijn waaruit middelen zouden verdwijnen of dat niet voor de bestemde doelen gebruikt zou worden, ondanks alle voorziene maatregelen
- Een gelijktijdige afwezigheid van alle controlefuncties op NIRAS:
 - ▶ (Federale) voogdijoverheid,
 - ▶ Lokale overheid en maatschappelijke context,
 - ▶ Veiligheidsautoriteit.

Rekening houdend met voorgaande elementen maar ook met de tijdsschalen voor fases Ib, II, III (start van fase Ib over ongeveer 50 jaar, einde fase III over ongeveer 350 jaar) kennen we een middelmatige plausibiliteit toe aan het verlaten van de installatie vanaf fase Ib.

Evaluatie van de consequenties: Zie §2.9.4, §2.9.5, §2.9.6, §2.9.7 en §2.9.8.

Bepaling van het risico:

- Slecht uitvoeren van toekomstige activiteiten en vroegtijdig verlaten van de site:
 - ▶ Fase Ia: risicoklasse C
 - ▶ Fase Ib + II + III: risicoklasse C
- Anders: risicoklasse D

Maatregelen om het risico te verminderen:

Om het risico te verminderen:

- Verderzetten van processen om blijvende lokale en nationale maatschappelijke steun te hebben voor de berging
- Financieel beheer door de centrale administratie NIRAS (HS03 §3.3) en financiering van de berging via een specifiek fonds op lange termijn (HS11 §11.2.3.3)

2.10 Synthese van argumenten die het vertrouwen in de veiligheid ondersteunen – conclusies

2.10.1 Synthese van de veiligheidsargumenten

De veiligheid van de berging zal uiteindelijk berusten op:

- 1) Een veiligheidsstrategie die in overeenstemming is met de radiologische risico's verbonden aan het afval
- 2) Een ontwerp van de berging dat in gelaagde bescherming voorziet en geoptimaliseerd werd qua veiligheid
- 3) Veiligheidsevaluaties
- 4) Verificatie dat de componenten van de berging en het afval dat geborgen wordt in overeenstemming zijn en blijven met de veiligheidsstrategie, het ontwerp en de veiligheidsevaluaties.

2.10.1.1 Controles op het afval

Afval dat in aanmerking komt voor oppervlakteberging moet aan strikte voorwaarden en criteria voldoen, zowel qua radiologische als fysicochemische inhoud. Meer bepaald moet de activiteit van langlevende radionucliden aanwezig in het afval voor oppervlakteberging zo klein als mogelijk zijn. Deze beperking wordt als volgt toegepast:

- Criteria qua hoeveelheid splijtstoffen en kritikaliteit
- Activiteitsbeperking via een systeem van radiologische limieten op verschillende niveaus (afvalcollo, monoliet, module, groepen van modules en tumulus)
- Wering van Ra/Th uit de berging.

Het afval moet ook fysische en chemische eigenschappen bezitten die het vrijkomen van radionucliden uit het afval beperken en die geen problemen kunnen geven wat betreft stabiliteit of performantie van barrières. Daartoe worden conformiteitscriteria opgelegd in verband met cellulose, chloride, sulfaten, alkali-silica reacties en vertraagde ettringietvorming. Daarnaast worden putrificeerbare stoffen en complexerende agentia in het afval zoveel als mogelijk beperkt. Gevolgen van menselijke fouten worden bovendien geminimaliseerd doordat de afvalkarakteristieken door meerdere personen en diensten bekeken worden in het afvalacceptatiesysteem (erkenningen, afvalacceptatie) en daarna in het kader van de productie van monolieten en van de eigenlijke berging.

Voordat afval geborgen wordt, zal er geverifieerd worden dat er voldaan is aan de van toepassing zijnde conformiteitscriteria:

- Alvorens afvalcolli in aanmerking kunnen komen voor de berging, en dus afgevoerd kunnen worden naar de installatie voor productie van monolieten (IPM) voor conditionering tot monolieten, moet er voor de afvalfamilie waartoe deze colli behoren een conformiteitsdossier opgesteld worden waarin aangetoond wordt dat dit afval a priori aanvaardbaar is.
- Er wordt een opvulplan van de berging opgesteld in verschillende fases voor de start van fabricatie van de monolieten. Daarbij wordt een volledige virtuele vulling van vier modules gemaakt, inclusief de plaats van de monolieten in de berging en welke colli gecombineerd worden in één monoliet.

- ▶ De input van het opvulplan zijn de afvalcolli die via een conformiteitsdossier in aanmerking komen voor de berging.
- ▶ In het opvulplan wordt er rekening gehouden met beperkingen van activiteit en van heterogeniteit over monolieten, modules, groepen van modules en tumulus om de langetermijnveiligheid te verzekeren.
- ▶ Om de operationele veiligheid te verzekeren wordt er tijdens de opvulling van een module ook rekening gehouden met beperkingen qua dosistempo op contact van monolieten en van de bovenste laag van monolieten.

Bij het fabriceren van de monolieten en het bergen van het afval zal de overeenstemming met het opvulplan en de conformiteitscriteria worden nagegaan. Er zijn verificaties en controles voorzien tijdens de verschillende stappen in het proces van productie van caissons, transport van colli naar IPM, productie van monolieten, plaatsen in de outputbuffer van IPM, destockage uit de outputbuffer van IPM en transport naar de berging. Fysieke controles op de afvalcolli bestaan onder andere uit identificatie, visuele controle, gewichtscontrole, controle op oppervlaktebesmetting en dosisdebië, en aanvullende destructieve en niet-destructieve testen.

2.10.1.2 Performante barrières rond het afval

De bergingscomponenten rondom het afval implementeren de veiligheidsstrategie en zijn compatibel met het afval. De veiligheidsstrategie bestaat erin het afval af te zonderen, zodat contact tussen radioactief afval en de biosfeer (inclusief de mens) voorkomen wordt, en om de radionucliden in het afval in te sluiten binnen de berging, zodat het vrijkomen van radionucliden belet en beperkt wordt.

2.10.1.2.1 Radiologische bescherming tijdens de operationele periode

Tijdens de operationele periode zitten de radionucliden in de monolieten ingesloten door de karakteristieken van het afval en door de opvulmortal en caisson. Externe straling wordt beperkt door verschillende afschermingen rondom het afval: de betonnen caisson, de transportcontainer, betonnen afschermingsplaten die bovenop monolieten geplaatst worden in de berging en door de modules. De modulewanden en de combinatie structurele topplaat + afschermingsplaten hebben een dikte van ongeveer 70 cm. Blootstelling door externe straling wordt ook beperkt door begrenzingen op het dosisdebië op contact van individuele monolieten en gemiddeld per laag van monolieten binnen de modules. Blootstelling wordt ten slotte beperkt door maximalisatie van de afstand tussen de bron en werknemers en beperkingen van interventietijd, onder andere door een zonering binnen de bergingsinrichting en het toepassen van afstandsbediende processen/handelingen. De bevolking wordt beschermd door de afstand van 70 m tussen de modules en de perimeter van de site, en door de begrenzing van het dosisdebië gemiddeld per laag van monolieten binnen de modules. Het afval wordt afgezonderd door het beperken van de toegang tot de site en de fysieke barrières rondom het afval, met name de modules en de caissons.

2.10.1.2.2 Radiologische veiligheid op de lange termijn

Op lange termijn steunt de veiligheid op de (passieve) insluitings- en afzonderingscapaciteit van de bergingsinstallatie.

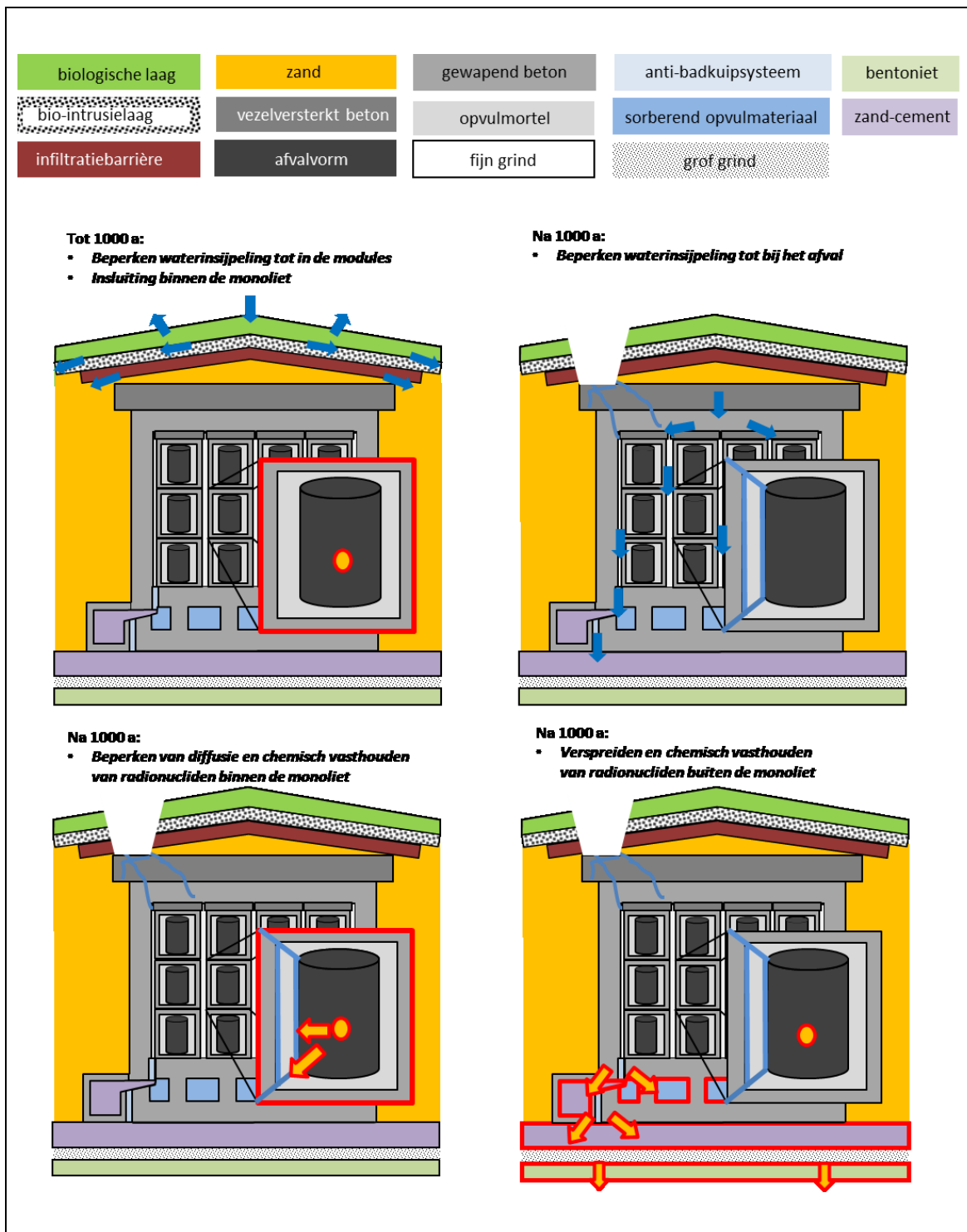
De *strategie voor afzondering*, gedefinieerd als het resultaat van de acties met het oog op het voorkomen van contact tussen radioactief afval en de biosfeer, omvat:

- Beperken van de toegang tot de site tot het opheffen van nucleaire reglementaire controle na 350 jaar.
- Toepassing van activiteitslimieten zodat de radiologische impact bij accidenteel contact tussen het radioactieve afval en mens en omgeving na het opheffen van de nucleaire reglementaire controle aanvaardbaar zal zijn.
- Het voorzien van meerdere duurzame intrusiebarrières rond het afval, *i.e.* componenten met eigenschappen die afzondering bevorderen door hun hoeveelheid/dikte van barrièremateriaal, samenstelling en mechanische eigenschappen. Het veiligheidsconcept beschouwt de invulling van veiligheidsfunctie I1 “Beperken van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie” in termen van kunstmatige barrières op vier niveaus:
 - ▶ Een robuust ontworpen afdekking, bestaande uit bodem, steen-, zand- en kleilagen met een totale dikte van 4,45 m en een 70 cm dikke ondoorlatende topplaat uit vezelversterkt beton
 - ▶ Moduledak uit gewapend beton met een dikte van 40 cm
 - ▶ Modulewanden uit gewapend beton met een dikte van 70 cm
 - ▶ Een caisson uit gewapend beton (wanddikte 12 cm), die, eens gevuld met afval en opvulmortel, een massieve monoliet vormt.

Bijkomend wordt door opvulling van de inspectieruimten en inspectiegalerijen intrusie van onderuit vermeden.

Na het stopzetten van de toegangscontrole op 350 jaar kan een direct contact tussen het afval en de biosfeer niet uitgesloten worden. Oorzaken van een direct contact kunnen in principe zowel een onopzettelijke menselijke intrusie zijn (zoals bv. graaf- of boorwerken doorheen het barrièremateriaal), als het bloot komen te liggen van het afval. Door het erosieresistente ontwerp van de afdekking in zijn geheel, en de ongevoeligheid voor erosie van de vezelversterkte topplaat in het bijzonder, wordt niet verwacht dat het afval bloot zal komen te liggen door erosie voor 2 000 jaar. Enkel in het zeer onwaarschijnlijke geval van een val van een groot passagiersvliegtuig op de bergingsinstallatie zou er, door de diepte van de impactkrater, een direct contact mogelijk zijn tussen afval en biosfeer. De veiligheidsevaluatie bevestigt de aanvaardbaarheid van de impact voor zowel de scenario's van onopzettelijke menselijke intrusie als voor directe blootstelling bij het scenario van een vliegtuigval.

De *strategie voor insluiting*, gedefinieerd als het resultaat van acties met het oog op het beletten en beperken van het vrijkomen van radionucliden uit een beperkte ruimte, bestaat erin om gedurende ongeveer 1 000 jaar zoveel als mogelijk het vrijkomen van radionucliden te voorkomen en daarna het vrijkomen van de rest-radiotoxiciteit te spreiden in de tijd. Het tijdsbestek voor de insluitingsstrategie steunt op de mate van afname van de radiotoxiciteit van het voorziene afval door natuurlijk verval.



Figuur 2-17: Insluiting door het bergingssysteem

Insluiting wordt als volgt verkregen (Figuur 2-8):

- Tot ~1 000 jaar wordt zoveel als mogelijk waterinsijpeling in de modules verhinderd. De aarden afdekking zorgt voor laterale afwatering boven de modules en legt ingegraven omstandigheden op aan de vezelversterkte ondoorlatende topplaat en onderliggende modules zodat deze quasi niet onderhevig zijn aan degradatieprocessen (vries-dooi cycli en carbonatie). De modulewanden hebben een lage hydraulische geleidbaarheid zodat ook aan de zijkant waterinsijpeling tot in de modules vermeden wordt. De bergingsinstallatie bevindt zich boven de grondwatertafel op een niet-overstromingsgevoelige locatie en capillaire opstijging wordt vermeden door het ontwerp.
- Tot ~1 000 jaar wordt het vrijkomen van radionucliden uit de berging voorkomen. Door kwaliteitsborging bij productie en meerdere, onafhankelijke controles op de conformiteit wordt verwacht dat de primaire colli over het algemeen in goede staat zullen zijn bij berging, waardoor zij een hoge insluitingsgraad bieden voor radionucliden zolang ingegraven omstandigheden (anoxisch, weinig beschikbaar water) heersen. Ook sorptie op uitgeharde cement in de conditioneringsmatrix, het afval en de betonnen afschermingen in de afvalcolli draagt bij tot een beperking van het vrijkomen. De beperkte fractie van radionucliden die toch zou vrijkomen uit het afval kan slechts zeer traag migreren door de beperkte diffusie en de sorptie op cement in de monoliet, modulewanden, ondoorlatende topplaat en ondersteunende plaat.
- Na ~1 000 jaar wordt waterinsijpeling tot bij het afval zelf nog steeds beperkt: Na ~1 000 jaar²⁸ kunnen, door erosie van de afdekking en eventuele aardbevingen, de ondoorlatende topplaat, modulewanden en monolieten lokaal worden blootgesteld aan atmosferische omstandigheden. Dit zal carbonatie en vries-dooicycli initiëren, waardoor na verloop van tijd een netwerk van doorgaande scheuren in het beton kan ontstaan. De enorme massa aan grond, zand en klei in de aarden afdekking kan niet gemakkelijk volledig verdwijnen en vegetatie op restanten van de afdekking zal nog steeds bijdragen aan evapotranspiratie. Water dat toch in de modules zou insijpelen, zal door voorzieningen in het ontwerp (afschermingsplaten die de monolietstapels overkappen, gootjes in de monolietwanden, het conductieve opvulmateriaal in de tussenruimtes, de conductieve grout in de inspectieruimtes en de maatregelen tegen het badkuipeffect) nog steeds weggeleid worden van het afval en verticale drainage langsheen de monolieten wordt bevorderd zodat de fractie van de waterstroming die in contact kan komen met afval zo laag als mogelijk wordt gehouden.
- Na ~1 000 jaar wordt het vrijkomen van radionucliden uit de berging nog steeds beperkt. Enerzijds wordt, in een gedegradieerd systeem, de migratie van radionucliden *naar* de doorgaande scheuren/tussenruimtes nog zoveel als mogelijk beperkt, voornamelijk door sorptie op cement en beperkte diffusie in de betonmatrix en opvulmortel. Anderzijds worden radionucliden, die toch doorgaande scheuren/tussenruimtes bereiken en vandaar advection/dispersief verder migreren, zoveel als mogelijk geïntercepteerd door de voorziene *conductieve sorberende* materialen in de modulebasis, de inspectiegalerijen en de funderingen.

²⁸ Formeel kan niet uitgesloten worden dat een beperkt gedeelte van de bergingsinstallatie vroeger begint te degraderen. Hiermee wordt rekening gehouden in de veiligheidsevaluatie.

2.10.1.2.3 Een optimaal bergingsontwerp

Om te garanderen dat het concept/ontwerp de best mogelijke bescherming biedt op basis van de huidige kennis en technieken, en binnen de huidige economische context, werden bepaalde componenten van het ontwerp geoptimaliseerd, waarbij aan de hand van een systematische optimaliseringsoefening het optimale karakter werd nagegaan. Daarbij werden alternatieve beschermingsopties afgewogen ten opzichte van attributen zoals performantie, duurzaamheid, snelheid van realisatie van passieve maatregelen, gelaagde bescherming, aantoonbaarheid en operationele veiligheid. Op basis van deze afwegingen werden optimale ontwerpen geselecteerd.

Optimalisering zal verdergezet worden tijdens de volledige levensduur van de berging. Dat kadert in een veiligheidsbeleid dat erop gericht is om de nucleaire veiligheid continu te proberen verbeteren. Bij periodieke veiligheidsherzieningen zullen nieuwe inzichten uit nationale en internationale onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's en de ervaringsfeedback geëvalueerd worden en, indien ze aanleiding geven tot mogelijke verbeteringen aan het ontwerp van toekomstige delen van het bergingssysteem, geïntegreerd worden. Het modulaire karakter van de berging (modules en monolieten) en het stapsgewijs realiseren van de totale berging vergemakkelijkt het in rekening brengen van ervaringsfeedback en de continue verbetering van de veiligheid.

2.10.1.2.4 Weerstand tegen bedreigingen

Verwachte en niet-verwachte, maar mogelijke bedreigingen voor de performantie/duurzaamheid van de SSC's werden systematisch geïdentificeerd en geanalyseerd. Een aantal bedreigingen kunnen vermeden worden door:

- De eigenschappen van de bergingslocatie, in het bijzonder wat betreft stabiliteit, overstromingsrisico en risico op menselijke intrusie (afwezigheid van minerale bronnen, hoge tumuli die putboringen onwaarschijnlijk maken)
- De materiaalkeuzes voor de SSC's:
 - ▶ Cement met een laag alkaligehalte vermindert de hoeveelheid alkali en de keuze van kalkhoudende aggregaten vermindert de hoeveelheid silica waardoor het risico op alkali-aggregaat reacties geminimaliseerd wordt
 - ▶ De keuze van een cement met beperkte hydratatiewarmte voor de modules beperkt de toename van temperatuur in de modulewand en voorkomt zo scheuren door hydratatiewarmte
 - ▶ De keuze van specifieke op naftaleensulfonaat en op polycarboxylaat gebaseerde superplastificeers vermijdt complexering van radionucliden
 - ▶ Door de compatibiliteit van materialen onderling (en met het afval) te verzekeren worden interne verstoringen in de mate van het mogelijke vermeden
 - ▶ De selectie van een pyriet/sulfaat-arme klei in de aarden afdekking zal de externe sulfaataantasting (met inbegrip van thaumasiet sulfaataantasting) uitsluiten als potentieel degradatiemechanisme van het onderliggende beton
 - ▶ De materiaalkeuze houdt rekening met brandrisico en risico op mogelijke gasproductie in het bergingssysteem

- De afdekking, die onderliggende SSC's zolang mogelijk beschermt tegen atmosferische (degradatie)processen
- Gebruik van specifieke en beheerste technieken en controles bij constructie
- Verificaties van de radiologische en fysicochemische karakteristieken van het afval.

Sommige bedreigingen kunnen niet vermeden worden. Een aantal van deze bedreigingen bepalen de ontwerpvereisten van de barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen zodat deze hun prestatie zullen behouden als ze belast worden. In hoofdzaak:

- Is de afdekking robuust door het erosieresistente ontwerp van de bio-intrusielag, de grote massa aan materiaal, de stabiliteit bij aardbevingen en de aanwezigheid van de ondoorlatende topplaat uit vezelversterkt beton²⁹, die daardoor ongevoelig is voor erosie en scheurvorming door carbonatatie
- Is er een aanzienlijke marge in de wapeningsdekking voor de componenten uit klassiek gewapend beton, rekening houdend met de te verwachten carbonatatiesnelheid
- Is er een aanzienlijke marge in weerstand tegen ontwerpaardbevingen voor de belangrijkste betonnen componenten, aangezien seismische modellen geen of weinig schade berekenen voor aardbevingen die veel zwaarder zijn dan deze beschouwd in het ontwerpproces (DBE350, aardbeving met terugkeerperiode 8 575 jaar):
 - ▶ Geen verlies aan prestatie voor de ondoorlatende topplaat, monolieten en afschermingsplaten bij berekeningen voor een aardbeving met terugkeerperiode 20 000 jaar
 - ▶ Beperkte lokale scheuren in de modulewanden, die niet doorgaand zijn, en dus geen onmiddellijke invloed op de waterstroming hebben, bij berekeningen voor een aardbeving met terugkeerperiode 20 000 jaar.

Hieraan kan toegevoegd worden dat uit onderzoek op bestaande betonstructuren blijkt dat ingegraven beton nauwelijks aan carbonatatie onderhevig is, en dat praktijkvoorbeelden tonen dat beton dat naar behoren werd aangemaakt een duurzaam materiaal kan zijn, zelfs in zeer ongunstige (atmosferische, mariene) omstandigheden.

Voor niet verwachte, maar mogelijke bedreigingen die niet in rekening gebracht werden bij de bepaling van de ontwerpvereisten, en die geïdentificeerd werden in de scenario-ontwikkeling, werd systematisch de complementariteit en onafhankelijkheid van barrières en veiligheidsfuncties geëvalueerd, zowel voor afzondering als insluiting en voor alle relevante radionuclidentrajecten. Uit de evaluatie blijkt dat er steeds onafhankelijke combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties zijn, m.a.w. verschillende combinaties van barrières en veiligheidsfuncties die niet gezamenlijk falen bij een bedreiging. Voor elk mogelijk radionuclidentraject zijn er ook steeds complementaire SSC's beschikbaar, *i.e.* SSC's die de functionaliteit of prestatie van een andere SSC, of een gedeelte ervan, overnemen wanneer deze wegvalt.

In het bijzonder blijkt uit de veiligheidsevaluaties dat bij een onverwacht vervroegd optreden van de degradatie (door een vroege aardbeving, val van een militair vliegtuig, versnelde erosie en extreme erosie) de impact slechts in beperkte mate stijgt, hetgeen erop duidt dat de insluitingsprestatie van de

²⁹ Er worden daarvoor staalvezels gebruikt, type Dramix of equivalent. Er zijn geen klassieke wapeningsstaven voorzien.

aarden afdekking, ondoorlatende topplaat, modulewanden en ondersteunende plaat, en niet gescheurde monolieten in de periode voor 1 000 jaar bijna volledig gecompenseerd worden door:

- De vezelversterkte afschermingsplaten en afwatering binnen de module die de waterinsijpeling tot bij het afval zelf en dus het vrijkomen van radionucliden uit het afval beperken
- Het afval en de monoliet die zorgen voor een beperking van diffusie en het chemisch vasthouden van radionucliden binnen de monoliet, zodat slechts een beperkte fractie van radionucliden in scheuren of de tussenruimte vrijkomt
- Het opvulmateriaal in de inspectieruimte en het zand-cement in de inspectiegalerij en de funderingen die zorgen voor het verspreiden en chemisch vasthouden van radionucliden die uit de monolieten vrijgekomen zijn.

Ook bij (onwaarschijnlijke) bedreigingen die leiden tot nog extremere degradaties (vroeg en zware aardbeving, val van een groot passagiersvliegtuig) duiden de berekende impacts erop dat een deel van de insluitingsperformantie behouden blijft. In een gedegradiseerd systeem, waarbij er ook meer waterinsijpeling zou zijn tot bij het afval, blijft het vrijkomen van radionucliden uit de monoliet nog enigszins beperkt door het beperkte vrijkomen uit het afval, het chemisch vasthouden van radionucliden in de opvulmortel en caisson, en de beperkte diffusie binnen de monoliet. De fractie van radionucliden die uit de monolieten zou vrijkomen, wordt ten slotte verder verspreid en chemisch vastgehouden in de conductieve sorberende materialen in de inspectieruimte, de inspectiegalerij en de funderingen: componenten die in geen enkel plausibel evolutiescenario onderhevig zijn aan degradatie.

Een laatste mogelijke bedreiging is de aanwezigheid van niet-gedetectedeerde complexanten in de afvalvorm. In dit geval wordt de lokale aantasting van sorptiegerelateerde veiligheidsfuncties gedeeltelijk overgenomen door het beperken van de waterinsijpeling tot bij het afval en door het beperken van diffusie. De beperkte impactstijging duidt er ook hier op dat de insluitingsperformantie grotendeels behouden blijft.

Bovendien kan bij een onopzettelijke intrusie niet alleen de afzonderingscapaciteit, maar ook de insluitingscapaciteit van de bergingsinstallatie aangetast zijn. De veiligheidsevaluatie houdt rekening met verstoringen op verschillende schalen: een lokale verstoring (doorboring van een stapel monolieten met een bypass van de conductieve sorberende materialen in de modulebasis en de funderingen) en een grootschalige verstoring (afgraving van de afdekking, schade aan het bovenste gedeelte van de betonnen structuren, en versnelde degradatie van de onderliggende structuren). Ook voor deze gevallen werd de aanvaardbaarheid van de impact bevestigd.

2.10.1.3 Vertrouwen in de veiligheidsevaluaties

2.10.1.3.1 Een wetenschappelijk gefundeerde evaluatiebasis

Bij het vastleggen van de evaluatiebasis, waarop de veiligheidsevaluaties steunen, is er rekening gehouden met relevante beschikbare nationale en internationale kennis en zijn, waar nodig, nieuwe gegevens ingezameld voor de oppervlakteberging van categorie A-afval te Dessel. Om alle pertinente internationaal beschikbare kennis over sorptiewaarden op cementgebonden materialen en over het optimale ontwerp van aarden afdekkingen op te nemen in de evaluatiebasis werden er internationale expert-panels georganiseerd. De performantie, robuustheid van performantie, degradatiemechanismen en eventuele gevolgen van degradatie van het specifieke beton voor modules en caissons werden in meer

detail bestudeerd ter aanvulling van de literatuurgegevens. Zo werden de snelheid en effecten van atmosferische carbonatatie bestudeerd en gemeten, en werd een studie gemaakt naar de waterstromingspatronen in de berging en de tijd nodig tot saturatie van de modules en monolieten, rekening houdend met het mogelijke effect van spleten en scheuren.

2.10.1.3.2 Betrouwbare modellen

De modellen gebruikt in de veiligheidsevaluatie hebben een proces van kwalificatie, verificatie en validatie (QVV) gevolgd. Het is belangrijk om te vermelden dat het potentieel voor validatie in het algemeen beperkt is, gegeven de betrokken tijdschalen. De focus van het QVV proces ligt op de kwalificatie en verificatie van modellen/codering. Het kwalificatieproces verzekert dat de conceptuele modellen in overeenstemming zijn met de wetenschappelijke kennis binnen de evaluatiebasis en een adequate weergave vormen van de beschouwde fenomenen en processen (waterstroming, diffusief en advectief/dispersief radionuclidentransport, relevante processen in de geochemische/fysische evolutie van het bergingssysteem) en interacties daartussen. Het verificatieproces werd uitgevoerd op drie niveaus: verificatie van het wiskundige model, verificatie van de codering, en verificatie van het computermodel.

2.10.1.3.3 Beheer van onzekerheden

Onzekerheden zijn systematisch beheerd. Contextuele onzekerheden (mogelijke toekomstige wijzigingen aan bestaande gegevenheden) worden beheerd door de iteratieve toepassing van de veiligheidsbenadering, waarin eventuele wijzigingen geïdentificeerd en geëvalueerd worden en waarin een risicoanalyse uitgevoerd wordt. De technische/wetenschappelijke onzekerheden geassocieerd met het bergingssysteem en zijn omgeving worden behandeld in de langetermijnveiligheidsevaluaties. Onzekerheden betreffende karakteristieken, gebeurtenissen en processen die de initiële toestand of evolutie van het bergingssysteem bepalen worden geïdentificeerd, gekarakteriseerd en geanalyseerd naar relevantie voor de veiligheid, op basis van gevoeligheids- en onzekerheidsanalyses. Deze die relevant zijn voor de veiligheid worden vervolgens behandeld in de veiligheidsevaluaties, waarbij men zich bij voorkeur conservatief instelt ten opzichte van de onzekerheden zodat de potentiële radiologische impacts niet onderschat worden. Een onderscheid wordt gemaakt tussen scenario-, model- en parameteronzekerheden. Het doel van scenario-ontwikkeling is de afbakening van een beperkt aantal scenario's die voldoende representatief en/of omhullend zijn voor de mogelijke toekomstige toestanden van het systeem:

- Het verwachte evolutiescenario (EES) beoogt een zo representatief mogelijke voorstelling te vormen van de fenomenologisch verwachte evolutie(s) en de onzekerheden binnen de verwachte evolutie(s). De effecten van de onzekerheden binnen de verwachte evolutie worden omhuld in het referentiescenario (RS) waarvoor er nagegaan wordt dat de impact aanvaardbaar is.
- Met de alternatieve evolutiescenario's (AES) wordt er nagegaan dat de impact en/of het risico aanvaardbaar zijn voor niet verwachte maar mogelijke evoluties.
- Met gestileerde menselijke intrusiescenario's, waarvoor het omhullend karakter beargumenteerd wordt, wordt er nagegaan dat de impact aanvaardbaar is bij onopzettelijke menselijke intrusie.
- Na enkele duizenden jaren wordt het moeilijk om het oppervlaktebergingssysteem en zijn mogelijke evolutie eenduidig af te lijnen. De performantie van het bergingssysteem kan daardoor niet langer gegarandeerd worden. Deze onzekerheden worden behandeld in de Penaliserende Scenario's, waarvoor het omhullend karakter beargumenteerd wordt, en waarin nagegaan wordt dat de impact van de rest-radiotoxiciteit na enkele duizenden jaren aanvaardbaar is.

2.10.1.3.4 Resultaten

De resultaten van de veiligheidsevaluaties bevestigen dat, rekening houdend met alle relevante onzekerheden en binnen het huidige toepassingsgebied, de ingeschatte radiologische impacts te allen tijde in overeenstemming zijn met de geldende criteria.

- Voor de operationele periode:
 - ▶ De radiologische impacts onder normale bedrijfsomstandigheden liggen lager dan de dosisbeperkingen van 10 mSv per 12 glijdende maanden voor de werknemers en van $0,1 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$ voor het publiek. Werknemers kunnen maximaal slechts aan een kleine fractie van de dosisbeperking blootgesteld worden ($<0,4 \text{ mSv}$ per 12 glijdende maanden).
 - ▶ De risicoanalyse waarin incidentele en accidentele situaties van interne en externe oorsprong geëvalueerd werden toont in voorkomende gevallen steeds beperkte radiologische gevolgen voor werknemers ($< 1 \text{ mSv}$) en beperkte radiologische gevolgen voor het publiek ($<0,1 \text{ mSv}$).
- Voor de lange termijn:
 - ▶ De radiologische impact voor het referentiescenario is kleiner dan de dosisbeperking van $0,1 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$.
 - ▶ Het globale risico voor de alternatieve evolutiescenario's is kleiner dan het globale risicocriterium van 10^{-5} a^{-1} .
 - ▶ De radiologische impacts voor de scenario's van onopzettelijke menselijke intrusie respecteren de referentiewaarde van $3 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$.
 - ▶ De radiologische impacts voor de penaliserende scenario's leiden tot een aanvaardbare impact ten opzichte van de referentiewaarde van $3 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$.
 - ▶ De activiteit die potentieel in de omgeving vrij kan komen veroorzaakt geen significante verhoging van de radioactiviteit of radiotoxiciteit die van nature aanwezig is op een regionale schaal.
 - ▶ Water uit een waterput nabij de berging voldoet aan de kwaliteitsvoorwaarden van water bestemd voor menselijke consumptie volgens het KB van 31 mei 2016 [R2-27], *i.e.* de som van de ingestiedosis afkomstig van de berging en de achtergrond dosis voor het putwater ligt lager dan $0,1 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$.

2.10.2 Het NIRAS-programma qua verder onderzoek, ontwikkeling en demonstratie

Het NIRAS-programma qua verder onderzoek, ontwikkeling en demonstratie heeft tot doel om onopgeloste problemen aan te pakken en om de veiligheid verder te optimaliseren. Met het onderzoeksprogramma en het voorziene monitorings- en toezichtsprogramma wil NIRAS:

- 1) De bergbaarheid van bepaalde afvalfamilies aantonen/verifiëren en nagaan of er bijkomende beheersmaatregelen nodig zijn:
 - ▶ Bepaalde afvalfamilies zoals afval geconditioneerd in bitumen- en polystyreenmatrices zijn nog niet gedekt door een veiligheidsevaluatie en specifieke conformiteitscriteria voor de oppervlakteberging te Dessel. Dergelijk afval kan slechts in aanmerking komen voor oppervlakteberging in Dessel indien er een update uitgevoerd wordt van de conformiteitscriteria in het veiligheidsrapport en de conformiteit en compatibiliteit van het afval daarmee aangetoond kan worden.
 - ▶ Voor afvalcolli die door NIRAS geaccepteerd zijn voordat de specifieke conformiteitscriteria uit het veiligheidsrapport voor de oppervlakteberging te Dessel van toepassing waren, en zeker voor de gevallen waarbij defecten vastgesteld werden tijdens de opslag, zal nagegaan worden of dit afval aanvaard kan worden voor oppervlakteberging en of er bijkomende beheersmaatregelen nodig zijn.
 - ▶ Indien het voldoen van het conformiteitscriterium voor het chloorgehalte in het afval problematisch zou blijken te zijn, dan zal daarvoor een specifieke oplossing worden uitgewerkt. Deze oplossing zou onder meer kunnen bestaan uit het aanwenden van een variant type caisson met een chloridebestendige wapening (bijvoorbeeld roestvast staal).
- 2) De geldigheid nagaan van onderstellingen en parameters gebruikt in de veiligheidsevaluaties:
 - ▶ Een performantie-analyse dient nog uitgevoerd te worden.
 - ▶ Bij constructie zal er aangetoond dienen te worden dat het bergingssysteem voldoet aan de in de ontwerpbasis opgelegde conformiteitscriteria.
 - ▶ Door monitoring en toezicht zullen specifieke veiligheidsfuncties/hypothesen en essentiële parameters van de veiligheidsevaluatie opgevolgd worden. Indien de observaties afwijken van wat verwacht wordt, zal het belang ervan geëvalueerd worden in een volgende iteratie van de veiligheidsevaluatie.
 - Zo zal de beperking van waterinfiltratie door de aarden afdekking door middel van een proefafdekking geëvalueerd worden, waarbij tevens de performantie en doenbaarheid van twee alternatieve profielen geëvalueerd zullen worden in het kader van optimalisering.
 - De stabiliteit van de aarden afdekking en modules zullen geëvalueerd worden aan de hand van topografische metingen en fysiek toezicht op de proefafdekking en op de eigenlijke aarden afdekking van zodra die gebouwd is. De metingen en het toezicht vinden plaats tijdens exploitatie, sluiting en de nucleaire reglementaire controle. Deze resultaten zullen vergeleken worden met de verwachtingen.
 - De zettingen en verplaatsingen van de modules zullen tijdens de exploitatie geëvalueerd worden en vergeleken worden met de verwachtingen.

- De weerstand van de aarden afdekking tegen afschuiving als gevolg van aardbevingen en de weerstand van de betonnen componenten tegen aardbevingen zullen geëvalueerd worden door een opvolging van de in-situ seismologische gegevens tijdens de constructiefase en de exploitatiefases en de aldus bekomen gegevens te vergelijken met de aannames voor de evaluatie van de weerstand.
 - Het carbonatatiefront zal in getuigemonolieten en proefstukken opgevolgd worden tijdens de exploitatie van de berging, ter bevestiging van de aangenomen carbonatiesnelheid die de verwachte levensduur van de betonnen componenten bepaalt. Verder zal in de getuigemonolieten en de proefstukken geverifieerd worden dat er geen vorming van thaumasiet en secundaire ettringiet optreedt en dat de corrosiepotentiaal en de dimensionele veranderingen en spanningen te wijten aan belastingen en veroudering zijn zoals die verwacht zijn.
 - ▶ Metingen van sorptie voor de maatgevende radionucliden zijn voorzien op uitgeharde cementpasta voor de specifieke samenstellingen gebruikt in de berging.
 - ▶ De exacte samenstelling voor het opvulmateriaal van de inspectieruimten dat tijdens de sluiting van de berging ingebracht zal worden, dient nog vastgelegd te worden.
- 3) De performantie en/of robuustheid van het bergingssysteem verhogen:
- ▶ De grondverbetering met bentoniet zou voor een bijkomende, aan cement enigszins complementaire, sorptiecapaciteit kunnen zorgen. De performantie van deze bentonietlaag op lange termijn en in de verwachte omgevingscondities dient nog aangetoond te worden in het verdere onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma. Daarom werd op deze component voorlopig niet gesteund in de veiligheidsevaluaties.
 - ▶ Het gebruik van vezelversterkt beton voor de monolieten zou de duurzaamheid van de monolieten en de robuustheid van het bergingssysteem verder kunnen verhogen, omdat carbonatatie en corrosie van wapeningen niet leiden tot scheuren in dergelijk beton en omdat een wapening bestaande uit vezels in theorie een hogere weerstand tegen aardbevingen bezit. De doenbaarheid om caissons met de benodigde performantie te realiseren uit vezelversterkt beton zal verder onderzocht worden.
 - ▶ De referentiesamenstelling van de opvulmortel van de monoliet werd vastgelegd aan de hand van laboratoriumproeven en beproevingen op een groter volume. Momenteel wordt deze samenstelling verder gekarakteriseerd. De samenstelling van de opvulmortel zal verder geoptimaliseerd worden op basis van die karakterisering en op basis van proeven die in de IPM zullen gebeuren met uitrustingen en processen die effectief zullen gebruikt worden tijdens de productie van de monolieten.
- 4) Internationale ontwikkelingen en beste praktijken opvolgen en ervaringsfeedback toepassen:
- ▶ Een belangrijk voorbeeld betreft de degradatieproducten van cellulose en zachte polyvinylchloride die bij hun degradatie aanleiding kunnen geven tot complexering. Internationale ontwikkelingen met betrekking tot effecten van deze complexanten worden opgevolgd en met de conclusies daarvan zal rekening worden gehouden bij herzieningen van het veiligheidsdossier en bij periodieke veiligheidsherzieningen.

- 5) De geldigheid nagaan van onderstellingen en parameters met betrekking tot hydrogeologie en biosfeer:
- ▶ Er dient nog een hydrogeologisch model gemaakt te worden dat in de directe omgeving van de site representatiever is voor de lokale karakteristieken.
 - ▶ Gegeven de huidige grondwaterverstorende activiteiten bij de ontmanteling van FBFC die een effect hebben ter hoogte van de westelijke tumulus, kon de lokale hydrogeologie ook nog niet bevestigd worden. De bevestiging zal gebeuren na het stopzetten van deze grondwaterstorende activiteiten.
 - ▶ Indien uit het aangepaste hydrogeologische model of bij de toekomstige bevestiging voor de westelijke tumulus blijkt dat de toegepaste geotransferfactor niet conservatief zou zijn, en dus door uitlozing op lange termijn de berekende dosisimpact voor de receptor ‘waterput’, dan moet dit in rekening gebracht worden via aanpassing van de operationele limieten die de radiologische bronterm van de berging bepalen voorafgaand aan de ingebruiksstelling van de modules van de desbetreffende tumulus.
 - ▶ De waarden van de distributiecoëfficiënt (K_d) voor zandige bodems zijn in de huidige iteratie ook gebruikt voor de kwelgebieden, hoewel deze een hogere fractie organisch materiaal (veen) bevatten, waarmee geen rekening werd gehouden bij de bepaling van de K_d -waarden. Er wordt een update van de K_d -waarden voor bodems van de kwelgebieden voorzien, alsook een nieuwe evaluatie op basis van een nieuw hydrogeologisch model. Daarbij dient opgemerkt te worden dat uit ondersteunende berekeningen blijkt dat de impacts voor de receptor ‘kwelgebied’ met de huidige hypothesen te allen tijde meer dan drie grootteordes lager liggen dan die van de receptor ‘waterput’ die als referentie gebruikt wordt, waardoor verwacht wordt dat deze receptor niet dominant zal worden.

2.10.3 Conclusies

Op basis van deze argumenten is NIRAS overtuigd dat de oppervlaktebergingsinstallatie voor categorie A-afval te Dessel veilig kan gebouwd, geëxploiteerd en gesloten worden, en dat op de lange termijn de radiologische veiligheid steeds, i.e. in elk plausibel scenario, gegarandeerd is. Bovendien werd de oppervlaktebergingsinstallatie voor zowel de operationele periode als voor de lange termijn geoptimaliseerd om de dosissen voor werknemers en publiek zo laag als redelijkerwijze mogelijk te houden. Het NIRAS onderzoeksprogramma wordt bovendien voortgezet om onopgeloste problemen aan te pakken en om de veiligheid verder te optimaliseren. Op basis van de elementen besproken in §2.10.1 en §2.10.2 zijn de strategische veiligheidsoriëntaties, zoals gedefinieerd in §2.4.2, geïmplementeerd.

2.11 Bijlage 2-1: Overeenstemming tussen de veiligheidsoriëntaties en de nationale reglementaire vereisten en leidraden en nota's van het FANC

2.11.1 Overeenstemming met het ARBIS

De wijze waarop de stralingsbeschermingsprincipes uit de strategische veiligheidsoriëntaties in overeenstemming zijn met art.20.1.1.1 van het ARBIS wordt in §2.4.2.2 beargumenteerd.

De conformiteit met art.20.1.1.2 gebeurt aan de hand van het veiligheidsconcept (zie verder §2.8). Het veiligheidsconcept vloeit voort uit de strategische veiligheidsoriëntaties, met name afzondering en insluiting.

Tabel 2-16: Conformiteit van de strategische veiligheidsoriëntaties met het artikel 20.1.1.2 van het ARBIS

Doelstelling	Onontbeerlijke maatregelen
<i>a) Voorkomen dat radioactieve stoffen in het organisme terechtkomen via inname, inademing of door om het even welke ongecontroleerde indringing, evenals elk rechtstreeks contact van het organisme met die stoffen</i>	SSC's met een M-rol voor de operationele veiligheidsfuncties (zie verder Tabel 2-10) "insluiten" en "afzonderen" SSC's met een M-rol voor de langetermijnveiligheidsfunctie qua "afzonderen" (I1-functie) (zie verder Tabel 2-9)
<i>b) Opdat de bronnen van ioniserende stralingen zouden gebruikt worden in zo perfect mogelijke veiligheidsomstandigheden</i>	SSC's met een M-rol voor de operationele veiligheidsfunctie "Afschermen" (zie verder Tabel 2-10) Maatregelen tijd, afstand, afscherming (HS12 §12.5.2) en beheer van stralingsbescherming (HS12 §12.4)
<i>c) Verspreiding van radioactieve stoffen in het leefmilieu voorkomen en beperken</i>	SSC's met een M-rol voor de operationele veiligheidsfuncties (zie verder Tabel 2-10) "Insluiten" en "Afzonderen" SSC's met een M-rol voor de langetermijnveiligheidsfunctie qua "afzonderen" (I1) (zie verder Tabel 2-9) SSC's met een M-rol voor de langetermijnveiligheidsfuncties qua insluiting (R1, R2a, R3, R4a, R4b) (zie verder Tabel 2-9)

2.11.2 Overeenstemming met het KB van 30/11/2011

Tabel 2-17: Conformiteit van de strategische veiligheidsoriëntaties met het KB van 30/11/2011

Vereisten uit het KB van 30/11/2011 [R2-3]	Overeenstemming tussen [R2-3] en de veiligheidsoriëntaties
Art.1 Definities	Definitie gelaagde bescherming opgenomen in §2.4.2.3.6
Art.3 Het veiligheidsbeleid omvat een engagement om de nucleaire veiligheid continu te verbeteren	Stralingsbeschermingsprincipe "Optimalisering" stelt onder meer dat optimalisering een op de toekomst gericht, iteratief en continu proces is (§2.4.2.2.2)
Art.3/1 Nucleaire veiligheidsdoelstelling en om die doelstelling te verwezenlijken wordt het concept van gelaagde bescherming toegepast	Opgenomen in veiligheidsdoelstelling (§2.4.1) Gelaagde bescherming draagt bij tot verwezenlijking van nucleaire veiligheidsdoelstelling (§2.4.2.3.6)
Art.4.1 Organisatiestructuur	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.4.2 Beheer van nucleaire veiligheid	

Vereisten uit het KB van 30/11/2011 [R2-3]	Overeenstemming tussen [R2-3] en de veiligheidsoriëntaties
In het kader van een stapsgewijze benadering zorgt de exploitant ervoor dat zijn beslissingen met betrekking tot de nucleaire veiligheid stelselmatig voorafgegaan worden door een voldoende grondig onderzoek door gekwalificeerd en ervaren personeel, om er zich van te vergewissen dat alle relevante aspecten van de nucleaire veiligheid in beschouwing genomen werden.	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Veiligheidsevaluaties gebaseerd op betrouwbare elementen" (§2.4.2.3.7)
De exploitant moet het niveau van de nucleaire veiligheid behouden en zoveel mogelijk trachten te verbeteren	"Optimalisering van de bescherming" stelt onder meer dat optimalisering altijd tot doel heeft de best mogelijke bescherming te realiseren door een op de toekomst gericht proces (§2.4.2.2.2)
De exploitant trekt lessen uit de nationale en internationale ervaringsfeedback, uit de ontwikkeling van de regels inzake nucleaire veiligheid en uit de nieuwe kennis verkregen door onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's, om het niveau van de nucleaire veiligheid te behouden en zoveel mogelijk te verbeteren.	Beheer van ervaringsfeedback is onderdeel van "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8)
Art.4.3 Personeelsbezetting en deskundigheid	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.5 Managementsysteem Het belangrijkste doel van het geïntegreerde managementsysteem moet erin bestaan de nucleaire veiligheid te garanderen en te verbeteren door er zich van te verzekeren dat ze niet los worden gezien van de activiteiten en andere eisen van de exploitant, onder meer met betrekking tot het welzijn van de werknemers bij de uitvoering van hun werk, om te vermijden dat deze een mogelijk negatieve impact hebben op de nucleaire veiligheid.	Het aspect "garanderen en verbeteren van nucleaire veiligheid" heeft een link met het principe "Optimalisering van de bescherming". "Optimalisering van de bescherming" stelt onder meer dat optimalisering altijd tot doel heeft de best mogelijke bescherming te realiseren door een op de toekomst gericht iteratief proces (§2.4.2.2.2)
Art.6 Opleiding en bevoegdverklaring van het personeel	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.7.1 Ontwerpbasis - Doelstellingen	
Van bij het ontwerp moeten er maatregelen worden getroffen om ervoor te zorgen dat de potentiële radiologische gevolgen voor de bevolking, de werkers en het leefmilieu de voorgeschreven limieten niet overschrijden en zo laag als redelijkerwijze mogelijk worden gehouden.	Niet overschrijden van voorgeschreven limieten is het stralingsbeschermingsprincipe "Individuele dosislimieten" (§2.4.2.2.3) Gevolgen zo laag als redelijkerwijze mogelijk houden is vervat in "Optimalisering van de bescherming". §2.4.2.2.2 herneemt deze passage en referentie
Een van de doelstellingen van de ontwerpbasis moet erin bestaan voorziene bedrijfsincidenten en ongevallen te voorkomen en, indien dit niet lukt, de gevolgen ervan te beperken.	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6) Heeft ook een link met "Robuustheid" (§2.4.2.3.4): door robuuste componenten te voorzien is de performantie van het systeem minder vatbaar voor verstoringen en onzekerheden
Art.7.2 Strategie inzake nucleaire veiligheid	
In het ontwerpproces wordt het concept van gelaagde bescherming toegepast om radioactieve lozingen te voorkomen of, indien preventie mislukt, te beperken	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6) Het voorkomen van lozingen en indien preventie mislukt, lozingen te beperken, is ook verbonden met "Afzonderen en insluiten" (§2.4.2.3.2)
Art.7.3 Opstellen van de ontwerpbasis	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.7.4 Ontwerpbasis-voorvallen	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.7.5 Veiligheidsvereisten	
Bij het ontwerp van de voor de nucleaire veiligheid belangrijke systemen en componenten moet het principe, dat men zich na falen in een veilige toestand bevindt ("fail-safe principle"), worden toegepast.	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6)

Vereisten uit het KB van 30/11/2011 [R2-3]	Overeenstemming tussen [R2-3] en de veiligheidsoriëntaties
Een faling van een systeem dat voor normale exploitatie voorzien is, mag geen veiligheidsfuncties aantasten.	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6)
De betrouwbaarheid van de systemen moet worden gewaarborgd door een oordeelkundige keuze van maatregelen zoals	
- het gebruik van beproefde componenten	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8).
- redundantie	Het begrip redundantie zit inbegrepen in het begrip complementariteit en dus in de oriëntatie "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6). Bij de bespreking van de "Robuustheid" (§2.4.2.3.4) wordt verduidelijkt dat een complementaire laag de functionaliteit van een andere laag, of een gedeelte ervan, kan overnemen.
- diversiteit	"Diversiteit" is als veiligheidsoriëntatie opgenomen (§2.4.2.3.5).
- fysieke scheiding en isolering	Fysieke scheiding en isolering kunnen er mede voor zorgen dat twee systeem ten overstaan van een bepaalde bedreiging niet gezamenlijk falen en dus onafhankelijk zijn. Bij de bespreking van de "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6) wordt melding gemaakt van onafhankelijkheid van lagen als voorwaarde voor gelaagde bescherming.
- functionele scheiding en isolering	Bij de bespreking van "Diversiteit" (§2.4.2.3.5) wordt het aspect functionele diversiteit vermeld.
Art.7.6 Ontwerp- en uitbatingsaspecten met het oog op de ontmanteling	Niet van toepassing op een eindberging van radioactief afval.
Art.8 Klassering van de structuren, systemen en componenten Art.8.1-3	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties.
Art.8.4 Keuze van materialen en kwalificatieprogramma Er moeten kwalificatieprocedures worden ingevoerd om te bevestigen dat de voor de nucleaire veiligheid belangrijke structuren, systemen en componenten tijdens hun hele ontwerplevensduur in staat zijn om de gevraagde functies te vervullen in de omgevingsomstandigheden die zich kunnen voordoen op het ogenblik dat men deze zal nodig hebben, bij normale werking en in voorkomend geval tijdens de voorziene bedrijfsincidenten en in ongevalsituaties. Wanneer vaststaat dat uitrustingen kunnen worden blootgesteld aan externe voorvallen zoals natuurverschijnselen of andere invloeden van buitenaf en een veiligheidsfunctie moeten kunnen vervullen tijdens of na dergelijk voorval, voorziet het kwalificatieprogramma voor deze uitrustingen de voorwaarden die door deze externe voorvallen worden opgelegd.	Kwalificatieprogramma draagt bij tot de "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8)

Vereisten uit het KB van 30/11/2011 [R2-3]	Overeenstemming tussen [R2-3] en de veiligheidsoriëntaties
Art.9 Uitbatingslimieten en –voorwaarden De uitbatingslimieten en –voorwaarden worden opgesteld om ervoor te zorgen dat de installatie wordt uitgebaat overeenkomstig de hypothesen en de ontwerpdoelstellingen die zijn opgenomen in het veiligheidsrapport. De uitbatingslimieten en –voorwaarden moeten omvatten: limieten voor de bedrijfsparameters, limieten voor de parameters die belangrijk zijn voor de nucleaire veiligheid, voorwaarden betreffende de minimumbeschikbaarheid van de functionele uitrusting, de acties die het uitbatingspersoneel moet ondernemen bij afwijkingen van de uitbatingslimieten en –voorwaarden of bij falen van uitrustingen die belangrijk zijn voor de nucleaire veiligheid, alsook de tijd die wordt toegekend om deze acties te ondernemen. De limieten moeten ook limieten omvatten betreffende de lozing van radioactieve effluënten in het milieu. De uitbatingslimieten en –voorwaarden bepalen de voorwaarden die moeten worden vervuld om situaties die tot ongevallen zouden kunnen leiden te voorkomen, of om de gevolgen van ongevallen te milderen wanneer ze zich zouden voordoen. Wanneer zich een situatie voordoet waarbij het bedrijfspersoneel niet kan controleren of de installatie zich binnen haar operationele limieten bevindt of wanneer de installatie zich op een onverwachte manier gedraagt, moeten onmiddellijk maatregelen worden genomen om haar weer in een veilige en stabiele toestand te brengen. Om te garanderen dat de instelwaarden van de beschermingsdrempels en de normale uitbatingslimieten en –voorwaarden worden nageleefd, moeten de overeenstemmende systemen en componenten worden bewaakt, geïnspecteerd, geïnfiltreerd, geïkt en getest volgens een gepast toezichtsprogramma.	"Beperken van de activiteit van langlevende radionucliden" (§2.4.2.3.3). Draagt bij tot de gelaagde bescherming zolang de site onder nucleaire reglementaire controle staat (§2.4.2.3.6)
Art.10 Beheer van de veroudering	Verouderingsbeheerprogramma draagt bij tot de aantoonbaarheid van het performantieniveau zoals dat bereikt zal worden na realisatie - referentie en beschrijving opgenomen bij "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8)
Art.11 Systeem voor de analyse van voorvallen en de ervaringsfeedback over de uitbating	Programma voor het beheer van ervaringsfeedback draagt bij tot de aantoonbaarheid van het performantieniveau zoals dat bereikt zal worden na realisatie - referentie en beschrijving opgenomen bij "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8)
Art.12 Onderhoud, inspectie tijdens de werking en functionele testen	Dragen bij tot de aantoonbaarheid van het performantieniveau zoals dat bereikt zal worden na realisatie - referentie en beschrijving opgenomen bij "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8)
Art.13 Inhoud en bijwerking van het veiligheidsrapport	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties.
Art.14 Periodieke herzieningen	Dragen bij tot de aantoonbaarheid van het performantieniveau zoals dat bereikt zal worden na realisatie - referentie en beschrijving opgenomen bij "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8)
Art.15 Wijzigingen	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties

Vereisten uit het KB van 30/11/2011 [R2-3]	Overeenstemming tussen [R2-3] en de veiligheidsoriëntaties
Art.16 Intern noodplan De exploitant moet schikkingen voorzien en invoeren om een doeltreffend antwoord te bieden op voorvallen die beschermingsmaatregelen ter plaatse vergen, teneinde: (a) elke noodsituatie die zich op zijn site voordoet onder controle te krijgen, (b) de uitbreiding van een noodsituatie te voorkomen of de gevolgen ervan ter plaatse te milderen, (c) samen te werken met de externe organisaties om de nadelige gevolgen voor het milieu, de gezondheid van de werknemers en van de bevolking te voorkomen of te milderen	Draagt bij tot de gelaagde bescherming zolang de site onder nucleaire reglementaire controle staat (§2.4.2.3.6)
Art.17 Beveiliging tegen brand van interne oorsprong	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties

2.11.3 Omzetting door België van de richtlijn 2011/70/Euratom

Art.4 §6 van [R2-24] (en door de Belgische omzetting art.179,§6 van [R2-10]) bevat algemene uitgangspunten waarvan sommige van toepassing zijn op de strategische veiligheidsoriëntaties voor de oppervlakteberging te Dessel.

Tabel 2-18: Conformiteit van de strategische veiligheidsoriëntaties met de richtlijn 2011/70/Euratom.

Uitgangspunten in Art.4 §6 van [R2-24]	Overeenstemming tussen [R2-24] en de veiligheidsoriëntaties
1. De productie van radioactief afval wordt beperkt tot een zo laag als redelijkerwijze niveau	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties voor de bergingsinrichting – is een uitgangspunt voor het beheer van het radioactieve afval
2. Er wordt rekening gehouden met de onderlinge afhankelijkheid van alle stappen in de productie en het beheer van radioactief afval	Bij “Beperken van de activiteit van langlevende radionucliden” (§2.4.2.3.3) is gesteld: het beperken van de activiteit van langlevende radionucliden dient in elk stadium van de levenscyclus van het afval van productie tot berging gerespecteerd te worden. Er is bij het vastleggen van de limieten rekening gehouden met aanwezigheid van langlevende radionucliden in het bestaande afval.
3. Veiligheid op lange termijn van een bergingsinstallatie berust onder meer op veiligheidsmaatregelen die op lange termijn passief moeten kunnen worden	Passage en referentie zijn opgenomen bij “Passieve veiligheid” (§2.4.2.3.1).
4. De maatregelen moeten ten uitvoer worden gelegd volgens een trapsgewijze aanpak	Passage en referentie zijn opgenomen bij “Afzonderen en insluiten” (§2.4.2.3.2) in het kader van de afbakening van de insluitingsstrategie van het bergingssysteem. Insluitingsstrategie in “Afzonderen en insluiten” (§2.4.2.3.2) is gebaseerd op de radiologische karakteristieken van de voorziene bronterm
5. Kosten voor het beheer ten laste van diegenen die de stoffen hebben geproduceerd	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties voor de bergingsinrichting – is een uitgangspunt voor het beheer van het radioactieve afval
6. In alle stadia van het beheer van radioactief afval wordt een met bewijskrachtige gegevens onderbouwd en gedocumenteerd besluitvormingsproces gevolgd	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties voor de bergingsinrichting, maar wel voor het algemenere kader van de veiligheidsbenadering – beschrijving en referentie opgenomen bij veiligheidsbenadering (§2.2.2)

2.11.4 Overeenstemming met leidraden en nota's van het FANC

De FANC leidraden [R2-45], [R2-46], [R2-47], [R2-48] en FANC nota's [R2-44], [R2-53], [R2-5] zijn de pertinente aanbevelingen voor de strategische veiligheidsoriëntaties.

De overeenstemming tussen het ARBIS [R2-1] en de strategische veiligheidsoriëntaties (zie §2.11.1) impliceert ook de overeenstemming tussen de strategische veiligheidsoriëntaties en de leidraden en nota's met betrekking tot stralingsbescherming [R2-46], [R2-47] en [R2-53].

De basisprincipes uit de strategische nota [R2-44] werden hernomen in de nota met betrekking tot de veiligheidsvoorschriften voor berging [R2-5]. De vereisten qua veiligheidsoriëntaties uit de FANC leidraden oppervlakteberging [R2-45] en menselijke intrusies [R2-48] werden ook hernomen in de nota [R2-5]. Daarom kan de argumentatie van de overeenstemming met [R2-44], [R2-45] en intrusies [R2-48] beperkt worden tot een argumentatie van de overeenstemming met de nota met de veiligheidsvoorschriften voor berging [R2-5].

De conformiteit met de veiligheidsvoorschriften voor berging wordt besproken in Tabel 2-19.

Tabel 2-19: Conformiteit van de strategische veiligheidsoriëntaties met de FANC nota 'Veiligheidsvoorschriften voor berging'

Veiligheidsvoorschriften voor berging [R2-5]	Overeenstemming tussen [R2-5] en de veiligheidsoriëntaties
Art.33.1 Basisprincipes (bescherming van toekomstige generaties, geen bovenmatige lasten, inperking van effecten over de landsgrenzen, langetermijnveiligheid)	In "Basisprincipes voor berging" zijn alle principes uit art.33.1 hernomen met referentie naar art.33.1 (§2.4.2.1)
Art.33.2.1 Principe van gelaagde bescherming	Passage en referentie opgenomen bij "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6)
De veiligheid van een inrichting voor eindberging moet gebaseerd zijn op een verzameling van beschermingselementen zodanig dat een technisch, menselijk of organisatorisch falen op zich alleen de veiligheid van de inrichting voor eindberging niet in het gedrang kan brengen.	In "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6) wordt verder ook gesteld dat gelaagde bescherming ervoor zorgt dat de veiligheid niet ongepast afhankelijk is van één enkel element van de bergingsinstallatie, of van één enkele controlemaatregel, of de vervulling van één enkele veiligheidsfunctie of van één enkele administratieve procedure.
Van bij het ontwerp moet de toepassing van het principe van gelaagde bescherming zoveel mogelijk: a) verhinderen dat de integriteit van de fysieke barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen in het gedrang wordt gebracht b) de prestaties van de barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen behouden als zij belast worden c) Steunen op de complementariteit en onafhankelijkheid van de barrières en/of veiligheidsfuncties van de componenten	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6) De prestaties van de barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen behouden als zij belast worden, stemt overeen met "Robuustheid" van componenten (§2.4.2.3.4) Het "zoveel als mogelijk" verhinderen, behouden en steunen op impliceert een "Optimalisering van de bescherming" (§2.4.2.2.2)

Veiligheidsvoorschriften voor berging [R2-5]	Overeenstemming tussen [R2-5] en de veiligheidsoriëntaties
Art.33.2.2 Aantoonbaarheidsprincipe De toepassing van het aantoonbaarheidsprincipe vereist dat: a) Aangetoond wordt dat de inrichting voor berging kan gerealiseerd worden met het vereiste performantieniveau. b) Beroep gedaan wordt op beheerste technieken. Wanneer nieuwe technieken ontwikkeld worden moeten hun uitvoerbaarheid, beheersing en betrouwbaarheid aangetoond worden alvorens ze toegepast worden. c) Aangetoond wordt dat het performantieniveau van het bergingssysteem dat bereikt wordt na realisatie van zijn individuele componenten voldoende zullen blijven om de bescherming van mens en milieu te verzekeren, ongeacht de redelijkerwijze te voorziene bedreigingen waaraan het bergingssysteem kan onderworpen worden en de bouw- en uitbatingstoevalligheden. d) De onzekerheden beheerd worden.	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8) Het aantoonbaarheidsprincipe is belangrijk opdat de "Veiligheidsevaluaties zouden kunnen gebaseerd worden op betrouwbare elementen" (§2.4.2.3.7)
Art.33.3 Veiligheidsstrategie De exploitant werkt een veiligheidsstrategie uit. Zij heeft betrekking op alle periodes uit het leven van de inrichting voor eindberging. De veiligheidsstrategie moet de mechanismen en methodes beschrijven die bijdragen tot het bereiken van de veiligheidsdoelstelling en die haar toepassing beïnvloeden. De beperkingen die verbonden zijn met de bestaande gegevens moeten geïdentificeerd worden en hun weerslag op de veiligheidsstrategie moet geëvalueerd worden. De veiligheidsstrategie omvat: de ontwerp- en realisatiestrategie, die de benadering vastlegt om toe te laten een veilig, performant en robuust eindbergingssysteem te ontwerpen en te realiseren. Zij moet beogen om de isolerings- en insluitingscapaciteiten te maximaliseren, evenals het weerstandsvermogen bij belastingen. De keuzes bij het ontwerp en de realisatie, alsook de veiligheidsfuncties van het eindbergingssysteem moeten geïdentificeerd worden; de beheerstrategie, die de benadering vastlegt die toelaat om de reglementaire bepalingen na te leven en de fundamentele veiligheids- en stralingsbeschermingsprincipes toe te passen, in het bijzonder het principe van optimalisering van de bescherming; de veiligheidsevaluatiestrategie, die de benadering vastlegt die toelaat om de veiligheid te evalueren en het vertrouwen in de toegepaste methodes aan te tonen.	"Robuustheid" is opgenomen als strategische veiligheidsoriëntatie (§2.4.2.3.4) "Optimalisering van de bescherming" stelt dat optimalisering van bescherming een op de toekomst gericht iteratief proces is, met als doel om toekomstige blootstellingen te vermijden of te verminderen en dat de capaciteit om de veiligheidsfuncties 'insluiting' en 'afzondering' te vervullen op robuuste wijze het optimaliseringsproces dienen te sturen (§2.4.2.2.2) "Afzonderen en insluiten" is opgenomen als strategische veiligheidsoriëntatie (§2.4.2.3.2) In "Gelaagde bescherming" is gespecificeerd dat de performanties van barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen zoveel als mogelijk dienen behouden te worden als die belast worden (§2.4.2.3.6)
Art.33.4 Veiligheidsconcept	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.34 Verificatie en, in de mate van het mogelijke, validatie van modellen en programma's gebruikt bij de analyse van de langetermijnveiligheid	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.35 Managementsysteem	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.36.1 Ontwerpbasis – draagwijdte	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.36.2 Veiligheidsfuncties	
De veiligheidsfuncties van het eindbergingssysteem omvatten minstens de isolering van het afval en de insluiting van de radionucliden	"Afzondering en insluiting" is als strategische veiligheidsoriëntatie opgenomen (§2.4.2.3.2)

Veiligheidsvoorschriften voor berging [R2-5]	Overeenstemming tussen [R2-5] en de veiligheidsoriëntaties
De isolering en de insluiting moeten op lange termijn op een robuuste manier verzekerd worden	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Robuustheid" (§2.4.2.3.4)
De isolering en de insluiting moeten op lange termijn verzekerd worden door uitsluitend passieve middelen	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Passieve veiligheid" (§2.4.2.3.1)
Het eindbergingsstelsel moet op elk ogenblik het vrijkomen van radionucliden buiten de insluitingsbarrières minimaliseren	"Optimalisering van de bescherming" stelt dat de capaciteit om de veiligheidsfuncties 'insluiting' en 'afzondering' te vervullen op robuuste wijze het optimaliseringsproces dient te sturen (§2.4.2.2.2)
De zone die begrensd is door de insluitingsbarrières mag geen exploiteerbare ondergrondse waterlagen bevatten noch natuurlijke rijkdommen die als economisch valoriseerbaar beschouwd worden op het ogenblik dat de oprichtings- en exploitatievergunning verleend wordt en waarvan de uitbating een negatief effect zou kunnen hebben op de veiligheid.	In §2.4.2.3 wordt gesteld: "Bij oppervlakteberging te Dessel kunnen insluiting en afzondering niet door natuurlijke barrières verkregen worden."
Het contact van het afval met water dat de overdracht van radionucliden naar mens en milieu kan vergemakkelijken moet zo lang mogelijk belet worden.	Bij "Afzonderen en insluiten" (§2.4.2.3.2) wordt gesteld: "Op basis van de evolutie van de β/γ -activiteit en de radiotoxiciteit is het nuttig om tot ongeveer 1 000 jaar te spelen op het voorkomen van het vrijkomen van de radionucliden, dit door contact met insijpelend water te vermijden."
Het behoud van de functies isolering en insluiting vereist dat de interne en externe belastingen, van fysische, chemische en biologische aard, alsook de bouw- en uitbatingstoestanden, geminimaliseerd worden door: a) de keuze van gastformatie en de vestigingsplaats; b) het ontwerp van de gebouwde componenten, materiaalkeuze inbegrepen; c) de keuzes bij bouw en uitbating, onder meer de aangewende technieken en de fasering.	Bij "Gelaagde bescherming" is gespecificeerd dat zoveel als mogelijk moet verhinderd worden dat de integriteit van de fysieke barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen in het gedrang wordt gebracht (§2.4.2.3.6)
Art.36.3 Ontwerp en realisatie van de inrichting	
(1) De inrichting voor eindberging van radioactief afval moet aangepast zijn aan de karakteristieken van het afval waarvoor zij bestemd is	In "Afzonderen en insluiten" wordt de vereiste duur van insluiting op basis van afname in de tijd van de activiteit en radiotoxiciteit van het afval waarvoor de berging bestemd is (§2.4.2.3.2)
(2) Het ontwerp en de realisatie van de inrichting voor eindberging moet waarborgen dat de bedoelde prestaties gehaald worden. De technische specificaties moeten rekening houden met de levensduur van de componenten.	In "Aantoonbaarheid" wordt gespecificeerd dat er moet aangetoond worden dat de inrichting voor berging kan gerealiseerd worden met het vereiste prestatieniveau (§2.4.2.3.8)
(3) De keuze van ontwerp en realisatie en de karakterisatie van de componenten van het eindbergingsstelsel moeten toelaten om vertrouwen te krijgen in de evolutie van het eindbergingsstelsel	In "Veiligheidsevaluaties gebaseerd op betrouwbare elementen" (§2.4.2.3.7) wordt gesteld dat gesteund dient te kunnen worden op componenten met een afdoend inzicht in de werking, waarvan voldoende elementen aanwezig zijn om de doenbaarheid te bevestigen en die een afdoende beheersing hebben, en waarvan de doeltreffendheid kan worden geverifieerd In "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8) wordt er gespecificeerd dat er beroep gedaan wordt op beheerste technieken en dat wanneer nieuwe technieken ontwikkeld worden, hun uitvoerbaarheid, beheersing en betrouwbaarheid aangetoond worden alvorens ze toegepast worden

Veiligheidsvoorschriften voor berging [R2-5]	Overeenstemming tussen [R2-5] en de veiligheidsoriëntaties
(4) Het eindbergingsstelsel, zoals gebouwd, moet een voldoende veiligheidsmarge vertonen met betrekking tot de onzekerheden over de belastingen van fysieke, chemische en biologische aard en de redelijkerwijze te voorziene bouw- en uitbatingstoevalligheden. Deze marges moeten afgestemd zijn op de evolutie van de intrinsieke risico's verbonden aan het afval.	In "Robuustheid" (§2.4.2.3.4) wordt gesteld dat: door robuustheid van componenten het systeem minder vatbaar is voor verstoringen en onzekerheden en dat er kan gesteund worden op over-dimensionering zodat de aanwezigheid en functie van barrières gewaarborgd is. Bij "Gelaagde bescherming" is gespecificeerd dat zoveel als mogelijk moet verhinderd worden dat de integriteit van de fysieke barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen in het gedrang wordt gebracht (§2.4.2.3.6)
(5) De inrichting voor eindberging moet verenigbaar zijn met haar omgeving	Bij "Gelaagde bescherming" is gespecificeerd dat zoveel als mogelijk moet verhinderd worden dat de integriteit van fysiek barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen in het gedrang wordt gebracht en dat de prestaties van de barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen behouden blijven, als die barrières of componenten belast worden (§2.4.2.3.6)
(6) De aanwezigheid en omvang van holtes in het eindbergingsstelsel in zijn eindconfiguratie mogen de veiligheid niet in gevaar brengen. In het bijzonder mogen zij de mechanische stabiliteit van het eindbergingsstelsel niet in het gedrang brengen, mogen zij geen voorkeurstrajecten vormen voor de radionucliden en de waterstromen en mogen zij ook de proliferatie van bacteriën niet bevorderen.	Holtes vormen een potentiële bedreiging voor de prestatie van het systeem. Bij "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6) is gespecificeerd dat zoveel als mogelijk moet verhinderd worden dat de integriteit van fysiek barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen in het gedrang wordt gebracht
(7) De risico's op kritikaliteit moeten binnen het eindbergingsstelsel en zijn omgeving uitgesloten worden, in alle redelijkerwijze te voorziene omstandigheden.	Door het "Beperken van de activiteit van langlevende radionucliden" (§2.4.2.3.3) wordt ook het risico op kritikaliteit uitgesloten
Art.36.4 Omkeerbaarheid	
De omkeerbaarheid moet voor elke bergingscollo verzekerd worden, tot het begin van de opvullings- of afdichtingsoperaties van de bergingseenheid waarin het zich bevindt.	Omkeerbaarheid werd opgelegd door de regeringsbeslissing van 16/01/1998 (§2.3.4) Omkeerbaarheid laat toe om als <i>corrigerende maatregel</i> sommige bergingscollo vooralsnog uit de modules (bergingseenheid) te halen indien problemen vastgesteld zouden worden. Corrigerende maatregelen vormen onderdeel van de "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6)
Art.36.5 Optimalisering van de bescherming	
Het ontwerp en de realisatie van een inrichting voor eindberging moet de bescherming optimaliseren, rekening houdend met de meest waarschijnlijke toekomstige belastingen en de andere redelijkerwijze te voorziene belastingen.	Bij "Optimalisering van de bescherming" is gesteld dat van bij het ontwerp maatregelen moeten worden genomen om ervoor te zorgen dat de potentiële radiologische gevolgen voor de bevolking, de werkers en het leefmilieu de voorgeschreven limieten niet overschrijden en zo laag als redelijkerwijze mogelijk worden gehouden (§2.4.2.2.2) Bij "Robuustheid" is wordt gesteld dat barrières of componenten robuust zijn als ze hun prestaties of een deel ervan kunnen behouden als ze belast worden (§2.4.2.3.4) Bij "Gelaagde bescherming" is gespecificeerd dat de prestaties van de barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen zoveel als mogelijk behouden moeten blijven, als die barrières of componenten belast worden (§2.4.2.3.6)

Veiligheidsvoorschriften voor berging [R2-5]	Overeenstemming tussen [R2-5] en de veiligheidsoriëntaties
Art.36.6 Opstellen van de ontwerpbasis De ontwerpbasis moet, voor de operationele periode, de identificatie van de normale uitbatingssomstandigheden, de voorziene werkingsincidenten en de ongevallen die voortvloeien uit vooronderstelde initiatorgebeurtenissen bevatten. De ontwerpbasis moet, voor de post-operationele periode, de beschrijving inhouden van de verwachte evolutie, de gepostuleerde initiatorgebeurtenissen en de degradatieprocessen die een invloed kunnen hebben op de prestatie van de veiligheidscomponenten, gedurende de ganse levensduur van deze veiligheidscomponenten.	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.36.7 Analyse van de voorvallen in de ontwerpbasis	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.36.8 Instrumentatie en controlesystemen	
In het ontwerp moet een instrumentatie geïntegreerd zijn die de informatie kan leveren die nodig is om de installatie op een betrouwbare en veilige manier uit te baten.	Bij "Gelaagde bescherming" zijn er controlemaatregelen en procedures voorzien (§2.4.2.3.6)
De instrumentatiemiddelen mogen de prestatie van het eindbergingssysteem niet in het gedrang brengen.	Passage en referentie zijn opgenomen bij "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6)
Art.36.9 Noodvoeding De systemen en componenten die tijdens de operationele periode belangrijk zijn voor de veiligheid moeten kunnen gevoed worden door een geschikte noodvoeding. Deze voeding moet de nodige energie kunnen leveren in alle bedrijfsomstandigheden of bij een ongeval, en in de hypothese van een gelijktijdig verlies van de externe stroomvoorziening.	Noodvoeding is een maatregel om te verhinderen dat de integriteit van barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen in het gedrang wordt gebracht en om de prestaties te behouden van barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen. Noodvoeding is aldus verbonden met "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6)
Art.36.10 Nazicht van de ontwerpbasis Het nazicht van de ontwerpbasis moet toelaten om de eventuele noden en de opportuniteiten voor verbetering van de veiligheid te identificeren. De wijzigingen en praktische maatregelen ter verbetering worden doorgevoerd daar waar ze redelijkerwijze uitvoerbaar zijn.	"Optimalisering van de bescherming" vermeldt dat optimalisering altijd tot doel heeft om de best mogelijke bescherming te realiseren in de heersende omstandigheden door een op de toekomst gericht iteratief proces (§2.4.2.2.2)
Art.37 Klassering van structuren, systemen en componenten	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.37.2 Voorzorgsmaatregelen – Maatregelen moeten voorzien worden zodanig dat een falen van niet-geklasseerde structuren, systemen en componenten niet doorgegeven wordt aan een systeem, componenten of structuur die belangrijk is voor de veiligheid.	"Gelaagde bescherming" stelt dat een falen van een systeem dat voor normale exploitatie voorzien is, geen veiligheidsfunctie mag aantasten (§2.4.2.3.6)
Art.37.3 Materiaalkeuze – De materialen van de componenten van het eindbergingssysteem moeten zo gekozen worden dat zij het voorkomen van menselijke intrusie beperken.	De materiaalkeuze om het voorkomen van menselijke intrusie te beperken is een maatregel om te verhinderen dat de integriteit van barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen in het gedrang wordt gebracht, en houdt bijgevolg verband met "Gelaagde bescherming" (§2.4.2.3.6)
Art.38 Uitbatinglimieten en -voorwaarden	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.39 Voorschriften betreffende de bouw en de uitbating van de installaties	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties

Veiligheidsvoorschriften voor berging [R2-5]	Overeenstemming tussen [R2-5] en de veiligheidsoriëntaties
Art.40 Beheer van de veroudering Tijdens de operationele periode moet het verouderingsbeheerprogramma toelaten om de mechanismen te identificeren, de mogelijke gevolgen te bepalen, de belangrijkste effecten van de veroudering van structuren, systemen en componenten te beperken en de betrouwbaarheid van deze structuren, systemen en componenten te behouden tijdens de volledige operationele periode. Voor de structuren, systemen en componenten die belangrijk zijn voor de veiligheid tijdens de post-operationele periode moeten de verouderingsmechanismen en de mogelijke gevolgen van de veroudering geïdentificeerd worden en stelselmatig geanalyseerd worden in de veiligheidsevaluatie. Deze analyse moet er toe leiden dat men ervan verzekerd is dat de structuren, systemen en componenten wel degelijk hun functie zullen vervullen tijdens hun voorziene levensduur.	Beheer van veroudering is opgenomen in "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8)
Art.41 Onderhoud, inspectie tijdens de werking en functionele testen De principes en de programma's voor onderhoud van, testen van, toezicht op en inspectie van de structuren, systemen en componenten die belangrijk zijn voor de veiligheid zijn aangepast aan de periodes en fases uit het leven van de inrichting voor eindberging.	Programma voor onderhoud, testen, controles en inspecties is opgenomen in "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8)
Art.42 Procedures voor het beheer van ongevallen	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.43 Inhoud en bijwerking van het veiligheidsrapport	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.44 Periodieke herzieningen	Programma voor periodieke herzieningen is opgenomen in "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8)
Art.45 Beveiliging tegen brand van interne oorsprong	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties.
Art.46 Monitoring De exploitant moet een monitoringprogramma uitvoeren dat als doel heeft een volledig en relevant geheel van gegevens te bekomen teneinde: a) de naleving van de reglementaire eisen en de vergunningsvoorwaarden te verifiëren; b) te verifiëren dat het eindbergingssysteem zich gedraagt zoals voorzien, in het bijzonder door de fysicochemische parameters te volgen die informatie verstrekken over de evolutie van het eindbergingssysteem en zijn omgeving ten opzichte van de begin-referentietoestand; c) te verifiëren dat de veronderstellingen en modellen die gebruikt worden bij de evaluatie van de veiligheid overeenstemmen met de vastgestelde omstandigheden; d) de beslissingen die verband houden met de veiligheid te ondersteunen; e) het eventuele vrijkomen van radionucliden in het leefmilieu te detecteren en zijn evolutie en radiologische impact te volgen.	Programma voor monitoring is opgenomen in "Aantoonbaarheid" (§2.4.2.3.8) In "Gelaagde bescherming" is beschreven dat er controlemaatregelen nodig zijn om defecten of beschadigingen aan het bergingssysteem op te sporen (§2.4.2.3.6)
Art.47 Activiteitenverslag	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.48 Het in eindconfiguratie brengen Een installatie voor eindberging moet zo vlug mogelijk in zijn eindconfiguratie gebracht worden, zonder evenwel de doelstellingen van het monitoringprogramma in het gedrang te brengen	Passage en referentie opgenomen bij "Passieve veiligheid" (§2.4.2.3.1)

Veiligheidsvoorschriften voor berging [R2-5]	Overeenstemming tussen [R2-5] en de veiligheidsoriëntaties
Art.49.1 Inhoud aan langlevende nucliden	
In de oprichtings- en exploitatievergunning wordt een limiet vastgesteld voor de inhoud aan radionucliden met een halveringstijd van meer dan dertig jaar.	In "Beperken van de activiteit van langlevende radionucliden" (§2.4.2.3.3) wordt gespecificeerd dat de activiteit van langlevende radionucliden zo veel mogelijk beperkt dient te worden tot aanvaardbare niveaus die slechts kleine hoeveelheden langlevende radionucliden in het afval toelaten, wat in de praktijk gebeurt door het systeem van radiologische limieten op het afval
De inhoud aan radionucliden met een halveringstijd van meer dan dertig jaar moet zo laag mogelijk zijn.	Referentie opgenomen in "Beperken van de activiteit van langlevende radionucliden" (§2.4.2.3.3)
Art.49.2 Duur van de controlefase De duur van de door de exploitant voorgestelde controlefase is beperkt tot 300 jaar, te rekenen vanaf de afdichting van de laatste bergingseenheid. In ieder geval moet de opheffing van de radiologische controle mogelijk zijn ten laatste 350 jaar na de eerste bevestigingen van de oprichtings- en exploitatievergunning	In "Afzonderen en insluiten" (§2.4.2.3.2) wordt gesteld dat de radiologische limieten voor berging en de daarmee verbonden radiologische bronterm zodanig dienen te zijn dat op ieder moment na 350 jaar de radiologische impact ten gevolge van contact tussen het radioactieve afval en mens en omgeving aanvaardbaar zal zijn
Art.49.3 Afdekking Na de afdichting van het geheel van de bergingseenheden van een installatie voor eindberging aan de oppervlakte van kortlevend afval moet een afdekking aangebracht worden.	Niet van toepassing voor de afbakening van de veiligheidsoriëntaties
Art.49.4 Isoleringsperformantie De isolering moet ten minste tot op het einde van de door de exploitant voorgestelde controlefase verzekerd zijn.	In "Afzonderen en insluiten" (§2.4.2.3.2) wordt gesteld dat tot het stopzetten van toegangscontrole de afzondering van het afval berust op het beperken van toegang, mechanische eigenschappen en hoeveelheid/dikte en samenstelling van het materiaal rondom het afval

2.12 Bijlage 2-2: Lijst van ontwerpinputs en ontwerpvereisten

Tabel 2-20: Geheel van ontwerpvereisten en hun link met de ontwerpinputs. DI = *design input* – ontwerpinput, DR = *design requirement* – ontwerpvereiste, DBE = *design basis earthquake*, DBE350 = *design basis earthquake* voor levensduur van 350 jaar, DBE50 = *design basis earthquake* voor levensduur van 50 jaar

DI#	Ontwerpinputs	DR#	Ontwerpvereisten
1	Waarschijnlijkheid van onopzettelijke menselijke intrusie beperken (I1)	1.a	Over barrières beschikken om intrusie te voorkomen
		1.b	Weinig waardevolle materialen gebruiken
		1.c	Toegang tot de inspectieruimte beperken
2	Mogelijkheid om alle reeds geproduceerde categorie A-afval en geplande types categorie A-afval in de berging onder te brengen	2.a	Afmetingen van de bergingsverpakking compatibel met het bestaande afval
3	Chemisch vasthouden van radionucliden door chemische retentieprocessen (R3)	3	Aanwezigheid van chemische retentie in componenten waarheen de radionucliden kunnen migreren
4	Radionucliden insluiten in de monoliet tijdens de operationele periode	4	Lage effectieve diffusiviteit van de caisson
5	Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a)	5.a	Lage effectieve hydraulische geleidbaarheid om advectief transport verwaarloosbaar te maken
		5.b	Geen doorgaande macro-scheuren
		5.c	Voldoende helling aan de bovenzijde van afdekking om run-off van neerslagwater mogelijk te maken
		5.d	Voldoende capaciteitieve werking van bovenzijde van afdekking om de transfer naar de atmosfeer door evapotranspiratie te bevorderen
		5.e	Voldoende laterale drainage van water in de afdekking
		5.f	Voldoende drainage van water tussen de monolietstapels
6	Vermijden van advectieve bypass van water aan de zijkant van de modules	6.a	Voldoende hoge hydraulische geleidbaarheid in de modulebasis (eventueel met behulp van een ABS)
		6.b	Een lage effectieve hydraulische geleidbaarheid van de modulewanden om advectief transport verwaarloosbaar te maken.
		6.c	Geen doorgaande macro-scheuren in de modulewanden
7	Beperken van diffusie van radionucliden (R4a)	7	Lage effectieve diffusiviteit
8	Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media (R4b)	8	Hoge dispersiviteit
9	Gepaste levensduur verzekeren van materialen belangrijk voor de veiligheid	9.a	Weerstaan aan interne en externe sulfaataantasting
		9.b	Aanvaardbare samenstelling van de aggregaten met het oog op het vermijden van alkali-aggregaat-reacties
		9.c	Weerstaan aan vorst/dooi cycli
		9.d	Trage carbonatatiesnelheid
		9.e	Trage erosiesnelheid
		9.f	Bio-intrusie voorkomen
		9.g	Lage (krimp)scheurwijdte.
		9.h	Voorkomen van corrosie van de wapening
10	Compatibiliteit van de materialen onderling en met het afval verzekeren	10	Compatibele materialen gebruiken (onderling en met het afval)
11	Bevolking en werknemers beschermen tegen ioniserende straling door middel van gepaste afscherming	11	De gebruikte materialen (hun eigenschappen, zoals dikte en dichtheid) zodanig kiezen dat de afscherming van de bevolking en werknemers kan verzekerd worden.

DI#	Ontwerpinputs	DR#	Ontwerpvereisten
12	Ontwerpbasis-voorvallen en ontwerpbasis-ongevallen weerstaan	12.a	Weerstaan aan de DBE350 (behoud van de veiligheidsfuncties)
		12.b	Weerstaan aan de DBE50 (behoud van de veiligheidsfuncties)
		12.c	Weerstaan aan de ontwerp klimaatbelastingen
		12.d	Weerstaan aan het ontwerpbasis-voorval 'bosbrand'
13	Gevolgen van defecten, incidenten of ongevallen voorkomen en mitigeren (<i>fail safe</i>)	13.a	Een SFP brug voorzien
		13.b	Een brandbeveiligings- en brandbestrijdingssysteem voorzien
14	Gestandaardiseerde monolieten gebruiken als bergingsverpakking	14	Gestandaardiseerde monolieten gebruiken
15	Terugneembaarheid mogelijk maken tot en met de nucleaire reglementaire controlefase	15.a	Opvulmateriaal van de modules zo kiezen dat de monolieten individueel terugneembaar blijven
		15.b	De levensduur van de hijsankers en de caisson moet minimaal 350 jaar zijn
16	Beschikken over een inspectieruimte en een drainagesysteem	16.a	Besmet of mogelijk besmet water apart van niet-besmet water opvangen door gescheiden netwerken
		16.b	Besmet of mogelijk besmet water opvangen door zwaartekrachtdrainage
		16.c	Over een inspectieruimte te beschikken
17	Beschikken over een stalen dakstructuur over alle modules	17	De stalen dakstructuur moet alle modules beschermen
18	Beschikken over een afdekking	18	Bedekken van alle modules door de afdekking
19	Bergingsmodules buiten het bereik van oppervlakte- en grondwater	19.a	De bovenzijde van de funderingen moet zich boven het bereik van oppervlakte- en grondwater bevinden.
		19.b	De toegang tot de inspectiegalerij moet zich boven het bereik van oppervlakte- en grondwater bevinden.
		19.c	Vermijden van capillaire opstijging
20	Badkuipeffect vermijden	20	Een ABS moet geïnstalleerd worden
21	Materialen kiezen die gasproductie in het bergingssysteem voorkomen en de performantie van het systeem niet schaden	21	Materialen kiezen die gasproductie in het bergingssysteem voorkomen en de performantie van het systeem niet schaden
22	Materialen gebruiken die de waarschijnlijkheid en de impact van brand tot een minimum beperken	22	Materialen gebruiken die de waarschijnlijkheid en de impact van brand tot een minimum beperken
23	Tijdens de exploitatiefase over noodtoevoer beschikken voor de SSC's die belangrijk zijn voor de veiligheid	23	Voorzien van een noodstroomvoorzieningssysteem
24	Aanwezigheid van lege ruimtes in de bergingsverpakkingen beperken	24	De aanwezigheid van lege ruimtes in de bergingsverpakkingen beperken
25	Structurele integriteit garanderen	25.a	Weerstaan aan de statische belastingen
		25.b	Weerstaan aan de dynamische belastingen (behalve aardbeving en klimaatbelastingen, zie DI.12)
		25.c	Beperken van de differentiële zettingen van de afdekking (vlotplaten)
		25.d	De aanwezigheid van lege ruimtes in de installatie beperken
26	Andere barrières beschermen	26	De afdekking moet de onderliggende componenten tegen chemische degradatie (incl. carbonatatie) en vorst beschermen
27	Instrumentatie voorzien die de informatie kan leveren die nodig is om de installatie op een betrouwbare en veilige manier te exploiteren	27	Instrumentatie voorzien die de informatie kan leveren die nodig is om de installatie op een betrouwbare en veilige manier uit te baten

2.13 Bijlage 2-3: Toekenning van de langetermijnveiligheidsfuncties aan verschillende ssc's en referenties voor M-rollen

2.13.1 R2a veiligheidsfunctie

Tabel 2-21: M- en c-rollen voor R2a veiligheidsfunctie

Insluiten – Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a)				
ssc's	III	IV	va/b	Referenties voor M-rollen
1. Afdekking				
Begroeiing op afdekking (evapotranspiratie)	M	M	M	Fase III: HS14 §14.3.2.4, grasvegetatie Fase IV: HS14 §14.3.2.5, vegetatie uit de omgeving (grasland, loofbomen) + lokale degradaties waar enige vegetatie-ontwikkeling op de bio-intrusielaag verwacht wordt Fase V: HS14 §14.3.2.6, ondoorlatende topplaat kan lokaal komen bloot te liggen, op andere plaatsen analoge vegetatie als in fase IV. Vegetatie evolueert tijdens fase V geleidelijk naar schrale begroeiing met beperkte evapotranspiratie.
Systeem "infiltratiebarrière (klei) + laterale drainage door zand in de bio-intrusielaag en ophoging aan de zijdes"	M	M	C	Fase III: HS14 §14.3.2.4 Fase IV: HS14 §14.3.2.5, er wordt niet verwacht dat de onderste gecompacteerd kleilaag in de afdekking zal uitdrogen, ook niet bij erosie van biologische laag tot op bio-intrusielaag. Lage hydraulische geleidbaarheid klei, HS05 §5.2.1.2 Hoge hydraulische geleidbaarheid zand, HS05 §5.2.1.2 Helling tussen klei en zand (gravitaire afstroming), HS05 §5.2.1.2
GCL in de infiltratiebarrière	C	C	C	-
Systeem "ondoorlatende topplaat + laterale drainage door zandlaag en ophoging aan de zijdes"	M	M	C	Fase III: HS14 §14.3.2.4 Fase IV: HS14 §14.3.2.5 - totale clogging van zandlaag niet verwacht, - ingegraven omstandigheden met zeer lage carbonatatie, lokale afwijkingen van beoogde performantie niet te na gelaten HS14 §14.3.2.7 Lage hydraulische geleidbaarheid beton: HS05 §5.5.1.2.1 Hoge hydraulische geleidbaarheid zand: HS05 §5.2.1.2 Helling tussen topplaat en zand (gravitaire afstroming) HS08 §8.5.7.2 Afd15
HDPE op de ondoorlatende topplaat en vlotplaten	C			-
Vlotplaten	C	C		-
Bitumenlaag op structurele topplaat	C			-
3. Module dak				
Structurele topplaat	C	C		-
Prefab afschermingsplaat	M	M	M	Fase III: HS14 §14.3.2.4 Fase IV en V: HS14 §14.3.2.5 en §14.3.2.6, - ingegraven omstandigheden met zeer lage carbonatatie, lokale afwijkingen van beoogde performantie niet te na gelaten HS14 §14.3.2.7 - prefab afschermingsplaat weerstaat met marge aan een voldoende grote aardbeving (terugkeerperiode van 20 000 jaar) §2.8.8.2.1.4
4. Module midden				
Modulewand	M	M	C	Lage hydraulische geleidbaarheid: HS05 §5.3.1.2
Opvulmateriaal in tussenruimten	M	M	M	Hoge hydraulische geleidbaarheid zodat water aan de zijkant van de monolieten naar beneden sijpelt en contact vermeden wordt tussen geïnfiltreerd water en afval: HS05 §5.6

Insluiten – Beperken van waterinsijpeling tot bij het afval (R2a)				
ssc's	III	IV	va/b	Referenties voor M-rollen
5. Monoliet				
Caisson	M	M	C	Zie modulewand + laterale afwatering via gootjes
Mortel	M	M	C	Lage hydraulische geleidbaarheid: HS05 §5.4.1.2.1
6. Modulebasis				
ABS/drainagesysteem in ondersteunende plaat	M	M	M	Hoge hydraulische geleidbaarheid waardoor waterophoping vermeden wordt aan de zijkant van de monolieten. Op deze wijze wordt contact tussen geïnfiltreerd water en afval verder vermeden. HS05 §5.8.1.2, §5.10.1 en §5.15.1
Opvulmateriaal inspectieruimte	M	M	M	
ABS in verbindingstunnels	M	M	M	

2.13.2 R1 veiligheidsfunctie

Afval in de berging moet een hoge weerstand tegen uitloging bezitten (zie §7.1.9 van [R2-45]). Bijvoorbeeld mag het afval geen vrije vloeistoffen bevatten en moeten de vrije ruimtes beperkt worden (§7.1.10 van [R2-45], art.36.3 van [R2-5]). De verpakking van geconditioneerd afval draagt bovendien bij tot insluiting van radionucliden tijdens transport en tijdelijke opslag. Afval voor berging bezit dus inherent karakteristieken die de insluiting van radionucliden ook op lange termijn bevorderen.

Bovendien zorgen de veiligheidsfunctie R2a en de trage saturatie van betonnen componenten ervoor dat er in het afval tijdens fases III en IV weinig water beschikbaar is voor chemische reacties (zie hierboven §2.8.3.2). Dit zorgt voor weinig uitloging van radionucliden uit het afval tijdens fases III en IV.

De R1 veiligheidsfunctie kan zorgen voor een verdere verbetering van de insluiting van radionucliden in het afval.

Tabel 2-22: M- en c-rollen voor R1 veiligheidsfunctie

Insluiten – Beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval (R1)				
ssc's	III	IV	va/b	Referenties voor M-rollen
Collo geconditioneerd afval (type I/II)	M	M	M	Traag vrijkomen uit het afval door sorptie op cement omdat grote meerderheid van colli geconditioneerd afval cement bevat. HS06 §6.4.4.3
Afval in type III	C	C	C	-

2.13.3 R3 veiligheidsfunctie

Tabel 2-23: M- en c-rollen voor R3 veiligheidsfunctie

Insluiten – Chemisch vasthouden van radionucliden (R3)				
ssc's	III	IV	va/b	Referenties voor M-rollen
1. Afdekking				Chemische retentie van radionucliden op uitgeharde cementpasta en op calciet: HS05 §5.3.1.2.9.
Ondoorlatende topplaat	C	C	C	
3. Moduledak				
Structurele topplaat	C	C	C	Voor mortel en caisson: dit zijn componenten met een lage diffusiviteit en hydraulische geleidbaarheid. Zodra er doorgaande scheurnetwerken zijn, wordt de chemische retentiecapaciteit deels gebypassed door de scheurnetwerken. Radionucliden zullen naar de scheuren migreren nadat ze sorptie ondervonden hebben in de mortel en caisson matrix. Deze componenten bevatten binnen hun matrix meer radionucliden dan de modulebasis, modulewand of ondoorlatende topplaat. Daarom wordt aan de mortel en de caisson tot in fase v een M-rol toegekend qua chemische retentie en aan de modulebasis, modulewand of ondoorlatende topplaat niet.
Prefab afschermingsplaat	C	C	C	
4. Module midden				
Modulewand	C	C	C	
5. Monoliet				
Caisson	M	M	M	
Mortel	M	M	M	
6. Modulebasis				
Ondersteunende plaat	C	C	C	
ABS in ondersteunende plaat /drainagesysteem	C	C	C	
Prefab element	C	C	C	Voor modulebasis en funderingen: - Zodra er netwerken van doorgaande scheuren zijn in de ondersteunende plaat, prefabelement, kolommen en funderingsplaat (vanaf fase v), wordt de chemische retentiecapaciteit in deze componenten minstens deels gebypassed door de scheurnetwerken. De radionucliden die van de bovenliggende componenten door de scheuren aangevoerd worden naar deze componenten zullen door de lage diffusiviteit en lage hydraulische geleidbaarheid zich weinig verspreiden naar de matrix. - Bij poreuze materialen met hoge hydraulische geleidbaarheid en dus grote dispersie (R4b) kan de chemische retentiecapaciteit ook na het optreden van netwerken van doorgaande scheuren benut worden tijdens het advectieve transport van radionucliden doorheen deze componenten (opvulmateriaal van inspectieruimtes, zand-cement ophoging, opvulmateriaal inspectiegalerij). Daarom wordt aan deze componenten zowel voor R4b als R3 een M-rol toegekend vanaf fase v (R4b vanaf fase va is voor deze componenten een voorwaarde opdat R3 kan toegekend worden vanaf fase va). M-rol tijdens fases III en IV is bij niet-verwachte vroegtijdige degradaties (abnormale omstandigheden).
Kolommen	C	C	C	
Opvulmateriaal inspectieruimte	M	M	M	
Funderingsplaat	C	C	C	
ABS in verbindingstunnels	C	C	C	
7. Opgevulde inspectiegalerij	M	M	M	
8. Funderingen				
Zand-cement	M	M	M	
Grondverbetering (bentoniet) ³⁰	C	C	C	

³⁰

De performantie van deze bentonietlaag dient nog aangetoond te worden, en heeft in het veiligheidsconcept daarom vooralsnog een C-rol (mogelijke toekomstige M-rol in het veiligheidsconcept indien bevestigd door lopend onderzoek en ontwikkeling). Daarom wordt op die component voorlopig niet gesteund in de veiligheidsevaluaties en wordt die in de argumentatie van de gelaagde bescherming in §2.8.8 buiten beschouwing gelaten.

2.13.4 R4a veiligheidsfunctie

Tabel 2-24: M- en c-rollen voor R4a veiligheidsfunctie

Insluiten – Beperken van diffusie van radionucliden (R4a)				
ssc's	III	IV	va/b	Referenties voor M-rollen
HDPE op de ondoorlatende topplaat	C			-
Ondoorlatende topplaat	M	M		Lage diffusiviteit, HS05 §5.5.1.2.8
Bitumen op structurele topplaat	C			-
3. Module dak				
Structurele topplaat	C	C		-
Prefab afschermingsplaat	C	C		-
4. Module midden				
Opvulmateriaal in tussenruimten	C	C		-
Modulewand	M	M		Lage diffusiviteit, HS05 §5.3.1.2.11
5. Monoliet				
Caisson	M	M	M	Lage diffusiviteit, HS05 §5.3.1.2.11 Tijdens fase V in een gescheurd beton, is er nog steeds een lage diffusiviteit van de stukken matrix tussen de scheuren, waardoor radionucliden traag naar scheuren toe migreren.
6. Modulebasis				
Ondersteunende plaat	M	M		Lage diffusiviteit, HS05 §5.3.1.2.11
ABS/drainagesysteem in ondersteunende plaat	C	C		-
Prefab element	C	C		-
Kolommen	C	C		-
Funderingsplaat	C	C		-

2.13.5 R4b veiligheidsfunctie

Tabel 2-25: M- en c-rollen voor R4b veiligheidsfunctie

Insluiten – Verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media (R4b)				
ssc's	III	IV	va/b	Referenties voor M-rollen
6. Modulebasis				Hoge hydraulische geleidbaarheid, waardoor poriënsnelheid hoog is en bijgevolg mechanische dispersie hoog is (mechanische dispersie domineert over diffusie). Opvulmateriaal inspectieruimte: HS05 §5.8.1.2 Zand-cement in funderingen en inspectiegalerij: HS05 §5.10.1 M-rol tijdens fases III en IV is bij niet-verwachte vroegtijdige degradaties (abnormale omstandigheden). M-rol tijdens fase va/b – zie §2.8.3.3.
ABS in ondersteunende plaat	C	C	C	
Opvulmateriaal inspectieruimte	M	M	M	
ABS in verbindingstunnels	C	C	C	
7. Opgevulde inspectiegalerij	M	M	M	
8. Funderingen				
Zand-cement	M	M	M	

2.13.6 I1 veiligheidsfunctie

Tabel 2-26: M- en c-rollen voor I1 veiligheidsfunctie

Afzonderen – Beperken van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie (I1)				
ssc's	III	IV	va/b	Referenties voor M-rollen
Aarden afdekking en ophoging aan de zijdes	M	M	C	Dikte en samenstelling van de aarden afdekking maken dat de functie wordt vervuld. HS14 §14.3.2.4 en §14.3.2.5
Ondoorlatende topplaat	M	M	C	Levensduur: HS14 §14.3.2.5, levensduur van ondoorlatende topplaat meer dan 1 000 jaar onder ingegraven omstandigheden In fase v worden de radionucliden nog afgezonderd van de mens door de configuratie van de afdekking, modules, monolieten, afval maar kan niet meer gerekend worden op fysieke barrières tussen radionucliden en de mens. Er dienen nog steeds intrusie-acties zoals boring, afgraving ... ondernomen te worden voor direct contact tussen de radionucliden en de mens.
3. Module dak				
Structurele topplaat	C	C	C	-
Prefab afschermingsplaat	C	C	C	-
4. Module midden				
Modulewand	M	M	C	Zie caisson
5. Monoliet				
Caisson	M	M	C	Levensduur meer dan 1 000 jaar, zie HS14 §14.3.2.5 en §14.3.2.6 In fase v worden de radionucliden nog afgezonderd van de mens door de configuratie van de afdekking, modules, monolieten, afval maar kan niet meer gerekend worden op de integriteit van de fysieke barrières tussen radionucliden en de mens. Er dienen nog steeds intrusie-acties zoals boring, afgraving ... ondernomen te worden voor direct contact tussen de radionucliden en de mens.
Caisson + mortel + afval	M	M	C	Zolang de monoliet als geheel vrij intact is, zullen monolieten eerder als geheel verwijderd worden bij grote constructie- en uitgravingswerken dan dat er een intrusie tot bij het afval zelf komt.
7. Opgevulde inspectiegalerij	M	M	C	Bij sluiting wordt de inspectiegalerij opgevuld en wordt de toegang van de galerij afgesloten met een materiaal met een zekere sterkte (HS08 §8.5.5.2 DR1.a op opgevulde inspectiegalerij).
9. Site en omgeving				
Toegangscontrole	M			Tot opheffing van nucleaire reglementaire controle (einde fase III) blijft de berging een nucleaire klasse I inrichting.
Afsluiting rond de site	M			Tot opheffing van nucleaire reglementaire controle (einde fase III) blijft de berging een nucleaire klasse I inrichting.
Markers en archieven	C	C	C	-

2.14 Bijlage 2-4: Complementariteit en onafhankelijkheid voor de verschillende mogelijke trajecten

2.14.1 Afzondering op lange termijn bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten

2.14.1.1 Traject van direct contact via de bovenkant van het bergingssysteem tijdens fase III

Tabel 2-27: ssc's en karakteristieken en processen die zorgen voor afzondering tot 350 jaar, voor de verwachte evolutie zoals in het veiligheidsconcept en voor bedreigingen (traject via bovenkant van het bergingssysteem). ssc's uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓. BI-1 = bedreiging door erosie en aardbevingen; BI-2 = bedreiging door val van een groot passagiersvliegtuig

Karakteristieken/processen	ssc's die volgens het veiligheidsconcept instaan voor I1 veiligheidsfunctie boven het afval	BI-1	BI-2
Actief beperken van toegang	Toegangscontrole	✓	✓
	Afsluiting rond de site	✓	✓
Dikte en samenstelling materiaal	Aarden afdekking (en ophoging aan de zijdes)	(✓)*	(✓)*
	Ondoorlatende topplaat	✓	(✓)*
	Caisson	✓	(✓)*
	Ondoorlatende topplaat	(✓) ^u	(✓)*
Mechanische sterkte	Caisson	(✓) ^u	(✓)*
	Caisson	(✓) ^u	(✓)*
Monolieten als geheel gemakkelijker te verwijderen dan erin binnen te dringen bij grootschalige uitgravingswerken	Mortel	(✓) ^u	(✓)*
	Afval	(✓) ^u	(✓)*

*Lokaal verdwenen

^u Mechanische sterkte kan aangetast zijn voor zware aardbevingen waarvoor er structurele schade aan de ondoorlatende topplaat, modules en caisson mogelijk zijn

Voor het traject via de bovenkant van het bergingssysteem is de veiligheidsfunctie I1 bij de bedreigingen nog verzekerd door verschillende SSC's die niet gezamenlijk falen bij de bedreigingen door erosie en aardbevingen (BI-1) en door val van een groot passagiersvliegtuig (BI-2) (Tabel 2-27). Voor de verschillende bedreigingen zijn er dus onafhankelijke SSC's. Er werd geen erosietype of aardbeving geïdentificeerd waardoor het afval bloot kan komen te liggen.

Er blijven verschillende SSC's, alsook verschillende karakteristieken en processen behouden die instaan voor de I1 veiligheidsfunctie bij de bedreigingen. Volgende complementariteit is beschikbaar voor het traject via de bovenkant van het bergingssysteem: toegangscontrole samen met afsluiting rond de site zijn bij BI-1 en BI-2 complementair aan

- de dikte en samenstelling materiaal in de aarden afdekking bovenop het afval, ondoorlatende topplaat en caisson
- de mechanische sterkte van de ondoorlatende topplaat
- de mechanische sterkte van de caisson
- de monoliet die als geheel gemakkelijker te verwijderen is dan erin binnen te dringen bij grootschalige uitgravingswerken.

2.14.1.2 Traject van direct contact via de zijkanten van het bergingssysteem

Tabel 2-28: ssc's en karakteristieken en processen die zorgen voor afzondering tot 350 jaar, voor de verwachte evolutie zoals in het veiligheidsconcept en voor bedreigingen (traject via zijkanten van het bergingssysteem). ssc's uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓. BI-1 = bedreiging door erosie en aardbevingen; BI-2 = bedreiging door val van een groot passagiersvliegtuig

Karakteristieken/processen	ssc's die volgens het veiligheidsconcept instaan voor I1 veiligheidsfunctie via de zijkanten van het afval	BI-1	BI-2
Actief beperken van toegang	Toegangscontrole	✓	✓
	Afsluiting rond de site	✓	✓
Dikte en samenstelling materiaal	Aarden afdekking en ophoging aan de zijdes	(✓)*	(✓)*
	Modulewand	✓	(✓)*
	Caisson	✓	(✓)*
Mechanische sterkte	Modulewand	(✓) ^u	(✓)*
	Caisson	(✓) ^u	(✓)*
Monolieten als geheel gemakkelijker te verwijderen dan erin binnen te dringen bij grootschalige uitgravingswerken	Caisson	(✓) ^u	(✓)*
	Mortel	(✓) ^u	(✓)*
	Afval	(✓) ^u	(✓)*

* Lokaal verdwenen

^u Mechanische sterkte kan aangetast zijn voor zware aardbevingen waarvoor er structurele schade aan de ondoorlatende topplaat, modules en caisson mogelijk zijn

Voor het traject via de zijkanten van het bergingssysteem is de veiligheidsfunctie I1 bij de bedreigingen verzekerd door verschillende SSC's die niet gezamenlijk falen bij de bedreigingen door erosie en aardbevingen (BI-1) en door val van een groot passagiersvliegtuig (BI-2) (Tabel 2-28). Voor de verschillende bedreigingen zijn er dus onafhankelijke SSC's.

Er blijven verschillende SSC's, alsook verschillende karakteristieken en processen behouden die instaan voor de I1 veiligheidsfunctie bij de bedreigingen. Volgende complementariteit is beschikbaar voor het traject via de zijkanten van het bergingssysteem: toegangscontrole samen met afsluiting rond de site zijn bij BI-1 en BI-2 complementair aan:

- de dikte en samenstelling materiaal in de ophoging aan de zijdes, modulewand en caisson
- de mechanische sterkte van de modulewand
- de mechanische sterkte van de caisson
- de monoliet die als geheel gemakkelijker te verwijderen is dan erin binnen te dringen bij grootschalige uitgravingswerken.

2.14.1.3 Traject van direct contact via de restanten van de inspectiegalerij tijdens fase III

Tabel 2-29: ssc's en karakteristieken en processen die zorgen voor afzondering tot 350 jaar, voor de verwachte evolutie zoals in het veiligheidsconcept en voor bedreigingen (traject via restanten van inspectiegalerij). ssc's uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓. BI-1 = bedreiging door erosie en aardbevingen; BI-2 = bedreiging door val van een groot passagiersvliegtuig

Karakteristieken/processen	ssc's die volgens het veiligheidsconcept instaan voor I1 veiligheidsfunctie bij traject via restanten van inspectiegalerij	BI-1	BI-2
Actief beperken van toegang	Toegangscontrole	✓	✓
	Afsluiting rond de site	✓	✓
Dikte en samenstelling materiaal	Opgevulde inspectiegalerij (lengte van pathway tot bij het afval)	✓	✓
Mechanische sterkte	Opgevulde inspectiegalerij (afsluiting met een materiaal met een zekere sterkte)		(✓)*

*Lokaal (in krater) verdwenen

Voor het traject via restanten van inspectiegalerij en inspectieruimtes is de veiligheidsfunctie I1 bij de bedreigingen verzekerd door verschillende SSC's die niet gezamenlijk falen bij de bedreigingen door erosie en aardbevingen (BI-1) en door val van een groot passagiersvliegtuig (BI-2) (Tabel 2-29). Voor de verschillende bedreigingen zijn er dus onafhankelijke SSC's.

Er blijven verschillende SSC's, alsook verschillende karakteristieken en processen behouden die instaan voor de I1 veiligheidsfunctie bij de bedreigingen. Volgende complementariteit is beschikbaar voor het traject via de restanten van de inspectiegalerij:

- 1) Toegangscontrole samen met afsluiting rond de site zijn bij de bedreiging door erosie en aardbevingen (BI-1) complementair aan
 - a) de lengte van de pathway tot bij het afval door het opvulmateriaal van de inspectiegalerij en
 - b) de mechanische sterkte van de afsluiting van de inspectiegalerij
- 2) Toegangscontrole samen met afsluiting rond de site, en de lengte van de pathway tot bij het afval door het opvulmateriaal van de inspectiegalerij zijn bij de bedreiging door val van een groot passagiersvliegtuig (BI-2) complementair aan de mechanische sterkte van de afsluiting van de inspectiegalerij.

2.14.2 Insluiting bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten

2.14.2.1 Trajecten in de periode tot 1 000 jaar

De volgende bedreigingen zijn beschouwd:

- Vroege aardbeving (BR-1)
- Vroege en zware aardbeving (BR-2)
- Val militair vliegtuig (BR-3)
- Val groot passagiersvliegtuig (BR-4)
- Versnelde erosie (BR-5)
- Extreme erosie (BR-6)
- Niet-gedetecteerde complexanten in afvalvorm (BR-7)
- Residentie op de bergingsinstallatie na boring (BR-8)
- Grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit – uitgestelde effecten na uitgraving (BR-9).

2.14.2.1.1 Trajecten naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen scheuren in de funderingsplaat

Tabel 2-30: ssc's en veiligheidsfuncties die zorgen voor insluiting tot 1 000 jaar, voor de verwachte evolutie zoals in het veiligheidsconcept en voor bedreigingen - uitloping naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie doorheen scheuren in de funderingsplaat. ssc's en veiligheidsfuncties uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓

Veiligheidsfuncties	ssc's en veiligheidsfuncties die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluitingsveiligheidsfuncties bij uitloping naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie doorheen scheuren in funderingsplaat tot 1 000 jaar	BR-1/3/5/6 zie Figuur 2-10	BR-2/4/9 zie Figuur 2-13
R2a	Evapotranspiratie door begroeiing op afdekking	(✓) ^s	(✓) ^s
	Systeem infiltratiebarrière (klei) + de ophoging aan de zijdes en het zand in de bio-intrusielaag		
	Systeem ondoorlatende topplaat + de ophoging aan de zijdes en de zandlaag bovenop de ondoorlatende topplaat		
	Modulewand		
	Caisson		
	Opvulmortel in de monoliet		
	Prefab afschermingsplaten	✓	
	Opvulmateriaal in tussenruimten	✓	✓
	Systeem: maatregelen tegen badkuipeffect in ondersteunende plaat + in verbindingstunnels	✓	✓
	Opvulmateriaal inspectieruimte	✓	✓
R1	Afval	(✓) ^ε	(✓) [*]

Veiligheidsfuncties	ssc's en veiligheidsfuncties die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluitingsveiligheidsfuncties bij uitlogging naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie doorheen scheuren in funderingsplaat tot 1 000 jaar	BR-1/3/5/6 zie Figuur 2-10	BR-2/4/9 zie Figuur 2-13
R3	Opvulmortel in de monoliet	(✓) ^ε	(✓) [*]
	Caisson	(✓) ^ε	(✓) [*]
R4a	Caisson	✓	✓
	Ondersteunende plaat		
R4b+R3	Opvulmateriaal inspectieruimte	✓	✓
	Zand-cement in funderingen	✓	✓

[§] Lokale en tijdelijke aantasting, ^ε Mogelijke bypass ten gevolge van het vroeger degraderen t.o.v. de verwachte evolutie, ^{*} Mogelijke bypass ten gevolge van vroeger, sneller en extremer degraderen t.o.v. de verwachte evolutie

Voor uitlogging naar de onderkant van het bergingssysteem doorheen scheuren in de funderingsplaat is de insluiting bij de bedreigingen verzekerd door verschillende combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties die niet gezamenlijk falen bij de bedreigingen door vroege aardbeving (BR-1), vroege en zware aardbeving (BR-2), val militair vliegtuig (BR-3), val groot passagiersvliegtuig (BR-4), versnelde erosie (BR-5), extreme erosie (BR-6), grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit (BR-9) (Tabel 2-30). Voor de verschillende bedreigingen zijn er dus onafhankelijke combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties.

Bij vroege aardbeving, val militair vliegtuig, versnelde erosie en extreme erosie BR-1/3/5/6 is er complementariteit:

- 1) Voor insluiting in zijn geheel, want
 - a) Alle veiligheidsfuncties R2a, R1, R3, R4a, R4b+R3 zijn beschikbaar
 - b) Meerdere SSC's en veiligheidsfuncties blijven beschikbaar (aangeduid met een ✓ in Tabel 2-30) en zijn complementair aan de SSC's en veiligheidsfuncties die wegvallen (aangeduid met een leeg vak in Tabel 2-30)

- 2) Voor de R2a veiligheidsfunctie, want de laterale afwatering bovenop de afschermingsplaten en de drainage door het opvulmateriaal in de tussenruimten, de maatregelen tegen het badkuipeffect en het opvulmateriaal in de inspectieruimte zijn complementair aan de gedegradeerde componenten van de aarden afdekking en aan de gedegradeerde ondoorlatende topplaat die voor een laterale afwatering weg van de modules zorgden in de verwachte evolutie.

Ten gevolge van de bedreiging BR-7 (niet-gedetecteerde complexanten in afvalvorm) is er voor 1 000 jaar geen aanpassing van de transportweg t.o.v. de verwachte evolutie; er is dus enkel diffusief transport. Daarom dient deze bedreiging niet beschouwd te worden voor het traject 'advectie naar de onderkant van het bergingssysteem doorheen scheuren in de funderingsplaat' (zie verder Tabel 2-32).

Ten gevolge van de bedreiging BR-8 (residentie op de bergingsinstallatie na boring) is het verwachte traject niet advectie doorheen scheuren in de funderingsplaat zoals hier beschouwd, maar advectie doorheen boring en verstoorde zone van boring met bypass van modulebasis en funderingen. Deze bedreiging wordt apart beschouwd (zie verder Tabel 2-31).

2.14.2.1.2 Trajecten naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen ABS in verbindingstunnels en restanten van inspectiegalerij

De uitloging naar de restanten van inspectiegalerij is analoog als de uitloging naar de *onderkant* van het bergingssysteem met migratie doorheen scheuren in funderingsplaat, met volgende verschillen:

- Radionucliden migreren vanuit ABS in ondersteunende plaat naar opvulmateriaal van verbindingstunnels alvorens verder te migreren naar ABS in de verbindingstunnels en/of naar opvulmateriaal van inspectiegalerij. Het opvulmateriaal van de inspectieruimte kan daarbij gedeeltelijk gebypassed worden door zand-cement dat tot aan de openingen onderaan de ondersteunende plaat komt (zie Figuur 2-18), maar het (zand-cement) opvulmateriaal van de verbindingstunnels neemt de rol ervan over.
- Onder de inspectiegalerij is de zand-cement laag van de funderingen minder dik, maar dit wordt gecompenseerd door het opvulmateriaal uit zand-cement van de inspectiegalerij en verbindingstunnels.

Bij de bedreigingen zijn er dan ook meerdere veiligheidsfuncties en SSC's onafhankelijk en zijn er verschillende complementariteiten, net zoals bij de uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem doorheen scheuren in de funderingsplaat.



Figuur 2-18: Overzicht van het anti-badkuipsysteem

2.14.2.1.3 Trajecten naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen boring en verstoorde zone van boring met bypass van modulebasis en funderingen

Tabel 2-31: ssc's en veiligheidsfuncties die zorgen voor insluiting tot 1 000 jaar, voor de verwachte evolutie zoals in het veiligheidsconcept en voor bedreigingen - uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen boring en verstoorde zone van boring met bypass van modulebasis en funderingen. ssc's en veiligheidsfuncties uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreiging worden aangeduid met ✓

Veiligheidsfuncties	ssc's en veiligheidsfuncties die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluitingsveiligheidsfuncties bij uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen boring en verstoorde zone van boring met bypass van modulebasis en funderingen tot 1 000 jaar	BR-8 zie Figuur 2-11
R2a	Evapotranspiratie door begroeiing op afdekking	(✓) ^{\$}
	Systeem infiltratiebarrière (klei) + de ophoging aan de zijdes en het zand in de bio-intrusielaag	(✓) ^{\$}
	Systeem ondoorlatende topplaat + de ophoging aan de zijdes en de zandlaag bovenop de ondoorlatende topplaat	(✓) ^{\$}
	Modulewand	✓
	Caisson	(✓) ^{\$}
	Opvulmortel in de monoliet	(✓) ^{\$}
	Prefab afschermingsplaten	(✓) ^{\$}
	Opvulmateriaal in tussenruimten	✓
	Systeem: maatregelen tegen badkuipeffect in ondersteunende plaat + in verbindingstunnels	
	Opvulmateriaal inspectieruimte	
R1	Afval	(✓) [*]
R3	Opvulmortel in de monoliet	(✓) [*]
	Caisson	(✓) [*]

Veiligheidsfuncties	ssc's en veiligheidsfuncties die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluitingsveiligheidsfuncties bij uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen boring en verstoorde zone van boring met bypass van modulebasis en funderingen tot 1 000 jaar	BR-8 zie Figuur 2-11
R4a	Caisson	(✓) [*]
	Ondersteunende plaat	
R4b+R3	Opvulmateriaal inspectieruimte	
	Zand-cement in funderingen	

[§] Lokaal aangetast in en nabij boring, ^{*} Mogelijke bypass ten gevolge van een extremere degradatie dan deze weerhouden in de verwachte evolutie

Bij de residentie op de bergingsinstallatie na een boring kan de lokale aantasting van de functie R2a en R4b+R3 gedeeltelijk overgenomen worden door het traag vrijkomen van radionucliden uit het afval (R1), de sorptie in de caisson en opvulmortel (R3) en de beperkte diffusie van de caisson (R4a), al kan er ook niet uitgesloten worden dat de R1, R3 en R4a functies mogelijks ook lokaal gebypassed worden (Tabel 2-31). Dit is echter een lokaal fenomeen daar het één monolietstapel betreft. Op de overige plaatsen die niet aangetast zijn door de boring, wordt de functie R4b+R3 gedeeltelijk overgenomen door R2a, R1, R3 en R4a. Er is globaal genomen dus complementariteit voor insluiting.

2.14.2.1.4 Trajecten naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door diffusie

Voor dit traject dient enkel de bedreiging BR-7 (niet gedetecteerde complexanten in afvalvorm) beschouwd te worden, aangezien de andere bedreigingen aanleiding geven tot andere trajecten en uitloging door advectie in de tijdspanne tot 1 000 jaar.

Tabel 2-32: ssc's en veiligheidsfuncties die zorgen voor insluiting tot 1 000 jaar, voor de verwachte evolutie zoals in het veiligheidsconcept en voor bedreigingen - uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem door diffusie. ssc's en veiligheidsfuncties uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreiging worden aangeduid met ✓

Veiligheidsfuncties	ssc's en veiligheidsfuncties die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluitingsveiligheidsfuncties bij uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem door diffusie tot 1 000 jaar	BR-7 zie Figuur 2-15
R2a	Evapotranspiratie door begroeiing op afdekking	✓
	Systeem infiltratiebarrière (klei) + de ophoging aan de zijdes en het zand in de bio-intrusielaag	✓
	Systeem ondoorlatende topplaat + de ophoging aan de zijdes en de zandlaag bovenop de ondoorlatende topplaat	✓
	Modulewand	✓
	Caisson	✓
	Opvulmortel in de monoliet	✓
	Prefab afschermingsplaten	✓
	Opvulmateriaal in tussenruimten	✓
	Systeem: maatregelen tegen badkuipeffect in ondersteunende plaat + in verbindingstunnels	✓
	Opvulmateriaal inspectieruimte	✓
R1	Afval	(✓) [£]
R3	Opvulmortel in de monoliet	(✓) [£]
	Caisson	(✓) [£]
R4a	Caisson	✓
	Ondersteunende plaat	✓
R4b+R3	Opvulmateriaal inspectieruimte	(✓) [£]
	Zand-cement in funderingen	(✓) [£]

[£] Lokale aantasting

Voor uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem door diffusie is de insluiting bij de bedreigingen verzekerd door verschillende combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties die niet gezamenlijk falen bij de bedreiging door niet-gedetecteerde complexanten in de afvalvorm BR-7 (Tabel 2-32). Voor BR-7 zijn er dus onafhankelijke combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties. Voor dit traject dient enkel de bedreiging BR-7 (niet gedetecteerde complexanten in afvalvorm) beschouwd te worden, aangezien de andere bedreigingen aanleiding geven tot advectieve transporten in de tijdspanne tot 1 000 jaar.

Bij niet-gedetecteerde complexanten in de afvalvorm BR-7 wordt de lokale aantasting van de functies R3, R1, R4b+R3 gedeeltelijk overgenomen door het beperken van de waterinsijpeling tot bij het afval (R2a functie) en door het beperken van diffusie (R4a). Er is dus complementariteit voor insluiting in zijn geheel omdat

- Op plaatsen van lokale aantasting de veiligheidsfuncties R2a en R4a beschikbaar zijn
- Op de overige plaatsen alle veiligheidsfuncties en SSC's beschikbaar zijn die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluiting bij doorgaande scheuren in de funderingsplaat na 1 000 jaar.

2.14.2.1.5 Trajecten naar de bovenkant van het bergingssysteem

Tabel 2-33: ssc's en veiligheidsfuncties die zorgen voor insluiting tot 1 000 jaar, voor de verwachte evolutie zoals in het veiligheidsconcept en voor bedreigingen – uitloging naar de bovenkant van het bergingssysteem (door diffusie). ssc's en veiligheidsfuncties uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreiging worden aangeduid met ✓

Veiligheidsfuncties	ssc's en veiligheidsfuncties die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluitings- veiligheidsfuncties bij uitloging naar de bovenkant van het bergingssysteem tot 1 000 jaar	BR-7 zie Figuur 2-15
R2a	Prefab afschermingsplaten	✓
	Opvulmateriaal in tussenruimten	✓
	Systeem: maatregelen tegen badkuipeffect in ondersteunende plaat + in verbindingstunnels	✓
	Opvulmateriaal inspectieruimte	✓
R1	Afval	(✓) [£]
R3	Opvulmortel in de monoliet	(✓) [£]
	Caisson	(✓) [£]
R4a	Caisson	✓
	Ondoorlatende topplaat	✓

[£] Lokale aantasting

Mogelijke uitloging naar de bovenkant van het bergingssysteem kan gebeuren door diffusie. Het badkuipeffect is uitgesloten door de maatregelen tegen het badkuipeffect en het opvulmateriaal in de inspectieruimte die beschikbaar blijven (Tabel 2-33).

Voor uitloging naar de bovenkant van het bergingssysteem is de insluiting bij de bedreiging niet-gedetectedeerde complexanten in de afvalvorm BR-7 verzekerd door verschillende combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties die niet gezamenlijk falen bij de bedreiging (Tabel 2-33). Voor de bedreiging BR-7 zijn er dus onafhankelijke combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties. Bij BR-7 is er ook complementariteit want de R2a en R4a functies blijven beschikbaar.

Voor BR-8 is het badkuipeffect uitgesloten door de boring en aantasting door de boring. Voor dit traject dient enkel de bedreiging BR-7 (niet gedetecteerde complexanten in afvalvorm) beschouwd te worden, aangezien de andere bedreigingen aanleiding geven tot advectieve transporten in de tijdspanne tot 1 000 jaar.

2.14.2.1.6 Trajecten naar de zijanten van het bergingssysteem

Tabel 2-34: ssc's en veiligheidsfuncties die zorgen voor insluiting tot 1 000 jaar, voor de verwachte evolutie zoals in het veiligheidsconcept en voor bedreigingen – uitlogging naar de zijanten van het bergingssysteem (door diffusie). ssc's en veiligheidsfuncties uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓

Veiligheidsfuncties	ssc's en veiligheidsfuncties die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluitingsveiligheidsfuncties bij uitlogging naar de zijanten van het bergingssysteem tot 1 000 jaar	BR-7 zie Figuur 2-15
R2a	Modulewand	✓
	Caisson	✓
	Opvulmortel in de monoliet	✓
	Prefab afschermingsplaten	✓
	Opvulmateriaal in tussenruimten	✓
	Systeem: maatregelen tegen badkuipeffect in ondersteunende plaat + in verbindingstunnels	✓
	Opvulmateriaal inspectieruimte	✓
R1	Afval	(✓) [£]
R3	Opvulmortel in de monoliet	(✓) [£]
	Caisson	(✓) [£]
R4a	Caisson	✓
	Modulewand	✓

[£] Lokale aantasting

Mogelijke uitloging naar de zijkanten van het bergingssysteem kan gebeuren door diffusie. Het badkuipeffect is uitgesloten door de maatregelen ertegen en door het opvulmateriaal in de inspectieruimte die beide beschikbaar blijven (Tabel 2-34). Voor dit traject dient enkel de bedreiging BR-7 (niet gedetecteerde complexanten in afvalvorm) beschouwd te worden, aangezien de andere bedreigingen aanleiding geven tot advectioneel transporten in de tijdspanne tot 1 000 jaar.

Voor uitloging naar de zijkanten van het bergingssysteem is de insluiting bij de bedreiging niet-gedetecteerde complexanten in de afvalvorm BR-7 verzekerd door verschillende combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties die niet gezamenlijk falen bij de bedreiging (Tabel 2-34). Voor de bedreiging BR-7 zijn er dus onafhankelijke combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties. Bij BR-7 is er ook complementariteit want de R2a en R4a functies blijven beschikbaar.

2.14.2.2 Trajecten in de periode na 1 000 jaar

Na 1000 jaar zijn de bedreigingen BR-1/3/5/6 vervat in de verwachte evolutie en in het veiligheidsconcept.

2.14.2.2.1 Trajecten naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen scheuren in de funderingsplaat

Tabel 2-35: ssc's en veiligheidsfuncties die zorgen voor insluiting na 1 000 jaar, voor de verwachte evolutie zoals in het veiligheidsconcept en voor bedreigingen - uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem doorheen scheuren in de funderingsplaat. ssc's en veiligheidsfuncties uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓

Veiligheidsfuncties	ssc's en veiligheidsfuncties die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluitingsveiligheidsfuncties bij uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie doorheen scheuren in funderingsplaat na 1 000 jaar	BR-2/4/9 zie Figuur 2-14	BR-7 zie Figuur 2-16
R2a	Evapotranspiratie door begroeiing op restanten van afdekking	(✓) ^S	✓
	Prefab afschermingsplaten		✓
	Opvulmateriaal in tussenruimten	✓	✓
	Systeem: maatregelen tegen het badkuipeffect in ondersteunende plaat + in verbindingstunnels	✓	✓
	Opvulmateriaal inspectieruimte	✓	✓
R1	Afval	(✓) [*]	(✓) ^E
R3	Opvulmortel in de monoliet	(✓) [*]	(✓) ^E
	Caisson	(✓) [*]	(✓) ^E
R4a	Caisson	✓	✓
R4b+R3	Opvulmateriaal inspectieruimte	✓	(✓) ^E
	Zand-cement in funderingen	✓	(✓) ^E

[§] Lokale en tijdelijke aantasting, [£] Lokale aantasting, ^{*} Mogelijke bypass ten gevolge van een extremere degradatie dan deze weerhouden in de verwachte evolutie

Voor uitlogging naar de onderkant van het bergingssysteem doorheen scheuren in de funderingsplaat is de insluiting bij de bedreigingen verzekerd door verschillende combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties die niet gezamenlijk falen bij de bedreigingen door vroege en zware aardbeving (BR-2), val van een groot passagiersvliegtuig (BR-4), grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit (BR-9) en niet-gedetecteerde complexanten (BR-7) (Tabel 2-35). Voor de verschillende bedreigingen zijn er dus onafhankelijke combinaties van SSC's en veiligheidsfuncties.

Bij de bedreigingen door vroege en zware aardbeving (BR-2), grootschalige aantasting van de insluitingscapaciteit (BR-9) en door val van een groot passagiersvliegtuig (BR-4) is er complementariteit, want

- 1) Alle veiligheidsfuncties R2a, R1, R3, R4a, R4b+R3 zijn beschikbaar
- 2) Meerdere SSC's en veiligheidsfuncties blijven beschikbaar (aangeduid met een ✓ in Tabel 2-35) en zijn complementair aan de SSC's en veiligheidsfuncties die wegvallen (aangeduid met een leeg vak in Tabel 2-35).

Bij de bedreiging door niet-gedetecteerde complexanten in de afvalvorm (BR-7) wordt de lokale aantasting van de functies R3, R1, R4b+R3 gedeeltelijk overgenomen door het beperken van de waterinsijpeling tot bij het afval (R2a functie) en door het beperken van diffusie (R4a). Er is dus complementariteit voor insluiting in zijn geheel omdat op plaatsen van lokale aantasting de veiligheidsfuncties R2a en R4a beschikbaar zijn en op de overige plaatsen alle veiligheidsfuncties en SSC's beschikbaar zijn die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluiting bij doorgaande scheuren in de funderingsplaat na 1 000 jaar.

2.14.2.2.2 Trajecten naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen het anti-badkuipsysteem in verbindingstunnels en restanten van inspectiegalerij

De uitlogging naar de restanten van inspectiegalerij is analoog als de uitlogging naar de *onderkant* van het bergingssysteem met migratie doorheen scheuren in funderingsplaat, met volgende verschillen:

- Radionucliden migreren vanuit ABS van ondersteunende plaat naar opvulmateriaal van verbindingstunnels alvorens verder te migreren naar ABS in de verbindingstunnels en/of naar opvulmateriaal van inspectiegalerij. Het opvulmateriaal van de inspectieruimte kan daarbij gedeeltelijk gebypassed worden door zand-cement dat tot aan de openingen onderaan de ondersteunende plaat komt (zie Figuur 2-18), maar het (zand-cement) opvulmateriaal van de verbindingstunnels neemt de rol ervan over

- Onder de inspectiegalerij is de zand-cement laag van de funderingen minder dik, maar dit wordt gecompenseerd door het opvulmateriaal uit zand-cement van de inspectiegalerij.

Bij de bedreigingen zijn er dan ook meerdere veiligheidsfuncties en SSC's onafhankelijk en zijn er verschillende complementariteiten, net zoals bij de uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem.

2.14.2.2.3 Trajecten naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen boring en verstoorde zone van boring met bypass van modulebasis en funderingen

Bij de residentie op de bergingsinstallatie na een boring kan de lokale aantasting van de functie R2a en R4b+R3 gedeeltelijk overgenomen worden door het traag vrijkomen van radionucliden uit het afval (R1), de sorptie in de caisson en opvulmortel (R3) en de beperkte diffusie van de caisson (R4a), al kan er ook niet uitgesloten worden dat de R1, R3 en R4a functies mogelijks ook lokaal gebypassed worden (Tabel 2-36). Dit is echter een lokaal fenomeen daar het één monolietstapel betreft. Op de overige plaatsen die niet aangetast zijn door de boring, wordt de functie R4b+R3 gedeeltelijk overgenomen door R2a, R1, R3 en R4a. Er is globaal genomen dus complementariteit voor insluiting.

Tabel 2-36: ssc's en veiligheidsfuncties die zorgen voor insluiting na 1 000 jaar, voor de verwachte evolutie zoals in het veiligheidsconcept en voor bedreigingen - uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen boring en verstoorde zone van boring met bypass van modulebasis en funderingen. ssc's en veiligheidsfuncties uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreiging worden aangeduid met ✓

Veiligheidsfuncties	ssc's en veiligheidsfuncties die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluitingsveiligheidsfuncties bij uitloging naar de onderkant van het bergingssysteem en migratie door advectie doorheen boring en verstoorde zone van boring met bypass van modulebasis en funderingen na 1 000 jaar	BR-8 zie Figuur 2-12
R2a	Evapotranspiratie door begroeiing op restanten van afdekking	(✓) [§]
	Prefab afschermingsplaten	(✓) [§]
	Opvulmateriaal in tussenruimten	✓
	Systeem: maatregelen tegen badkuipeffect in ondersteunende plaat + in verbindingstunnels	
	Opvulmateriaal inspectieruimte	
R1	Afval	(✓) [*]
R3	Opvulmortel in de monoliet	(✓) [*]
	Caisson	(✓) [*]
R4a	Caisson	(✓) [*]
R4b+R3	Opvulmateriaal inspectieruimte	
	Zand-cement in funderingen	

[§] Lokaal aangetast in en nabij boring, ^{*} Mogelijke bypass ten gevolge van een extremere degradatie dan deze weerhouden in de verwachte evolutie

2.14.3 Insluiting tijdens de operationele periode bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten en configuraties

2.14.3.1 Trajecten naar de boven- en zijkanten van het bergingssysteem (atmosferische vrijzetting) tijdens fase 1a

2.14.3.1.1 Configuratie van een module in opvulling

Tabel 2-37: ssc's die zorgen voor insluiting om vrijzetting van radionucliden langs de boven- en zijkanten van het bergingssysteem te beletten tijdens fase 1a. ssc's uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓. Configuratie van een module in opvulling.

ssc's die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluiting om vrijzetting van radionucliden langs de boven- en zijkanten van het bergingssysteem te beletten tijdens fase 1a (atmosferische vrijzetting). Module in opvulling.	Val klein luchtvaartuig	Val rolbrug
Caisson	(✓) [§]	(✓) [§]
Mortel	(✓) [§]	(✓) [§]

[§] lokaal aangetast

2.14.3.1.2 Configuratie van een gevulde module

Tabel 2-38: ssc's die zorgen voor insluiting om vrijzetting van radionucliden langs de boven- en zijkanten van het bergingssysteem te beletten tijdens fase 1a. ssc's uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓. Configuratie van een gevulde module.

ssc's die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluiting om vrijzetting van radionucliden langs de boven- en zijkanten van het bergingssysteem te beletten tijdens fase 1a (atmosferische vrijzetting). Gevulde module	Val klein luchtvaartuig	Val rolbrug
Caisson	(✓) [§]	✓
Mortel	(✓) [§]	✓

[§] lokaal aangetast

2.14.3.2 Trajecten naar de onderkant van het bergingssysteem (uitlogging) tijdens fase 1a

2.14.3.2.1 Configuratie van een module in opvulling

Tabel 2-39: ssc's die zorgen voor insluiting om vrijzetting van radionucliden langs de onderkant van het bergingssysteem te beletten tijdens fase 1a. ssc's uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓. Configuratie van een module in opvulling.

ssc's die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluiting om vrijzetting van radionucliden langs de onderkant van het bergingssysteem te beletten tijdens fase 1a (vrijzetting door uitlogging). Module in opvulling	Val klein luchtvaartuig	Val rolbrug
Caisson	(✓) [§]	(✓) [§]
Mortel	(✓) [§]	(✓) [§]
Ondersteunende plaat	*	*
- Leidingen/ABS in ondersteunende plaat	μ	μ
- Transparante container	μ	μ
- Vloer van de inspectieruimte (funderingsplaat)	*	*
- Hoofdleiding in de inspectieruimte	μ	μ
- Opslagtanks in WCB	✓	✓
- Afvoeren (naar Belgoprocess) van effluënten voor verwerking	✓	✓
Vloer van de inspectiegalerij	*	✓
Noodvoeding (en UPS)	✓	✓
Brandbestrijdingssystemen	✓	✓

[§] lokaal aangetast

* is ontworpen om te weerstaan aan dynamische belastingen door aardbevingen, maar de weerstand aan de hier vermelde dynamische belastingen is niet aangetoond via berekeningen – behoud van de insluitingsfunctie dient geverifieerd te worden

^μ het drainagesysteem is niet specifiek ontworpen om te weerstaan aan dynamische belastingen (aardbevingen), aantasting dient geverifieerd te worden na de val klein luchtvaartuig of de rolbrug, en indien er aantasting is, dan zal het drainagesysteem hersteld worden

2.14.3.2.2 Configuratie van een gevulde module

Tabel 2-40: ssc's die zorgen voor insluiting om vrijzetting van radionucliden langs de onderkant van het bergingssysteem te beletten tijdens fase 1a. ssc's uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓. Configuratie van een gevulde module.

ssc's die volgens het veiligheidsconcept instaan voor insluiting om vrijzetting van radionucliden langs de onderkant van het bergingssysteem te beletten tijdens fase 1a (vrijzetting door uitloging). Gevulde module	Val klein luchtvaartuig	Val rolbrug
Caisson	(✓) [§]	✓
Mortel	(✓) [§]	✓
Ondersteunende plaat	*	*
- Leidingen/ABS in ondersteunende plaat	μ	μ
- Transparante container	μ	μ
- Vloer van de inspectieruimte (funderingsplaat)	*	*
- Hoofdleiding in de inspectieruimte	μ	μ
- Opslagtanks in WCB	✓	✓
- Afvoeren (naar Belgoprocess) van effluënten voor verwerking	✓	✓
Vloer van de inspectiegalerij	*	✓
Noodvoeding (en UPS)	✓	✓
Brandbestrijdingssystemen	✓	✓

[§] lokaal aangetast

* is ontworpen om te weerstaan aan dynamische belastingen door aardbevingen, maar de weerstand aan de hier vermelde dynamische belastingen is niet aangetoond via berekeningen – behoud van de insluitingsfunctie dient geverifieerd te worden

^μ het drainagesysteem is niet specifiek ontworpen om te weerstaan aan dynamische belastingen (aardbevingen), aantasting dient geverifieerd te worden na de val klein luchtvaartuig of de rolbrug, en indien er aantasting is, dan zal het drainagesysteem hersteld worden

2.14.4 Beperking van externe straling tijdens de operationele periode bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten en configuraties

2.14.4.1 Verplaatsen van afval naar de modules – monoliet in transportcontainer (fase 1a)

Bij het verplaatsen van afval naar de modules blijven de verschillende blootgestelde personen beschermd door verschillende SSC's en maatregelen die niet gezamenlijk falen bij de bedreigingen door

- 1) het stilvallen van de trolley tijdens transport van een monoliet en
- 2) de val van de monoliet uit de transportcontainer (Tabel 2-41).

Voor deze bedreigingen zijn er dus onafhankelijke SSC's en maatregelen.

2.14.4.1.1 Stilvallen van de trolley tijdens transport van een monoliet

Volgende complementariteit is beschikbaar bij het stilvallen van de trolley tijdens transport van een monoliet:

- 1) Complementariteit voor beperken van externe straling in zijn geheel, want
 - a) De twee veiligheidsfuncties 'Afschermen' en 'Afzonderen' zijn beschikbaar voor alle blootgestelde personen
 - b) Alle SSC's voorzien voor afscherming blijven beschikbaar
 - c) Meerdere SSC's en maatregelen voor afzondering blijven beschikbaar en zijn complementair aan de maatregel die wegvalt
- 2) Complementariteit voor afzondering: Enkel voor 'werknemers verantwoordelijk voor manipulaties op de site' is er een voorziene maatregel niet langer beschikbaar voor 'afzonderen': het stilvallen van de trolley kan een niet-afstandsbediende tussenkomst noodzakelijk maken, waardoor het 'afstandsbediend systeem vanuit de controlekamer' zijn afzonderingsfunctie niet meer vervult. In dat geval zijn de volgende SSC's en maatregelen met een afzonderingsfunctie complementair daaraan:
 - a) Beperken van de tijd voor de niet-afstandsbediende tussenkomst
 - b) Toegangscontrole tot gecontroleerde zone
 - c) Caisson
 - d) Transportcontainer.

Het stilvallen van de trolley geeft geen aanleiding tot extra blootstelling aan externe straling voor het publiek, werknemers in de gecontroleerde zone rondom en boven de modules, werknemers in de inspectiegalerij, werknemers in de bewaakte zone. De gevolgen voor de werknemers die de interventie uitvoeren zijn beperkt: geschatte dosis voor de werknemers door de interventie is $< 1 \text{ mSv}$ (HS13 §13.4.6.3).

2.14.4.1.2 Val van de monoliet uit de transportcontainer

Volgende complementariteit is beschikbaar bij de val van de monoliet uit de transportcontainer:

- 1) Complementariteit voor beperken van externe straling in zijn geheel, want
 - a) De twee veiligheidsfuncties 'Afschermen' en 'Afzonderen' zijn beschikbaar voor alle blootgestelde personen

- b) Meerdere SSC's en maatregelen blijven beschikbaar en zijn complementair aan de maatregel die wegvalt
- 2) Complementariteit voor afzondering voor 'werknemers verantwoordelijk voor manipulaties op de site': de val uit de transportcontainer kan een niet-afstandsbediende interventie noodzakelijk maken, waardoor het 'afstandsbediend systeem vanuit de controlekamer' zijn afzonderingsfunctie niet meer vervult. In dat geval zijn de volgende SSC's en maatregelen bij de verplaatsing van de monoliet complementair daaraan:
 - a) Beperken van de interventietijd
 - b) Toegangscontrole tot gecontroleerde zone met werkvergunning voor specifiek werk
 - c) Caisson
- 3) Complementariteit tussen de veiligheidsfuncties 'afschermen' en 'afzonderen' voor 'werknemers in de gecontroleerde zone rondom en boven de modules', en 'werknemers in de inspectiegalerij': het beperken van externe straling gebeurt minder efficiënt door het verminderen van de afscherming van de transportcontainer, maar wordt wel verder beperkt door de afzonderingsmaatregel 'Toegangscontrole tot gecontroleerde zone'.
- 4) Complementariteit tussen de veiligheidsfuncties 'afschermen' en 'afzonderen' voor 'werknemers in bewaakte zone' en 'het publiek': het beperken van externe straling gebeurt minder efficiënt door het verminderen van de afscherming van de transportcontainer, maar wordt, indien de onafgeschermd monoliet verplaatst moet worden wel verder beperkt door de afzonderingsmaatregel 'beperken van interventietijd waardoor de monoliet snel opnieuw afgeschermd wordt'.

De blootstelling aan externe straling voor het publiek, werknemers in de gecontroleerde zone rondom en boven de modules, werknemers in de inspectiegalerij, werknemers in de bewaakte zone wijzigt niet. De gevolgen voor de werknemers die de interventie uitvoeren zijn beperkt: geschatte dosis voor de werknemers door de interventie is $< 1 \text{ mSv}$ (HS13 §13.5.13.4).

Tabel 2-41: ssc's en maatregelen die zorgen voor beperking van externe straling bij het verplaatsen van afval naar de modules – zoals voorzien en bij de bedreigingen, voor de verschillende mogelijk blootgestelde personen. ssc's en maatregelen die bij bedreigingen behouden blijven, worden aangeduid met ✓.

Blootgestelde personen	Veiligheids-functie	Voorziene ssc's en maatregelen voor beperking van externe straling bij het verplaatsen van afval naar de modules – monoliet in transportcontainer	Stilvallen van de trolley	Val van de monoliet uit de transportcontainer
Werknemers verantwoordelijk voor manipulaties op de site	Afschermen	Mortel	✓	✓
		Caisson	✓	✓
		Transportcontainer	✓	
	Afzonderen	Afstandsbediend systeem vanuit controlekamer		
		(Caisson)*	✓	Niet van toepassing
		(Transportcontainer)*	✓	
		(Beperken tijd voor niet-afstandsbediende tussenkomst)*	✓	
		(Toegangscontrole gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken)*	✓	
		(Bij verplaatsing van onafgeschermd monoliet interventietijd beperken)	Niet van toepassing	✓
		(Bij verplaatsing van onafgeschermd monoliet toegangscontrole met vergunning voor specifiek werk)		✓
Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules	Afschermen	Mortel	✓	✓
		Caisson	✓	✓
		Transportcontainer	✓	
	Afzonderen	Caisson	✓	✓
		Transportcontainer	✓	
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓
Werknemers in inspectiegalerij	Afschermen	Mortel	✓	✓
		Caisson	✓	✓
		Transportcontainer	✓	
		Bovenkant en zijanten van inspectiegalerij	✓	✓
	Afzonderen	Caisson	✓	✓
		Transportcontainer	✓	
		Sporen (afstand)	✓	✓
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓

Blootgestelde personen	Veiligheids-functie	Voorziene ssc's en maatregelen voor beperking van externe straling bij het verplaatsen van afval naar de modules – monoliet in transportcontainer	Stilvallen van de trolley	Val van de monoliet uit de transportcontainer
Werknemers in bewaakte zone	Afschermen	Mortel	✓	✓
		Caisson	✓	✓
		Transportcontainer	✓	
	Afzonderen	Caisson	✓	✓
		Transportcontainer	✓	
		Binnenomheining rond gecontroleerde zone	✓	✓
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om toegang te vermijden	✓	✓
		Sporen (afstand)	✓	✓
		(Als verplaatsing van onafgeschermd monoliet nodig, dan wordt interventietijd beperkt waardoor monoliet snel opnieuw afgeschermd wordt)*	niet van toepassing	✓
Publiek	Afschermen	Mortel	✓	✓
		Caisson	✓	✓
		Transportcontainer	✓	
	Afzonderen	Caisson	✓	✓
		Transportcontainer	✓	
		Afsluiting rond de site	✓	✓
		Toegangscontrole tot site om toegang te vermijden	✓	✓
		Sporen (afstand)	✓	✓
		(Als verplaatsing van onafgeschermd monoliet nodig, dan wordt interventietijd beperkt waardoor monoliet snel opnieuw afgeschermd wordt)*	niet van toepassing	✓

* niet gebruikt tijdens normale omstandigheden

2.14.4.2 Optillen van de monoliet en plaatsen in de modules – monoliet niet in de transportcontainer (fase Ia)

Bij het tillen van de monoliet in de loszone tussen de modules en het plaatsen van monolieten in de modules blijven de verschillende blootgestelde personen beschermd door verschillende SSC's en maatregelen die niet gezamenlijk falen bij de bedreigingen door

- 1) het stilvallen van de rolbrug tijdens manipulatie van een monoliet naast en boven de module en
- 2) het kantelen van een monoliet / aanwezigheid obstakel voor plaatsen monoliet (Tabel 2-42).

Voor deze bedreigingen zijn er dus onafhankelijke SSC's en maatregelen.

Volgende complementariteit is beschikbaar:

- 1) Complementariteit voor beperken van externe straling in zijn geheel, want
 - a) De twee veiligheidsfuncties 'Afschermen' en 'Afzonderen' zijn beschikbaar voor alle blootgestelde personen

- b) Meerdere SSC's en maatregelen blijven beschikbaar en zijn complementair aan de maatregel die wegvalt
- 2) Complementariteit voor afzondering voor 'werknemers verantwoordelijk voor manipulaties op de site': het stilvallen van de rolbrug tijdens manipulatie van een monoliet kan een interventie noodzakelijk maken, waardoor het 'afstandsbediend systeem vanuit de controlekamer' zijn afzonderingsfunctie niet meer vervult. In dat geval zijn de volgende SSC's en maatregelen met een afzonderingsfunctie complementair daaraan:
- a) Caisson
 - b) Beperken van de interventietijd
 - c) Toegangscontrole tot gecontroleerde zone met werkvergunning voor specifiek werk
- 3) Complementariteit voor afzondering voor 'werknemers in de gecontroleerde zone rondom en boven de modules' en voor 'werknemers in inspectiegalerij': het beperken van externe straling gebeurt minder efficiënt omdat de afzonderingsmaatregel 'Beperken van tijd gedurende dewelke een monoliet onafgeschermd is' minder efficiënt is, maar wordt verder beperkt door de 'Toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om de tijd in het stralingsveld te beperken' (intrekken 'standaard' werkvergunningen – zie §2.8.5.8).
- 4) Complementariteit voor afzondering voor 'werknemers in de bewaakte zone' en 'het publiek': het beperken van externe straling gebeurt minder efficiënt omdat de afzonderingsmaatregel 'Beperken van tijd gedurende dewelke een monoliet onafgeschermd is' minder efficiënt is, maar wordt verder beperkt door 'beperken van interventietijd waardoor de monoliet snel opnieuw afgeschermd wordt'

De blootstelling aan externe straling voor het publiek, werknemers in de gecontroleerde zone rondom en boven de modules, werknemers in de inspectiegalerij, werknemers in de bewaakte zone wijzigt niet. De gevolgen voor de werknemers die de interventie uitvoeren zijn beperkt: geschatte dosis voor de werknemers door de interventie is $< 1 \text{ mSv}$ (HS13 §13.4.6.3, §13.4.12.3, §13.4.13.3, §13.5.12.3).

Tabel 2-42: ssc's en maatregelen die zorgen voor beperking van externe straling bij het optillen van de monoliet en het plaatsen in de modules – zoals voorzien en bij de bedreigingen, voor de verschillende mogelijk blootgestelde personen. ssc's en maatregelen die bij bedreigingen behouden blijven, worden aangeduid met ✓.

Blootgestelde personen	Veiligheidsfunctie	Voorziene ssc's en maatregelen voor beperking van externe straling bij het optillen van de monoliet en plaatsen in de modules – monoliet niet in de transportcontainer	Stilvallen van de rolbrug	Kantelen van monoliet / aanwezigheid obstakel
Werknemers verantwoordelijk voor manipulaties op de site	Afschermen	Mortel	✓	✓
		Caisson	✓	✓
		Modulewanden (wanneer de monoliet zich binnen module bevindt)	✓	✓
	Afzonderen	Afstandsbediend systeem vanuit controlekamer		
		(Caisson)*	✓	✓
		(Beperken interventietijd)*	✓	✓
		(Toegangscontrole gecontroleerde zone met vergunning voor specifiek werk)*	✓	✓
Werknemers in gecontroleerde zone rondom en boven de modules	Afschermen	Mortel	✓	✓
		Caisson	✓	✓
		Modulewanden (wanneer monoliet zich binnen module bevindt)	✓	✓
	Afzonderen	Caisson	✓	✓
		Afbakening oranje zone	✓	✓
		Geen personen in oranje zone	✓	✓
		Beperken van tijd gedurende dewelke een monoliet onafgeschermd is		
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓
Werknemers in inspectiegalerij	Afschermen	Mortel	✓	✓
		Caisson	✓	✓
		Modulewanden (wanneer monoliet zich binnen module bevindt)	✓	✓
		Bovenkant en zijanten van inspectiegalerij (wanneer monoliet zich in de loszone tussen de modules bevindt)	✓	Niet van toepassing
	Afzonderen	Caisson	✓	✓
		Beperken van tijd gedurende dewelke een monoliet onafgeschermd is		
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓
Werknemers in bewaakte zone	Afschermen	Mortel	✓	✓
		Caisson	✓	✓
		Modulewanden (wanneer monoliet zich binnen module bevindt)	✓	✓
	Afzonderen	Caisson	✓	✓
		Binnenomheining rond gecontroleerde zone	✓	✓
		Sporen en infrastructuur (afstand)	✓	✓
		Beperken van tijd gedurende dewelke een monoliet onafgeschermd is		

Blootgestelde personen	Veiligheidsfunctie	Voorziene SSC's en maatregelen voor beperking van externe straling bij het optillen van de monoliet en plaatsen in de modules – monoliet niet in de transportcontainer	Stilvallen van de rolbrug	Kantelen van monoliet / aanwezigheid obstakel
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om toegang te vermijden	✓	✓
		(Als verplaatsing van onafgeschermd monoliet nodig, dan wordt interventietijd beperkt waardoor de monoliet snel opnieuw afgeschermd wordt)*	✓	✓
Publiek	Afschermen	Mortel	✓	✓
		Caisson	✓	✓
		Modulewanden (wanneer monoliet zich binnen module bevindt)	✓	✓
	Afzonderen	Caisson	✓	✓
		Afsluiting rond de site	✓	✓
		Toegangscontrole tot site om toegang te vermijden	✓	✓
		Sporen en infrastructuur (afstand)	✓	✓
		Beperken van tijd gedurende dewelke een monoliet onafgeschermd is		
		(Als verplaatsing van onafgeschermd monoliet nodig, dan wordt interventietijd beperkt waardoor de monoliet snel opnieuw afgeschermd wordt)*	✓	✓

* niet gebruikt tijdens normale omstandigheden

2.14.4.3 Modules in opvulling en gevulde modules tijdens fase 1a

Voor de modules in opvulling blijven de verschillende blootgestelde personen beschermd door verschillende SSC's en maatregelen die niet gezamenlijk falen bij de bedreigingen door

- 1) de val van een rolbrug en
- 2) de val van een klein luchtvaartuig (Tabel 2-43).

Voor deze bedreigingen zijn er dus onafhankelijke SSC's en maatregelen.

Er is complementariteit voor de beperking van externe straling uit modules in opvulling in zijn geheel bij deze bedreigingen:

- 1) De aantasting door deze bedreigingen is lokaal, waardoor de beperking van de externe straling uit modules in opvulling grotendeels behouden blijft.
- 2) Complementariteit tussen de veiligheidsfuncties 'afschermen' en 'afzonderen' voor 'werknemers in de gecontroleerde zone (rondom de modules, boven de modules, inspectiegalerij, uitvoeren structurele sluiting)'. De lokale aantasting van de afscherming en afzondering wordt (Tabel 2-43) overgenomen door de afzonderingsmaatregel 'toegangscontrole tot de gecontroleerde zone' die beperkingen zal opleggen: normale operaties worden stilgelegd, niet-dringende activiteiten op de site met risico op verhoogde blootstelling worden opgeschort tot bewarende maatregelen genomen zijn, tijd in de gecontroleerde zone wordt beperkt.

- 3) Complementariteit tussen de veiligheidsfuncties ‘afschermen’ en ‘afzonderen’ voor ‘werknemers in bewaakte zone’ en ‘publiek’. Er is een lokale aantasting van de afscherming en afzondering, maar volgende afzonderingsmaatregelen die een afstand tussen de blootgestelde persoon en de bron garanderen blijven bewaard:
- a) Voor werknemers in de bewaakte zone, de binnenomheining rond de gecontroleerde zone en de toegangscontrole
 - b) Voor het publiek de afsluiting rond de site en de toegangscontrole.

Door de lokale effecten en het blijven bestaan van de afzonderingsfunctie wijzigt de blootstelling aan (directe) externe straling globaal niet (voor de impact als gevolg van het vrijkomen van activiteit, zie ‘insluiting’ §2.8.8.3).

Voor gevulde modules tijdens fase Ia, wordt er geen aantasting van de veiligheidsfuncties verwacht voor de val van een rolbrug en wordt er voor de val van een klein luchtvaartuig een minder grote aantasting verwacht door de aanwezigheid van de structurele topplaat bovenop de prefab afschermingsplaten (Tabel 2-44). Dezelfde argumenten gelden als voor modules in opvulling blijven geldig voor de val van een klein luchtvaartuig.

Tabel 2-43: ssc's en maatregelen die zorgen voor beperking van externe straling bij modules in opvulling (fase Ia) – zoals voorzien en bij de bedreigingen, voor de verschillende mogelijk blootgestelde personen. ssc's en maatregelen die bij bedreigingen behouden blijven, worden aangeduid met ✓.

Blootgestelde personen	Veiligheidsfunctie	Voorziene ssc's en maatregelen voor beperking van externe straling voor modules in opvulling	Val van de rolbrug op de monolieten	Val van een klein luchtvaartuig
Werknemers in gecontroleerde zone rondom de modules	Afschermen	Mortel	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Caisson	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Prefab afschermingsplaten	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Modulewanden	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
	Afzonderen	Caisson	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Modulewanden	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓
Werknemers in gecontroleerde zone boven de modules	Afschermen	Mortel	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Caisson	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Prefab afschermingsplaten	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Modulewanden	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
	Afzonderen	Caisson	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Loopbruggen, dak (afstand)	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓
Werknemers in inspectiegalerij	Afschermen	Mortel	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Caisson	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Modulewanden	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Ondersteunende plaat	✓	✓
	Afzonderen	Caisson	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Modulewanden	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓
Werknemers die de structurele sluiting van een module uitvoeren	Afschermen	Mortel	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Caisson	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Prefab afschermingsplaten	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
	Afzonderen	Caisson	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓
Werknemers in bewaakte zone	Afschermen	Mortel	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Caisson	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Prefab afschermingsplaten	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Modulewanden	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
	Afzonderen	Caisson	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Modulewanden	(✓) ^{\$}	(✓) ^{\$}
		Binnenomheining rond gecontroleerde zone	✓	✓

Blootgestelde personen	Veiligheidsfunctie	Voorziene ssc's en maatregelen voor beperking van externe straling voor modules in opvulling	Val van de rolbrug op de monolieten	Val van een klein luchtvaartuig
		Toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om toegang te vermijden	✓	✓
Publiek	Afschermen	Mortel	(✓) ^s	(✓) ^s
		Caisson	(✓) ^s	(✓) ^s
		Prefab afschermingsplaten	(✓) ^s	(✓) ^s
		Modulewanden	(✓) ^s	(✓) ^s
	Afzonderen	Caisson	(✓) ^s	(✓) ^s
		Modulewanden	(✓) ^s	(✓) ^s
		Afsluiting rond de site	✓	✓
		Toegangscontrole tot site om toegang te vermijden	✓	✓

^s lokaal aangetast

Tabel 2-44: ssc's en maatregelen die zorgen voor beperking van externe straling bij gevulde (en structureel gesloten) modules tijdens fase ia – zoals voorzien en bij de bedreiging, voor de verschillende mogelijk blootgestelde personen. ssc's en maatregelen die bij bedreigingen behouden blijven, worden aangeduid met ✓.

Blootgestelde personen	Veiligheidsfunctie	Voorziene ssc's en maatregelen voor beperking van externe straling voor gevulde (en structureel gesloten) modules tijdens fase ia	Val van de rolbrug op gevulde module (tijdens structurele sluiting van de modules)	Val van een klein luchtvaartuig
Werknemers in gecontroleerde zone rondom de modules	Afschermen	Mortel	✓	(✓) ^s
		Caisson	✓	(✓) ^s
		Prefab afschermingsplaten	✓	(✓) ^s
		Structurele topplaat	✓	(✓) ^s
		Modulewanden	✓	(✓) ^s
	Afzonderen	Caisson	✓	(✓) ^s
		Modulewanden	✓	(✓) ^s
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓
Werknemers in gecontroleerde zone boven de modules	Afschermen	Mortel	✓	(✓) ^s
		Caisson	✓	(✓) ^s
		Prefab afschermingsplaten	✓	(✓) ^s
		Structurele topplaat	✓	(✓) ^s
		Modulewanden	✓	(✓) ^s
	Afzonderen	Caisson	✓	(✓) ^s
		Loopbruggen, dak (afstand)	✓	(✓) ^s
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓
Werknemers in inspectiegalerij	Afschermen	Mortel	✓	(✓) ^s
		Caisson	✓	(✓) ^s
		Modulewanden	✓	(✓) ^s
		Ondersteunende plaat	✓	✓
	Afzonderen	Caisson	✓	(✓) ^s
		Modulewanden	✓	(✓) ^s
		Toegangscontrole tot gecontroleerde zone om tijd in stralingsveld te beperken	✓	✓
Werknemers in bewaakte zone	Afschermen	Mortel	✓	(✓) ^s
		Caisson	✓	(✓) ^s
		Prefab afschermingsplaten	✓	(✓) ^s
		Structurele topplaat	✓	(✓) ^s
		Modulewanden	✓	(✓) ^s
	Afzonderen	Caisson	✓	(✓) ^s
		Modulewanden	✓	(✓) ^s
		Binnenomheining rond gecontroleerde zone	✓	✓
		Toegangscontrole tot de gecontroleerde zone om toegang te vermijden	✓	✓

Blootgestelde personen	Veiligheidsfunctie	Voorziene SSC's en maatregelen voor beperking van externe straling voor gevulde (en structureel gesloten) modules tijdens fase Ia	Val van de rolbrug op gevulde module (tijdens structurele sluiting van de modules)	Val van een klein luchtvaartuig
Publiek	Afschermen	Mortel	✓	(✓) [§]
		Caisson	✓	(✓) [§]
		Prefab afschermingsplaten	✓	(✓) [§]
		Structurele topplaat	✓	(✓) [§]
		Modulewanden	✓	(✓) [§]
	Afzonderen	Caisson	✓	(✓) [§]
		Modulewanden	✓	(✓) [§]
		Afsluiting rond de site	✓	✓
		Toegangscontrole tot site om toegang te vermijden	✓	✓

[§] lokaal aangetast

2.14.4.4 Gevulde modules tijdens fases Ib en II

Voor de gevulde modules tijdens fases Ib en II blijven de verschillende blootgestelde personen beschermd door verschillende SSC's en maatregelen die niet gezamenlijk falen bij de bedreiging door val van een klein luchtvaartuig (Tabel 2-45). Voor deze bedreiging zijn er dus onafhankelijke SSC's en maatregelen.

Er is complementariteit voor de beperking van externe straling uit modules in opvulling in zijn geheel:

- 1) Alle SSC's die instaan voor de veiligheidsfunctie 'afscherming' blijven behouden
- 2) Voor werknemers op de site (bovenop de afdekking, in inspectiegalerij): de afzonderingsmaatregel 'toegangscontrole' (die beperkingen kan opleggen) is complementair aan en onafhankelijk van de afdekkingen en ophoging aan de zijdes die lokaal enigszins aangetast worden
- 3) Voor publiek: de afzonderingsmaatregelen 'afsluiting rond de site' en 'toegangscontrole' die toegang tot de site voorkomen zijn complementair aan en onafhankelijk van de afdekkingen en ophoging aan de zijdes die lokaal enigszins worden

Tabel 2-45: ssc's en maatregelen die zorgen voor beperking van externe straling bij gevulde modules (fases Ib en II) – zoals voorzien en bij de bedreiging, voor de verschillende mogelijk blootgestelde personen. ssc's en maatregelen die bij bedreigingen behouden blijven, worden aangeduid met ✓.

Blootgestelde personen	Veiligheidsfunctie	Voorziene ssc's en maatregelen voor beperking van externe straling voor gevulde modules tijdens fases Ib en II	Val van een klein luchtvaartuig
Werknemers op de site bovenop de afdekking	Afschermen	Mortel	✓
		Caisson	✓
		Prefab afschermingsplaten	✓
		Structurele topplaat	✓
		Modulewanden	✓
	Afzonderen	Afdeklagen en ophoging aan de zijdes	(✓) ^s
		Ondoorlatende topplaat	✓
		Caisson	✓
		Modulewanden	✓
		Toegangscontrole (die beperkingen kan opleggen)	✓
Werknemers in inspectiegalerij	Afschermen	Mortel	✓
		Caisson	✓
		Modulewanden	✓
		Ondersteunende plaat	✓
	Afzonderen	Afdeklagen	(✓) ^s
		Caisson	✓
		Modulewanden	✓
Publiek	Afschermen	Mortel	✓
		Caisson	✓
		Prefab afschermingsplaten	✓
		Structurele topplaat	✓
		Modulewanden	✓
	Afzonderen	Afdeklagen en ophoging aan de zijdes	(✓) ^s
		Ondoorlatende topplaat	✓
		Caisson	✓
		Modulewanden	✓
		Afsluiting rond de site	✓
		Toegangscontrole tot de site om toegang te vermijden	✓

^s lokaal aangetast

2.14.5 Afzondering met betrekking tot onopzettelijke intrusie tijdens de operationele periode bij bedreigingen en voor de verschillende mogelijke trajecten

Tabel 2-46: Voorziene ssc's voor afzondering m.b.t. intrusie tijdens de operationele periode voor verschillende configuraties en fases, en effect van de bedreigingen. ssc's uit het veiligheidsconcept die behouden blijven bij de bedreigingen worden aangeduid met ✓.

Configuratie en fase	Voorziene ssc's voor afzondering mb.t. intrusie tijdens de operationele periode	Val klein luchtvaartuig	Val rolbrug op de monoliet
Monoliet in transportcontainer Plaatsen van monoliet in modules (Fase Ia)	Caisson	(✓) [§]	Niet van toepassing
	Mortel	(✓) [§]	
	Collo GA / afval in type III	(✓) [§]	
	Toegangscontrole	✓	
	Afsluiting rond de site	✓	
Module in opvulling (Fase Ia)	Modulewand	(✓) [§]	(✓) [§]
	Caisson	(✓) [§]	(✓) [§]
	Mortel	(✓) [§]	(✓) [§]
	Collo GA / afval in type III	(✓) [§]	(✓) [§]
	Toegangscontrole	✓	✓
	Afsluiting rond de site	✓	✓
Gevulde module (Fase Ia)	Modulewand	(✓) [§]	(✓) [§]
	Caisson	(✓) [§]	(✓) [§]
	Mortel	(✓) [§]	(✓) [§]
	Collo GA / afval in type III	(✓) [§]	(✓) [§]
	Toegangscontrole	✓	✓
	Afsluiting rond de site	✓	✓
Gevulde module (Fases Ib en II)	Aarden afdekking en ophoging aan de zijdes	✓	Niet van toepassing
	Ondoorlatende topplaat	✓	
	Modulewand	✓	
	Caisson	✓	
	Mortel	✓	
	Collo GA / afval in type III	✓	
	Toegangscontrole	✓	
	Afsluiting rond de site	✓	

[§] lokaal aangetast

2.15 Bijlage 2-5: Lijst van afkortingen

ABS	Anti-badkuipsysteem
ALARA	As Low As Reasonably Achievable (= zo laag als redelijkerwijze bereikbaar), rekening houdend met sociale en economische factoren
FANC/AFCN	Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle
AES	Alternatief EvolutieScenario
ARBIS	Algemeen Reglement Bescherming tegen Ioniserende Stralingen
BBT	Best Beschikbare Technologieën die geen buitensporige kosten met zich meebrengen
BDBE	Beyond Design Basis Earthquake
BI	Bedreiging voor de afzondering (Isolation), beschouwd bij de argumentatie van complementariteit en onafhankelijkheid
BR	Bedreiging voor de insluiting (Retention), beschouwd bij de argumentatie van complementariteit en onafhankelijkheid
C-rol	<i>Contribute</i> rol, het toekennen van een C-rol aan een SSC in het veiligheidsconcept betekent dat de componenten weliswaar geen M-rol vervult, maar toch een zekere bijdrage levert of kan leveren aan het vervullen van een bepaalde langetermijnveiligheidsfunctie
CCF	Common Cause Failure
CMF	Common Mode Failure
DFC	Dienst Fysische Controle
DBE	Design Basis Earthquake
DI	<i>Design Input</i> , ontwerpinput
DR	<i>Design Requirement</i> , ontwerpvereiste
EC	Europese Commissie
EES	<i>Expected Evolution Scenario</i> , verwachte evolutiescenario
EMC	Elektromagnetische compatibiliteit
FEP	<i>Feature, Event and Process</i>
FLT	Fonds op Lange Termijn
FMT	Fonds op Middellange Termijn
GA	Geconditioneerd Afval
GCL	Geosynthetic Clay Liner, dit is een technische infiltratiebarrière bestaande uit bentoniet of een andere klei geplaatst tussen twee geomembranen
HDPE	High Density PolyEthylene
MER	Milieueffectbeoordelingsrapport
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiation Protection
IMS	Integrated Management System (=Geïntegreerd Beheersysteem)
IPM	Installatie voor de Productie van Monolieten
II	Langetermijnveiligheidsfunctie beperken van de waarschijnlijkheid en gevolgen van onopzettelijke menselijke intrusie
KB	Koninklijk Besluit

M-rol	<i>Main</i> rol, het toekennen van een M-rol aan een SSC in het veiligheidsconcept betekent dat de SSC in staat moet zijn om gedurende een bepaald tijdsinterval een bepaalde veiligheidsfunctie te vervullen en dus noodzakelijk is, (1) om de globale prestatie van het bergingssysteem en trajecten van radionucliden doorheen barrières te verzekeren bij de verwachte evolutie van het systeem (insluitings- en afzonderingsprestatie); (2) en/of indien nodig, om de gevolgen te beperken bij falen van een SSC of veiligheidsfunctie
NEA	Nuclear Energy Agency
NIRAS	Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen
OD	Ondersteunende Documenten
O&O	Onderzoek, ontwikkeling en demonstratie
OSG	Operational Startup Group
PORC	Plant Operational Review Committee
QA	<i>Quality Assurance</i> , kwaliteitsborging
QC	<i>Quality Control</i> , kwaliteitscontrole
QVV	Qualification, Verification, Validation
R	Referentie
R1	Langetermijnveiligheidsfunctie beperken van vrijkomen van radionucliden uit het afval
R2a	Langetermijnveiligheidsfunctie beperken van waterinsijpeling tot bij het afval
R3	Langetermijnveiligheidsfunctie chemisch vasthouden van radionucliden
R4a	Langetermijnveiligheidsfunctie beperken van diffusie van radionucliden
R4b	Langetermijnveiligheidsfunctie verspreiden van radionucliden in conductieve sorberende media
RS	ReferentieScenario
SAC	Safety Assessment Committee
SFP	Single Failure Proof
SC SSC	<i>Safety Class SSC</i> , SSC met een M-rol voor een veiligheidsfunctie in het veiligheidsconcept
SS SSC	<i>Safety Significant SSC</i> , SSC met een C-rol voor een veiligheidsfunctie in het veiligheidsconcept, en geen M-rol
SR SSC	<i>Safety Related SSC</i> , SSC van belang voor de veiligheid die geen M- of C-rol heeft voor een veiligheidsfunctie in het veiligheidsconcept
SSC	Systemen, Structuren en Componenten belangrijk voor de veiligheid
WCB	Water Collection Building

2.16 Bijlage 2-6: Verklarende woordenlijst

Afzondering	Het resultaat van de acties met het oog op het voorkomen van contact tussen radioactief afval en de biosfeer (inclusief de mens).
Aantoonbaarheid	(art.33.2.2 [R2-5]) Aantonen dat de bergingsinrichting kan gerealiseerd worden en aantonen dat de bergingsinrichting mens en milieu zal beschermen. Dit impliceert volgende vereisten: 1. Er moet aangetoond worden dat de bergingsinrichting kan gerealiseerd worden met het vereiste performantieniveau 2. Er moet beroep gedaan worden op beheerste technieken. Wanneer nieuwe technieken ontwikkeld worden moeten hun uitvoerbaarheid, beheersing en betrouwbaarheid aangetoond worden alvorens ze toegepast worden 3. Er moet aangetoond worden dat het performantieniveau van het bergingssysteem dat bereikt wordt na realisatie en dat van zijn individuele componenten voldoende zullen blijven om de bescherming van mens en milieu te verzekeren ongeacht de redelijkerwijze te voorziene storingen waaraan het eindbergingssysteem kan onderworpen worden en de bouw- en constructietoevalligheden 4. De onzekerheden moeten beheerd worden.
Berging(of eindbergings)	(art.179 §5 [R2-10]) De berging is de plaatsing van verbruikte splijtstof of radioactief afval in een installatie zonder de bedoeling die splijtstof of dat afval terug te halen, maar zonder afbreuk te doen aan de mogelijkheid om, in voorkomend geval, over te gaan tot recuperatie van afval. Een berging is het geheel van bergingsinstallaties en hun inhoud, infrastructuur, uitrustingen en bijgebouwen.
(Bergings)tumulus	Bergingsinstallatie na sluiting.
Bergingsinrichting	Geheel van bergingsinstallaties en ondersteunende uitrustingen direct eraan verbonden (inspectiegalerij, WCB). De bergingsinrichting is onderworpen aan het vergunningsstelsel van nucleaire klasse I inrichtingen (ARBIS, art.3 en 5 [R2-1]).
Bergingsinstallatie	(art.179 §5 [R2-10]) Elke installatie die de berging van radioactief afval als voornaamste doel heeft. Geheel van gebouwen waarin radioactieve afvalstoffen worden geborgen, en die binnen de bergingsinrichting een technische eenheid vormen. Bergingsinstallaties zijn zodanig ontworpen dat het afval er voor onbepaalde tijd kan worden geborgen en dat kan worden gegarandeerd dat toekomstige generaties na sluiting van de installaties geen interventies moeten ondernemen om de veiligheid ervan te waarborgen. Technische eenheid binnen de berging bestaande uit <i>bergingseenheden</i> . Na het aanleggen van de afdekking, maakt ook de afdekking onderdeel uit van een bergingsinstallatie. Stemt na sluiting overeen met een <i>tumulus</i> .
Bergingseenheid	Elementair onderdeel van een inrichting voor eindberging van radioactief afval waarin een beperkte hoeveelheid radioactief afval geborgen wordt en dat onafhankelijk van andere eenheden kan afgedicht worden. Stemt na sluiting overeen met een <i>module</i> .
Bergingscollo	Collo dat geborgen zal worden en dat ofwel radioactief afval, ofwel colli met radioactief afval bevat, die beide geïmmobiliseerd worden met mortel. Het voldoet aan de conformiteitscriteria voor bergingscolli uit hoofdstuk 15 van het veiligheidsrapport. Stemt overeen met een <i>monoliet</i> .
Bergingssysteem	Geheel van <i>systemen, structuren en componenten</i> (SSC's) die bijdragen tot de afzondering en insluiting. Geheel dat samengesteld is uit de

	bergingsinstallaties en, eventueel de bijbehorende natuurlijke barrières. Voor de oppervlakteberging te Dessel behoren de verschillende SSC's van het bergingssysteem enkel tot de bergingsinstallaties.
Blootstelling	(ARBIS, art.2 [R2-1]) Het feit blootgesteld te zijn aan ioniserende stralingen. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen: ▪ Externe blootstelling: blootstelling aan stralingsbronnen die zich buiten het organisme bevinden ▪ Interne blootstelling: blootstelling aan stralingsbronnen die zich binnen het organisme bevinden ▪ Totale blootstelling: de som van de externe en interne blootstelling.
Complementariteit	Twee SSC's/<i>veiligheidsfuncties</i> zijn complementair wanneer een SSC/veiligheidsfunctie de functionaliteit of performantie van de andere SSC/veiligheidsfunctie, of een gedeelte ervan kan overnemen. Complementariteit is een nodige maar geen voldoende voorwaarde tot <i>gelaagde bescherming</i>.
Dosisbeperking	(ARBIS, art.2 [R2-1]) Opgelegde beperking ten aanzien van de te verwachten individuele doses die door een bron, handeling of bepaalde taak zouden kunnen worden veroorzaakt; deze wordt gebruikt bij de optimalisering, tijdens de planning van de stralingsbescherming.
Gelaagde bescherming	(KB 30/11/2011, art.1 [R2-3]) Hiërarchische installatie van verschillende niveaus van verschillende uitrustingen en procedures om de vermenigvuldiging van voorziene bedrijfsincidenten te voorkomen en om de doeltreffendheid van fysieke barrières tussen een stralingsbron of radioactieve stoffen en werknemers, personen van het publiek en het leefmilieu te behouden, in verschillende bedrijfsomstandigheden en, voor bepaalde barrières, in ongevalomstandigheden. (art.33.2.1 [R2-5]) De veiligheid van een bergingsinrichting moet gebaseerd zijn op een verzameling van beschermingselementen zodanig dat een technisch, menselijk of organisatorisch falen op zich alleen de veiligheid van de inrichting niet in het gedrang kan brengen. Van bij het ontwerp moet de toepassing van het principe van gelaagde bescherming zoveel mogelijk: 1. Verhinderen dat de integriteit van fysieke barrières of componenten die een <i>veiligheidsfunctie</i> vervullen in het gedrang wordt gebracht. 2. De prestaties van barrières of componenten die een veiligheidsfunctie vervullen behouden als zij belast worden. 3. Steunen op de <i>complementariteit</i> en <i>onafhankelijkheid</i> van de barrières en/of veiligheidsfuncties van de componenten.
Inbedrijfstelling	(KB 30/11/2011, art.1 [R2-3]) Geheel van handelingen die erin bestaan om systemen en componenten die vervaardigd werden voor de installaties en de activiteiten te doen werken en om na te gaan dat ze conform het ontwerp zijn en aan de voorgeschreven prestatiecriteria voldoen.
Inrichting	(ARBIS, art.2 [R2-1]) Een geheel van één of meerdere installaties waar een handeling of handelingen of beroepsactiviteiten bedoeld in de eerste twee leden van artikel 1 van het ARBIS worden uitgevoerd, die zich bevinden binnen een beperkte en welomschreven geografische zone en waarvoor eenzelfde exploitant verantwoordelijk is.
Insluiting	(§2 [R2-5]) Het resultaat van de acties met het oog op het beletten en beperken van het vrijkomen van radionucliden uit een beperkte ruimte.
Installatie	(ARBIS, art.2 [R2-1]) Een geheel van voorwerpen, toestellen voorzieningen of gebouwen die binnen een inrichting een technische eenheid vormen en waar een handeling of handelingen of beroepsactiviteiten bedoeld in de eerste twee leden van artikel 1 van het ARBIS worden uitgevoerd.

Langetermijnveiligheid	Veiligheid van leden van de bevolking en leefmilieu na sluiting van de berging, gedurende de nucleaire reglementaire controlefase en na opheffing daarvan (<i>periode na sluiting</i>).
Module	Zie bergingseenheid.
Monoliet	Zie bergingscollo.
Nucleaire veiligheid	(KB 30/11/2011, art.1 [R2-3]) De toestand van deugdelijke bedrijfsomstandigheden, de voorkoming van ongevallen en de beperking van de gevolgen van ongevallen, die er toe bijdragen dat werkers en de bevolking beschermd worden tegen de aan ioniserende straling afkomstig van kerninstallaties verbonden gevaren.
Onafhankelijkheid	Twee <i>SSC's/veiligheidsfuncties</i> zijn onafhankelijk van elkaar voor een bepaalde bedreiging, indien deze bedreiging niet kan leiden tot hun gezamenlijk falen. Falen dient begrepen te worden als een totale of quasi totale bypass of een aanzienlijk verlies van performantie van een barrière of <i>veiligheidsfunctie</i> , waardoor deze weinig of niet meer bijdraagt aan de <i>nucleaire veiligheid</i> .
Onderhoud	(KB 30/11/2011, art.1 [R2-3]) Georganiseerde activiteit, zowel van administratieve als technische aard, die erin bestaat de goede werking van de structuren, systemen en componenten te behouden en die tegelijk de preventieve en correctieve (herstelling) aspecten bevat.
Ontwerpbasis	(KB 30/11/2011, art.1 [R2-3]) Reeks omstandigheden en gebeurtenissen waarmee rekening is gehouden initieel met inbegrip van upgrades, van een kerninstallatie, overeenkomstig de vastgestelde criteria, op zodanige wijze dat die installatie weerstand kan bieden aan die gebeurtenissen zonder dat de vergunde grenswaarden worden overschreden bij de geplande werking van de veiligheidssystemen
Operationele periode	Periode uit het leven van een inrichting voor berging van radioactief afval tijdens welke bouw-, exploitatie- en sluitingsactiviteiten uitgevoerd worden. Zij neemt een aanvang met het verlenen van de oprichtings- en exploitatievergunning en eindigt wanneer de oprichtings- en exploitatievergunning bevestigd wordt voor de overgang naar de nucleaire reglementaire controlefase. De operationele periode omvat de volgende fases: 1. Constructiefase tijdens welke de initiële bouwactiviteiten van de bergingsinrichting uitgevoerd worden 2. Exploitatiefase Ia tijdens welke de exploitatieactiviteiten uitgevoerd worden, eventueel in parallel met latere bouwactiviteiten – er wordt radioactief afval in de bergingsinstallaties geplaatst en het drainagesysteem onderaan de modules en de inspectieruimtes wordt gemonitord 3. Exploitatiefase Ib die start met de aanleg van de afdekking tijdens welke het drainagesysteem onderaan de modules en de inspectieruimtes verder gemonitord worden 4. Sluitingsfase II tijdens welke de sluitingsactiviteiten uitgevoerd worden.
Operationele veiligheid	Veiligheid van werknemers, leden van de bevolking en het leefmilieu die blootgesteld kunnen worden als gevolg van activiteiten of ongevallen tijdens de exploitatiefase, sluitingsfase en nucleaire reglementaire controlefase.
Opslag	(art.179 §5 [R2-10]) Het onderbrengen van verbruikte splijtstof of radioactief afval in een installatie met de bedoeling die splijtstof of dat afval terug te halen.
Optimalisering van de bescherming	(ARBIS, art.20.1.1.b [R2-1]) Elke <i>blootstelling</i> dient zo laag als redelijkerwijze mogelijk te worden gehouden, rekening gehouden met economische en sociale factoren.

	(KB 30/11/2011, art.3 [R2-3]) Het veiligheidsbeleid omvat een engagement om de <i>nucleaire veiligheid</i> continu te verbeteren.
	(KB 30/11/2011, art.7.1 [R2-3]) Van bij het ontwerp moeten er maatregelen worden getroffen om ervoor te zorgen dat de potentiële radiologische gevolgen voor de bevolking, de werkers en het leefmilieu de voorgeschreven limieten niet overschrijden en zo laag als redelijkerwijze mogelijk worden gehouden.
	(ICRP 101b, §(27) [R2-77]) De optimalisering van bescherming is een op de toekomst gericht iteratief proces, met als doel om toekomstige blootstellingen te vermijden of te verminderen. Het is een continu proces dat rekening houdt met zowel technische als socio-economische ontwikkelingen, en het vereist zowel kwalitatieve als kwantitatieve beoordelingen.
	Optimalisering heeft altijd tot doel de best mogelijke bescherming te realiseren in de heersende omstandigheden door een op de toekomst gericht iteratief proces dat het volgende inhoudt: 1. Identificatie van opties en keuzes 2. Bepaling van de optimale optie of keuze op basis van scores voor elk attribuut rekening houdend met sociale en economische factoren 3. Implementatie van de geselecteerde optie.
Periode na sluiting	Periode uit het leven van een inrichting voor berging van radioactief afval die volgt op de operationele periode en bestaat uit: 1. Nucleaire reglementaire controlefase 2. De beslissing tot opheffing van de nucleaire reglementaire controle 3. Fases volgend op de opheffing van nucleaire reglementaire controle.
Robuustheid	Een barrière, component of systeem is robuust indien ondanks verstoringen en onzekerheden de performantie of een deel ervan behouden kan worden.
Solidificatie	Een wijze van immobilisatie van radioactieve afvalstoffen waarbij men de fysische toestand van radioactieve stoffen omvormt van gasvormig, vloeibaar of quasi-vloeibaar naar vast. Voorbeelden van solidificatie zijn calcinatie, drogen, cementering.
Sluiting	(art.179 §5 [R2-10]) De beëindiging van alle operaties een zekere tijd nadat verbruikte splijtstof of radioactief afval in een bergingsinstallatie is geplaatst, met inbegrip van de uiteindelijke bouwkundige werken of andere werkzaamheden die vereist zijn om de installatie voor de lange termijn te beveiligen.
Structuren, systemen en componenten (SSC's)	(KB 30/11/2011, art.1 [R2-3]) Algemene uitdrukking die alle elementen van een installatie of activiteit omvat – met uitzondering van de menselijke factoren – die bijdragen tot de bescherming en de nucleaire veiligheid.
Tumulus	Bergingsinstallatie na sluiting.
Trapsgewijze aanpak	(KB 30/11/2011, art.1 [R2-3]) Proces of methode volgens dewelke de controlemaatregelen en de toe te passen condities, in de mate van het mogelijke, overeenstemmen met de risico's.
Veiligheidsautoriteit	(KB 30/11/2011, art.1 [R2-3]) Het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle en Bel V voor wat de taken betreft die er met toepassing van artikel 28 van de wet van 15 april 1994 aan gedelegeerd werden.
Veiligheidsbeleid	Het beleid van inzake veiligheid, gesteund op een beleidsverklaring van de bedrijfsleiding. De beleidsverklaring inzake veiligheid moet door de exploitant op schrift gesteld worden, aan de veiligheidsautoriteit worden voorgelegd en aan de bevolking ter beschikking gesteld worden. Het veiligheidsbeleid moet voldoen aan de vereisten uit art.3 van het KB van 30/11/2011 [R2-3].

Veiligheidsbenadering	Gloobaal iteratief beheersproces voor de ontwikkeling en realisatie van de berging en het ruimere kader waarbinnen de <i>veiligheidsstrategie</i> wordt omschreven en toegepast.
Veiligheidsconcept	In het veiligheidsconcept worden de <i>structuren, systemen en componenten</i> van het <i>bergingssysteem</i> geïdentificeerd die de veiligheid verzekeren, en worden hun <i>veiligheidsfuncties</i> en verwachte prestaties beschreven voor de verschillende periodes en fases in het leven van de inrichting. In het veiligheidsconcept wordt ook beschreven hoe de combinatie van de componenten er voor zorgt dat het principe van <i>gelaagde bescherming</i> toegepast wordt.
Veiligheidsdoelstelling	De algemene doelstelling om de veiligheid van een bergingsinrichting te verzekeren in lijn met het geldende regelgevende kader.
Veiligheidsevaluatie (van een bergingsinrichting)	Proces van het systematisch analyseren van de risico's die in verband staan met de bergingsinrichting en het vermogen van het bergingssysteem om te voorzien in de veiligheidsfuncties en te voldoen aan de ontwerpvereisten. Een veiligheidsevaluatie omvat, maar is niet beperkt tot kwantitatieve analyses.
Veiligheidsfunctie	Een functie waarin het bergingssysteem moet voorzien om de veiligheidsdoelstelling te bereiken. De veiligheidsfuncties omvatten in ieder geval 'insluiting' en 'afzondering' (art.36.2 [R2-5]) en worden binnen de <i>veiligheidsstrategie</i> gespecificeerd in de <i>ontwerp- en realisatiestrategie</i> .
(Strategische) veiligheidsoriëntatie	De strategische veiligheidsoriëntaties zijn de te volgen principes (basisprincipes, veiligheidsprincipes, stralingsbeschermingsprincipes) om aan de <i>veiligheidsdoelstelling</i> te kunnen voldoen.
Veiligheidsstrategie	Geheel van <i>veiligheidsdoelstelling, strategische veiligheidsoriëntaties</i> en keuzes, inputs en processen die bijdragen tot het bereiken van de veiligheidsdoelstelling en die de toepassing van de veiligheidsstrategie beïnvloeden. De keuzes, inputs en processen worden als volgt gegroepeerd: 1. <i>Beheerstrategie</i> is de benadering die toelaat om de reglementaire bepalingen na te leven en de fundamentele veiligheids- en stralingsbeschermingsprincipes toe te passen, in het bijzonder de optimalisering van de bescherming (art.33.3 [R2-5]) 2. <i>Veiligheidsevaluatiestrategie</i> is de benadering die toelaat om de veiligheid te evalueren en het vertrouwen in de toegepaste methodes aan te tonen (art.33.3 [R2-5]) 3. <i>Ontwerp- en realisatiestrategie</i> is de benadering die toelaat om een veilig, performant en robuust bergingssysteem te ontwerpen en te realiseren. Die strategie moet beogen om de afzonderings- en insluitingscapaciteiten te maximaliseren, evenals het weerstandsvermogen bij belastingen. Ze bevat keuzes bij het ontwerp en realisatie, alsook de veiligheidsfuncties van het bergingssysteem (art.33.3 [R2-5]) 4. <i>Veiligheidsconcept</i> waarin de SSC's van het bergingssysteem geïdentificeerd worden die de veiligheid verzekeren, en waarin de veiligheidsfuncties en verwachte prestaties van die componenten beschreven worden voor de verschillende periodes en fases in het leven van de inrichting.

2.17 Bijlage 2-7: Referenties

2.17.1 Ondersteunende documenten aan Hoofdstuk 2

[OD-279] NIRAS, *Optimalisering*, NIRON-TR 2008-03 N V1, 2018

2.17.2 Andere referenties

- [R2-1] Koninkrijk België, *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 de ioniserende stralingen*, ARBIS/RGPRI, Belgisch Staatsblad 30/08/2001 zoals gewijzigd
- [R2-2] AFCN, *Explications portant sur la table des matières, le contenu attendu et la structure du rapport de sûreté destiné à couvrir l'ensemble des périodes et phases de la vie d'un établissement de stockage définitif en surface de déchets radioactifs de faible et moyenne activité et de courte demi-vie sur le territoire de la commune de Dessel*, note AFCN 2011-06-06-PDC-5-4-1-FR, rév.4, 30/07/2012
- [R2-3] Koninkrijk België, *30 November 2011 – Koninklijk besluit houdende veiligheidsvoorschriften voor de kerninstallaties*, Belgisch Staatsblad 21 December 2011 zoals gewijzigd
- [R2-4] NIRAS, *Beleidsverklaring veiligheid*, 15 Mei 2018
- [R2-5] FANC nota, *Veiligheidsvoorschriften voor de inrichtingen voor eindberging van radioactief afval*, nota 2012-12-12-LB-4-4-01-NL, 08 Januari 2013
- [R2-6] IAEA, *Disposal of Radioactive Waste*, Specific Safety Requirements SSR-5, Wenen, 2011
- [R2-7] NEA, *The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Cases for Geological Repositories*, NEA-OESO, 2013
- [R2-8] NEA, *The long-term radiological safety of a surface disposal facility for low-level waste in Belgium – An international peer review of key aspects of ONDRAF/NIRAS safety report of November 2011 in preparation for the license application (Final report)*, NEA/RWM/PEER(2012)3, 14 September 2012
- [R2-9] NIRAS, *Bouw en exploitatie van een oppervlaktebergingsinstallatie voor het Belgisch laag- en middelactief kortlevend afval te Dessel — Aanmelding project-MER*, 2019
- [R2-10] Koninkrijk België, *Artikel 179 § 2-11 van de Wet van 8 augustus 1980 betreffende de budgettaire voorstellen 1979-1980*, Belgisch Staatsblad 15/08/1980 zoals gewijzigd 11/01/1991, 12/12/1997, 30/12/2001, 27/04/2007, 24/07/2008, 29/10/2010, 03/06/2014
- [R2-11] Koninkrijk België, *Wet van 29 april 1999 betreffende de organisatie van de elektriciteitsmarkt*, Belgisch Staatsblad 11/05/1999
- [R2-12] Koninkrijk België, *Wet van 11 april 2003 betreffende de voorzieningen aangelegd voor de ontmanteling van de kerncentrales en voor het beheer van splijtstoffen bestaand in deze kerncentrales*, Belgisch Staatsblad 15/07/2003
- [R2-13] Koninkrijk België, *30 Maart 1981. - Koninklijk Besluit houdende bepaling van de opdrachten en de werkingsmodaliteiten van de openbare instelling voor het beheer van radioactief afval en splijtstoffen*, Belgisch Staatsblad 05/05/1981 en implementatie Koninklijke Besluiten van 16/10/1991, 04/04/2003, 13/12/2005, 01/05/2006, 18/05/2006, 02/06/2005, 13/06/2007, 03/07/2012, 25/04/2014
- [R2-14] Koninkrijk België, *Koninklijk Besluit van 18 november 2002 houdende regeling van de erkenning van uitrustingen bestemd voor de opslag, verwerking en conditionering van radioactief afval*, Belgisch Staatsblad 3/12/2002

- [R2-15] Koninkrijk België, *Koninklijk Besluit van 24 maart 2003 betreffende onder andere de financiering van de kosten verbonden aan de regulering van en controle op de elektriciteitsmarkt*, Belgisch Staatsblad 28/03/2003
- [R2-16] IAEA, *The Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management, administered by the International Atomic Energy Agency*, IAEA INFCIRC/546, 24 december 1997
- [R2-17] IAEA, *Convention on Nuclear Safety*, IAEA INFCIRC/449, 5 juli 1994
- [R2-18] Euratom-verdrag, *Verdrag ter oprichting van de Europese Gemeenschap voor Atoomenergie*, 1957
- [R2-19] Europese Commissie, *Richtlijn 2013/59/Euratom van de Raad van 5 december 2013 tot vaststelling van de basisnormen voor de bescherming tegen de gevaren verbonden aan de blootstelling aan ioniserende straling, en houdende intrekking van de Richtlijnen 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom en 2003/122/Euratom*, Publicatieblad van de Europese Unie L 13 van 17 januari 2014
- [R2-20] Europese Commissie, *Richtlijn 2013/51/Euratom van 22 oktober 2013 tot vaststelling van voorschriften voor de bescherming van de volksgezondheid tegen radioactieve stoffen in voor menselijke consumptie bestemd water*, Publicatieblad van de Europese Unie L 296 van 7 november 2013
- [R2-21] Europese Commissie, *Richtlijn 92/43/EEG van de Raad van 21 mei 1992 betreffende de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde fauna en flora*, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen Nr. L 206 van 22 juli 1992
- [R2-22] *Europese Unie, Richtlijn 2011/92/EU van het Europees Parlement en de Raad van 13 december 2011 betreffende milieueffectbeoordeling van bepaalde openbare en particuliere projecten (codificatie)*, Publicatieblad van de Europese Unie Nr. L 26/1, 28/01/2012 – gewijzigd bij Richtlijn 2014/52/EU van het Europees Parlement en de Raad, Publicatieblad van de Europese Unie Nr. L 124, 25/04/2014 en gerectificeerd bij rectificatie in Publicatieblad van de Europese Unie Nr. L 173, 03/07/2015
- [R2-23] Europese Unie, *Richtlijn 2001/42/EG van het Europees Parlement en van de Raad van 27 juni 2001 betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's*, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen Nr. L 197, 21/07/2001
- [R2-24] Europese Commissie, *Richtlijn 2011/70/Euratom van de Raad van 19 juli 2011 tot vaststelling van een communautair kader voor een verantwoord en veilig beheer van verbruikte splijtstof en radioactief afval*, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen Nr. L 199/48, 02/08/2011
- [R2-25] Koninkrijk België, *Wet van 15 april 1994, betreffende de bescherming van de bevolking en van het leefmilieu tegen de uit ioniserende stralingen voortspruitende gevaren en betreffende het FANC*, Belgisch Staatsblad 29/07/1994, zoals gewijzigd
- [R2-26] Koninkrijk België, *28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek V - Omgevingsfactoren en fysische agentia van de codex over het welzijn op het werk*, Belgisch Staatsblad 02/06/2017
- [R2-27] Koninkrijk België, *Koninklijk Besluit van 31 mei 2016 betreffende de bescherming van de volksgezondheid tegen radioactieve stoffen in voor menselijke consumptie bestemd water*, Belgisch Staatsblad 28/06/2016
- [R2-28] Koninkrijk België, *4 augustus 1996. – Wet betreffende het welzijn van de werknemers bij de uitvoering van hun werk*, Belgisch Staatsblad 18/09/1996
- [R2-29] Koninkrijk België, *28 april 2016. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek I Algemene beginselen van de codex over het welzijn op het werk*, Belgisch Staatsblad 02/06/2017

- [R2-30] Koninkrijk België, 28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek II - Organisatorische structuren en sociaal overleg van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017
- [R2-31] Koninkrijk België, 28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek III - Arbeidsplaatsen van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017
- [R2-32] Koninkrijk België, 28 april 2017. – Koninklijk besluit tot vaststelling van boek IV Arbeidsmiddelen van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017
- [R2-33] Koninkrijk België, 28 april 2017. — Koninklijk besluit tot vaststelling van boek IX - Collectieve bescherming en individuele uitrusting van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017
- [R2-34] Koninkrijk België, 28 april 2017. — Koninklijk besluit tot vaststelling van boek X - Werkorganisatie en bijzondere werknemerscategorieën van de codex over het welzijn op het werk, Belgisch Staatsblad 02/06/2017
- [R2-35] Koninkrijk België, Algemeen Reglement voor de Arbeidsbescherming, goedgekeurd bij de besluiten van de Regent van 11 februari 1946 en 27 september 1947, ARAB/RGPT, Belgisch Staatsblad 03/04/1946 en 03/10/1947, zoals gewijzigd
- [R2-36] Koninkrijk België, Koninklijk besluit van 2 september 1981 houdende wijziging van het Algemeen Reglement op de elektrische installaties en houdende bindend verklaring ervan op de elektrische installaties in inrichtingen gerangschikt als gevaarlijk, ongezond of hinderlijk en in inrichtingen beoogd bij artikel 28 van het Algemeen Reglement voor de arbeidsbescherming, AREI/RGIE, Belgisch Staatsblad 30/09/1981 zoals gewijzigd
- [R2-37] Koninkrijk België, 7 juli 1994. – Koninklijk besluit tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de gebouwen moeten voldoen, Belgisch Staatsblad 26/04/1995, zoals gewijzigd
- [R2-38] Koninkrijk België – Vlaamse Regering, 15 Mei 2009. - Besluit van de Vlaamse Regering met betrekking tot soortenbescherming en soortenbeheer (aangehaald als: het Soortenbesluit), Belgisch Staatsblad 13/08/2009
- [R2-39] Koninkrijk België – Vlaamse Overheid, 18 juli 2003. - Decreet betreffende het integraal waterbeleid, Belgisch Staatsblad 14/11/2003, zoals gewijzigd
- [R2-40] Koninkrijk België – Vlaamse Overheid, 20 juli 2006 - Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van nadere regels voor de toepassing van de watertoets, tot aanwijzing van de adviesinstantie en tot vaststelling van nadere regels voor de adviesprocedure bij de watertoets, vermeld in artikel 8 van het decreet van 18 juli 2003 betreffende het integraal waterbeleid, Belgisch Staatsblad 31/10/2006
- [R2-41] Koninkrijk België – Vlaamse Overheid, 21 oktober 1997. – Decreet betreffende het natuurbehoud en het natuurlijk milieu, Belgisch Staatsblad 10/01/1998, zoals gewijzigd
- [R2-42] Koninkrijk België – Vlaamse Overheid, 13 juni 1990. – Bosdecreet, Belgisch Staatsblad 28/09/1990, zoals gewijzigd
- [R2-43] Koninkrijk België – Vlaamse Overheid, 1 oktober 2004. - Besluit van de Vlaamse Regering houdende vaststelling van een gewestelijke stedenbouwkundige verordening inzake hemelwaterputten, infiltratievoorzieningen, buffervoorzieningen en gescheiden lozing van afvalwater en hemelwater, Belgisch Staatsblad 08/11/2004
- [R2-44] AFCN, Dépôts définitifs de déchets radioactifs – Note stratégique et politique d'instruction des demandes d'autorisation, note AFCN 007-020-F rév. 1, 17/10/2007

- [R2-45] AFCN, *Guide technique « Dépôt définitif en surface sur le territoire belge de déchets de faible et moyenne activité à vie courte »*, note AFCN 007-228-F rév. 3, 13/07/2011
- [R2-46] FANC, *Leidraad over de stralingsbescherming tijdens de operationele periode van een inrichting voor de eindberging van radioactief afval*, FANC nota 008-007-N herz. 5, 07/10/2010
- [R2-47] AFCN, *Guide technique « Critères de Radioprotection pour l'évaluation de la sûreté post-fermeture des dépôts de déchets radioactifs »*, note AFCN 2011-06-28-CAD-5-4-3-FR rév.1, 20/07/2017
- [R2-48] AFCN, *Dépôt définitif en surface sur le territoire belge de déchets radioactifs de faible et moyenne activité et de courte demi-vie – Guide relatif à la prise en compte du risque d'intrusion humaine pour les dépôts définitifs en surface de déchets radioactifs*, note AFCN 007-087-F rév.1, 02/04/2010
- [R2-49] AFCN, *Dépôt définitif en surface sur le territoire belge de déchets radioactifs de faible et moyenne activité et de courte demi-vie – Guide technique « Analyse de sûreté : aspects liés à l'eau souterraine »*, note AFCN 008-225-F rév.2, 24/09/2010
- [R2-50] FANC, *Veiligheidsevaluatie: biosfeer*, FANC nota 008-217-N herz. 03, 19/08/2010
- [R2-51] FANC, *Oppervlakteberging, op Belgisch grondgebied, van kortlevend laag- en middelradioactief afval – leidraad over de beschouwing van gebeurtenissen met een externe oorsprong bij het ontwerp van de bergingsinstallatie*, FANC nota 008-241-N herz. 2, 07/06/2010
- [R2-52] FANC, *Oppervlakteberging, op Belgisch grondgebied, van kortlevend laag- en middelradioactief afval – leidraad « aardbevingen »*, FANC nota 007-125-N herz. 4, 17/12/2009
- [R2-53] AFCN, *Acceptabilité des expositions potentielles dues à des événements initiateurs d'origine externe ou interne visant des établissements de dépôt de déchets radioactifs – Proposition par le service IAABA de mise en application d'une relation (courbe) entre la probabilité annuelle d'occurrence d'un événement initiateur et son impact radiologique associé pour les établissements de dépôt de déchets radioactifs*, note AFCN 2012-06-21-JPW-5-4-5-FR, rev. 2, 21/06/2012
- [R2-54] FANC, *Aanpak met betrekking tot de toekomstige periodieke veiligheidsherzieningen van inrichtingen van klasse I*, FANC nota 2010-095, 2010
- [R2-55] FANC, *Richtlijn van het FANC voor de behandeling van aangiften van wijzigingsontwerpen in het kader van artikel 12 van het algemeen reglement op de bescherming van de bevolking, van de werknemers en het leefmilieu tegen het gevaar van ioniserende stralingen (ARBIS), voor inrichtingen van klasse I*, FANC nota 006-029 herz. 2, 2008
- [R2-56] FANC, *Melding en verslaggeving van significante gebeurtenissen die betrekking hebben op de nucleaire veiligheid, de bescherming van personen en het leefmilieu in de nucleaire inrichtingen van klasse I*, FANC nota 2010-054 herz. 2, 2014
- [R2-57] Europese Commissie, *2010/635/Euratom: Aanbeveling van de Commissie van 11 oktober 2010 inzake de toepassing van artikel 37 van het Euratom-verdrag*, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen Nr. L 197, 21/07/2010
- [R2-58] IAEA, *The principles of radioactive waste management*, Safety Series No. 111-F, Wenen, 1995
- [R2-59] IAEA, *Fundamental Safety Principles*, Safety Fundamentals SF-1, Wenen, 2006

- [R2-60] IAEA, *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, Jointly sponsored by EC, FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, WHO, General Safety Requirements – GSR Part 3, Wenen, 2014
- [R2-61] IAEA, *Leadership and Management for Safety*, General Safety Requirements – GSR Part 2, 2016.
- [R2-62] IAEA, *Safety Assessment for Facilities and Activities*, General Safety Requirements – GSR Part 4 (Rev. 1), 2016
- [R2-63] IAEA, *Occupational Radiation Protection*, Safety Guide RS-G-1.1, 1999
- [R2-64] IAEA, *Assessment of Occupational Exposure Due to Intakes of Radionuclides*, Safety Guide RS-G-1.2, 1999
- [R2-65] IAEA, *Building Competence in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources*, Safety Guide RS-G-1.4, 2001
- [R2-66] IAEA, *Application of the Management System for Facilities and Activities*, Safety Guide GS-G-3.1, 2006
- [R2-67] IAEA, *The Management System for the Disposal of Radioactive Waste*, Safety Guide GS-G-3.4, 2008
- [R2-68] IAEA, *Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste*, Specific Safety Guide SSG-29, 2014
- [R2-69] IAEA, *The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste*, Specific Safety Guide SSG-23, 2012
- [R2-70] IAEA, *Defence in Depth in Nuclear Safety*, INSAG-10, Wenen 1996
- [R2-71] IAEA, *IAEA Safety Glossary – Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection – 2007 Edition*, 2007
- [R2-72] IAEA, *Radioactive Waste Management Glossary — 2003 Edition*, 2003
- [R2-73] ICRP, *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publicatie 103, 2007
- [R2-74] ICRP, *Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste*. ICRP Publicatie 77, 1998
- [R2-75] ICRP, *Radiological protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste*, ICRP Publicatie 81, 2000
- [R2-76] ICRP, *Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste*, ICRP Publicatie 122, 2013
- [R2-77] ICRP, *The Optimisation of Radiological Protection - Broadening the Process*, ICRP Publicatie 101b, 2006
- [R2-78] NUREG-1623, *Design of Erosion Protection for Long-Term Stabilization – Final Report*, US-NRC, NUREG-1623, September 2002
- [R2-79] NIRAS, *De berging, op Belgisch grondgebied, van laag- en middelactief afval met korte levensduur – Afsluitend rapport van NIRAS betreffende de periode 1985-2006 waarbij de federale regering verzocht wordt om te beslissen over het gevolg dat moet worden gegeven aan het bergingsprogramma*, NIROND 2006-02 N, mei 2006
- [R2-80] NIRAS, *Een geïntegreerd project van oppervlakteberging in Dessel voor het Belgisch laag- en middelactief kortlevend afval: Werkprogramma 2007-2011*, NIROND-TR 2007-01 N, September 2007
- [R2-81] STOLA-Dessel, *Het Belgisch laagactief en kortlevend afval: Thuis in Dessel? Een geïntegreerd bergingsproject met een technisch en maatschappelijk luik – Verslag werkgroep 'Inplanting en Inrichting'*, november 2004

- [R2-82] Koninkrijk België, 2 augustus 2002.—*Wet houdende instemming met het Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijfstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval, gedaan te Wenen op 5 september 1997*, Belgisch Staatsblad 25/12/2002
- [R2-83] Koninkrijk België, *Wet van 26 november 1996, houdende instemming met het Verdrag inzake nucleaire veiligheid, gedaan te Wenen op 20 september 1994*, Belgisch Staatsblad 22/08/1997
- [R2-84] P. Andersson, J. Garnier-Laplace, N. A. Beresford, D. Copplestone, B. J. Howard, P. Howe, D. Oughton & P. Whitehouse, *Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory context (PROTECT): proposed numerical benchmark values*, Journal of Environmental Radioactivity 100, p. 1100 – 1108, 2009
- [R2-85] NIROND-TR 2015-02 N Versie 1, *Kwaliteitsborgingsprogramma NISD*, 2019
- [R2-86] NIROND-TR 2011-57 E Version 3, *Seismic performance of monoliths and modules*, Juni 2018 (OD-198)
- [R2-87] Tractebel Engineering, *MGW – Steel Structure – Design note (replaces the note TS102-NTE-3-002)*, ref. ONDRAF/4NT/0509920/000/00, November 2016 (is appendix 1 in OD-167)
- [R2-88] Tractebel Engineering, *MGW – Concrete Module – Design note (replaces the note TS101-NTE-3-005)*, ref. ONDRAF/4NT/0512355/000/00, November 2016 (is annex 4 in OD-166)
- [R2-89] VNS, *Seismic assessment of the stack of the monoliths in the cAt disposal facility during the operational phase*, Report VNS-TR-13-32 Rev.1, 2013
- [R2-90] Belgoprocess, *Valtest Monoliet BP*, UBT/2010-03526 (10/10/2011)

NIRAS
Nationale instelling voor radioactief afval
en verrijkte splijtstoffen
Kunstlaan 14
BE-1210 Brussel
Tel. + 32 2 212 10 11
Fax +32 2 218 51 65
www.nirond.be