



Stand van zaken van internationaal onderzoek naar opslag en eindberging

Uitwerking van 'korte vraag 2' binnen
de Nadere overeenkomst voor korte
opdrachten en ad hoc vragen

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken,
projectdirectie Nucleaire Installaties en Veiligheid

auteur(s): J.B. Grupa beoordeeld: R. Jansma

naam: 128247jg Min EZ 14082014 goedgekeurd: A.D. Poley

referentienr.: 23498/14.128247 status: Final

23 pagina's 14 augustus 2014

© NRG 2014

Behoudens hetgeen met de opdrachtgever is overeengekomen, mag in dit rapport vervatte informatie niet aan derden worden bekendgemaakt en is NRG niet aansprakelijk voor schade door het gebruik van deze informatie.

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Onderzoekservaringen in het buitenland	9
3 Resultaten van het onderzoek in het buitenland	11
4 Toekomstig onderzoek	17
5 Belang van buitenlands onderzoek voor Nederland	19
6 Conclusie	21
Lijst van tabellen	23



Samenvatting

Met dit rapport heeft NRG een zeer beknopt overzicht opgesteld van de stand van zaken van het onderzoek naar opslag en (eind)berging van radioactief afval in een aantal EU-lidstaten en in de Verenigde Staten. Volgens afspraak met de opdrachtgever is hierbij met name gelet op ontwikkelingen op technisch-wetenschappelijk gebied, praktijkervaring met de ontwikkeling van beheersprogramma's en kennis ontwikkeld in internationale samenwerkingsverbanden, die voor de Nederlandse situatie relevant kunnen zijn.

1 Inleiding

In het kader van EZ raamcontract met verplichtingnummer 1300015956 'Nadere Overeenkomst kleine opdrachten en ad hoc vragen', vraag 2, heeft NRG een beknopt overzicht opgesteld van de stand van zaken van het onderzoek naar opslag en (eind)berging van radioactief afval in een aantal EU-lidstaten en in de Verenigde Staten. Volgens afspraak is hierbij met name gelet op ontwikkelingen op technisch-wetenschappelijk gebied, praktijkervaring met de ontwikkeling van beheersprogramma's en kennis ontwikkeld in internationale samenwerkingsverbanden, die voor de Nederlandse situatie relevant kunnen zijn.

Bij de selectie van de te presenteren informatie heeft NRG, zoals afgestemd met de opdrachtgever, zich vooral laten leiden door de volgende vragen:

- Wat zijn de onderzoekservaringen in het buitenland? ("Onderzoekservaringen in het buitenland")
- Welke stappen moeten in het buitenland nog worden gezet om veilige eindberging te ontwikkelen? ("Onderzoeksagenda")
- Hoe toepasbaar zijn de buitenlandse ervaringen op de Nederlandse situatie? ("Betekenis voor Nederland")

Dit is gereflecteerd in de indeling van dit rapport:

- Onderzoekservaringen in het buitenland
- Resultaten van buitenlands onderzoek
- Toekomstig onderzoek
- Belang van buitenlands onderzoek voor Nederland
- Conclusies

Zoals afgesproken bestaat deze rapportage uit een beperkt aantal pagina's.

Aan het begin van dit project is als eerste aanzet een document aan de projectdirectie NIV verstrekt, met als doel via respons door NIV, beter te bepalen welke vorm en inhoud gewenst is. Daarna is het document verder afgestemd op de (informatie) wensen van NIV. Zodoende is het bijgevoegde document via een proces van interactie tussen de auteurs en NIV tot stand gekomen.

2 Onderzoekservaringen in het buitenland

Bij het gebruik van kernenergie ontstaat langlevend radioactief afval dat honderdduizenden jaren van ons leefmilieu geïsoleerd moet blijven. In de jaren 50 van de vorige eeuw werd al geopperd dat een opbergplek in een zeer stabiele, niet watervoerende en diepe geologische formatie deze langdurige isolatie kan bieden. Deze manier van opslag wordt meestal ‘eindberging’ genoemd. Tot op heden is het inzicht daarover niet veranderd: naar de huidige stand van wetenschap en techniek is het de enige oplossing, die verzekert dat het afval ook na duizenden jaren voldoende geïsoleerd van de levensruimte (biosfeer) van de mens blijft.

In de afgelopen vijftig jaar hebben de meeste landen die kernenergie gebruiken onderzoek naar eindberging gedaan. In die periode zijn hieraan wereldwijd tientallen miljarden euro's besteed, het precieze bedrag is echter moeilijk te schatten vanwege het zeer grote aantal onderzoeken dat uitgevoerd is. Er is en wordt onder andere onderzocht welke ‘geologische formaties’ in de bodem geschikt zijn om radioactief afval in op te bergen. Een voor eindberging geschikte formatie wordt wel een ‘gastgesteente’ genoemd. Dat wil zeggen: een gesteente geschikt voor de (eind)berging van radioactief afval.

In de onderzoeken kijkt men naar diverse aspecten van eindberging. Men moet het gastgesteente ‘karakteriseren’, dat wil zeggen de eigenschappen daarvan vaststellen. Dit is nodig om aan te tonen dat het gesteente de benodigde langdurige insluiting van het afval kan bieden. Om dat goed te onderzoeken zijn proefboringen nodig en ondergrondse laboratoria om experimenten in het gastgesteente uit te kunnen voeren. Verder moet er een technisch ontwerp van de ondergrondse opbergfaciliteit, de eindberging, gemaakt worden. Die moet aangepast zijn aan de eigenschappen van het gesteente en de aard en hoeveelheid van het afval. Hiervoor zijn ondermeer grootschalige mijnbouwkundige tests nodig. Het onderzoek omvat ook de veiligheidsstudies om de veiligheid voor de lange termijn te onderzoeken. Deze veiligheidsstudies worden tegenwoordig vaak gepresenteerd als onderdeel van een 'safety case'.

Bij onderzoek naar geologische eindberging ligt de nadruk op de berging van hoog(radio)actief afval. Voor ander laag- en middelactief afval zijn ook andere vormen van afvalbeheer in beeld, zoals oppervlakteberging. Dit rapport beperkt zich met name tot onderzoek naar geologische eindberging en de berging hierin van hoogradioactief afval.

Fasering van het onderzoek

Er kunnen globaal drie fases onderscheiden worden.

Fase 1 is het algemene (‘generieke’) onderzoek naar potentieel geschikt gastgesteente in de diepe ondergrond. Dit start met het vastleggen van opbergconcepten voor mogelijk geschikte gastgesteentes in de bodem van het betreffende land en dit vereist kennis van de geologie. De keuze voor een bepaald gesteente is afhankelijk van de geologische aardlagen van het land. De meest onderzochte gesteente-types zijn graniet (o.a. in Zweden, Finland, Verenigd Koninkrijk, Zwitserland, Spanje en Japan), steenzout (o.a. in de Verenigde Staten, Duitsland en Nederland) en ondoorlatende kleilagen (o.a. in België, Frankrijk, Zwitserland en Nederland). Na selectie van een gesteente volgt in Fase 1 nader geologisch onderzoek naar locaties waar het overwogen gastgesteente op voldoende diepte en met voldoende ruimte (volume)



voor een eindberging in de bodem voorkomt. Tevens worden generieke veiligheidsstudies uitgevoerd waarin het eindbergingsconcept aangepast wordt aan de hoeveelheid afval en de eigenschappen van het gesteente. Het Nederlandse onderzoek bevindt zich in fase 1.

Fase 2 is het aanleggen van een ondergronds onderzoekslaboratorium in het gastgesteente. In deze fase wordt de geschiktheid van het gastgesteente getoetst door nader onderzoek. Het ontwerp van de eindberging wordt verder gedetailleerd aan de hand van gesteentegegevens die ondergronds worden verkregen. Dat soort gegevens is vanaf het oppervlak niet te verkrijgen. Daarnaast wordt het hele opbergproces verder ontwikkeld en getest. Dit betreft onder andere het ontwerpen en testen van duurzame ‘overpacks’; sterke containers ter bescherming van de afvalcontainers. Verder moeten er ontwerpen en procedures ontwikkeld worden voor het transporteren van de containers en het maken van ondergrondse constructies zoals mijngangafsluitingen om het afval te kunnen isoleren. Ook worden er omvangrijke, locatie-specifieke veiligheidsstudies uitgevoerd. In Fase 2 wordt ook al het onderzoek uitgevoerd, dat nodig is om de documentatie samen te stellen, die nodig is bij de vergunningsaanvraag voor het aanleggen van de uiteindelijke eindberging.

In Fase 3 wordt de eindberging aangelegd. De eindberging beslaat ondergronds een oppervlak van circa twee tot tien vierkante kilometers. Bij de aanleg wordt voortdurend onderzocht of het gesteente ook op grote afstand van het ondergrondse onderzoekslaboratorium geschikt is voor de eindberging. Ook wordt het detailontwerp aangepast aan de geologische discontinuïteiten die aangetroffen worden bij de aanleg. In de praktijk zal de eindberging zo lang in gebruik blijven, dat een deel van de eindberging al in gebruik is, terwijl andere delen nog in aanleg zijn of zelfs nog aangelegd moeten worden. Momenteel is in de EU alleen Finland bij (het begin van) Fase 3 wat betreft de eindberging van hoogactief afval.

Tabel 1 Fases van onderzoek naar de geologische eindberging van hoogradioactief afval van kerncentrales en voorbeelden van landen in deze fases

Fase 1 - generiek onderzoek	Nederland, Verenigd Koninkrijk, Denemarken, Verenigde Staten, Spanje, Zwitserland, Japan
Fase 2 - ondergronds laboratorium	België, Frankrijk, Zweden,
Fase 3 - aanleg faciliteit	Finland, (Duitsland - moratorium)
Vergunning en opbergen van afval	-

3 Resultaten van het onderzoek in het buitenland

De landen met kernenergie zijn Fase 1 van het onderzoek rond de jaren 60 en 70 van de vorige eeuw gestart. Het toekomstbeeld van die tijd was grootschalige inzet van kernenergie, dus werd er gezocht naar concrete oplossingen voor het afval. De onderzoeksresultaten leiden tot de conclusie dat eindberging van radioactief afval technisch uitvoerbaar is en dat het risico op het vrijkomen van een grote hoeveelheid radioactief materiaal klein is. Niettemin bestaat er in de meeste landen ook oppositie tegen deze constatering en verwachtingen en tegen de aanleg van eindbergingen.

Wat betreft het eindbergingsonderzoek zijn onze directe buurlanden Duitsland en België van belang, omdat zij bij de grenzen een vergelijkbare geologie en gastgesteenten hebben (respectievelijk zout en klei). Daarnaast zijn Frankrijk, Verenigd Koninkrijk, Zweden, Finland als nabijgelegen West-Europese landen met hoogactief afval ook interessant. Voorts heeft de Verenigde Staten een opbergfaciliteit in gebruik met een voor Nederland relevant opbergconcept.

Wat betreft eindberging van hoogradioactief afval bevinden Europese landen als Nederland en het Verenigd Koninkrijk zich in Fase 1 (generiek onderzoek), België, Frankrijk en Zweden in Fase 2 (ondergronds lab) en Finland in Fase 3 (aanleg eindberging). Duitsland bevindt zich met het Gorleben project in Fase 3. Indien dit project echter niet vervolgd wordt, verandert dit in Fase 1. Voor laag- en middelactief afval hebben de meeste landen met grote afvalvolumes één of meer oppervlaktebergingen in gebruik. Voor laag- en middelactief afval dat (in die landen) *niet* in aanmerking komt voor oppervlakteberging, hebben een aantal van deze landen, zoals Duitsland, Finland, Zweden en de Verenigde Staten al ondergrondse faciliteiten in gebruik: voor dit type afval zij dus voorbij Fase 3.

In alle landen zijn vergunningen nodig voor het uitvoeren van proefboringen, voor het aanleggen van een ondergronds laboratorium, voor het aanleggen van een eindberging en voor het plaatsen van afval in de eindberging. Een groot deel van het onderzoek is gericht op de vereiste documentatie voor de vergunningsaanvraag. Bij het verlenen van vergunningen zijn maatschappelijke en politieke processen minstens even belangrijk als de technisch-wetenschappelijke onderzoeken en de veiligheidsstudies.

In veel landen is er tegenwoordig aandacht voor het terugneembaar plaatsen van afval in een eindberging. Nederland was één van de eerste landen die dit concept introduceerde. Bij terugneembare eindberging, kan nog geruime tijd na plaatsing, indien gewenst het afval uit de berging gehaald worden voor een alternatieve verwerking daarvan. Terugneembaarheid speelt een belangrijke rol in de Safety Case die COVRA momenteel opstelt.

België

Het merendeel van het radioactief afval in België is afkomstig van de zeven operationele kernreactoren en zes buiten-bedrijf-gestelde reactoren. Het nucleaire vermogen, en de hoeveelheid radioactief afval, is daardoor ongeveer 10 keer zo groot als in Nederland. NIRAS/ONDRAF is de Belgische Nationale Instelling voor Radioactief Afval en verrijkte Splijtstoffen. Het is verantwoordelijk voor het onderzoek en de uiteindelijke opberging van het afval. Het Belgische onderzoek heeft een aantal belangrijke mijlpalen

bereikt. Ten eerste het realiseren van het ondergronds laboratorium "HADES" in de Boomse kleilaag. Verder het uitbrengen van twee belangrijke veiligheidsrapporten¹ in 1989 en 2001. Meest recent is de uitgave van het nationaal afvalplan in 2011 met daarin (1) het plan voor het beheer op lange termijn van hoogradioactief en/of langlevend afval en (2) het milieueffectenrapport met alternatieve beheersopties voor dit afval. De resultaten van het Belgische onderzoek geven aan dat opberging in een kleilaag in principe mogelijk is en veilig is.

Voor de uitvoering van de vervolgstappen wacht NIRAS/ONDRAF op een principebesluit² van de Belgische overheid betreffende eindberging in de diepe ondergrond.

Het toekomstig onderzoek van NIRAS/ONDRAF zal zich naar verwachting richten op het nauwkeuriger karakteriseren van het afval, het verfijnen van het technisch ontwerp van de opbergmijn, het verkrijgen van aanvullende informatie over de kleilaag, een beter begrip van de watervoerende lagen rondom de klei, het beter in kaart brengen van verstoringen van de klei door de aanleg van de opbergmijn, het lange termijngedrag van cement in de ondergrond en de maatschappelijke aspecten van eindberging.

Duitsland

In Duitsland zijn nog 9 kerncentrales in bedrijf. In de periode tussen 1971 en 2011 zijn 27 kernreactoren buiten gebruik gesteld. In de jaren zestig van de vorige eeuw heeft de Duitse federale overheid besloten dat al het radioactieve afval (kortlevend en langlevend) in vaste vorm in de diepe ondergrond opgeborgen moet worden. Grote hoeveelheden laag- en middelactief afval zijn opgeborgen in twee voormalige zoutwinningsmijnen: Bartensleben in Morsleben en Asse-II nabij Wolfenbüttel. De mijn in Morsleben is inmiddels volledig opgevuld en afgesloten. Nabij Salzgitter wordt de voormalige ijzererts mijn Konrad gereed gemaakt als opbergmijn voor laag- en middelactief afval.

De Asse mijn is gesticht in 1906 voor de winning van carnalliet, een mineraal dat in die tijd o.a. gebruikt werd bij de productie van kunstmest en magnesium. Het carnalliet werd in lagen aangetroffen in de steenzoutformatie. Door de ontwikkeling van nieuwe concurrerende procedés werd de winning van carnalliet onrendabel. Daarom werd in Asse overgeschakeld op het winnen van steenzout dat gebruikt werd voor de productie van keukenzout.

In 1965 is de mijn gekocht door de GSF³ voor het uitvoeren van onderzoek naar de geschiktheid van steenzoutformaties voor het opbergen van radioactief afval. Dit onderzoek richtte zich in de eerste plaats op de technische haalbaarheid van de aanleg en bedrijfsvoering van een opbergfaciliteit in steenzout. Ook Nederland heeft deelgenomen aan dit onderzoek via het zogenoemde OPLA⁴-onderzoeksprogramma. Echter, GSF heeft naast dit onderzoek ook daadwerkelijk ongeveer 40000 m³ laag- en middelactief afval in enkele speciale secties van de Asse mijn gestort, waarbij onderzoek uitgevoerd werd naar verschillende stortmethododes. Het storten van afval in de Asse mijn is in 1978 gestaakt. De combinatie van het grote uitgegraven volume, het plaatselijk dunne zoutschild tussen uitgraving en de rand van de zoutformatie, de

¹ Safety Assessment and Feasibility Interim Report, SAFIR

² Besluit dat alleen een principe, maar niet de uitvoering betreft.

³ Gesellschaft für Strahlenforschung mbH, GSF

⁴ Opberging te Land, OPLA

verbinding met de carnalliet-lagen en het storten van radioactief afval bleek onfortuinlijk. Door de grootte van het uitgegraven volume (ruim 4 miljoen kubieke meters) zijn er ondergrondse verzakkingen opgetreden, waardoor de oorspronkelijke grondlagen rond de zoutformatie vervormd zijn. De meest gangbare hypothese is dat deze vervorming ertoe heeft geleid dat grondwater de buitenkant van de zoutformatie kan bereiken. Het plaatselijk zeer dunne zoutschild blijkt dit water niet tegen te houden, waardoor er sinds 1998 een vrij constante instroom van grondwater is.

Het veiligheidsconcept berust echter op de volledige isolatie van het afval, maar die is nu niet meer gegarandeerd. Daarom is besloten het afval uit deze mijn terug te halen, waarbij grote uitdagingen zijn te overwinnen.

Gezien de fundamentele mijnbouwkundige verschillen tussen een eindbergingsfaciliteit en een zoutproductiemijn, hebben de ontwikkelingen in Asse geen invloed op de wetenschappelijke conclusies over de geschiktheid van steenzout als gastgesteente voor eindberging. Onderzoek in de Asse mijn waar Nederland bij betrokken is geweest, heeft nuttige inzichten verschaft in diverse zaken. Zo is er nu veel meer bekend over het kruipgedrag van steenzout, zodat de isolerende werking van steenzout goed en met vertrouwen te beschrijven is. Ook is ondermeer vastgesteld, wat de invloed is van hoge temperaturen (getest met verwarmingselementen) en van straling (getest met radioactieve cobalt-bronnen) op de eigenschappen van steenzout. Ook is waardevolle ervaring opgedaan met de afsluiting van opbergnissen en galerijen tijdens het vullen van de opbergmijn. Het gaat hierbij om de aan te leggen zogenoemde 'engineered barriers', die de isolatie van opgeborgene afval moeten garanderen tot deze door het steenzout zelf kan worden geleverd.

Voor het hoogradioactief afval werd de zoutkoepel Gorleben in 1977 door de Federale overheid en de regering van de deelstaat Niedersachsen aangewezen als locatie voor opslag, verwerking en opberging van hoogactief afval. Het 'Atommülllager' Gorleben omvat bovengrondse installaties waar (warmteproducerend) hoogradioactief afval is opgeslagen - vergelijkbaar met die van de Nederlandse COVRA. Tevens zijn er pilot-installaties om de afvalvaten te verpakken in speciale containers voor toekomstige ondergrondse opberging.

Daarnaast zijn er vanaf 1986 bij Gorleben schachten en een ondergronds laboratorium aangelegd om te onderzoeken of deze zoutkoepel geschikt is als gastgesteente voor hoogactief afval. Parallel hieraan zijn bij vele Duitse instituten en laboratoria grootschalige onderzoeken uitgevoerd naar de mogelijke geschiktheid van steenzout-, klei- en granietformaties voor opberging van radioactief afval.

In 2000 is een moratorium overeengekomen, waarmee ondergronds onderzoek in Gorleben tot maximaal 10 jaar geschorst werd. Vanaf 2010 werd het onderzoek in Gorleben weer hervat om in 2013 weer te worden gestaakt. De bovengrondse opslagfaciliteiten zijn tussentijds in bedrijf gebleven: zo zijn tijdens het moratorium ruim honderd vaten met verglaasd afval opgeslagen in het 'Transportbehälterlager' Gorleben. De onderzoekswerkzaamheden ter plekke zijn sinds 2013 niet hervat. De toekomst van de ondergrondse faciliteit bij Gorleben is onduidelijk.

Hier speelt een belangrijk politiek-maatschappelijk proces rond de keuze van de locatie van de opbergfaciliteit. Dit wordt goed verwoord in de conclusies van AkEnd, een werkgroep die in opdracht van de Duitse overheid in 2002 een advies heeft uitgebracht over dit proces. Het advies van AkEnd bevat vijf geologische criteria op basis waarvan een locatie in ieder geval afgewezen moet worden, enkele

geologische en maatschappelijke afwegingscriteria, de noodzakelijkheid van publieksparticipatie en de keuze uit minimaal twee locaties. Deze aanbevelingen van AkEnd zijn geen deel van het overheidsbeleid. Niettemin zijn de studies in Duitsland sindsdien uitgebreid naar meerdere locaties en gastgesteentes, om een keuze mogelijk te maken tussen Gorleben en een andere locatie. Sinds 2013 is in Duitsland het ENTRIA project van start gegaan waarbij niet alleen gekeken wordt naar geologische berging als eindoplossing maar ook langdurige bovengrondse opslag onderzocht wordt.

Frankrijk, Verenigd Koninkrijk, Zweden, Finland

Het onderzoek in deze landen richt zich op eindberging in granietformaties, behalve in Frankrijk, waar het onderzoek zich richt op een harde en vrij droge kleiformatie.

Frankrijk en Zweden bevinden zich, wat betreft het onderzoek aan hoogradioactief afval, in Fase 2. Frankrijk heeft het ondergrondse laboratorium LSMHM in Bure (in klei), Zweden HRL in Äspö (graniet). In het Verenigd Koninkrijk heeft de afvalbeheerder, destijds NIREX, in 1997 getracht Fase 2 te starten met het bouwen van de "Rock Characterisation Facility" bij Sellafield. De aanvraag hiervoor is afgewezen door de overheid en sindsdien is er weinig ontwikkeling geweest. In een context van grote maatschappelijke en politieke druk vond de 'Secretary of State' de vergunningsaanvraag onvoldoende overtuiging geven voor de mogelijkheid van veilige opberging. Na de afwijzing besloot NIREX de overheid te vragen de procedures en het planningsbeleid te verhelderen, zodat het programma weer op gang gebracht kon worden. Begin 2013 heeft de county council van Cumbria in het Verenigd Koninkrijk een voorstel van de overheid om het onderzoek naar de geschiktheid van geologische lagen in dit graafschap uit te breiden afgewezen. Lokale gemeenschappen van het aangewezen district stonden echter niet afwijzend tegenover het voorstel.

Finland bevindt zich in Fase 3 met de start van de aanleg van de ONKALO eindbergingsfaciliteit op het schiereiland Olkiluoto. In 2012 is een vergunningsaanvraag ingediend voor het bedrijven van de faciliteit, inclusief een volledige Safety Case. De vergunning voor inbedrijfname wordt verwacht in 2020.

Het onderzoek in Zweden en Finland richt zich op de Zweedse 'KBS methode' voor het opbergen van gebruikte splijtstof in een granietformatie. Bij deze methode wordt gebruikte splijtstof van kerncentrales geplaatst in containers van staal en koper. De containers worden geplaatst in een kleiachtig constructiemateriaal (bentoniet) op 500 m diepte in het granietgesteente in de bodem. Het onderzoek heeft in Zweden geresulteerd in een vergunningaanvraag voor het bouwen van een KBS-3 opbergfaciliteit op 500 m diepte nabij Forsmark. Indien de vergunning wordt verleend zal de bouw in 2019 kunnen starten.

In het Franse CIGEO concept worden lange horizontale tunnels met een dikke stalen binnenwand in de kleilaag aangelegd. Hoogactief afval, verpakt in stalen containers, wordt in deze tunnels geplaatst. Het Franse onderzoek in het ondergrondse lab richt zich op de reactie van de klei op de aanleg van de tunnels en op de door het afval geproduceerde warmte. Verder wordt er gewerkt aan technieken voor het plaatsen van de containers en methodes om de containers eventueel weer terug te halen uit de faciliteit. De Franse afvalbeheersorganisatie ANDRA verwacht de vergunningsaanvraag voor de aanleg van CIGEO in Bure met bijbehorende veiligheidsstudies in 2015 in te dienen. Het ondergronds laboratorium LSMHM zal dan opgaan in het CIGEO complex.

Verenigde Staten

In de Verenigde Staten komt het meeste hoogradioactief afval uit de 118 commerciële kerncentrales. Daarnaast is er een aanzienlijke hoeveelheid radioactief afval ontstaan uit het kernwapenprogramma.

In 1987 werd besloten het onderzoek betreffende de opberging van afval van de kerncentrales te richten op Yucca Mountain (tufsteen) in Nevada. De eindberging zou daar op 300 m diepte aangelegd worden. De grondwaterspiegel bevindt zich op 600 m diepte. Het onderzoek was er op gericht aan te tonen dat de grondwaterspiegel de faciliteit nooit zal kunnen bereiken en dat doorsijpelend regenwater geen radioactief materiaal uit het afval kan opnemen. In 2008 is een vergunningsaanvraag ingediend voor de bouw van de faciliteit. In 2010 heeft president Obama de aanvraag ingetrokken, en heeft hij de opdracht gegeven naar andere locaties te zoeken. Omdat de regering stelde dat de locatie Yucca Mountain 'onwerkbaar' is, zonder specifieke technische of veiligheidsproblemen te noemen, en omdat er grote lokale en nationale weerstand was, wordt aangenomen dat dit een politiek besluit is.

In 1973 werd besloten tot de ontwikkeling van een opbergfaciliteit voor het middelactief en niet-warmteproducerend hoogactieve afval uit het kernwapenprogramma, de Waste Isolation Pilot Plant (WIPP). De WIPP is aangelegd op 600 m diepte in een zoutlaag in New Mexico. De aanleg van de WIPP startte begin jaren tachtig. Tussen 1994 en 1998 werd een uitgebreid testprogramma uitgevoerd, waarna de faciliteit in 1999 in gebruik werd genomen. WIPP staat op dit moment in het nieuws vanwege een emissie van radioactieve stoffen uit een van de ondergrondse afvalkamers via het ventilatiesysteem. Nader onderzoek vindt op dit moment plaats.

Landen met een klein of geen nucleair programma

Landen zonder kernenergie hebben wel laagactief radioactief afval en vaak een kleine hoeveelheid hoogactief afval. Het afval bevindt zich in één of meer opslagfaciliteiten. Het beleid is in het algemeen om het hoogactief afval te exporteren naar het land van herkomst van het bronmateriaal en het laag actief afval zo lang in opslag te houden, dat het door radioactief verval omgezet is in niet-radioactief afval. In een land als Denemarken, met ruim 100 kg hoogradioactief afval, zijn enkele locaties geïdentificeerd waar het afval opgeborgen zou kunnen worden. Deze studies zijn uitgevoerd in de tijd dat Denemarken nog ambitieuze plannen had met kernenergie.



4 Toekomstig onderzoek

De stappen die in de diverse landen nog gezet moeten worden om een veilige eindberging te ontwikkelen, hangen af van de status van het al uitgevoerde onderzoeksprogramma en het nationale beleid ten aanzien van de realisering van de eindberging. Dit verschilt per land.

Door de vele internationale verdragen over het vreedzaam gebruik van kernenergie heeft het onderzoek in veel landen een sterk internationaal karakter. De Europese landen hebben het Euratom verdrag afgesloten om de nationale onderzoeksprogramma's te harmoniseren, en in 1960 het Euratom Supply Agency opgericht. Het via het Euratom verdrag gefinancierde internationale onderzoek wordt geïmplementeerd in de Europese kaderprogramma's voor onderzoek en technologische ontwikkeling in de Europese Unie.

Het internationale onderzoek brengt de nationale onderzoeklijnen samen. Dit biedt de mogelijkheid om gezamenlijk onderzoeksthema's te identificeren, te onderzoeken en een internationaal draagvlak te creëren voor oplossingsrichtingen. De onderzoeken kunnen algemeen van aard zijn, bijvoorbeeld maatschappelijke studies en generieke veiligheidsstudies. Maar vaak zijn ze ook gekoppeld aan het overwogen gastgesteente: steenzout, klei of graniet. De resultaten van de internationale onderzoeken worden altijd gedeeld tussen de deelnemers en vrijwel altijd gepubliceerd in openbare documenten.

De Europese Commissie heeft samen met 10 Europese afvalbeheersorganisaties, waaronder de Nederlandse COVRA, het netwerk 'IGDTP' opgericht: het "Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform". Het IGDTP heeft een onderzoeksagenda opgesteld, waarin is aangegeven welke thema's al voldoende onderzocht zijn en welke thema's nog aandacht behoeven. In deze agenda zijn de nationale verschillen meegewogen. Deze thema's zijn overgenomen in de oproepen voor onderzoeksvoorstellen die gefinancierd worden vanuit het zevende kaderprogramma en het daarop volgende HORIZON onderzoeksprogramma van de EC. Ook sturen de afvalbeheersorganisaties in de verschillende EU-landen hun nationale onderzoeksprogramma's zoveel mogelijk aan volgens deze agenda.

Op basis van inhoudelijke overwegingen zijn door IGDTP de volgende onderzoeksprioriteiten vastgesteld:

Vergroten van de betrouwbaarheid van de veiligheidsanalyse/safety case

De veiligheidsanalyse/'safety case' is gebaseerd op actuele wetenschappelijke inzichten en de kennis van de locatie. Deze inzichten en kennis nemen in de loop der tijd toe door wetenschappelijke vooruitgang en vergroting van de kennis over de onderzochte locatie.

Voor het realiseren van een eindberging en voor operationele faciliteiten, moeten de veiligheidsanalyses op gezette tijden herhaald worden, zodat de onderliggende modellen geactualiseerd worden, de betrouwbaarheid vergroot wordt en de impact van de nieuwe informatie op de geschatte risico's geëvalueerd wordt.

Verbeteren van de communicatie van de veiligheidsanalyse

De veiligheidsanalyse heeft een wetenschappelijk karakter, die tot uitdrukking komt in de vorm en inhoud van de rapportages. Deze vorm en inhoud is niet geschikt voor communicatie met een breder publiek.

Vanwege de maatschappelijke aandacht voor het thema, is onderzoek voor betere methodes om te communiceren over de veiligheidsstudies van belang voor het realiseren van een eindbergingsfaciliteit.

Beter karakteriseren van bepaalde typen radioactief afval

Van een aantal speciale types reactorbrandstoffen, zijn de lange termijn eigenschappen van het daaruit voortkomende afval minder goed bekend. Nader onderzoek aan deze typen afval is van belang, wanneer deze typen radioactief afval voorkomen in het op te bergen afval.

Grootschalige demonstraties van opbergtechnieken

De opbergtechnieken zijn tot nu toe vooral getest op kleine schaal. Omdat uiteindelijk duizenden vaten met afval opgeborgen moeten worden, zijn grootschalige demonstraties van belang om te laten zien dat de technieken werken, om ervaring op te doen en waar nodig de opbergtechnieken te verbeteren, voordat deze toegepast kunnen worden in een eindberging.

Beter begrip van de lange termijn werking van afdichtingstechnieken in de ondergrond

Het bouwen van afdichtingen is een gangbare mijnbouwtechniek. Echter, in de gewone mijnbouw is de benodigde levensduur van deze afdichtingen hooguit honderd jaar. In een eindberging moeten de afdichtingen duizenden jaren werken. Verder onderzoek naar de lange termijn werking van afdichtingstechnieken is daarom van belang voor de betrouwbaarheid van de veiligheidsanalyses.

Methodes voor veilige bedrijfsvoering

In Fases 1 en 2 van het onderzoekstraject is veel aandacht voor de lange termijn, maar weinig aandacht voor veilige bedrijfsvoering. In Fase 3 moet dit echter tot in detail uitgewerkt worden. Omdat in een aantal landen Fase 3 mogelijk binnen enkele jaren start, is onderzoek naar methodes voor veilige bedrijfsvoering van belang.

Ontwikkelen van monitoring strategieën en technieken

Radiologische monitoring van nucleaire faciliteiten is in veel landen verplicht en de technieken zijn beschikbaar. Hier wordt bedoeld op het volgen van de geofysische processen in en om de faciliteit die de langdurige insluiting van het afval mogelijk maken. Deze processen, die in de veiligheidsstudies uitvoerig beschreven zijn, moeten, indien technisch mogelijk, via monitoring gevolgd worden, zodat de beschrijving in de veiligheidsstudie bevestigd kan worden.

Besluitvormingsprocessen met technische, maatschappelijke en economische belangen.

Een goede inkadering van een veiligheidsstudie vereist inzicht in de besluitvormingsprocessen en de rollen van de verschillende belangengroeperingen. Omdat het realiseren van eindberging een langdurig proces is, moet ook het veranderen van deze processen en rollen beschouwd worden.

5 Belang van buitenlands onderzoek voor Nederland

Het huidige beleid in Nederland ten aanzien van radioactief afval gaat uit van tenminste 100 jaar bovengrondse opslag door COVRA. Gedurende de periode van bovengrondse interim opslag wordt onderzoek uitgevoerd naar mogelijkheden voor berging van het radioactief afval, in een nationale eindberging of in een multinationale eindbergingsfaciliteit die dan gedeeld zou worden met één of meer andere landen. Het onderzoek naar de geologische eindberging van radioactief afval in Nederland richt zich op de in ons land mogelijke gastgesteentes klei en zout.

Opberging in klei

Het Belgische en Franse onderzoek richt zich op kleilagen. Het Belgische onderzoeksprogramma richt zich op de Boomse en Ieperiaanse klei, die aangetroffen wordt onder België en Nederland. Het merendeel van de resultaten van het Belgisch onderzoek zijn daardoor direct bruikbaar voor Nederland. Er zijn een aantal verschillen die nader onderzoek nodig maken: in Nederland liggen de kleilagen dieper, waardoor o.a. het zoutgehalte van het grondwater hoger is. Ook de samenstelling en hoeveelheden van het op te bergen Nederlandse afval wijken af.

De in Frankrijk onderzochte kleilaag is harder en droger dan de Boomse klei, waardoor het Franse onderzoek voor Nederland minder direct bruikbaar is dan dat in België. Niettemin biedt ook het Franse onderzoek veel bruikbare informatie en aanknopingspunten.

Opberging in een zoutkoepel

Het Duitse en Amerikaanse onderzoek richt zich op zoutformaties. Het Duitse onderzoek is verricht aan zoutkoepels die verbonden zijn met de zogenoemde 'Zechstein' gesteentelagen die zich via Nederland en Duitsland uitstrekken van Engeland tot Polen. Het Duitse onderzoek in zoutkoepels is daarom rechtstreeks bruikbaar voor Nederland.

De WIPP eindberging in de Verenigde Staten is gelegen in een zoutlaag in de bodem van een woestijn. Hoewel een zoutlaag andere eigenschappen heeft dan een zoutkoepel, zijn er voldoende overeenkomsten, zodat veel resultaten verkregen bij de WIPP ook relevant zijn voor Nederland.

Andere gesteentes

Naar de huidige stand van techniek zijn er in Nederland geen andere gesteentes dan klei en steenzout die mogelijk geschikt kunnen zijn voor eindberging. De granietformaties, waar het onderzoek in Zweden en Finland zich op richt, liggen in Nederland te diep in de bodem om een eindberging in te kunnen bouwen.

Internationaal onderzoek

Vrijwel al het internationale onderzoek betreffende maatschappelijke en algemene veiligheidsaspecten, en het onderzoek gericht op opberging in steenzout en kleilagen is relevant voor Nederland.



Van de Europese IGDTP onderzoeksagenda zijn voor Nederland de volgende thema's relevant: (1) vergroten van de betrouwbaarheid van de veiligheidsanalyse, (2) verbeteren van de communicatie over de veiligheidsanalyse en (3) de besluitvormingsprocessen met technische, maatschappelijke en economische belangen. Vanuit het oogpunt van de gewenste terugneembaarheid, zijn verder van belang: (4) beter begrip van de lange termijn werking van afdichtingstechnieken en (5) het ontwikkelen van monitoringstrategieën en -technieken.

6 Conclusie

Op basis van het Duitse en Belgische onderzoek is het aannemelijk dat er in Nederland een aantal locaties zijn waar in een kleilaag of zoutformatie een opbergfaciliteit gebouwd kan worden die aan de veiligheidseisen voldoet. In een groot gedeelte van Nederland komen potentieel geschikte zout- en kleilagen voor. De geschiktheid van de lagen op verschillende locaties voor de berging van radioactief afval hangt af van verschillende factoren zoals de diepte en dikte van de laag ter plaatse, en de aanwezigheid van onzuiverheden en (actieve) breukvlakken. De mijnbouwtechnische technieken die in Duitsland en België ontwikkeld zijn voor het bedrijven van een faciliteit, zijn ook bruikbaar voor Nederland. Andere zaken, zoals de opbouw en omvang van het mijnontwerp hangen af van het op te bergen afval en vereisen nationaal Nederlands onderzoek.

Voor de komende decennia kan verwacht worden dat de bestaande Nederlandse veiligheidsstudies regelmatig geactualiseerd zullen worden. Een effectieve manier om hieraan tegemoet te komen is deelname door Nederland aan internationale onderzoeksprogramma's, waarmee de basiskennis en de aansluiting bij het internationale kennisnetwerk behouden blijft.

Wanneer Nederland Fase 2 en 3 zou starten, zou sterk geleund kunnen worden op kennis en ervaring uit België en Duitsland. Gezien de relatief kleine hoeveelheid afval is te verwachten dat het ondergronds laboratorium (Fase 2) opgenomen wordt in de eindbergingsfaciliteit (Fase 3), vergelijkbaar met het CIGEO project in Frankrijk. Overgang naar Fase 2 en vervolgens Fase 3 vereist niet alleen onderzoek en financiële middelen, maar ook voldoende maatschappelijke en politieke consensus.

Veel onderzoek tijdens Fase 1 en Fase 2 in het buitenland zal voor NL erg goed te gebruiken zijn. Generiek onderzoek naar mijnbouwtechnieken, het ontwerp en het testen van verschillende soorten containers of manieren om de schachten af te dichten zodat het afval buiten de invloedssfeer van de mens veilig bewaard wordt zijn vrij goed te doen in samenwerking met andere landen en in andere laboratoria.

Voor een gedeelte van Fase 3 van het onderzoek is echter een laboratorium op de bergingslocatie nodig waarin getest kan worden of het eerdere (of buitenlandse) onderzoek inderdaad toepasbaar is op die plek.



Lijst van tabellen

Tabel 1	Fases van onderzoek naar de geologische eindberging van hoogradioactief afval van kerncentrales en voorbeelden van landen in deze fases	10
---------	---	----