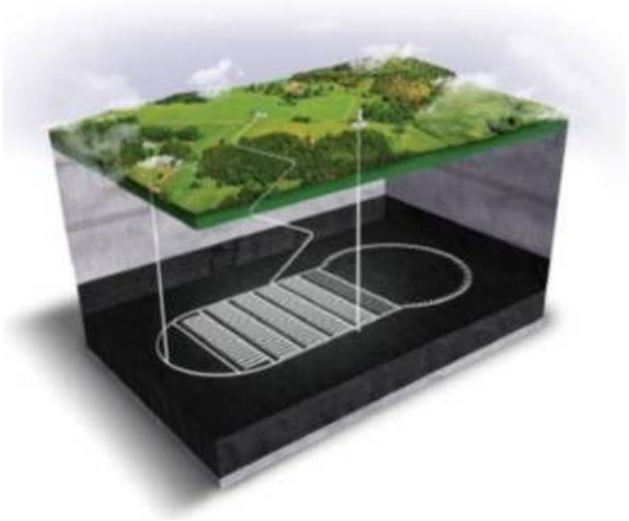
FACTSHEET ONDERGRONDSE EINDBERGING VAN RADIOACTIEF MATERIAAL

OMSCHRIJVING ACTIVITEIT

Radioactieve stoffen worden gebruikt en opgewekt ten dienste van electriciteitsvoorziening, onderzoek, medicijnen, landbouw en industrie. Een deel van dit materiaal is langlevend, dat wil zeggen dat de keten van verval van de radioactieve elementen vele tienduizenden jaren beslaat, en een deel van het materiaal is hoog radioactief. Het langlevende en hoog radioactieve afval dient op uiterst zorgvuldige wijze opgeslagen te worden om verontreiniging van onze leefomgeving te voorkomen. Elke lidstaat van de Europese Unie waar radioactief materiaal geproduceerd wordt, is verantwoordelijk voor het beheer en de berging van het radioactief afval binnen zijn eigen territorium (EU, 2011). In Nederland is de organisatie COVRA exclusief verantwoordelijk voor deze taak. Het Nederlandse beleid gaat uit van bovengrondse opslag in Borssele tot ten minste 2100 en vanaf 2100 zal de eindberging gerealiseerd gaan worden. De uitgangspunten van het beleid zijn in principe isoleren, beheersen en controleren (IBC-concept). In Nederland, staan twee opties open voor de eindberging: in een kleilaag (m.n. de Tertiaire Rupelklei, beter bekend als de Boomse Klei) of in een zoutkoepel. De Nederlandse regering heeft in 1993 besloten dat het afval in de eindberging terughaalbaar moet zijn (''requirement of retrievability''; Kamerstukken, 1993). De Europese richtlijn voor berging van radioactief materiaal (EU, 2011) stelt dat elk land uiterlijk 23 augustus 2015 de Europese Commissie moeten informeren over hun nationale programma voor het beheer van radioactief afval (incl. de berging).



Figuur 1. Impressie van een eindberging van radioactief afval in een diepe kleilaag (COVRA, 2011a)

Radioactieve elementen

Het is de algemene verwachting dat bij berging van radioactief afval in klei, de bekende radioactieve actiniden plutonium, neptunium, americium en uranium niet meer dan enkele meters kunnen migreren voordat ze vervallen zijn (Altmann, 2008; Grambow, 2008). Dit komt door hun slechte oplosbaarheid bij anaerobe condities (zoals die in diepgelegen kleilagen heersen) en sterke sorptieaffiniteit. De relevante stoffen met betrekking tot mobiliteit en verspreiding zijn de radioactieve elementen die voorkomen als ongeladen element of als anion en een lange halfwaardetijd hebben. Het gaat hierbij veelal om dochterproducten. De aandacht gaat daarom uit naar jodium-129 (halfwaardetijd van 1,7E7 j), chloride-36 (3,01E6 j), seleen-79 (6,5E5 j), koolstof-14 (5.73E3 j) en technetium-99 (2.12E5 j).

EIGENSCHAPPEN: RUIMTELIJKE EN TEMPORELE IMPACT

Tabel 1 ruimtelijke en temporele impact van de activiteit

Ruimtegebruik verticaal (m)	0-5	5-20	20-50	50-100	100-250	>250
Ruimtegebruik horizontaal (km2)	<1	1-5	5-50	50-500	500-1000	>10.000
Tijdsduur activiteit	0-5	5-15	15-50	50-150	150-1500	>1500
Tijdsduur herstel	0-5	5-15	15-50	50-150	150-1500	>1500
Aspecten	chemisch		fysisch		biologisch	

Het horizontale ruimtebeslag van de eindberging wordt ingeschat op 1-2 km2. De dikte van schachten en holtes die opgevuld worden met het radioactief materiaal en bijbehorend isolatiemateriaal zal enkele meters bedragen. Het uitgangspunt is dat er in Nederland één ondergrondse eindberging zal zijn. Voorlopige uitgangspunten voor de Nederlandse bergingslocatie in de Rupelklei zijn dat de diepte van de top van de kleilaag tenminste 400 m-mv zal bedragen en de kleilaag tenminste 100 m dik is. Deze situatie doet zich niet in heel Nederland voor (verg. De Mulder et al., 2003). Deze cijfers zijn niet formeel vastgesteld als selectiecriteria en ook niet nader onderbouwd met technisch-natuurwetenschappelijke argumenten.

De tijdsduur voor het inbrengen van het radioactief afval zal tot enkele tientallen jaren bedragen. De eindberging van wordt ontworpen voor de lange-termijn isolatie en insluiting van radioactieve materialen. Men hanteert in het algemeen een tijdshorizon van een miljoen jaar om de milieueffecten van een eindberging te verkennen. Er is hierbij sprake van een eerste fase van ca. 10.000 jaar met relatief hoge ioniserende straling en warmteproductie door verval van de actiniden uit met name de spent fuel van de onderzoeksreactoren, en een vervolgfase met doorlopend verval van moeder- en dochterproducten. Bij een eventuele calamiteit zou de hersteltijd erg lang kunnen zijn vanwege de lange halfwaardetijd van de relevante radioactieve isotopen.

Tabel 2: Relatie tussen de activiteit en de 11 onderscheiden ecosysteemdiensten van de ondergrond. Kolom A: maakt de activiteit gebruik van de ESD; J(a) of N(ee). Beïnvloedt de activiteit de ESD negatief (-), positief (+) of niet wezenlijk (o).

Eindberging van readioactief materiaal		
ESD	gebruik	beïnvloeding
1 - Beschikbaarheid van voldoende water met bepaalde kwaliteit	N	-
2 - Energie	N	o
3 - Reinigend vermogen van de ondergrond	J	o
4 - Draagvermogen van de ondergrond	N	o
5 - Bergingscapaciteit	J	o
6 - Biochemische cycli	N	o
7 - Temperatuursregulatie	N	o
8 - Voorzien watervoerendheid en kwaliteit oppervlaktewater	N	-
9 - Voeding van grondwaterafhankelijke natuur	N	o
10 - Cultuurhistorische waarden	N	o
11 - Biodiversiteit	N	-

ECOSYSTEEMDIENSTEN DIE GEBRUIKT WORDEN

De activiteit maakt gebruik van twee ecosysteemdiensten van de ondergrond (Tabel 2):

- 3. Reinigend vermogen
- 5. Bergingscapaciteit

Ad 3. Reinigend vermogen. Het reinigend vermogen speelt een belangrijke rol in het algemene bergingsconcept. Dit gaat uit van 1. een fysieke isolatie van het afval in containers, 2. sterke retardatie in het gastgesteente (zout of klei) door lage doorlatendheid en, in geval van klei, gunstige geochemische reacties ten aanzien van immobilisatie en

sorptie van de radionucliden en 3. verdunning en dispersie in de watervoerende pakketten tussen de bergingslocatie en het aardoppervlak (COVRA, 2011a; Altmann, 2008).
Het is de verwachting dat de eerste barrière tot 10.000 jaar een rol speelt en dat de twee andere barrières gedurende meer dan 100.000 jaar een rol zullen spelen. Het reinigend vermogen van de ondergrond speelt dus een conceptuele rol voor zowel het gastgesteente als het pakket aan geologische afzettingen boven dit gesteente. Hierbij worden dispersie en verdunning ook onder het reinigend vermogen van de ondergrond geschaard.

Ad 5. De berging neemt fysiek ruimte in beslag in een domein van de ondergrond waarin in geval van een diepe kleilaag geen andere antropogene activiteiten plaats vinden. In geval van een zoutkoepel zouden wel potentiële antropogene activiteiten kunnen plaats vinden waaronder winning van het zout of berging van andere producten in zoutcavernes.

EISEN VAN DE ACTIVITEIT AAN KWALITEIT EN KWANTITEIT VAN DE FYSIEKE OMGEVING

De eisen die deze activiteit stelt aan de ondergrond richten zich met name op de bergingscapaciteit in combinatie met de isolatie- en insluitingsfunctie. Een essentiële randvoorwaarde is dat het gastgesteente slecht doorlatend is op de geologische tijdschaal en ook bij andere geologische gesteldheid (zoals een ijstijd) zijn isolerende en insluitende eigenschappen behoudt. Aanvullende eisen spelen met betrekking tot de operationele fase van de berging, waarbij het radioactief afval veilig ingebracht moet kunnen worden en de werkomstandigheden voor de mens ook goed zijn. Dit leidt met name tot eisen met betrekking tot de geomechanische stabiliteit van de locatie in kwestie.

IMPACT VAN DE ACTIVITEIT OP ECOSYSTEEMDIENSTEN VAN ONDERGROND EN GRONDWATER; POSITIEF EN NEGATIEF

De ondergrondse berging van radioactief materiaal vindt plaats volgens het concept van de safety case. Een safety case is (COVRA, 2011b): ‘a collection of arguments in support of the long-term safety of a repository. It comprises the findings of a safety assessment and a statement of confidence in these findings.’ Deze benadering is in essentie een combinatie van een risicogerichte benadering (kans maal effect) en een conditionele benadering (what if) van beheer van radioactief afval. De activiteit heeft dientengevolge potentieel negatief effect op de volgende ecosysteemdiensten:

- 1.Beschikbaarheid van voldoende water met bepaalde kwaliteit
- 8. Transport en oppervlaktewatervoeding
- 11. Biodiversiteit

De eindberging van radioactief zal in alle redelijkheid op de lange termijn (> 1000 j) leiden tot verontreiniging van het poriewater met radioactieve stoffen in de onmiddellijke omgeving van de berging (meter-schaal), omdat de isolerende werking van het containermateriaal het begeeft. Als zich geen calamiteiten voordoen tijdens de operationele fase, kan grondwaterverontreiniging verder weg van de berging potentieel alleen optreden op de lange tijdstermijn (> 1000-10.000 jaar) als gevolg van de retarderende werking van het gastgesteente. Als de mobiele radionucliden de rand van het gastgesteente zouden bereiken, is er kans dat de radionucliden zich verder verspreiden richting watervoerende pakketten, afhankelijk van de specifieke geohydrologische opbouw van de locatie in kwestie. De aanwezigheid van goed en slecht doorlatende lagen boven maar ook onder het gastgesteente bepaalt het transport van de radionucliden door advectieve grondwaterstroming, diffusie en dispersie buiten het gastgesteente. Tijdens een ijstijd zou bijvoorbeeld erosie van het landschap door een gletsjer met vorming van diepe glaciale geulen een mechanisme kunnen zijn in Nederland waardoor de afstand tussen de eindberging en de biosfeer kleiner wordt. Het is in potentie ook mogelijk dat grondwater dat onderdeel uitmaakt van de hydrologische kringloop verontreinigd raakt met radionucliden als de radionucliden buiten het gastgesteente komen. Op die manier zou de beschikbaarheid van voldoende water met een bepaalde kwaliteit verminderd kunnen worden. Dit zal ruimtelijk altijd lokaal beperkt zijn

omdat sprake is van één bergingslocatie in Nederland. In de meest ultieme situatie bereikt het verontreinigde grondwater het oppervlaktewatersysteem op de zeer lange termijn (> 10.000 j).

Op zeer lokale schaal zouden grondwaterecosystemen radio-actief besmet kunnen raken. Dit geldt eerder voor de onmiddellijke nabijheid van de eindberging dan de verdere omgeving, omdat de radioactiviteit daarvoor lager is ten gevolge van verdunning. Het zal echter geen aanleiding geven tot verlies aan biodiversiteit op grotere schaal gelet op het feit dat sprake is van één bergingslocatie in Nederland.

AFWEGINGEN TEN OPZICHTE VAN ANDERE ACTIVITEITEN DIE GRONDWATER EN DE ONDERGROND BENUTTEN

Een eindberging voor radioactief afval neemt ruimte in beslag op enkele honderden meters diep. De eindberging berust op het IBC-concept en als de ontwikkelingen normaal verlopen is er geen interferentie met andere activiteiten op de korte en lange termijn. In geval van berging in klei, vinden er (momenteel) ook geen andere antropogene activiteiten plaats. Er is dus ook geen directe interferentie tussen de onderhavige activiteit en andere activiteiten. In de afweging over een bergingslocatie zal aandacht besteed worden aan potentieel bedreigde objecten als drinkwaterwinningen.
In geval van berging in een zoutkoepel, geldt dat het zout ook als delfstof aangemerkt zou kunnen worden. Verder zijn er ideeën om zoutcavernes te gebruiken voor opslag van materialen zoals olie of waterstof. Het is in principe mogelijk dat berging in één zoutkoepel of kleilaag meerdere doelen dient (bijv. nucleair en chemisch afval), mits de risico's elkaar niet onacceptabel negatief beïnvloeden. Voor opslag in zoutkoepels kan dus wel sprake zijn van interferentie en dient een afweging gemaakt te worden in de lokale, antropogene functie die voor de zeer lange termijn vast staat.
Het is een open vraag of sprake is van directe of indirecte interferentie tussen de onderhavige activiteit en andere antropogene activiteiten die op grotere diepte kunnen plaatsvinden (zoals winning van delfstoffen, CO2-opslag of geothermie). Het lijkt in eerste instantie maatschappelijk ongewenst om beide activiteiten op één locatie te combineren.
De fysieke afstand tussen een eindberging en de ondiepe ondergrond bedraagt meerdere honderden meters en het hydrologisch contact is onder stabiele condities voor de eerste duizenden jaren afwezig. Er is dus onder normale omstandigheden geen directe interferentie tussen een eindberging en activiteiten aan maaiveld of in de ondiepe ondergrond, anders dan de toegang vanaf het oppervlak naar de diepgelegen berging. Veiligheidsmaatregelen zullen gelden voor de directe omgeving van zo'n toegang.

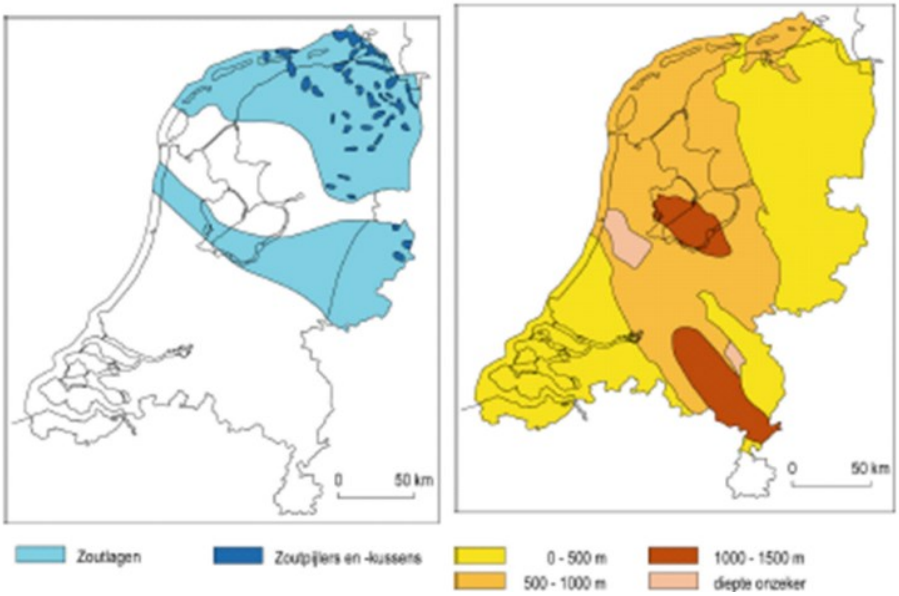
TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN DIE AFWEGINGEN NOODZAKELIJK KUNNEN MAKEN

Een lange-termijn planning geldt met betrekking tot de locatiekeuze en installatie van een eindberging want het huidige voornemen is om in Nederland de eindberging pas vanaf 2100 te gaan realiseren. Het is voorzien dat er in de komende jaren geen locatiekeuze wordt gemaakt noch een keuze voor opslag in klei of in zout. Gelet op het feit dat niet heel Nederland geschikt lijkt voor een lokale eindberging, zou enige vorm van ruimtereservering wenselijk kunnen zijn. Gelet op het potentiële optreden van competitie omtrent opslag en berging in zoutkoepels, geldt dit wat meer voor opslag in zoutkoepels dan in de Tertiaire Rupel kleilaag.

REGIONALE VERSCHILLEN OVER NEDERLAND

De diepteligging van de Rupelklei varieert in Nederland sterk (Fig. 2; De Mulder et al., 2003). De kleilaag ligt nergens aan maaiveld in Nederland en de ondiepste ligging is in Zeeland en langs delen van de Nederland/Duitse grens. De kleilaag ligt rondom 1500 m in de Roerdalslenk in Noord-Brabant en iets minder diep bij de Flevopolders en Markermeer. Tussenliggende dieptes spelen voor de rest van Nederland.

De zoutlaag komt in de noordelijke helft van Nederland voor en de zoutkoepels of –diapieren komen in de provincie Groningen en directe omgeving voor. Winning van het zout heeft op meerdere plaatsen in Nederland plaats gevonden en enkele concessies lopen nog (Geluk et al., 2007; NL Olie- en gasportaal, 2013).



Figuur 2. Ligging van de potentiële gastgesteenten voor eindberging van radioactief afval in Nederland: verbreiding van steenzout (links) en diepteligging van de top van de Rupelklei (rechts; COVRA, 2011c).

Beschikbare gegevens en kennis

Het 5-jarige Nederlandse onderzoeksprogramma OPERA is sinds 2011 in uitvoering, waarin onderzoek wordt gedaan naar de geologische opslag van radioactief afval. Het programma wordt gecoördineerd door COVRA. Er wordt meer naar opslag in klei gekeken dan naar opslag in zout omdat eerdere programma's meer aandacht aan het laatste hebben besteed. Het programma ontwikkelt en actualiseert kennis rondom opslag van radioactief afval in de context van de Nederlandse geologie en geografische situering. De ontwikkelde kennis moet bijdragen aan het opstellen van een generieke safety case.

Het is momenteel niet bekend of en hoe het OPERA-programma een vervolg krijgt. Het is de algemene verwachting dat Europese en nationale onderzoeksprojecten in landen als België, Frankrijk en Zwitserland door zullen lopen, gelet op het algemeen grote belang van onderzoek naar geologische eindberging en het grote aandeel van nucleair opgewekte elektriciteit in meerdere Europese landen (ongeveer een derde van de totale elektriciteitsproductie in de Europese Unie; Europe, 2013).

Referenties naar websites, rapporten

Altmann, S. (2008). 'Geo'chemical research: a key building block for nuclear waste disposal safety cases. J. Cont. Hydrol. (102), 174-179.

COVRA (2011a). Outline of a disposal concept in clay. COVRA, OPERA-PG-COV008, 17 pp.

COVRA (2011b). Research plan. COVRA, OPERA-PG-COV004, 24 pp.

COVRA (2011c). Meerjarenplan. COVRA, OPERA-PG-COV002, 22 pp.

De Mulder, E.F.J., Geluk, M.C., Ritsema, I., Westerhoff, W.E., & Wong, T.E. (2003). De ondergrond van Nederland. TNO Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen /Wolters Noordhoff, 379 pp.

EU (2011). Council directive 2011/70/EURATOM of 19 July 2011 establishing a Community framework for the responsible and safe management of spent fuel and radiactive waste. Official J. of the Eur. Union, L 199/48

Europe (2013). http://europa.eu/legislation_summaries/ energy/nuclear_energy/
Geluk, M.C., Paar, W.A. & Fokker, P.A. (2007). Salt. In ''Geology of the Netherlands'', ed. Th.E. Wong, D.A.J. Batjes & J. de Jager. Royal Neth. Acad. Arts & Sci., Amsterdam, the Netherlands, p. 283-294
Grambow, B. (2008). Mobile fission and activation products in nuclear waste disposal. J. Cont. Hydrol. (102), 180-186.
Kamerstukken (1993). Opbergen van afval in de diepe ondergrond. Kamerstukken II 1992-1993, 23 163, nr. 1
NL Olie- en gasportaal (2013). http://www.nlog.nl/nl/salt/salt.html

Deze factsheet is onderdeel van het rapport: Broers, H.P., en Lijzen, J.P.A. 2014. Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. Een verkenning op basis van ecosysteemdiensten. Deltares (Utrecht) en RIVM (Bilthoven). Deltares-rapportnummer 1207762-016, RIVM-rapportnummer 607710003/2014.