

COPERA:
SAMEN
WERKEN
AAN DE
TOEKOMST

Inleiding

De plannen voor het Nederlandse nucleaire landschap ontwikkelen zich snel. Niet alleen vanwege de rol die kernenergie gaat spelen in de energietransitie, maar bijvoorbeeld ook om de leveringszekerheid van medische isotopen te borgen. De wijze waarop omgegaan wordt met radioactief afval is van groot belang voor het maatschappelijke draagvlak voor deze ontwikkelingen. In Nederland is dat goed geregeld: de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) heeft als enig bedrijf de taak om al het radioactief afval te verzamelen, verwerken en op te slaan. Alle bedrijven in Nederland die een vergunning hebben om met radioactieve stoffen te werken, zijn verplicht hun radioactief afval aan COVRA aan te bieden. Om de zorgtaak voor het radioactieve afval te kunnen uitvoeren heeft COVRA een opslag- en verwerkingsfaciliteit gerealiseerd in Zeeland, op het haventerrein Vlissingen-Oost in de gemeente Borsele.

De opslag van radioactief afval bij COVRA is geen definitieve, langetermijnoplossing. Een deel van het afval moet voor lange tijd, deels voor meer dan honderdduizend jaar, uit het leefmilieu en de invloedssfeer van de mens worden gehouden. Dat is best een uitdaging in een snel veranderende wereld. Bedenk maar dat er 100 jaar geleden nog geen internet en televisie was. Het Romeinse Rijk bestond 2.000 jaar geleden nog en 150.000 jaar geleden was Nederland zelfs nog bedekt met een hele dikke ijslaag. Het is dus de vraag of Nederland over tienduizenden jaren nog wel bestaat op de manier zoals ons land er nu uitziet. Het is daarom onmogelijk om te garanderen dat er tegen die tijd nog voldoende kennis, mankracht en geld beschikbaar is om de bovengrondse opslaggebouwen van COVRA te onderhouden en beveiligen.

“Eindberging is op de lange termijn de meest veilige en verantwoorde manier om met radioactief afval om te gaan.”

Geologische (eind)berging is het plaatsen van langlevend radioactief afval in stabiele geologische aardlagen in de diepe ondergrond. Volgens de huidige stand van de wetenschap en techniek is dat de beste oplossing om het afval duizenden jaren buiten de levensruimte van de mens te houden. Het langlevend radioactief afval wordt meestal geborgen op zo'n 200 tot ongeveer 1.000 meter diepte. Een eindberging wordt zo diep gebouwd dat klimaatveranderingen of andere processen in onze leefomgeving in de toekomst geen invloed hebben op de veiligheid daarvan. Een eindberging kan worden gebouwd in verschillende soorten stabiele aardlagen. In de diepe ondergrond van Nederland zitten twee soorten aardlagen die mogelijk geschikt kunnen zijn, namelijk klei en zout.

Het onderzoek naar eindberging is een integraal onderdeel van het Nederlandse beleid voor radioactief afval. De coördinatie daarvan behoort tot de kerntaken van COVRA. De uitgangspunten voor het realiseren van een eindberging is dat de oplossing veilig, haalbaar, modulair en schaalbaar is. Dit is leidend in alle onderzoeksprogramma's rondom eindberging.

De definitieve besluitvorming over een eindberging in Nederland staat gepland rond 2100. Het in gebruik nemen van een eindberging is voorzien in 2130. Tot die tijd blijft COVRA het radioactief afval dat in Nederland ontstaat bovengronds opslaan. Dit geeft ons de tijd om voldoende onderzoek te doen naar een eindberging en om te leren van de kennis en ervaring van andere landen en voldoende geld te sparen om een eindberging te bouwen. Bijkomend voordeel is dat een groot deel van het afval dat we nu bovengronds opslaan tegen die tijd minder warmte produceert. Hierdoor kunnen we het afval dichter op elkaar plaatsen in een eindberging, waardoor de eindberging minder groot hoeft te zijn.

Het huidige kabinet is voornemens om de besluitvorming rondom eindberging naar voren te halen; mogelijk naar 2050 in plaats van 2100. Momenteel wordt in kaart gebracht welke stappen moeten worden gezet om dit mogelijk te maken.

Eindberging wereldwijd

In de hele wereld wordt eindberging van radioactief afval toegepast. Het is een bewezen, veilige technologie voor het opbergen van radioactief afval. Hoe diep de eindberging wordt gebouwd is afhankelijk van de hoeveelheid radioactiviteit en de levensduur van het afval. Voor laag- en middelradioactief afval zijn in Finland, Zweden, Frankrijk, Spanje, Slovenië en Hongarije al ondiepe eindbergingen van minder dan 100 meter diep in gebruik.

Veel landen doen momenteel ook onderzoek naar diepe (of geologische) eindberging voor hoogradioactief afval. Op sommige locaties wordt zelfs al zo'n eindberging gebouwd. In Finland opent binnenkort de eerste diepe eindberging van Europa voor hoogradioactief afval haar deuren. In Frankrijk en Zweden zijn locaties gekozen voor het bergen van hoogradioactief afval. In de Verenigde Staten is al ruim 25 jaar een diepe eindberging in gebruik: de Waste Isolation Pilot Plant in New Mexico. Deze eindberging wordt gebruikt voor langlevend militair radioactief afval en is gebouwd in een zoutformatie.

Achtergrond onderzoeksprogramma's eindberging

In Nederland ontstaat radioactief afval net als in veel andere landen om ons heen. Alle EU-lidstaten zijn verplicht om een programma op te stellen voor het beheer van radioactief afval. In het 'Nationaal Programma Radioactief Afval' is beschreven hoe Nederland nu en in de toekomst omgaat met dit afval. Het wordt bovengronds opgeslagen bij COVRA voor een periode van ten minste 100 jaar. Voor de lange termijn heeft Nederland, net als veel andere landen, gekozen voor geologische berging als officieel nationaal beleid.

In Nederland wordt sinds de jaren '70 van de vorige eeuw onderzoek gedaan naar eindberging. In verschillende onderzoeksprogramma's is gekeken naar de manier waarop radioactief afval veilig in de diepe ondergrond van Nederland geborgen kan worden. Daarvoor wordt natuurwetenschappelijk onderzoek uitgevoerd en worden de technologische en geologische voorwaarden vastgesteld voor een veilige eindberging in Nederland. COVRA's OnderzoeksProgramma voor Eindberging van Radioactief Afval, COPERA, is het huidige, doorlopende langetermijnonderzoeksprogramma

dat in 2020 is gestart. Het bouwt voort op eerdere programma's: ICK (1972 – 1979), OPLA (1982 - 1992), CORA (1995 - 2001) en OPERA (2010 - 2017).

In de eerste fase van COPERA (2020-2025) is de kennis uit eerdere programma's gebruikt voor vervolgonderzoek op basis van eerdere veiligheidsstudies voor een eindberging in klei en zout. De uiteindelijke keuze voor zout of klei is nu nog open. Dat geldt ook voor de vraag waar de eindberging moet komen. Het onderzoeksprogramma gaat niet in op de locatiekeuze. In 2019 heeft de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming namens de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat het Rathenau Instituut opdracht gegeven om via onderzoek en dialoog te komen tot een advies over het besluitvormingsproces rondom de locatiekeuze. COPERA is volledig gericht op de verdere ontwikkeling van natuurwetenschappelijke en technische kennis over eindberging.



Mensen aan het werk in ONKALO, de ondergrondse onderzoeks- en eindbergingsfaciliteit in Olkiluoto, Finland. Bron: Posiva.

Het doel van COVRA is om in ieder onderzoeksprogramma de veiligheidsstudies verder te verfijnen door iteratief een steeds specifiekere en gedetailleerdere bergingsconcept te ontwikkelen. Op die manier wordt de kennis over eindberging gericht verder ontwikkeld, zodat later een weloverwogen besluit over eindberging kan worden genomen. Het eerste deel van COPERA (2020-2025) heeft geleid tot twee nieuwe rapporten met integrale veiligheids- en haalbaarheidsstudies voor eindberging; één voor een faciliteit in klei en één voor een faciliteit in zout. Dit document bevat daar een beknopte samenvatting van. De volledige rapporten van de afgeronde veiligheidsstudies en van eerdere onderzoeksprogramma's zijn te downloaden op de website van COVRA: www.covra.nl.

De context van COPERA

COPERA bevordert en ondersteunt het nationale beleid voor radioactief afvalbeheer, dat oproept tot eindberging van Nederlands afval. Het hoofddoel van COPERA is om de kennis te ontwikkelen die nodig is voor het implementeren van veilige en efficiënte geologische berging van radioactief afval in klei en zout, rekening houdend met alle stappen in de keten van radioactief afvalbeheer.

“Een veiligheidsstudie, oftewel

‘safety case’ beschrijft,

kwantificeert en onderbouwt de

veiligheid van een geologische

eindbergingsfaciliteit.”

COPERA draagt bij aan:

- het versterken van de nationale nucleaire kennisinfrastructuur en het opbouwen van een internationaal netwerk voor geologische berging van radioactief afval;
- het bevorderen van een maatschappelijke discussie over geologische berging van radioactief afval, en het nemen van maatschappelijke verantwoordelijkheid voor een definitieve oplossing voor radioactief afval;
- het overwegen van multinationale eindbergingsopties als onderdeel van de tweesporenstrategie.

Het eindbergingsconcept dat verder is ontwikkeld in COPERA is gebaseerd op het wereldwijd gehanteerde ‘multibarrièresysteem’ van natuurlijke en geconstrueerde barrières die het afval insluiten en isoleren en de migratie van radionucliden naar de biosfeer

“COVRA heeft een coördinerende rol in de specificatie en uitvoering van technisch onderzoek naar eindberging, zowel nationaal als internationaal.”

voorkomen, verminderen of vertragen. De ontwikkeling van wetenschappelijk en technisch inzicht en de verzameling van gegevens en argumenten die de veiligheidsstudies ondersteunen, is binnen COPERA multidisciplinair aangepakt met uiteenlopende expertisegebieden.

Universiteiten zijn essentieel voor het behouden en uitbreiden van kennis en het doorgeven hiervan aan de volgende generaties. Daarom heeft COVRA een langetermijnrelaties opgebouwd met verschillende universiteiten, zoals de Technische Universiteit Delft (TU-Delft) en de Universiteit Utrecht (UU) en met kennisinstellingen zoals TNO. Andere belangrijke samenwerkingen vinden plaats binnen het SECUUR-project (Safe Environment for Clay Underground Repository) met de Nederlandse Wetenschappelijk Onderzoeksraad (NWO) en de internationale onderzoeksprojecten KOMPASS en DECOVALEX (DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments). Deze samenwerkingen, in combinatie met met een doorlopend nationaal onderzoeksprogramma, maken continue vooruitgang mogelijk in de richting van de oplossing voor alle wetenschappelijke, technische en maatschappelijke kwesties.

In de toekomst moeten relaties zoals die met de TU-Delft en UU zijn aangegaan, ook worden ontwikkeld met andere Nederlandse universiteiten om te investeren in de volgende generatie experts op het gebied van berging van radioactief afval. Het is daarnaast de bedoeling om zoveel mogelijk samen te werken met internationale experts in de onderzoeksprogrammering om de inzet van financiële middelen te optimaliseren en om een uitgebreide dekking van relevante wetenschappelijke en technische onderwerpen te garanderen.

Internationale samenwerkingen die bijdragen aan COPERA zijn verder bijvoorbeeld OECD-NEA (de IGSC, de NEA Clay Club en de NEA Salt Club), Europese commissie (EURAD, waarin 23 EU-lidstaten de kennisbasis voor eindberging ontwikkelen) en de IAEA. Er is daarnaast nauwe samenwerking geweest met partijen uit België (NIRAS/ONDRAF), Duitsland (BGE) en de Verenigde Staten (US DOE).

In de Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), een operationele geologische bergingsfaciliteit in zout, in de Verenigde Staten, wordt een container met radioactief afval op een plaatsingsmachine geladen. Deze machine plaatst de container vervolgens in een boorgat in de muur. Bron: WIPP.



Binnen COPERA worden jaarlijkse onderzoeksbijeenkomsten georganiseerd. Onderzoekers presenteren dan hun recente werk aan elkaar en organisaties met een rol in het nationale programma, zoals het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, de ANVS en het Rathenau Instituut. Het doel is dat COVRA elke tien jaar nieuwe veiligheidsstudies oplevert, met iedere vijf jaar een

tussentijdse update. Deze frequentie is gebaseerd op de update van het nationale programma. De studies worden telkens geactualiseerd, geconcretiseerd en uitgebreid, waarbij rekening wordt gehouden met de voortgang in Nederland en elders in de tussentijdse jaren.

Wat is er nieuw in COPERA?

De eerdere Nederlandse onderzoeksprogramma's, OPLA, CORA en OPERA, waren allemaal programma's met gedefinieerde looptijden. COPERA is een doorlopend onderzoeksprogramma dat gefinancierd wordt uit de afvaltarieven van COVRA. Dat maakt het mogelijk om meer te leren van buitenlandse initiatieven en die lessen op te nemen in de prioritering van onderzoek in Nederland. Het versterkt nationale initiatieven en ondersteunt Nederlandse onderzoekers, die werken in internationale samenwerkingsverbanden.

Het onderzoeksprogramma COPERA richt zich op veiligheidsstudies voor een eindbergingsfaciliteit in zout en in klei. Naast Boomse Klei worden in COPERA ook andere Paleogene kleiformaties in overweging genomen. Dit vergroot het aantal mogelijke locaties in Nederland en maakt alternatieve ontwerpen voor een faciliteit haalbaar. Bijvoorbeeld een optie met meerdere niveaus waarbij alleen hoogradioactief afval op grote diepte wordt bergend.

De eerdere ontwerpconcepten voor eindbergingsfaciliteiten zijn in COPERA verder geactualiseerd. Er zijn wijzigingen in het ontwerp doorgevoerd om het plaatsen van afval in een eindbergingsfaciliteit te verbeteren. Nieuwe verpakkingconcepten hebben geleid tot een aanzienlijke afname van de benodigde ruimte voor het bergen van sommige soorten afval.

De veiligheidsstudies worden gedurende COPERA geleidelijk gekoppeld aan het Requirements Management System (RMS) dat COVRA ontwikkelt. Het RMS structureert de activiteiten van COVRA, van afvalinzameling, via tijdelijke afvalopslag tot en met eindberging. De kostenraming voor een eindbergingen in klei en zout is geactualiseerd, waarbij gebruikt gemaakt is van de Nederlandse Standaard Systematiek Kostenramingen. Op basis van de resultaten zijn prioriteiten en specifieke doelen ontwikkeld voor het onderzoekswerk in de volgende fase van het COPERA-programma.

Ondergrondse tunnels op 450 meter diepte in de onderzoeksfaciliteit Äspö in Zweden. Bron: SKB AB/Curt-Robert Lindqvist.



Stand van zaken veiligheids- en haalbaarheidsstudie zout

Zoutlagen zijn voornamelijk te vinden in het midden en noorden van Nederland. Deze lagen zijn ondoordringbaar voor water en hebben bovendien een zelfhelend vermogen. Wanneer er breuken ontstaan in het zout, helen deze op natuurlijke wijze zonder dat er menselijk handelen voor nodig is. Zout is vloeibaar, zoals bijvoorbeeld stroop of teer. Dit wordt ook wel kruip genoemd, wat zorgt dat open ruimtes uiteindelijk vanzelf dicht gaan. Bij een eindberging in zout wordt het radioactief afval uiteindelijk volledig ingekapseld door het zout.

Hierdoor kunnen de radioactieve stoffen de oppervlakte niet bereiken: ze zitten als het ware gevangen in het zout. Pas na zeer lange tijd, enkele tot tientallen miljoenen jaren, zouden de stoffen misschien de oppervlakte kunnen bereiken. Tegen die tijd is een groot deel van het radioactieve materiaal vervallen en vormt geen stralingsrisico meer voor mens en natuur.

In Nederland zijn er naast horizontale zoutlagen ook zoutkoepels te vinden. Een zoutkoepel is een enorm zoutlichaam dat zich enkele kilometers kan uitstrekken zowel verticaal als horizontaal. Voor het realiseren van een eindberging wordt specifiek onderzoek gedaan naar een faciliteit in een zoutkoepel. In een zoutkoepel kunnen de positieve eigenschappen van zout, zoals hierboven benoemd, optimaal gebruikt worden. Dit sluit andere zoutlagen, zoals horizontale zoutlagen, niet uit.

De uitgevoerde veiligheidsstudie richt zich op het bestuderen en begrijpen van processen die al miljoenen jaren actief zijn in diepe zoutformaties. Door geologische omgevingen te bestuderen die vergelijkbaar zijn met de zoutkoepels die in aanmerking komen voor een eindberging, kunnen we deze processen beter begrijpen. Natuurlijke analogen leveren bewijs van het vermogen van zout

“Chemisch gezien is zout heel

simpel en voorspelbaar.

Het bestaan van 250 miljoen jaar

oude zoutlagen toont aan hoe

ondoordringbaar en stabiel deze

aardlagen zijn.”

om langdurige stoffen in te sluiten: het bestaan van 250 miljoen jaar oud zout alleen al geeft aan dat het materiaal ondoordringbaar is, aangezien elk doorlatend zout al lang zou zijn opgelost door grondwater. Ook andere voorbeelden, zoals het aardgas dat opgesloten ligt onder het Zechsteinzout in Nederland en de CO₂ in de Werra/Fulda-zoutlaag in Duitsland, laten zien hoe ondoordringbaar is.

Bovendien is zout erg droog wat tot uitzonderlijke conservering van organische materialen. In de zoutmijnen van Hallstatt zijn artefacten uit de bronstijd, waaronder houten gereedschappen en textiel, bewaard gebleven. Evenzo zijn oude menselijke resten gevonden in de zoutmijn van Chehrabad in Iran, die opmerkelijk goed bewaard zijn gebleven door de droogte van het zout. Het bestuderen van deze natuurlijke analogen is cruciaal, aangezien het inzicht geeft hoe zout zich gedraagt om lange tijdschalen welke laboratoriumexperimenten niet kunnen simuleren.

Het COPERA-concept voor zout is gebaseerd op het Duitse concept voor het bergen van hoogradioactief afval in zoutkoepels en op de operationele eindberging in zout in New Mexico, VS. Het bouwt ook

voort op de eerdere Nederlandse concepten. Er zijn tientallen jaren aan praktische ervaring in zowel de commerciële zoutwinning als in de bouw van een daadwerkelijke bergingsplaats voor radioactief afval.

Geotechnische beoordeling binnen het COPERA-onderzoeksprogramma geeft aan dat een stabiele en robuuste eindberging met twee niveaus kan worden gebouwd en beheerd in een zoutkoepel op een diepte van meer dan 700 meter. Het in COPERA aangenomen eindbergingsconcept heeft niveaus op 750 en 850 meter diepte. Voor de bouw van de eindberging kunnen bestaande zoutwinningstechnieken en -machines worden gebruikt. Internationale studies tonen aan dat er praktische technieken zijn voor het afdichten van tunnels en schachten in een eindberging. Ook is er nu al veel operationele ervaring met berging van radioactief afval in zout en er wordt er verwacht dat de komende 100 jaar meer operationele ervaring met eindberging in zout beschikbaar komt, ruim voordat deze technieken in Nederland hoeven te worden ingezet. Er is ruimte om het technische ontwerp van de eindberging in de komende jaren verder te optimaliseren op basis van opgedane kennis.

Multibarriëresysteem

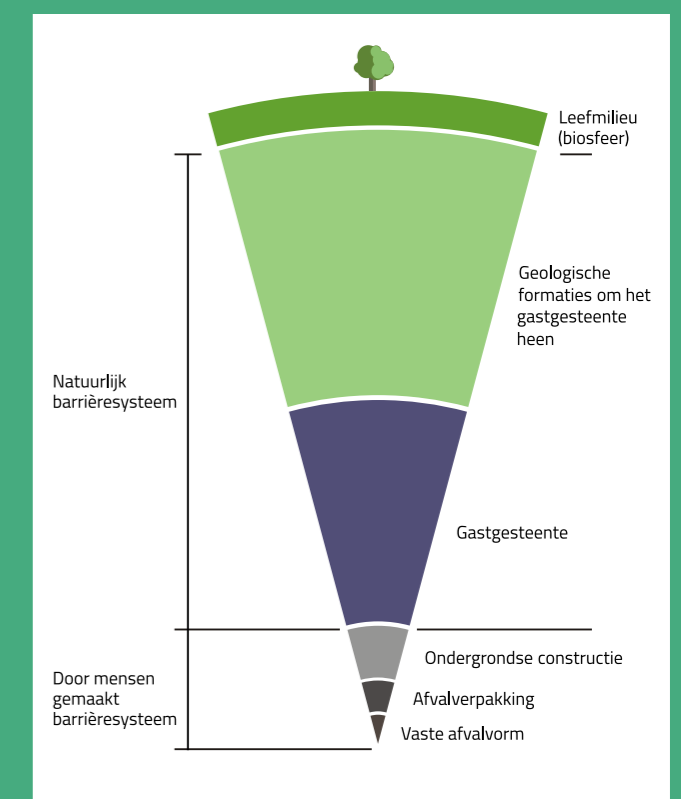
Een eindberging bestaat uit meerdere natuurlijke en door de mens gemaakt barrières, die ervoor zorgen dat radioactieve stoffen niet of pas over zeer lang tijd de oppervlakte weer te bereiken.

De voornaamste barrière is natuurlijk het gastgesteente. In Nederland wordt onderzoek gedaan naar zout en klei als gastgesteente. Deze aardlagen kunnen tientallen tot honderden miljoenen jaren oud zijn en zijn al die tijd stabiel gebleven. Daarmee zijn ze naar verwachting zeer geschikt voor een eindberging, omdat zelfs hoogradioactief afval veel minder lang (duizenden tot meer dan honderdduizend jaar) gevaarlijk blijft.

Het materiaal waarmee open ruimtes, zoals de gangen, worden opgevuld is een voorbeeld van een door mens gemaakte barrière. In het geval van een eindberging in kleilagen kan worden gekozen voor schuimbeton en klei om open ruimtes mee op te vullen. In zoutlagen wordt er gewerkt met zout als opvulling. Zowel schuimbeton, klei als zout hebben een insluitende werking.

Ook de verschillende verpakkingen van het afval en het radioactief afval zelf zijn voorbeelden van door mens gemaakte barrières. Een deel van het hoogradioactief afval wordt verglaasd zodat de radioactieve stoffen er zeer lang over doen om vrij te komen. Voor plaatsing in een eindberging wordt het afval inclusief canister of andere verpakking in een supercontainer geplaatst. De supercontainer bestaat bij een eindberging in klei uit koolstofstaal, een betonnen buffer en een roestvast stalen omhulsel. Voor een eindberging in zout is binnen COPERA een nieuwe container, geheel bestaande uit staal, ontworpen voor de berging van hoogradioactief materiaal.

Al deze barrières samen kapselen het afval heel effectief in. De meeste stoffen vervallen in of in de nabije omgeving van de eindberging; mochten stoffen alsnog de oppervlakte bereiken, dan is de radioactiviteit nagenoeg verwaarloosbaar. Uit onderzoek blijkt dat het stralingsrisico tegen die tijd minder is dan 1% van de achtergrondstraling in Nederland, die gemiddeld 1,6 milliSievert per jaar bedraagt.



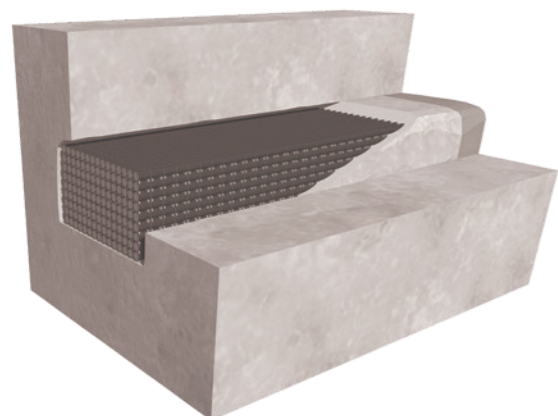
Het eindbergingsconcept in zout zal naar verwachting volledige insluiting bieden voor ten minste 1 miljoen jaar, maar waarschijnlijk nog veel langer. Na deze periode kan een miniem deel van de zeer mobiele radioactiviteit uiteindelijk, als gevolg van verstoring van de geologische barrière door een combinatie van subsosie (het oplossen van zout door grondwater) en diapirisme (het omhoogkomen van zout) in omliggende geologische formaties terecht komen. Hier zal worden verdund door en verspreid in diepe poriënwateren en grondwateren, wat resulteert in biosfeerconcentraties, die geen veiligheidsrisico's opleveren en naar verwachting ver onder de natuurlijke niveaus van radioactiviteit in drinkwater liggen.

De veiligheidsberekeningen die in COPERA zijn gehanteerd voor zout zijn compatibel met de berekeningen, die onafhankelijk zijn gemaakt door andere nationale programma's en komen overeen met de resultaten van eerdere Nederlandse veiligheidsberekeningen voor zout.

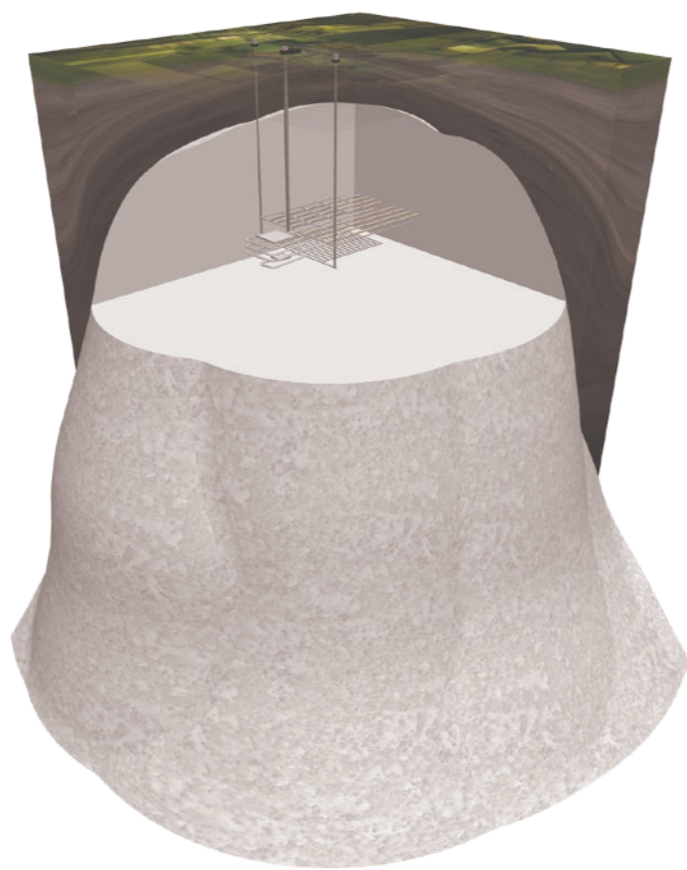
“Een eindberging in zout is haalbaar, betaalbaar en veilig.”

COPERA is geen locatiestudie. Toch is het wel belangrijk om te weten of er in Nederland überhaupt geschikte locaties zouden zijn, als zout zou worden geselecteerd als de gastheerformatie. Zout is in geschikte diktes en op benodigde diepte aanwezig in grote delen van het midden en noorden van Nederland. Maar er zijn nog aanzienlijke onzekerheden in de diepte-dikteverdeling van bepaalde zoutformaties. Ook is de interne structuur van zoutstructuren, met name van zoutkoepels, nog niet goed genoeg bekend. Het uiteindelijke eindbergingsontwerp kan worden aangepast om compatibel te zijn met de specifieke eigenschappen van kandidaatlocaties, waardoor flexibiliteit in diepte en layoutaspecten mogelijk is. Deze aspecten zijn niet cruciaal voor de veiligheid.

Een locatiekeuzeprogramma moet bepaalde geologische structuren en kenmerken vermijden. Hiervoor moeten richtlijnen en criteria worden ontwikkeld. Factoren die onder meer in overweging moeten worden genomen, zijn andere activiteiten waarvoor een zoutkoepel is gebruikt, bijvoorbeeld als opslaglocatie van olie en gas, de variabiliteit van de eigenschappen van het zout, de potentie voor diepe glaciale erosie en diapirisme en subsosiesnelheden.



De opslag van laag- en middelradioactief afval in 200 liter containers in een eindberging in zout.



Concept voor een eindberging in een zoutkoepel.



Jeroen Bartol onderzoeker COVRA, specialisatie zout

“Ik zocht een baan in de geologie. Zo ben ik 7 jaar geleden als onderzoeker bij COVRA terecht gekomen. Daarvoor hield ik me bezig met de geologie in z'n algemeenheid, maar nu moest ik me echt gaan toespitsen op het onderwerp zout. Dat betekende in het begin heel veel literatuur lezen en met mensen praten. Uiteindelijk beginnen dan de puzzelstukjes op z'n plek te vallen en wordt het eigenlijk alleen maar leuker. Zout is namelijk een heel interessant gesteente.

Ongeveer 250 miljoen jaar was het klimaat in Nederland warm en droog. Uit de ondiepe zee die een deel van Nederland bedekte verdampen meerder keren miljarden liters zeewater. Het daarin opgeloste zout bleef achter. Dikke pakketten hiervan liggen nu diep onder ons land. En terwijl er met andere aardlagen eigenlijk niets gebeurt, is zout juist in beweging. Het is niet star, maar juist stroperig. Dat maakt het voor mij ontzettend interessante materie om te onderzoeken.

Voor COPERA heb ik een verdiepende slag gemaakt in het onderzoek naar de compactie van zout, naar het concept van een eindbergingsfaciliteit in zout en naar de benodigde verpakking voor het afval. De conclusie is dat met het huidige concept een eindberging in zout haalbaar, betaalbaar en veilig is. Dat is een goede basis om de komende jaren verder onderzoek mee te doen. Er zijn nu bijvoorbeeld een aantal simplificaties aangenomen, die nog verder onderzocht moeten worden.

Het is soms best een uitdaging om dingen te voorspellen over een lange tijdsperiode. Hoe lang duurt het bijvoorbeeld voordat het zout gebruikt om een eindbergingsfaciliteit op te vullen ondoorlaatbaar wordt? Is dat 1.000 of 10.000 jaar? In mijn onderzoek kan ik allerlei dingen inzetten om processen te versnellen, zodat ik daar

uiteindelijk een uitspraak over kan doen. Ik kijk daarvoor ook veel naar natuurlijke analogen: hoe heeft de natuur zich in het verleden gedragen? Daar leer je veel van.

Soms is het wel eens raar om aan iets te werken dat over 100 jaar pas gerealiseerd is. Dat ga ik dus niet meer meemaken. Maar voor een geoloog stelt zo'n tijdschaal in principe niets voor. In de geologie kijk je naar periodes van miljoenen jaren. In tegenstelling tot veel geologisch onderzoek heeft het onderzoek waar ik mee bezig ben wel een praktische toepassing. Dat vind ik leuk. Veel andere landen zijn ook bezig met onderzoek naar eindberging. De resultaten daarvan worden heel openlijk met elkaar gedeeld, zodat je ook van elkaar kan leren. Daar profiteren we allemaal van.”



Binnen in ONKALO, de onderzoeks- en eindbergingsfaciliteit in Finland. Bron: Posiva.

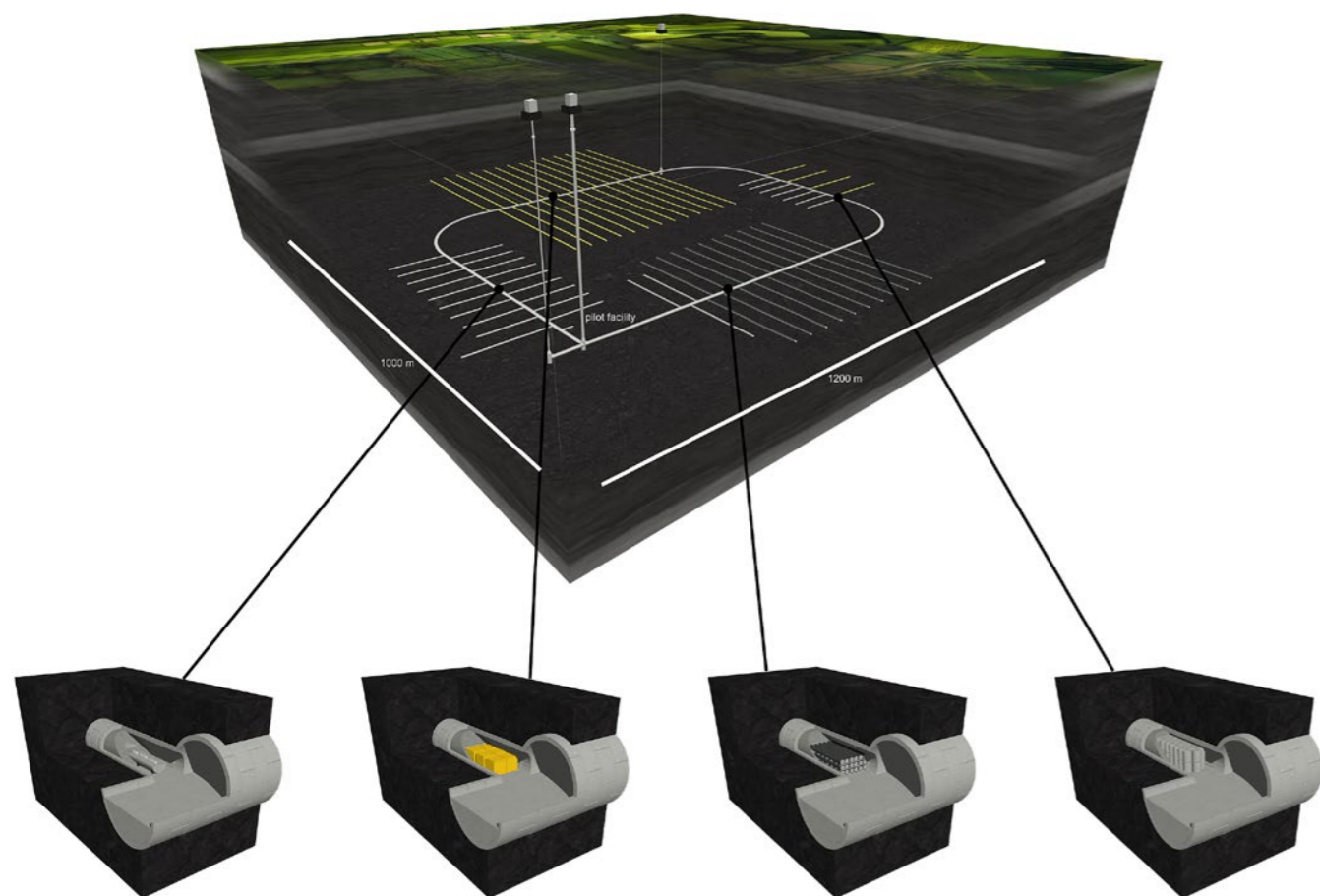
Stand van zaken veiligheids- en haalbaarheidsstudie klei

Kleilagen zijn in bijna heel het land te vinden, op verschillende dieptes en in verschillende diktes. Klei heeft, net als zout, het voordeel dat het nagenoeg ondoordringbaar is voor water. Dit betekent dat water er zeer lang over doet om bij het radioactief afval te komen en dat radioactieve stoffen lang worden vastgehouden. Mochten radioactieve stoffen na vele duizenden jaren toch de oppervlakte bereiken, dan is dit in een sterk verdunde concentratie via het grondwater. Hierdoor is er geen stralingsrisico meer. Een ander voordeel van klei is dat het een zelfhelend vermogen heeft. Wanneer er scheurtjes ontstaan in de klei, helen deze op natuurlijke wijze, zonder dat er menselijk handelen nodig is. Dit houdt in dat de klei het radioactief afval vanzelf hermetisch insluit.

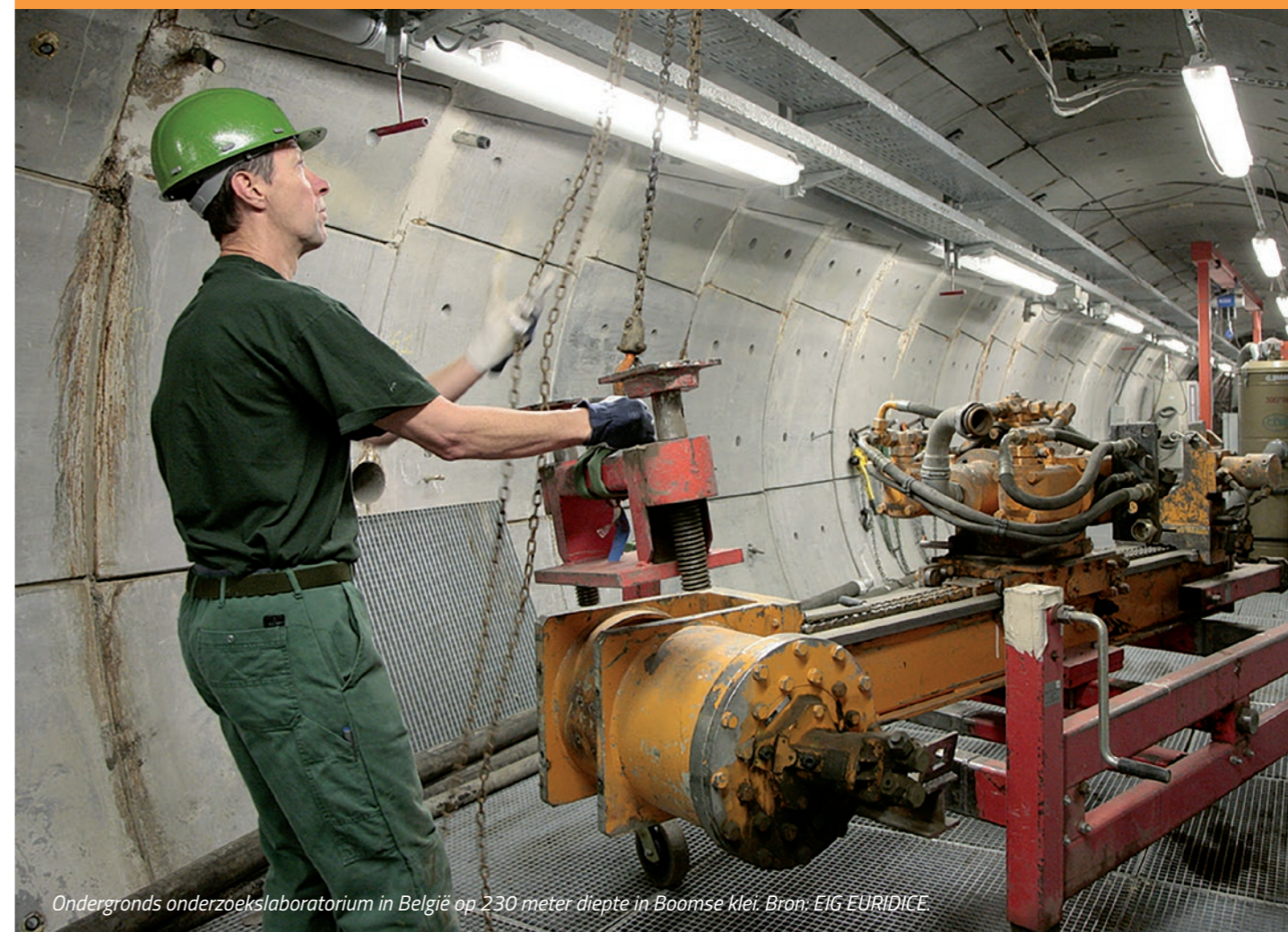
De nieuwe veiligheidsstudie voor een eindbergingsfaciliteit in klei is een actualisatie en verfijning van de OPERA veiligheidsstudie uit 2017, waarbij rekening is gehouden met de voortgang die in Nederland en elders in de tussenliggende jaren is geboekt. Door het onderzoekswerk in COPERA in de periode 2020-2025

“Paleogene kleilagen zijn tientallen miljoen jaar oud en zeer stabiel. Ze kunnen het radioactieve afval hermetisch insluiten.”

is een beter begrip ontstaan van de fysieke en chemische processen die belangrijk zijn bij het bepalen van de veiligheid van het multibarrièresysteem met natuurlijke en door mensen gemaakte barrières. Ook is er meer kennis opgebouwd over het bouwen en opereren van een eindbergingsfaciliteit in klei.



Het concept voor een eindbergingsfaciliteit op 1 niveau in klei.



Ondergronds onderzoekslaboratorium in België op 230 meter diepte in Boomse Klei. Bron: EIG EURIDICE

In OPERA werd voorgesteld om alle soorten afval op dezelfde diepte te bergen in Boomse klei, maar binnen COPERA is ook een ontwerp met meerdere ‘verdiepingen’ ontwikkeld. Dat kan omdat Paleogene kleien altijd op verschillende dieptes aanwezig zijn. Het bergen van afval op verschillende dieptes betekent dat chemische interacties tussen de verschillende soorten afval op de lange termijn minder waarschijnlijk zijn. Zandformaties tussen de kleiformaties kunnen bovendien de afvoer verbeteren van afbraakproducten, zoals gassen.

Een ontwerp met meerder verdiepingen verkleint ook de voetafdruk die de eindberging inneemt, zodat de kans op menselijke indringing verder wordt verkleind. Ook dit nieuwe concept is gebaseerd op het goed ontwikkelde Belgische ontwerp voor een eindberging in Boomse Klei. Maar in Nederland zouden mogelijk ook andere beschikbare Paleogene kleiformaties gebruikt kunnen worden. Die worden in COPERA verder onderzocht.

Recentelijk zijn Paleogene kleikernen van goede kwaliteit verkregen op 400 meter diepte. Deze kernen worden momenteel onderzocht in SECUUR, een onderzoeksproject onder leiding van de Technische Universiteit Delft. Er is nog meer kennis nodig over de aard en variabiliteit van Paleogene klei en de eigenschappen op regionale basis in heel Nederland om het huidige concept voor de eindbergingsfaciliteit te verfijnen.

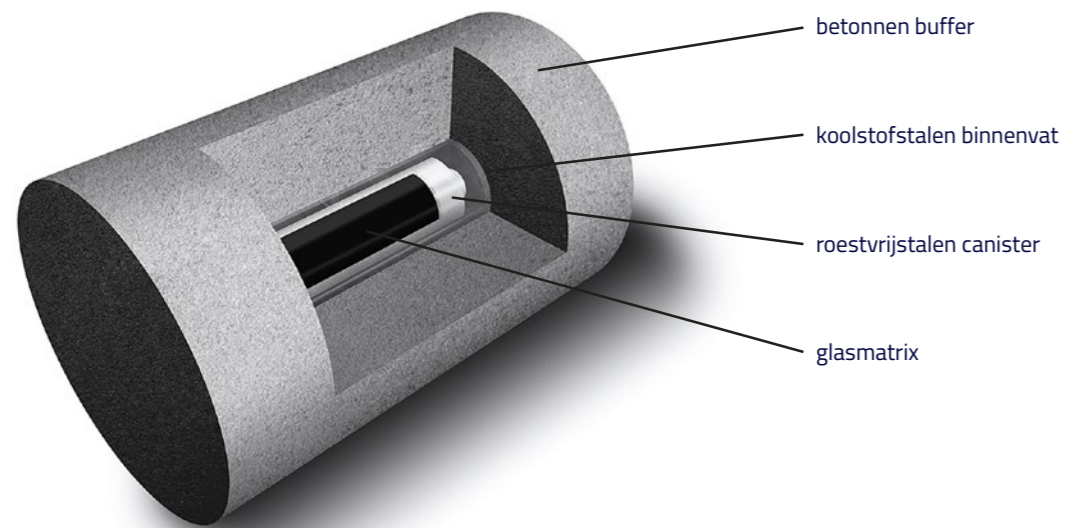
Beide ontwerpen bestaan uit oppervlakte- en ondergrondse faciliteiten, verbonden door verticale schachten. De ondergrondse faciliteiten zijn netwerken van tunnels. Er worden twee opties

overwogen: een enkelvoudige eindberging op een diepte van ongeveer 500 meter in een Paleogene kleiformatie met een dikte van ongeveer 100 meter, en een eindberging met meerdere verdiepingen waarin afval afhankelijk van radioactiviteit en levensduur op verschillende dieptes wordt geborgen: hoogradioactief afval op 500 meter diepte en laag- en middelradioactief afval op een diepte van 200 en 100 meter.

Er wordt uitgegaan van één transporttunnel, die alle bergingstunnels op dezelfde diepte kruist. Bestaande tunnelbouwtechnieken met behulp van een tunnelboormachine kunnen worden gebruikt om het kleigastgesteente uit te graven en vrijwel tegelijkertijd de betonsegmenten te plaatsen.

Omdat de temperatuur van het kleigastgesteente toeneemt met de diepte, wordt momenteel verwacht dat 1.000 meter een maximum is voor een acceptabele werktemperatuur. De kosten nemen toe met toenemende diepte, voornamelijk omdat de betonsegmenten in de voering van tunnels dan dikker moeten worden. Dit vermindert de ruimte die beschikbaar is voor berging van het afval, waardoor de tunnels langer moeten worden of er meer tunnels gebouwd moeten worden. Voor mechanische stabiliteit moet de afstand tussen de bergingstunnels ook groter zijn, wat een grotere transporttunnel vereist. De diepte waarop de kosten van de eindberging onrendabel worden, moet nog worden berekend.

Locatiestudies worden momenteel voorzien na 2050. Er is voldoende vertrouwen dat geschikte locaties voor een eindberging in Paleogene klei met de juiste dikte en diepte beschikbaar zijn.



betonnen buffer
koolstofstalen binnenvat
roestvrijstalen canister
glasmatrix

Het ontwerp voor de supercontainer voor hoogradioactief afval in een eindberging in klei.

Informatie over de kenmerken daarvan moet nog worden verbeterd. Er zijn aanzienlijke onzekerheden in de diepte-dikteverdelingen van Paleogene kleien, omdat de meeste beschikbare gegevens afkomstig zijn van olie- en gasexploratieputten. Bij die boringen was weinig interesse voor het karakteriseren van de kleien.

De verdere ontwikkeling van het conceptontwerpen zal ook afhangen van het verkrijgen van betere gegevens over regionale hydrogeologische van de zandige formaties die boven en onder de Paleogene klei liggen en de Paleogene kleien zelf en hun geomechanische eigenschappen. Hiervoor is toegang nodig tot boorgaten en kernen van relevante dieptes.

Natuurlijke en archeologische analogen van de bewaring van materialen in kleien tonen aan dat alle afbraakprocessen nog veel langzamer kunnen gaan dan doorgaans uit de conservatieve modellen komt.

De bewaring van oeroude bossen gedurende miljoenen jaren in Neogene kleien in Italië en België is een goed voorbeeld van hoe de afwezigheid van grondwaterstroming en zuurstof bijdragen aan zeer langdurige bewaring, zelfs van kwetsbaar organisch materiaal. De bewaring van Romeinse ijzeren voorwerpen gedurende 2000 jaar in vergelijkbare zuurstofloze omstandigheden ondersteunt de aannames over de minimale levensduur van de koolstofstalen verpakking van warmtegenererend hoogradioactief afval. Romeinse cementen en betonsoorten tonen aan dat het door beton gedomineerde barrièresysteem zijn fysieke eigenschappen en structurele stabiliteit duizenden jaren kan behouden.

Het vertrouwen in de betrouwbaarheid van de OPERA-veiligheidsberekeningen wordt in COPERA versterkt door het feit dat ze grotendeels vergelijkbaar zijn met de schattingen van andere nationale eindbergingsprogramma's die onafhankelijk zijn gemaakt voor een breed scala aan afvalsoorten en gastgesteenten.

Het verder ontwikkelen van kennis van het ontwerpconcept voor een eindbergingsfaciliteit en de vereiste diepte, oppervlakte en geologische omstandigheden maakt het gemakkelijker om de faciliteit in te passen in het nationale beleid en de prioriteiten voor het gebruik van ondergrond. Momenteel zijn er goede vooruitzichten voor het opbergen van Nederlands radioactief afval in de Paleogene kleien, maar er moeten meer gegevens worden verzameld over de eigenschappen op relevante dieptes.

De belangrijkste onzekerheden die in COPERA zijn geïdentificeerd, zullen worden onderzocht in toekomstige studies. Niet al het onderzoekswerk is nodig in de komende decennia; het wordt gefaseerd in verschillende iteraties van het langetermijnonderzoeksprogramma van COVRA uitgevoerd. Voor het toekomstige vervolgonderzoek is een routekaart ontwikkeld. De hoogste prioriteit is het verkrijgen van verdere informatie over eigenschappen van de Paleogene kleien.

“De afwezigheid van water en zuurstof zorgt voor zeer langdurige bewaring, zelfs van kwetsbaar organisch materiaal. Kijk hoe goed oerbossen in klei bewaard zijn gebleven.”



Erika Neeft onderzoeker COVRA, specialisatie klei

“In augustus 2010 heb ik de overstap gemaakt van een groot Nederlands onderzoeksinstituut naar COVRA. Wat me vooral aantrok in de functie van onderzoeker bij COVRA was dat ik aan één project ging werken: onderzoek naar geologische eindberging van radioactief afval. Je kan dan echt de vruchten plukken van werk dat je uitvoert, door het steeds verder te verfijnen. Bovendien wordt wat ik doe ook echt gebruikt. De onderzoeksrapporten worden gelezen en gebruikt door anderen en hebben daardoor nu al nut, ook al gaat het over een project op de zeer lange termijn.

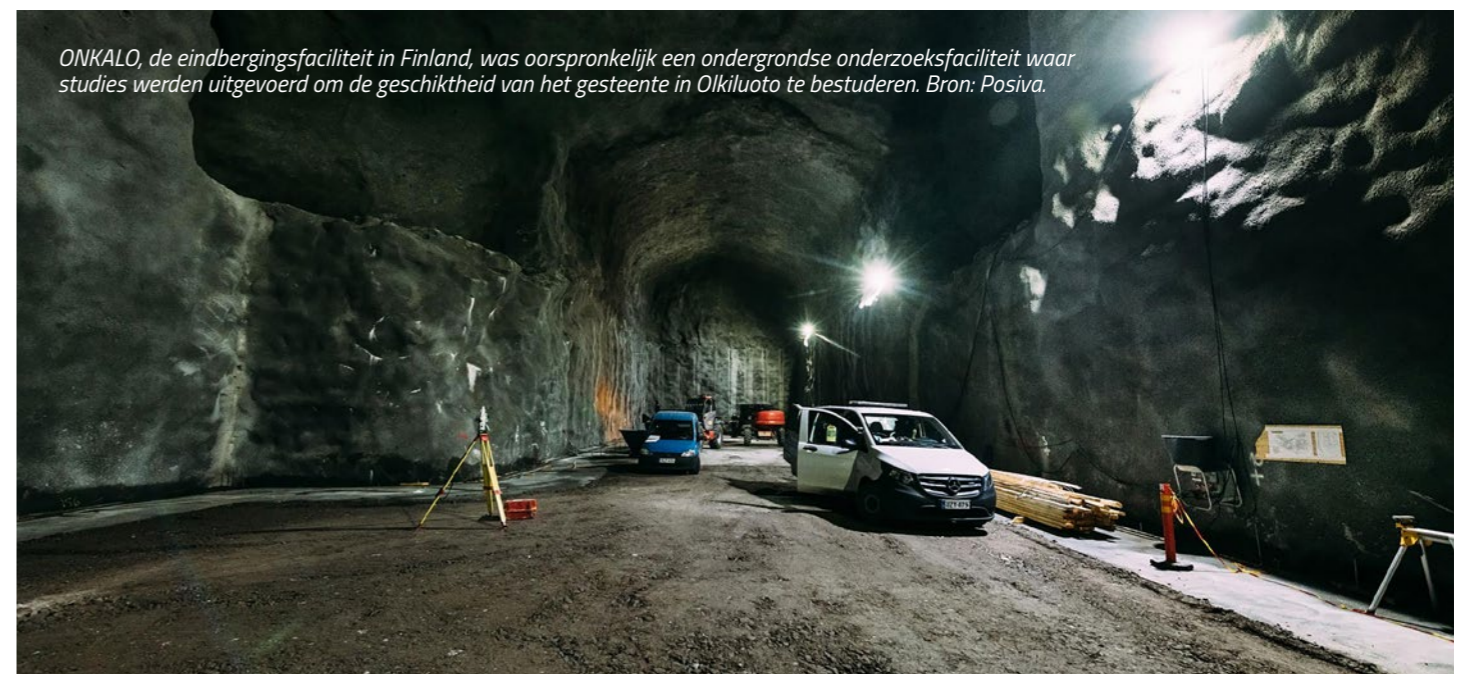
In 2010 was ik nog de enige onderzoeker bij COVRA. Toen hield ik me bezig met onderzoek naar zowel zout als klei. Vanaf 2018 ben ik me steeds meer gaan specialiseren op klei. Klei is overal, het is tastbaar en wordt veel gebruikt en toegepast. Ik vind het heel interessant materiaal. In kleilagen zie je de geschiedenis van lang, lang geleden, ver voordat de mens bestond.

Dat maakt dat ik me af en toe een echte tijdreiziger voel. Mijn opdracht is om de haalbaarheid en de veiligheid van een eindberging in klei heel goed te bestuderen. De sporelementen in de klei geven bijvoorbeeld een goede indicatie van hoe radioactieve stoffen in de klei zouden reageren en bewegen. Het meest bijzondere van de afgelopen onderzoeksperiode vond ik dat COVRA openlijk mee kon doen met een boring. Verse kleikernen zijn namelijk zeldzaam. Dankzij deze boring in Delft beschik ik nu over vers kleimateriaal wat de studie naar een eindberging in klei een stuk praktischer maakt.

De afgelopen jaren ben ik binnen COPERA onder andere bezig geweest om het eindbergingsconcept van eerdere onderzoeksprogramma's verder te verfijnen. Een belangrijk verschil met eerdere programma's is dat ik naast Boomse klei ook naar andere kleisoorten ben gaan kijken. Dat maakt het mogelijk om een eindberging met meerdere lagen te bouwen, waardoor het laag- en middelradioactieve afval niet onnodig diep geplaatst hoeft te worden. Internationaal wordt er veel samengewerkt. Er zijn veel landen waar onderzoek loopt naar klei als gastgesteente.

België, Zwitserland, Frankrijk en Hongarije hebben zelfs bepaald dat klei de enige optie is die ze nog onderzoeken. Momenteel ben ik voorzitter van de 'Klei Club' van de Nuclear Energy Agency. Binnen deze vereniging wordt al ruim 30 jaar samengewerkt door partijen van over de hele wereld. Zo kunnen we leren van elkaar en samen kennis opbouwen.

Ik kijk erg uit naar het vervolg van COPERA. Ik ga dan nog uitgebreider naar verschillende Paleogene kleisoorten kijken. We weten waar de Paleogene kleien in Nederland zitten, hoe diep en hoe dik de lagen zijn maar deze informatie is nu lastiger te vinden voor het publiek dan Boomse klei. Binnen OPERA is veel onderzoek gedaan naar Boomse klei. Nu wil ik dat er meer experimentele resultaten van de andere kleisoorten komen en de kennis over de verspreiding van deze kleien in Nederland publiek beter beschikbaar komt. En dat hoeft ik niet alleen te doen, want er zijn nog verschillende andere mensen betrokken bij het onderzoek, onder andere PhD-studenten van diverse universiteiten en de Geologische Dienst Nederland (onderdeel van TNO).”



ONKALO, de eindbergingsfaciliteit in Finland, was oorspronkelijk een ondergrondse onderzoeksfaciliteit waar studies werden uitgevoerd om de geschiktheid van het gesteente in Olkiluoto te bestuderen. Bron: Posiva.

Voorwaardelijkheid van de studies en vervolg

Net als bij de eerdere veiligheidsstudie worden de rapporten van COPERA 'voorwaardelijke' veiligheidsstudies genoemd. De definitieve locatie is nog onbekend. Daarom kan er nog geen kennis over locatiespecifieke omstandigheden opgebouwd worden. Ook is nog niet bekend wat de evolutie van het ontwerp van de berging gaat zijn en wat de exacte afvalinventaris op het moment van implementatie is. Aannames die we daarover hebben gedaan, vormen de voorwaarden voor de uitwerking van uiteindelijke veiligheidsstudies.

De recente veiligheidsstudies maken deel uit van het bredere COPERA-programma van COVRA, dat naar verwachting tientallen jaren zal duren en dat ook onderzoek omvat naar multinationale oplossingen. De structuur van het langetermijnonderzoeksprogramma kan voor meerdere programmeringsperioden worden gebruikt en resulteert elk decennium in een iteratie van twee veiligheidscases, één voor een eindberging in klei en één voor een eindberging in zout. Dit is in lijn met de Europese richtlijn voor het beheer van radioactief afval, die elk decennium een evaluatie van het nationale programma vereist.

Het bestaan van COPERA en de resultaten die eruit voortkomen, zijn belangrijke bijdragen aan het nakomen van de verplichtingen van Nederland onder zowel de Europese richtlijn¹ over radioactief afvalbeheer als het Gezamenlijk Verdrag van de IAEA over radioactief afval². Het project ondersteunt ook het standpunt van Nederland om een tweesporenbeleid (nationaal en potentieel multinationaal) uit te voeren voor het beheer van radioactief afval. De resultaten kunnen worden gebruikt als bijdragen van Nederland aan de ontwikkeling van multinationale projecten.

In COPERA is vooral gekeken naar technische aspecten van eindberging. Het realiseren van een eindberging houdt aanzienlijk meer in dan het beschouwen van natuurwetenschappelijke en technische factoren. Elk toekomstig locatiekeuzeprogramma moet rekening houden met maatschappelijke vereisten en zal stapsgewijs en participatief van aard moeten zijn.

Ook andere opties denkbaar

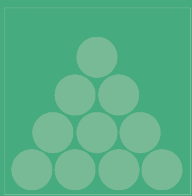
Naast een geologische berging in zout of klei zijn er nog meer varianten van een eindberging mogelijk. Denk bijvoorbeeld aan oppervlakteberging, een combinatie van diepe en ondiepe geologische berging (afhankelijk van het soort afval) of boorgaten van enkele kilometers diep waar het afval in wordt geplaatst. In plaats van een nationale eindberging is ook een multinationale optie met één of meer andere landen denkbaar. Dat houdt in dat meerdere landen het radioactief afval ondergronds opbergen in één eindberging. Voor landen die relatief weinig radioactief afval produceren, zoals Nederland, is dat een goede oplossing om kosten te besparen. Het bouwen van een eindberging is namelijk erg kostbaar. Binnen de vereniging ERDO wordt door diverse landen samengewerkt aan een multinationale eindberging voor radioactief afval. ERDO bestaat uit Dansk Dekommissionering uit Denemarken, IFE en NDD uit Noorwegen, TNO en COVRA uit Nederland, ARAO uit Slovenië, ENEA uit Italië, ONDRAF/NIRAS uit België en FUND uit Kroatië. Deze organisaties werken nauw samen door kennis te delen en gezamenlijk projecten uit te voeren. Op dit moment onderzoekt de vereniging berging van hoogradioactief afval in diepe boorgaten.

1. EG-richtlijn 2011/70/EURATOM

2. IAEA Gezamenlijk Verdrag inzake de veiligheid van het beheer van bestraalde splijstof en inzake de veiligheid van het beheer van radioactief afval.

Betonnen bekleding als een door de mens gemaakte barrière in een ondergrondse faciliteit in Boomse klei.
Bron: EIG EURIDICE.





COVRA^{nl}

Bezoekadres

Spanjeweg 1
4455 TW Nieuwdorp

T 0113-616 666

E info@covra.nl

Meer informatie op:

www.covra.nl