

# Tot in de eeuwigheid



Fotos: Tomas van Dijk

Het lijkt onmogelijk, maar toch moet het: kernafval zo opbergen dat de veiligheid voor honderdduizenden jaren gegarandeerd is. Onder druk van Europese regelgeving start ook Nederland een onderzoeksprogramma.

De afdaling naar het ondergrondse laboratorium in het Noord-Franse Bure duurt zeven minuten. In de nauwe stalen cabine staan we dicht opeen. Allemaal uitgerust met laarzen, fluorescerend jack en helm met koplamp. Op ieders rug hangt een ademapparaat en aan de riem een kastje dat alarm slaat als de drager onderuit gaat. Wordvoerder Marc-Antoine Martin heeft een das vijf keer om zijn nek gewikkeld vanwege de tocht in de tunnel. “Hier gebeurt uitsluitend onderzoek”, roept hij boven het lawaai van kabels en katrollen uit. Het Franse ondergrondse laboratorium zal nooit voor opslag van kernafval gebruikt worden. Omwonenden in het schaars bevolkte noordoosten van Frankrijk hebben moeite dat te begrijpen. “Jullie zijn al vijftien jaar

bezig. *Et alors*, hebben jullie dan nog steeds niks opgeslagen?”, vragen ze Martin dan in het buurtcafé.

Ook in Nederland is de aanleg van een eindberging voor radioactief afval (zie kader) actueel geworden. De Europese Commissie zet lidstaten onder druk om met oplossingen te komen voor het afval. Jaarlijks komt er in Europa zeventien kubieke meter hoogradioactief afval bij - dat zijn drie zwembaden vol. Er is al vijftig jaar geproduceerd en er zijn plannen voor nog meer kerncentrales. Per 2014 wil de Europese Commissie daarom van alle lidstaten een plan hebben hoe men het afval gaat bergen, waar dat gaat gebeuren, hoeveel dat gaat kosten en wie dat gaat betalen.

In Nederland is Covra in Vlissingen belast

met het onderzoeksprogramma Opera (Onderzoeksprogramma eindberging radioactief afval) ter waarde van tien miljoen euro over een periode van vijf jaar. Onderzoeksinstituten en universiteiten mogen voorstellen doen. Covra's adjunct-directeur dr. Ewoud Verhoef verwacht in juni het onderzoeksprogramma rond te hebben. Op de TU heeft geotechnoloog prof. dr. Michael Hicks (Civiele Techniek en Geowetenschappen) nog geen oproep ontvangen voor onderzoeksvoorstellen. Maar als die komt zal Hicks voorstellen de haalbaarheid te onderzoeken van

de constructie van een eindberging op vijfhonderd meter diepte in de Boomse klei in België. Het begint allemaal met monsters, zegt zijn collega dr.ir. Dominique Ngan-Tillard. Die moeten eerst uitgebreid onderzocht worden.

#### Opslag in klei

Vooruitlopend op de voorstellen lijkt eindberging in kleilagen de meest waarschijnlijke optie. Graniet, zoals in Finland, is er niet en opslag in zoutlagen heeft sinds het débacle in het Duitse Asse een slechte reputatie. In een zoutmijn is daar

vanaf 1967 radioactief afval opgeslagen, maar vanwege enorme lekkages en besmettingsgevaar van het grondwater moet de mijn ontruimd worden. Er liggen 126 duizend vaten laag en middelradioactief afval die voor een deel doorgerot zijn. Opslag in kleilagen wordt al onderzocht in Zwitserland, België en Frankrijk.

De Fransen pakken het groots aan. Nabij het dorpje Bure in de buurt van Nancy is een omheind complex gebouwd met kantoren, faciliteiten en een tentoonstellingscentrum.

*‘Positieve ionen binden zich aan de negatief geladen oppervlakte van de klei’*



Al sinds begin jaren tachtig doen de Belgen in het ondergronds laboratorium Hades (high activity disposal experimental site) onderzoek naar opslag van radioactief afval.

Maar waar het eigenlijk om gaat is het complex van duizend meter aan tunnels dat hier vijfhonderd meter onder de grond ligt. Twee enorme putten bieden toegang tot het complex. De aanleg heeft zeshonderd miljoen euro gekost, en daar komt jaarlijks honderd miljoen aan onderzoeksbudget bij. Het hele complex is voorzien van meer dan vierduizend sensoren om temperatuur, druk en verplaatsingen vast te leggen. Tot nu toe hebben de Fransen ongeveer een miljard in de grond gestopt. De onderzoeksinstantie Andra die het lab beheert, dankt zijn bestaan aan een wet van 1991 waarin besloten werd tot een onderzoeksprogramma om een oplossing te vinden voor de eindberging van middel- en hoogradioactief afval. Het programma wordt voor 95 procent betaald door de Franse energiereuzen EDF en Areva. “We wisten niet hoe de klei zou reageren”, vertelt voorlichter Martin. De oudste delen van de tunnel (uit 2000) hebben stalen wanden die door spanten gesteund worden. “We wisten niet of de spanten om de veertig, zestig of tachtig centimeter moesten staan.” Er is veel ervaring met mijnbouw in steenkoollagen, maar de stijve klei van de Callovo-Oxfordian formatie is heel andere koek. De meeste aandacht ging hier aanvankelijk uit naar wat men de convergentie noemt. Klei heeft namelijk de neiging om onder druk van bovenliggende lagen bij uitgraving samen te drukken. Honderden meetpunten zijn in de wanden aangebracht om zettingen en vervormingen in kaart te brengen. Een geautomatiseerde theodoliet scant onvermoeibaar de tunnels af.



Uitgerust met een ademapparaat en een kastje dat alarm slaat als de drager onderuit gaat, onderzoeken Franse wetenschappers hoe snel ionen zich door klei verplaatsen op een halve kilometer diepte vlakbij het Noord-Franse dorpje Bure.

Bij de bouw hebben de Fransen zich uitgebreid laten voorlichten door de Belgische collega's van Euridice, een samenwerkingsverband tussen Niras (Nationale instelling voor radioactief afval en verrijkte splijtstoffen) en het studiecentrum voor kernenergie SCK.CEN. Die bedrijven al sinds begin jaren tachtig het ondergronds laboratorium Hades (high activity disposal experimental site). Dat ligt net over de Nederlandse grens bij Mol, 250 meter onder de grond in de Boomse klei. Dat is een kleilaag die ter plekke zo'n honderd meter dik is, en verder naar het noorden dikker wordt en dieper ligt. Dat de klei hier vochtig en plastisch is blijkt uit watersporen in de tunnel en uit de slurven van klei die naar binnen dringen door gaten in de wand.

### Stralingsdosis

De belangrijkste vraag betreft de verspreiding van radioactiviteit en de gezondheidsrisico's daarvan voor het verre nageslacht. Daarop richten de meeste onderzoeken zich dan ook. Klei bevat water, maar hoe snel verplaatst dat zich? De Belgen hebben bijvoorbeeld de doorlaatbaarheid voor water gemeten in een tien meter diep boorgat aan het eind van de tunnel. Daarin was radioactief gelabeld water aangebracht. Uit de verspreiding daarvan maakten ze op dat water 50 duizend jaar nodig heeft om zich door veertig meter klei te verspreiden. Maar dat geldt niet voor alle in het water opgeloste stoffen, zegt Sarah Dewonck die de experimenten bij Andra coördineert. Positieve ionen binden zich aan de negatief geladen

oppervlakte van de klei. Daardoor worden uranium en plutonium sterk gebonden aan de klei. Voor negatieve ionen zoals chloor en jodium is dat omgekeerd - die binden zich niet en migreren dus wel. Daarenboven probeert men de radioactiviteit zo lang mogelijk in het omhulsel vast te houden. Daar is een diepgaande kennis voor nodig van de chemische interactie tussen klei, glas, beton en staal onder invloed van hoge temperatuur en stralingsniveaus. Ook

### Kernafval in soorten

Covra maakt onderscheid op basis van radioactiviteit en halfwaardetijden tussen laag, middel- en hoogradioactief afval. Laagradioactief afval is afkomstig uit ziekenhuizen en industrie, maar ook ontmantelingspuin van kerncentrales valt daaronder. Middelfradioactief afval komt vaak uit dezelfde bron maar bevat hogere radioactiviteit. Hoogradioactief afval tot slot bestaat onder meer uit niet-splijtbare resten uit brandstofstaven, ongesplitst uranium en plutonium. Ondergrondse opslag van kernafval is alleen bedoeld voor middel- en hoogradioactief afval. Afval met een lagere activiteit wordt tijdelijk in loodsen opgeslagen totdat de activiteit voldoende gedaald is. Voor de opslag van middelactief afval kiest men vaak voor stalen vaten in een betonnen kist om straling zo goed mogelijk af te schermen. Hoogradioactief afval wordt in de opwerkingsfabriek met glas tot cilinders gegoten en aan de afzender geretourneerd. In Borssele gaat dat over 450 kilogram of

daar wordt in de laboratoria onderzoek naar verricht.

Een andere belangrijke factor zijn veranderingen in de kleilaag als gevolg van de tunnelbouw en de hitte. Maakt dat de klei niet poreus en vol barsten zodat het watertransport veel sneller gaat dan verwacht? Ook daar werken beide laboratoria aan door een tunnel tien jaar lang tot negentig graden te verhitten en dan de gevolgen in kaart te brengen.

Greenpeace is er niet gerust op en wijst op versnelde corrosie, inhomogeniteiten in de kleilaag en drinkwaterhoudende lagen boven en onder de Boomse klei. Euridice-directeur dr. Peter De Preter reageert: "We spreken over bescherming over een zeer lange periode, tot wanneer de radioactiviteit al haast vervallen is. Volgens onze kennis en berekeningen draagt de activiteit afkomstig van de berging hooguit één procent bij aan de jaarlijkse natuurlijke stralingsdosis, en dit pas na vele tienduizenden jaren. Maar over honderden of duizenden jaren is die dosis gelijk nul."

Gevraagd naar wat zij hun Nederlandse collega's aanraden, zeggen zowel de Franse als de Belgische onderzoekers: begin met bodemonderzoek. Want net als de bodem overal anders is, geldt dat ook voor de best denkbare eindberging van kernafval. De breedte van het onderzoek is enorm: geologie, hydrogeologie, materiaalkunde, simulaties en modelleringen, risicomanagement en maatschappelijke acceptatie. Het moet raar lopen wil de TU daar geen rol in spelen. (JW)

1,3 kubieke meter aan onsplijtbare resten per jaar. Plutonium en uranium worden gerecycled. Covra brengt de cilinders onder in een oranje bunker naast de kerncentrale van Borssele om af te koelen. In vijftig jaar daalt de warmteproductie met negentig procent waarna het afval ondergronds kan worden opgeslagen. De meeste voorstellen voor opslag voorzien daarbij in een aantal mantels van staal, koper, ijzer of beton om weglekken van het materiaal te vertragen. Daarbij gaat het om geologische tijden. Hoogradioactief afval heeft na vijfduizend jaar het stralingsniveau van uraniumerts bereikt. Voor bestraald uranium is dat honderdduizenden jaren. De grootte van de voorgestelde afvalbergingen hangt af van het aantal kernreactoren. In Frankrijk, waar 59 kerncentrales actief zijn, stelt Andra een berging voor met oppervlakte van dertig vierkante kilometer met tweehonderd kilometer gangen. België denkt voor zeven kerncentrales aan een ondergrondse berging van drie vierkante kilometer. Voor Nederland zou vijfhonderd hectare voldoende moeten zijn.

## Eindopslag kernafval

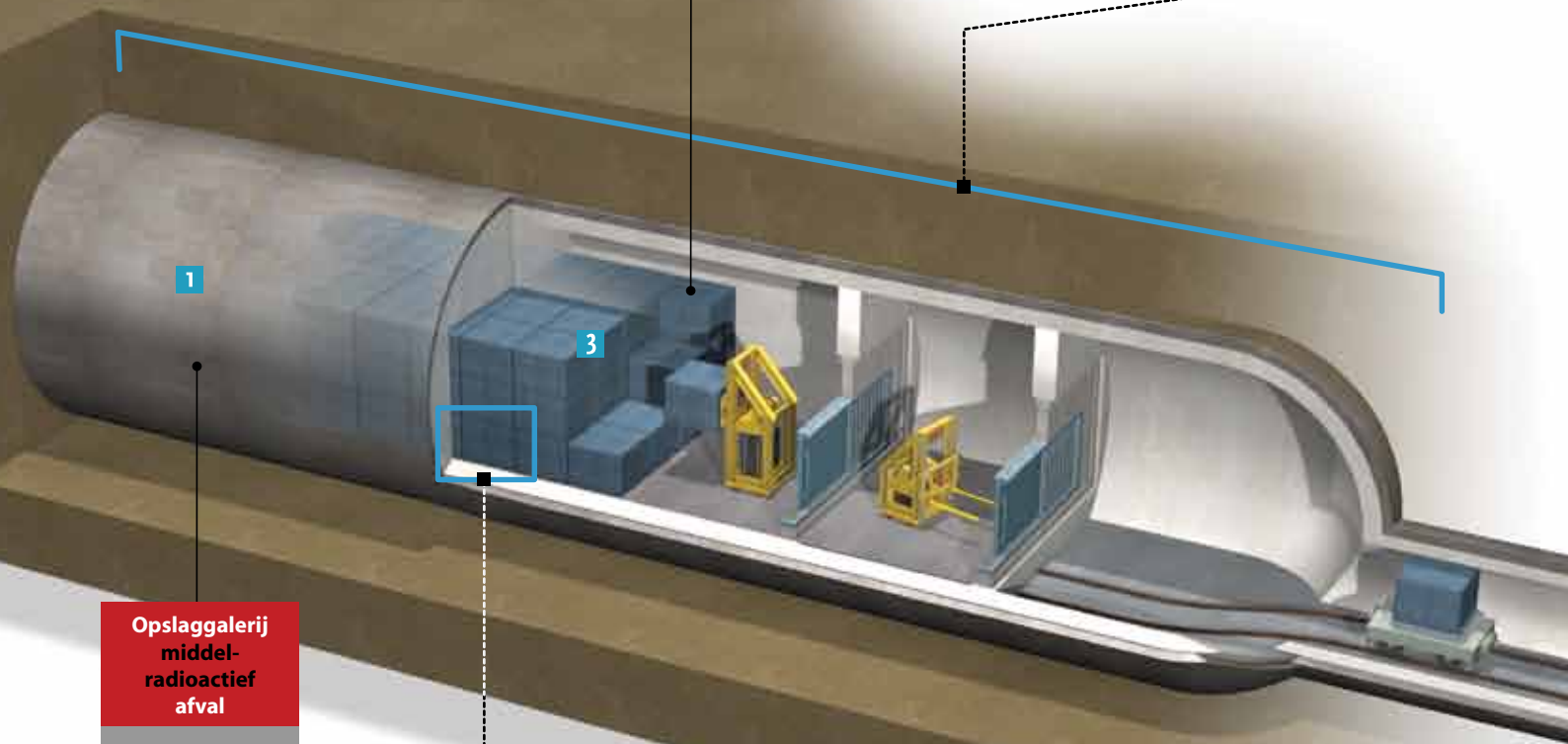
Veel wetenschappers zijn van mening dat het opbergen van radioactiefafval diep onder de grond (in klei-, graniet- of zoutlagen) op dit moment de beste oplossing is. Aanname is dat als grondlagen al miljoenen jaren stabiel zijn, ze dat de komende honderdduizend jaar ook wel zullen blijven. Alternatieven zoals afval naar de zon schieten of in oceanen dumpen (dit gebeurde tot 15 jaar geleden nog wel) zijn van de baan.

### Franse testlaboratoria

In Europa is er op dit moment nog geen enkele ondergrondse eindberging voor hoogradioactief afval in bedrijf. Wel voert bijvoorbeeld Frankrijk tests uit met zo'n berging. Naar verwachting zal de eerste eindberging in Europa rond 2025 plaatsvinden.

### Huidige opslag hoogradioactief afval

In Nederland wordt jaarlijks circa 450 kilo hoogradioactief afval geproduceerd (o.a. onspijtbare resten uit de kerncentrale in Borssele). Dit afval (1,3 m<sup>3</sup> incl. verpakking) produceert nog zo veel warmte dat het vijftig tot honderd jaar moet afkoelen totdat het koud genoeg is om ondergronds op te kunnen slaan. Tot nu toe wordt dit Nederlandse kernafval opgeslagen in betonnen bunkers (muren van 1,7 meter dik) op het terrein van de Covra (centrale organisatie voor radioactief afval) in Vlissingen (gemeente Borssele). Dit is een tijdelijke oplossing omdat het afval daar geen 240 duizend jaar kan blijven liggen.



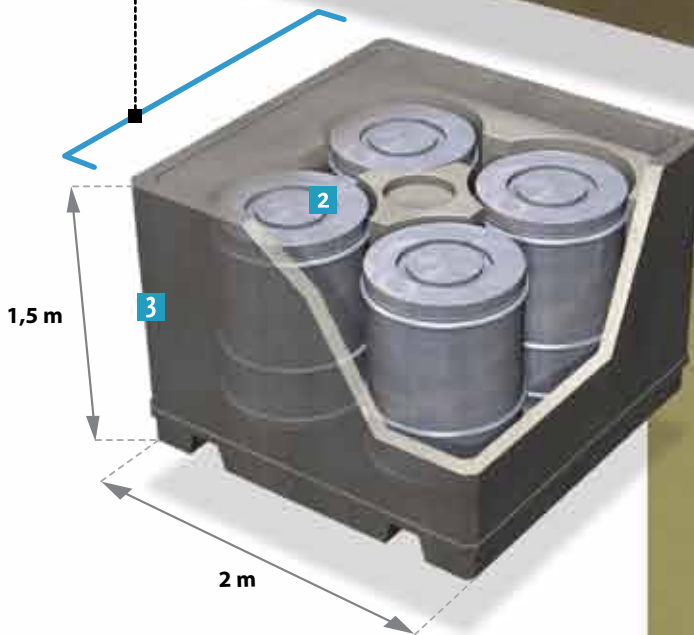
**Opslag galerij  
middel-  
radioactief  
afval**

**Diameter  
galerij**  
10-12 m

**Lengte**  
270 m

### Klei isoleert

Klei is weinig waterdoorlatend zodat grondwater zich maar langzaam door een kleilaag kan verspreiden. Verder kan klei metaalionen zoals uranium en plutonium aan zich binden waardoor verspreiding (van deze radioactieve stoffen) nauwelijks plaatsvindt.



1,5 m

2 m

## Straling komt vrij

Kernafval blijft 240 duizend jaar radioactief. Mensen kunnen geen gebouw maken dat radioactieve straling honderdduizenden jaren isoleert van de omgeving. Het radioactief afval wordt verpakt in glas, staal en beton voordat het diep onder de grond wordt opgeslagen. Uiteindelijk dringen water en lucht de betonwanden van de opslag binnen en zullen metalen verpakkingen doorroesten waardoor radioactief materiaal **4** de bodem in lekt. De kleilaag moet er dan voor zorgen dat de radioactieve stoffen zich zo min mogelijk verspreiden via het grondwater. De diepte van 500 meter is essentieel om de straling uit de buurt van mensen te houden.

HITTEVRIJ AFVAL

**Opslag galerij middelradioactief afval**

Stalen vaten **2** met middelradioactief afval (afkomstig uit ziekenhuizen en industrie) worden in betonnen containers **3** geplaatst. Deze containers worden in opslag-galerijen in lagen opgestapeld. De cirkelvormige galerijen liggen 250 meter uit elkaar. In deze galerijen zijn sensoren geplaatst om de situatie te monitoren. Als de opslag-ruimten gevuld wordt deze afgesloten met een betonnen plug.

### Boomse klei

Eindberging van radioactief afval is mogelijk in de Boomse kleilaag. Deze laag ligt onder heel Nederland. Voorwaarde is dat de kleilaag minimaal 100 meter dik is en de top van de kleilaag op minimaal 500 meter diepte ligt.

500 m

300 m

1,4 km

2,4 km

HITTE AFGEVEND AFVAL

### Opslagbuis hoogradioactief afval

Hoogradioactief afval (o.a. resten van brandstofstaven uit kerncentrales) wordt verpakt in twee stalen capsules. Dit afval geeft na afkoeling bovengronds nog zo veel warmte **6** af dat de kleibodem opgewarmd zal worden tot circa 80 °C. Een speciale transportrobot **7** plaatst de capsules in de opslagbuis. Als een buis vol is wordt deze luchtdicht afgesloten met een kleiprop en een betonnen stop.

Stalen binnencapsule

Keramisch glijchoentje

Stalen buiten-capsule diameter 60 cm 1.6 m lang

### Voorbeeld ondergrondse eindopslag

Een ondergrondse opslag zal bestaan uit een netwerk van betonnen gangen waaraan opslag galerijen en opslagbuizen zijn gekoppeld. De opslag wordt modulair opgezet zodat er in de toekomst nieuwe modules bijgebouwd kunnen worden. Het complex is toegankelijk via liftschachten **8** en een luie schuinaflopende tunnel **9** voor vrachtwagens. In Nederland zou een eindopslag van 50 hectare (= 0,5 km <sup>2</sup> = 500 x 1000 m<sup>2</sup>) voldoende moeten zijn. In Frankrijk, waar 59 kerncentrales actief zijn, wordt een berging voorgesteld van 30 km<sup>2</sup>.

10

Opslagbuis hoogradioactief afval

Buisdiameter 100 cm  
Lengte 40 m

### Sensoren

Duizenden sensoren moeten de temperatuur, druk, het zuurstofgehalte en de chemische samenstelling in de tunnel in de gaten houden. De hoge temperaturen en de radioactieve straling maken het lastig om sensoren in de opslagbuis te plaatsen. Vanuit de transportgang zijn daarom gaten **10** geboord parallel aan de opslagbuizen, waarin sensoren zijn geplaatst.

illustratie & tekst: Eric Verdult, [www.kennisinbeeld.nl](http://www.kennisinbeeld.nl) © 2011

### Verspreiding radioactiviteit via grondwater

Als er radioactiviteit vrijkomt zal deze worden opgenomen door kleideeltjes en het grondwater. Belangrijkste vraag is hoe snel radioactiviteit zich via het grondwater door de klei zal verspreiden en hoe snel dit weggelekte radioactief afval het aardoppervlak bereikt. Belgisch onderzoek heeft vastgesteld dat water 50 duizend jaar nodig heeft om zich door 40 meter klei te verspreiden.

20 m

6

5

4

7

8

9