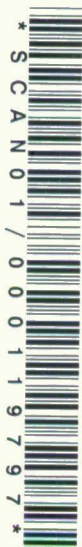


DE KOSTEN VAN HET TERUGHAALBAAR OPBERGEN VAN RADIOACTIEF AFVAL IN DE DIEPE ONDERGROND

Opberging in zoutgesteente

J.B. Grupa

R. Jansma



The Netherlands Energy Research Foundation ECN is the leading institute in the Netherlands for energy research. ECN carries out basic and applied research in the fields of nuclear energy, fossil fuels, renewable energy sources, policy studies, environmental aspects of energy supply and the development and application of new materials.

ECN employs more than 700 staff. Contracts are obtained from the government and from national and foreign organizations and industries.

ECN's research results are published in a number of report series, each series serving a different public, from contractors to the international scientific world.

The C-series is for contract reports that contain the results of contract research. The contractor's name can be found on page 2.

Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) is het centrale instituut voor onderzoek op energiegebied in Nederland. ECN verricht fundamenteel en toegepast onderzoek op het gebied van kernenergie, fossiele-energiedragers, duurzame energie, beleidsstudies, milieuaspecten van de energievoorziening en de ontwikkeling en toepassing van nieuwe materialen.

Bij ECN zijn ruim 700 medewerkers werkzaam. De opdrachten worden verkregen van de overheid en van organisaties en industrieën uit binnen- en buitenland.

De resultaten van het ECN-onderzoek worden neergelegd in diverse rapportenseries, bestemd voor verschillende doelgroepen, van opdrachtgevers tot de internationale wetenschappelijke wereld.

De C-serie is de serie voor contractrapporten. Deze rapporten bevatten de uitkomsten van onderzoek dat in opdracht is uitgevoerd. De opdrachtgever staat vermeld op pagina 2.

This report is available from the library of ECN,
tel. +31 224 564328 or fax +31 224 561156

© Netherlands Energy Research Foundation ECN

Dit rapport kunt u bestellen bij de bibliotheek van ECN,
tel. (0224) 56 43 28 of fax (0224) 56 11 56

© Energieonderzoek Centrum Nederland

DE KOSTEN VAN HET TERUGHAALBAAR OPBERGEN VAN RADIOACTIEF AFVAL IN DE DIEPE ONDERGROND

Opberging in zoutgesteente

J.B. Grupa
R. Jansma

Revisie		ECN-C--98-094
1	Eindrapport	15-02-1999
Auteur J.B. Grupa, R. Jansma	Goedkeuring H. Th. Klippel	ECN Nucleair Onderzoek Nucleaire Technologie
Review D. Nierop	Vrijgave J. Grupa	

VOORWOORD

Dit rapport is geschreven in het kader van het METRO project. Dit project wordt gefinancierd door ECN en door EZ (contract FAS nummer 1273).

Het METRO project is onderdeel van het programma voor onderzoek naar terughaalbare opberging van radioactief afval. Dit programma wordt gecoördineerd door de wetenschappelijke begeleidingscommissie Commissie Opslag Radioactief Afval (CORA).

In het project METRO (Modellen voor veiligheid en Economische aspecten van Terughaalbare opberging van hoog-Radioactief afval in de diepe Ondergrond) worden de mijnbouwkundige aspecten beschouwd en rekenmodellen voor veiligheidsstudies geleverd voor de terughaalbare opslag van hoogradioactief afval.

INHOUD

1. INLEIDING	5
2. METHODE	7
2.1 Factoren die een kostenberekening kunnen beïnvloeden	7
2.2 Strategie voor de kostenschattingen	8
2.3 Wijze van presenteren van de geschatte kosten	8
3. MIJNONTWERP	9
3.1 Beschrijving van het afval	9
3.2 Layout van de opbergmijn	10
3.3 Opbergcellen	10
3.4 Plaatsen en terughalen van afval	11
3.5 Vergelijking METRO-I concept met ouder ontwerp	11
4. RESULTATEN	15
4.1 Bespreking van de kostenanalyse van Van Hattum en Blankevoort	15
4.1.1 Combinatie activiteiten- en kostentabel	16
4.1.2 Indeling van de kosten naar fase	19
4.2 Onderzoek & ontwikkeling en locatie screening & evaluatie	20
4.3 Aanleg van de opbergmijn	21
4.4 Plaatsen van het afval in de mijn	22
4.5 Bedrijf van de mijn voor optionele terughaalbaarheid	22
4.6 Afsluiten van de mijn	24
5. CONCLUSIES	25
REFERENTIES	27
APPENDIX A Evaluatie 'Van Hattum en Blankevoort' door de NEA	29
APPENDIX B Toelichting op alternatieve schatting van kosten openhouden opbergmijn	33

1. INLEIDING

Bij het produceren van elektriciteit met behulp van kerncentrales ontstaat radioactief afval. Dit afval zal voor lange tijd geïsoleerd moeten blijven van het leefmilieu, onder goed beheersbare en controleerbare condities. Sommige gesteente-formaties in de diepe ondergrond zouden deze condities kunnen bieden. In diverse nationale en internationale onderzoeksprogramma's wordt de isolatiecapaciteit van potentiële 'gastgesteentes' onderzocht, en zijn een aantal concept-ontwerpen van opbergfaciliteiten ontwikkeld.

Vanuit het Nederlandse CORA-programma worden in het project METRO (Modellen voor Terughaalbare opberging van hoog-Radioactief afval in de diepe Ondergrond) de mijnbouwkundige aspecten beschouwd en rekenmodellen geleverd voor de terughaalbare opslag van hoogradioactief kernsplijtingsafval (KSA). In het voorjaar van 1997 heeft projectdeel METRO-I een concept opgeleverd, het zogenaamde METRO-I ontwerp [1]. Dit concept-ontwerp bevat speciale voorzieningen om het opgeborgen afval, indien gewenst, op eenvoudige wijze te kunnen terughalen.

Het METRO-project

In projectdeel METRO-II, worden de kosten begroot van de aanleg en het onderhoud van de concept-opbergmijn uit METRO-I. Er wordt rekening gehouden met de optionele terughaalbaarheid, een gevolg van het Nederlandse beleid ten aanzien van afvalmanagement. De terughaalbaarheid wordt gezien als een nadere invulling van beheersbaarheid en controleerbaarheid van de opberging.

In METRO-III wordt bestudeerd welke invloed het inbrengen van de terughaalbaarheidsoptie in het mijnontwerp heeft op de isolatiecapaciteit van een opbergmijn.

Dit rapport is een product van deelproject METRO-II en geeft een schatting van de kosten van het opbergen van radioactief afval in de diepe ondergrond volgens het METRO-I concept.

Kader van de studie

De beheerders van de kerncentrales hebben een deel van hun inkomsten gereserveerd in een fonds om de opberging van het radioactieve afval te bekostigen. De grootte van de reservering is onder andere gebaseerd op kostenschatting van opbergconcepten, destijds nog zonder expliciete voorzieningen voor eventueel terughalen van het afval. In dit rapport worden de geschatte kosten van het METRO-I concept vergeleken met de geschatte kosten van een ouder concept, ontwikkeld door het ingenieursbureau 'Van Hattum en Blankevoort' in het kader van fase 1 van de OPLA studie [2].

Opbouw van het rapport

Een kostenschatting is het meest informatief wanneer de jaarlijkse kosten van de opbergingsoperatie gegeven worden voor de jaren waarin de operatie uitgevoerd wordt. In hoofdstuk 2 is omschreven hoe dit gegeven gebruikt is in dit rapport.

In hoofdstuk 3 is het METRO-I opbergmijn concept toegelicht en tevens vergeleken met het oudere concept van Van Hattum en Blankevoort.

In hoofdstuk 4 is omschreven wat de geschatte kosten zijn van de achtereenvolgens uit te voeren fasen in een opbergingsoperatie. De verschillen tussen het METRO-I concept en het concept ontwikkeld door Van Hattum en Blankevoort, en de consequenties voor de kosten zijn hier beschreven.

Tenslotte zijn de resultaten kort samengevat in hoofdstuk 5 waar ook de nauwkeurigheid van de schattingen is behandeld.

2. METHODE

De in METRO-II gehanteerde methode van de kostenberekeningen is gebaseerd op een rapport van een internationale werkgroep, in 1993 uitgegeven onder auspiciën van de NEA [3]. Het rapport heeft de titel *The cost of high-level waste disposal in geological repositories*. De aanleiding tot deze studie was dat de resultaten van kostenberekeningen uitgevoerd in onderzoeksprogramma's in diverse landen, waaronder Nederland, zeer sterk verschillen. Het doel van de NEA studie was het verklaren van deze verschillen.

In METRO-II is rekening gehouden met de bevindingen van deze studie.

2.1 Factoren die een kostenberekening kunnen beïnvloeden

In voornoemd NEA-rapport wordt geconcludeerd dat:

- de beschouwde kostenberekeningen onderling consistent zijn, maar dat
- het *kader* en het *doel* van de beschouwde kostenberekeningen verschillend zijn, wat de hoofdoorzaak is van de verschillen in de resultaten.

Tot het *kader* wordt gerekend:

- Het (veronderstelde) nucleaire programma van een land, dat mede de hoeveelheid op te bergen radioactief afval bepaalt. Onder nucleair programma wordt het opgestelde nucleair vermogen en de (veronderstelde) bedrijfsduur van de kernreactoren verstaan. Het nucleair programma omvat verder het beleid van de overheid betreffende het afval. Dit betreft vooral de keuze tussen opwerken dan wel direct opbergen.
- De door de overheid gewenste intensiviteit van de R&D betreffende de opberging.
- De gewenste intensiviteit van de geologische verkenningen ter plaatse van geselecteerde locaties.
- De wijze waarop de overheid de R&D en de uitvoering van het opbergingsproject georganiseerd heeft en welke organisaties daartoe in het leven geroepen zijn.
- De nationale regelgeving omtrent de behandeling van radioactief afval.

Het *doel* van de kostenberekening bepaalt mede de vorm van de financiële analyse:

- Als bepaald moet worden welk bedrag de kerncentrales moeten reserveren in een fonds voor bekostigen van de opberging van het afval, kunnen (rente-)inkomsten verkregen met behulp van dit fonds in de periode voorafgaand aan de realisatie van de opbergingsfaciliteit ingecalculleerd worden.
- Wanneer de opbergingsfaciliteit bekostigd wordt door de leveranciers te laten

betalen voor het aangeleverde afval, moet een lening gesloten worden om de faciliteit te kunnen aanleggen. In dat geval moeten naast de kosten ook de rentelasten berekend worden.

- Wanneer een kostenvergelijking het doel is (zoals in de NEA studie), kunnen de totale kosten vergeleken worden, zonder in acht nemen van rente- en inflatieontwikkelingen.

2.2 Strategie voor de kostenschattingen

In METRO-II wordt de opbergingsoperatie in fasen gesplitst. De kosten worden per fase berekend. De volgende fasen worden hierbij onderscheiden:

1. Onderzoek & ontwikkeling
2. Locatie 'screening' en evaluatie
3. Ontwerp en bouw
4. Opbergen afval
5. Onderhoud mijn voor optionele terughaalbaarheid
6. Afsluiten van de mijn

De eerste twee fasen worden in deze studie niet beschouwd bij de kostenberekening.

De kostenanalyse wordt gebaseerd op:

1. berekening met behulp van een in opdracht van de EU ontwikkelde spreadsheet,
2. schatting op basis van gegevens uit de literatuur.

2.3 Wijze van presenteren van de geschatte kosten

De kostenberekening is het meest informatief wanneer de jaarlijkse kosten van de opbergingsoperatie gegeven worden, uitgedrukt in de muntwaarde van een zeker jaar. Dit is meestal het jaar waarin de studie is uitgevoerd. Met behulp van deze informatie kunnen bovenstaande financiële analyses zoals genoemd in paragraaf 2.1 uitgevoerd worden.

Het is van belang om bij de presentatie van de kosten nauwkeurig te specificeren welke onderdelen beschouwd zijn in de studie.

Elke fase van de opbergoperatie heeft een looptijd van vijf jaar, m.u.v. fase 5. Het is overzichtelijker om de kosten per fase te presenteren. De jaarlijkse kosten kunnen geschat worden door per fase de kosten door vijf te delen. Voor fase 5 worden de kosten echter per jaar gepresenteerd, omdat deze fase een onbekende looptijd heeft.

3. MIJNONTWERP

In het projectdeel METRO-I is een concept ontwerp ontwikkeld voor een opslagfaciliteit waarin het kernsplijtingsafval 'terughaalbaar' oftewel reversibel opgeslagen kan worden [1]. Dit ontwerp wordt in de volgende paragrafen toegelicht, hetgeen tot een beter begrip kan bijdragen van de kostenschattingen, beschreven in het volgende hoofdstuk. Tevens is het METRO-I ontwerp vergeleken met een ouder ontwerp, het 'OPLA'- ontwerp [2], waarin nog niet met 'terughaalbaarheid' rekening gehouden is.

3.1 Beschrijving van het afval

Er zijn twee kerncentrales in Nederland: een 56 MWe kokendwaterreactor in Dodewaard (KCD) en een 452 MWe drukwaterreactor in Borssele (KCB). De KCD was in bedrijf van 1968 tot de sluiting in het voorjaar van 1997. De KCB werd in 1973 in bedrijf genomen en heeft op dit moment een vergunning om in bedrijf te blijven tot eind 2003. De bedrijvers van de centrales hebben contracten met respectievelijk BNFL en COGEMA voor de opwerking van hun gebruikte splijstof. Er wordt rekening mee gehouden dat het verglaasde hoog actieve afval en ander opwerkingsafval in de eerste twee decennia van de volgende eeuw aan Nederland zullen worden teruggegeven. Volgens het huidige beleid zal dit afval dan opgeslagen worden in een interim opslag faciliteit gedurende een periode van vijftig tot honderd jaren.

Het huidige ontwerp is alleen bedoeld voor het hoog actieve kernsplijtingsafval (KSA). Het ontwerp kan echter gemakkelijk worden uitgebreid om ander hoog actief afval te kunnen opslaan.

De totale omvang van het ondergronds op te slaan opwerkingsafval wordt momenteel geschat op 320 afvalcontainers met verglaasd afval. De containers zijn zogenoemde COGEMA containers, elk met een lengte van 134 cm en een diameter van 43 cm. Er wordt vanuitgegaan dat de containers zonder zogenoemde beschermende 'overpack' worden geplaatst in de ondergrondse opslag. Er wordt erkend dat het gebruik van een overpack het terughalen van het afval vergemakkelijken kan. De nadelen van een overpack zijn: hogere infrastructurele kosten, kosten van de overpacks zelf en mogelijke problemen door grotere productie van gassen bij het corrosieproces aan de verpakking. Indien terughalen van afval noodzakelijk is, moet rekening gehouden worden met een mogelijk beschadigde COGEMA container en een besmette zoutlaag rond die container. Met een speciale boortechniek kan zo'n container en het eventueel besmette steenzout toch teruggehaald worden.

3.2 Layout van de opbergmijn

In het ontwerp wordt uitgegaan van een ondergrondse opslagfaciliteit in een steenzoutformatie op een diepte van ongeveer 800 meter. Als toegang tot de opbergmijn wordt voorzien in twee conventionele verticale mijnschachten met daarin een hijsinstallatie (met ondermeer liften). Het is te verwachten dat de laag boven de zoutkoepel watervoerende lagen bevat. Daarom worden tijdens de constructie de schachten afgediept met de zogenoemde vriesmethode. Aangekomen bij de top van de zoutkoepel wordt daar een fundering aangelegd, waarop de schachtvoering van staal en gewapend beton wordt opgetrokken. De schacht wordt daarna verder afgediept in het zout, met uitgangen naar de ondergrondse opslagfaciliteit.

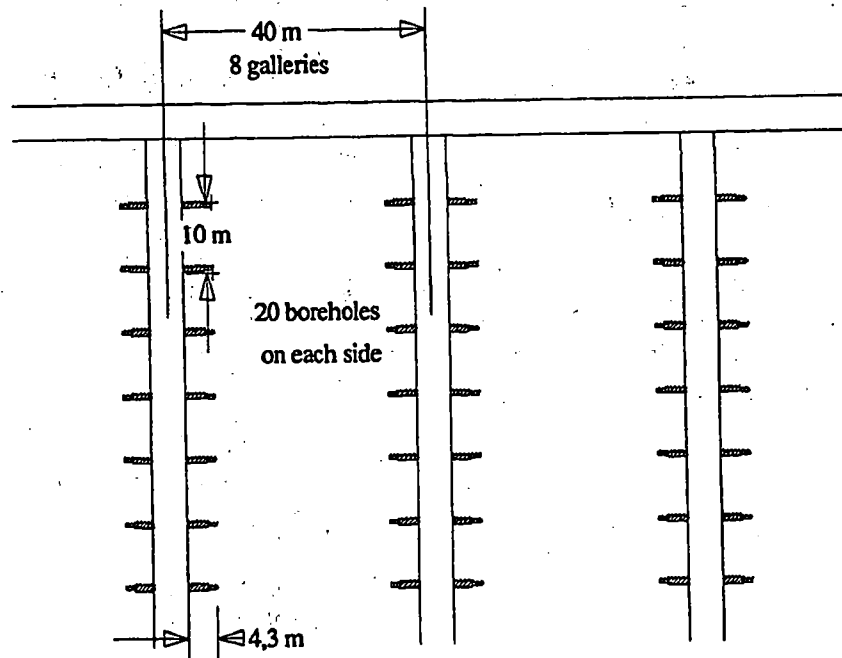
De ondergrondse ruimten worden met behulp van freesmachines ('roadheaders') aangelegd. Gebruik van dit soort machines zal, vergeleken met het gebruik van boren en explosieven, de beschadiging van het steenzout in de directe omgeving van de opslagruimtes tijdens de constructiefase verminderen. Rond de schachten bevindt zich een infrastructuurzone voor werkplaatsen, opstelruimten voor uitrusting en voertuigen, brandstofopslag en electriciteitsdistributie. Daaromheen is een veiligheidszone waarin geen afval mag worden opgeslagen. Vanuit de infrastructuurzone komen twee hoofdgalerijen, verbonden door acht dwarsgalerijen, waarin de werkelijke afvalopslag plaats moet gaan vinden. De afstand tussen de hoofdgalerijen is 210 meter, de breedte en hoogte van de dwarsgalerijen is respectievelijk vijf en vier meter. In de zijwanden van de dwarsgalerijen worden opbergcellen geboord, telkens met een interval van 10 meter. Dat wil zeggen dat iedere dwarsgalerij 40 opbergcellen heeft.

Vanwege de beperkte omvang van de opslagmijn wordt geen railtransport gepland in de ondergrondse ruimten. Er wordt uitgegaan van transport met wiel- en eventueel rupsvoertuigen.

De layout van de opbergmijn is weergegeven in figuur 3.1.

3.3 Opbergcellen

Iedere container met verglaasd afval wordt in een individueel horizontaal boorgat (opbergcel) geplaatst in één van de dwarsgalerijen. Een boorgat is 4,3 meter diep. De gaten worden pas geboord tijdens de opbergfase. Na plaatsing van een afvalcontainer wordt het gat gesloten met drie 'prefab' zoutpluggen ('zoutproppen') van ieder één meter lang. De diameter van de pluggen is groter dan die van de container om te voorkomen dat straling uit de geplaatste container ruimtes tussen de wanden van het boorgat en de pluggen kan passeren.



Figuur 3.1 *Layout van de opbergmijn*

3.4 Plaatsen en terughalen van afval

Bij zowel de opberg- als de terughaalprocedure wordt gebruik gemaakt van een mobiele zogenoemde 'shutter' constructie [1]. Deze voorziening, plus het feit dat de procedures in grote mate geautomatiseerd kunnen worden, zorgt ervoor dat het personeel tijdens deze werkzaamheden voldoende beschermd is tegen straling. Er wordt uitgegaan van 'normale' omstandigheden, dat wil zeggen de omstandigheden in de mijn staan een standaard voorbereiding en uitvoer toe van de terughaalactiviteiten.

3.5 Vergelijking METRO-I concept met ouder ontwerp

In 1985 werden door Van Hattum en Blankevoort [2] in het kader van het OPLA onderzoeksprogramma diverse concepten voor opbergfaciliteiten ontworpen waarbij rekening gehouden werd met:

- diverse nucleaire programma's, genaamd OPLA-A, B en C;
- diverse zoutformaties (zoutkoepel, zoutkussen en zoutlaag) en
- twee opbergingsconcepten (diepboorgaten en een mijnconcept).

Náást de beschrijving van de opbergfaciliteiten bevat de studie van Van Hattum en Blankevoort [2] beschrijvingen voor uitvoering van het gehele opbergingsproject (voor alle varianten) en kostenberekeningen. Alle gepresenteerde concepten zouden realiseerbaar zijn met de destijds beschikbare

technologie ('proven technology'), met uitzondering van de diepboortechniek. Het METRO-I concept is in feite een variant op het mijnconcept in een zoutkoepel voor het OPLA-A nucleaire programma. In tabel 3.1 zijn de verschillen gegeven tussen het ontwerp van Van Hattum en Blankevoort en het METRO-I ontwerp.

Tabel 3.1 *Verschillen tussen de mijnconcepten van ECN en van Van Hattum en Blankevoort*

METRO-I	Van Hattum en Blankevoort
Schachten aanleggen met "vriemethode"	Schachten aanleggen met "boormethode"
Opslag verglaasd KSA in <i>horizontale</i> boorgaten, één container per boorgat, diepte ca. 4.3 m.	Opslag verglaasd KSA en HAVA 200 in <i>verticale</i> boorgaten, Ø 600 mm, diepte ca. 100 m
-	Opslag HAVA 1430 in verticale boorgaten, Ø 1350 mm, diepte ca. 100 m
-	Opslag resterende HAVA in een HAVA-caverne van 750 m ³
-	Opslag van LAVA en MAVA in 4 LAVA-kamers, elk 27000 m ³
De schachten, laadzones en galerijen van de mijn blijven een aantal periodes van elk ca. 25 jaar toegankelijk. Na elke periode moet besloten worden of de mijn afgesloten wordt, of een volgende periode open blijft, of dat het afval teruggehaald dient te worden.	-
Uiteindelijk zal de mijn afgesloten worden.	Binnen vijf jaar na het beëindigen van de opberg-activiteiten wordt de mijn afgesloten.

Een belangrijk verschil is dat in het METRO-I mijnconcept elke KSA-container in een apart boorgat opgeborgen wordt, terwijl in het concept van Van Hattum en Blankevoort een honderdtal vaten in één verticaal boorgat geplaatst worden. Daardoor is in het METRO-I mijnconcept meer galerijlengte nodig waardoor deze methode mogelijk arbeidsintensiever - en dus duurder is. Het terughalen van vaten is echter in het METRO-concept weer veel eenvoudiger.

Verder wordt in het METRO-I concept alleen verglaasd KSA beschouwd. Het opbergen van ander afval in de mijn is in feite optioneel. Het staat op dit moment in het METRO-project nog niet vast welke strategie wat betreft het middel- en laag-actief afval gevolgd zal worden.

Nadat het KSA in de mijn opgeborgen is, zal deze voor een nog niet bepaalde periode open blijven. Dit vereist inspectie en onderhoud van de machinerie (ventilatie, liften) en de galerijen (vanwege de convergentie van het steenzout). Het is mogelijk dat een installatie aangebracht zal worden om de toestand van het afval en de toestand van de faciliteit te monitoren, zodat indien nodig ingegrepen kan worden. Een dergelijk systeem is niet beschreven in het METRO-I mijnconcept.

4. RESULTATEN

Bij het METRO-I ontwerp is uitgegaan van de verwachte hoeveelheid verglaasd kernsplijtingsafval samenhangend met een bedrijven van de KCD en KCB gedurende 30 jaar. Dit is de hoeveelheid KSA uit OPLA-A.

Bij de kostenberekening voor het METRO-I concept wordt gebruik gemaakt van de berekeningen uit de studie van Hattum en Blankevoort [2], aangepast en aangevuld met data uit andere bronnen, daar waar de verschillen in het METRO-I ontwerp en het OPLA-A concept dit noodzakelijk maken. Verder is gecorrigeerd voor de inflatie sinds 1985, het jaar waarin [2] werd opgesteld.

4.1 Bespreking van de kostenanalyse van Van Hattum en Blankevoort

In [2] wordt de gehele operatie voor het opbergen van radioactief afval beschreven, met daarnaast een kostenberekening. Tabel 4.1 is het resultaat van de samenvoeging van twee tabellen uit [2], de 'activiteitentabel' en de 'kostentabel'. Het blijkt dat niet alle activiteiten afzonderlijk zijn begroot, maar vaak gegroepeerd zijn in kostenposten. Uit het NEA rapport *The cost of high-level waste disposal in geological repositories* [3], blijkt dat dit niet slechts voor deze Nederlandse studie geldt, maar voor alle door NEA beschouwde kostenstudies uit de diverse landen.

Uit de beschouwing in de NEA studie [3] mag geconcludeerd worden dat de kostenschatting van de opbergmijn voor het OPLA-B programma door Van Hattum en Blankevoort consistent is met kostenschattingen in andere landen. Overigens is in [3] de OPLA-A optie die samenhangt met het METRO-I mijnmodel niet beschouwd. De conclusies uit [3] worden uitgebreid toegelicht in Appendix A.

Noodzakelijke aanpassingen vanwege de verschillen tussen het OPLA-A concept en het METRO-I concept worden toegelicht in de volgende paragraaf 4.2 en verder.

4.1.1 Combinatie activiteiten- en kostentabel

Het overzicht van de activiteiten en de daarmee verbonden kosten volgens Van Hattum en Blankevoort [2] zijn opgenomen in tabel 4.1. De kosten zijn verdeeld naar de onderdelen: Ondergrond verkenningen, Ontwerpaanpassingen, Bedrijfsterrein, Schachten en schachtinrichting, Ondergrondse infrastructuur, Opbergen, Afsluiten mijn en Ontruimen bovengronds terrein. In de derde kolom is het totaal bedrag van het onderdeel gegeven. Waar mogelijk is een specificatie van de subonderdelen in de tweede kolom gegeven. De aanduiding 'n.a.' duidt er op dat in [2] expliciet gesteld wordt dat een bepaalde (sub)activiteit niet in de kostenberekening is opgenomen.

Tabel 4.1 *Activiteiten bij aanleg van een opbergmijn en de door Van Hattum en Blankevoort gespecificeerde kosten*

Omschrijving activiteit	kosten (Mfl), prijspeil 1985	kosten hele actie (in Mfl, afgerond) prijspeil 1985
Ondergrond verkenningen		5.5
Alle hieronder niet apart begrote posten tesamen	5	
Seismische verkenningen (kunstmatige ontploffinkjes en seismografen + dataverwerking).	Mogelijk duur	
Geohydrologisch onderzoek		
Verkenningsboringen:		
10 tot 100 boringen tot 300 m: kf 885 per boring		
minstens 2 boringen tot 2000 m: kf 2230 per boring		
Elektromagnetische reflectie (vanuit verkenningsboring); tomografie (radar).		
Vergunningen	0.5	
Terreinverwerving	n.a.	
Ontwerp(-aanpassingen) vanwege resultaat verkenning	6.5	6.5

Omschrijving activiteit	kosten (Mfl), prijspeil 1985	kosten hele actie (in Mfl, afgerond) prijspeil 1985
Bedrijfsterrein (gebouwen)		43.8
Alle hieronder niet apart begrote posten tesamen	15.3	
Bouwrijp maken terrein	9.315	
Infrastructurele werken buiten het terrein	n.a.	
Doelmatige terreinbewaking		
Sluis bij portier		
Weg Transport Container (WTC)		
Opslaggebouwen	6	
Afvalbehandeling; hot cells		
Afvalregistratiesysteem		
Radiologische controledienst		
Monitoren		
Gecontamineerd water, voorziening		
Laboratoria		
Werkplaats		
Inrichten gebouwen voor bedrijfs- voering	7	
Bedrijfsadministratie		
Kantoren		
Kantine enz		
EHBO		
Buiten-opslag, parkeerterrein		
helicopterplatform		
Voorlichting		
Brandweer, ambulance		
Loods voor zoutopslag		
Zoutmaalderij		
Elektrische voorzieningen	2.5	
Koppelveld met transformator- station		
Noodcentrale		
Ketelhuis		
Watervoorziening	0.2	
Olie- en gasopslag		
Algemene transportmiddelen	1	
Communicatiemiddelen	2.5	

Omschrijving activiteit	kosten (Mfl), prijspeil 1985	kosten hele actie (in Mfl, afgerond) prijspeil 1985
Schachten en schachtinrichting		101
Schachten Ø 5 m, diepte 850 m	72	
Bouw voorschachten		
Montage boorinstallatie		
Prefabfabricage schachtbekleding		
Betonfundatie en bitumeren		
Montage afdiepequipment		
Afwerken fundatie		
Aanzetten laadplaats		
Schachtinrichting	29	
Ventilatiekanaal, kelders en ventilator		
Opruimen werkterrein		
Bouw en inrichting schachttoren		
Montage ophaalmaschine		
Ondergrondse infrastructuur	35.37	35.4
Laadplaatsen verlengen		
Ontsluiten deponievrije zone		
Hoofdgalerijen		
Eerste doorslag		
Bedrijfsruimten en ventilatieboorgat		
Dalingen tussen verschillende verdiepingen		
Hulpgalerijen		
Stortkokers en zoutbunkers		
Dwarsgalerijen		
Kamers vloerlaag		
Kamers toplaag		
Kamers tussenlaag		
Aanleggen HAVA caveerne		
Opbergen		19.7
Aanschaf machines	10.16	
Ontvangen afval	n.a.	
Boren boorgaten	6.3	
Opslag en opvullen	3.25	
Opslag, opvullen en afsluiten boorgaten		
Opslag in HAVA caveerne, opvullen en afsluiten caveerne		
Opslag in kamers, opvullen en afsluiten kamers		
Decommissioning bovengronds en opbergen	n.a.	

Omschrijving activiteit	kosten (Mfl), prijspeil 1985	kosten hele actie (in Mfl, afgerond) prijspeil 1985
Afsluiten mijn		60.8
Afdichten galerijen	13.8	
Opvullen en verzegelen toegangs- galerijen (dwarsgalerijen)		
Opvullen hoofdgalerijen en laadplaatsen		
Aanleggen dammen		
Afdichten schachten	47	
Aanleggen dam in schacht		
Opvullen schacht		
Ontruimen bovengronds terrein		
Personeelskosten bedrijfsvoering	120.625	120.6
Lopende kosten bedrijfsvoering	20.6	20.6
Onvoorzien 15% van de kosten exclusief personeelskosten bedrijfs- voering en lopende kosten bedrijfsvoering	40.904	40.9
Totale kosten	454.824	454.8

4.1.2 Indeling van de kosten naar fase

Het opbergproces wordt voor het METRO-I concept opgedeeld in een zestal fasen. In de volgende tabel zijn deze gekoppeld aan de in [2] onderscheiden activiteiten.

Tabel 4.2 *Koppeling fasen opbergproces aan in [2] geïdentificeerde activiteiten*

METRO-I indeling fasen opbergproces	Bijbehorende activiteiten uit tabel 4.1
1. onderzoek & ontwikkeling	<i>geen gegevens beschikbaar in [2]</i>
2. locatie screening & evaluatie	<i>geen gegevens beschikbaar in [2]</i>
3. ontwerp & bouw	- ondergrond verkenningen - ontwerpaanpassingen - bedrijfsterrein (gebouwen) - schachten en schachtinrichting - ondergrondse infrastructuur
4. opbergen afval	opbergen
5. openhouden mijn	<i>geen gegevens beschikbaar in [2]</i>
6. afsluiten mijn	afsluiten mijn

In paragraaf 4.1.1, tabel 4.1 zijn de in [2] begrootte 'Personeelskosten bedrijfsvoering', 'Lopende kosten bedrijfsvoering' en 'Onvoorziene kosten' apart gerubriceerd en niet ingedeeld bij één van de onderdelen van het opbergproces. Deze kosten zijn in de volgende tabel wel ingedeeld naar fase in het opbergproces, door ze evenredig naar het aantal manjaar per fase te verdelen. Dit geschatte aantal manjaren is bepaald uit de planningen van de activiteiten in [2].

Het totale aantal manjaren arbeid voor het opbergproces is bepaald op 1640. Dit omvat niet de fasen 1, 2 en 5. De personeelskosten van de overige fasen tesamen zijn begroot op (prijspeil 1985) 120,6 Mfl, een manjaar kost dus 73,6 kfl. De 'Lopende kosten bedrijfsvoering' en 'Onvoorziene kosten' kunnen ook per manjaar berekend worden, resulterend in respectievelijk 12,6 kfl/manjaar en 24,6 kfl/manjaar. Aangezien het aantal manjaren per fase bekend is kunnen de totale kosten per fase berekend worden. In onderstaande tabel zijn de kosten omgerekend naar het prijsniveau van 1994 om te kunnen combineren/vergelijken met getallen van o.a. EUR 16197 [4], waarin kosten op het prijspeil van 1994 zijn gegeven.

Tabel 4.3 *Kosten uit van Hattum en Blankevoort [2] ingedeeld naar fase in opbergproces*

Fase	Manjaren	Kosten (1985) (zonder personeel, bedrijfsvoering en onvoorzien)	Totale kosten, prijspeil 1985	Totale kosten, prijspeil 1994 ¹⁾
Ontwerp & bouw	840	192,2 Mfl	285,2 Mfl	372,5 Mfl
Opbergen afval	600	19,7 Mfl	86,3 Mfl	112,7 Mfl
Afsluiten mijn	200	60,8 Mfl	83,0 Mfl	108,3 Mfl
<i>Totaal:</i>	1640	272,7 Mfl	454,8 Mfl	593,4 Mfl

¹⁾ ...uitgaande van 3% inflatie per jaar, gedurende 9 jaren.

In de volgende paragrafen is aangegeven waar en hoe deze getallen moeten worden aangepast of aangevuld uit andere bronnen om tot een kostenschatting voor het METRO-I concept te komen.

4.2 Onderzoek & ontwikkeling en locatie screening & evaluatie

De fasen 'onderzoek en ontwikkeling' en 'locatie screening en evaluatie' zijn niet beschouwd in [2]. In de vergelijking van de kostenstudies in OESO-landen door de NEA [3], worden deze fasen ook niet beschouwd, omdat de kosten van

deze fasen sterk afhangen van het nationale beleid, de wetgeving en maatschappelijke factoren. De in [3] geïnventariseerde kostenschattingen in de verschillende landen voor R&D en 'siting' lopen dan ook sterk uiteen, van 200 M\$ in België tot 7700 M\$ in de Verenigde Staten. Voor Nederland was geen schatting voorhanden. Er is niet getracht alsnog een schatting te maken; de daarvoor benodigde aannames zijn te zeer afhankelijk van nog te maken keuzes door beleidsmakers, onder andere ten aanzien van locaties.

4.3 Aanleg van de opbergmijn

Een verschil tussen OPLA-A en METRO-I is de beoogde methode voor het aanleggen van mijnschachten. In OPLA is gekozen voor de boormethode, in METRO voor de schijnbaar 28 Mfl duurdere vriesmethode (prijspeil 1994). In tabel 4.2 zijn de verschillen aangegeven, waarbij voor METRO-I gebruik is gemaakt van getallen uit EUR 16197 [4], pagina 160, sheet 2.2, en voor OPLA van getallen uit [2], pagina 301 (zoutkoepel).

Tabel 4.4 *Vergelijking kosten volgens [2] en [4] voor aanleg twee schachten plus schachtinrichtingen, met correctie voor prijspeil, uitgaande van constante inflatie van 3% per jaar*

	Van Hattum & Blankevoort [2]	EUR 16197 [4]
Methode	boormethode	vriesmethode
Benodigde tijd	2 jaren	3 jaren
Prijs (peil 1985)	72 Mfl + 29 Mfl = 101 Mfl voor schachten en schachtinrichting	
Prijs (peil 1994)	132 Mfl	160 Mfl

Voor de aanleg van de ondergrondse infrastructuur geven van Hattum en Blankevoort één cijfer: 35 Mfl (1985). Dit is exclusief personeelskosten, overige lopende kosten van de bedrijfsvoering en onvoorziene kosten. In het rapport EUR 16197 [4] worden de kosten voor een ondergrondse infrastructuur gedetailleerder beschreven en begroot op 72 Mfl. Helaas is dit getal niet bruikbaar omdat deze betrokken is op een andere afvalstrategie.

Geconcludeerd wordt dat de kosten voor 'Ontwerp en bouw' voor het METRO-I concept zeker 28 Mfl (prijspeil 1994) hoger dient te liggen dan de schatting voor OPLA-A op basis van [2].

7-12-2011

4.4 Plaatsen van het afval in de mijn

Bij het plaatsen van de afvalcontainers worden eerst boorgaten gemaakt. In het METRO-I concept gaat het om horizontale gaten in de dwarsgalerijen, waarbij iedere afvalcontainer (meer dan 300 stuks) zijn eigen boorgat van 4,3 meter diep krijgt. Van Hattum en Blankevoort [2] gaan uit van slechts enkele (9 tot 11) diepe verticale boorgaten waarin de afvalvaten gestapeld opgeslagen worden. In [2] worden deze deponieboringen op zo'n 6 Mfl begroot en de aanschaf van benodigde apparatuur op circa 10 Mfl. Afdichten van de boorgaten wordt op iets meer dan 3 Mfl geschat.

Het totale volume van de boorgaten in het METRO-I ontwerp is ongeveer het dubbele van dit volume in [2]. Hierdoor kan het plaatsen van de containers duurder zijn dan in [2]. Echter, de boringen voor het METRO-I ontwerp vereisen een simpelere techniek dan de diepboortechieken uit [2], wat de kosten weer drukt. De boorkosten dragen ca. 6 Mfl bij aan het totaal (ca. 85 Mfl) voor deze fase. Zodoende is besloten dat voor METRO-I de schatting van 6 Mfl (prijspeil 1985) voldoende nauwkeurig is.

4.5 Bedrijf van de mijn voor optionele terughaalbaarheid

In de kostenschatting van Van Hattum en Blankevoort [2] is nog geen rekening gehouden met de gewenste terughaalbaarheid van opgeborgen afval. Schattingen van de kosten van het in bedrijf houden van de mijn voor optionele terughaalbaarheid kunnen gevonden worden in EUR 16179 [4] en bedragen ongeveer 2 Mfl per jaar. Dit zijn de kosten van ondergronds onderhoud, ventilatie en een minimale personeels bezetting.

Tabel 4.5 *Jaarlijkse kosten passief bedrijf opslagfaciliteit voor verglaasd afval volgens [4], prijspeil 1994*

Kostenpost	Bedrag (fl/jaar)
Personeel	1116000
Ventilatie	119537
Onderhoud	159759
Afschrijving (materieel)	253120
Algemeen	156483
Monitoring en inspectie	0
<i>Totaal:</i>	1804900

Uit een brief van de 'Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern fuer Abfallstoffe mbH (DBE)', blijkt dat DBE deze kosten voor de in bedrijf

zijnde Morsleben mijn op ongeveer 33 Mfl per jaar schat. Weliswaar heeft Morsleben een veel grotere omvang dan het door ons bestudeerde concept, maar het bedrag is zoveel hoger dan de schatting uit [4], dat een alternatieve schatting gerechtvaardigd lijkt.

Voor de alternatieve schatting dient [4] nog steeds als basis, doch aangevuld met gegevens uit het DBE jaarverslag over 1996 [6] (Deutsche Marken uit 1996), het COVRA Jaarverslag over 1996 [7] (Nederlandse Guldens uit 1996) en het 'Cost Estimation Handbook for the Australian Mining Industry' [8] (Australian Dollars uit 1993). Dit laatste werk geeft zeer gedetailleerde kostenschattingen voor alle aspecten van de mijnbouw.

De gehanteerde wisselkoersen zijn: 1 A\$ = fl 1,35 en DM 1 = fl 1,12.

De alternatieve schatting van de kosten van passief bedrijf voor het openhouden van de opbergmijn wordt in detail beschreven in Appendix B. Het resultaat van de schatting is gegeven in de volgende tabel.

Tabel 4.6 *Jaarlijkse kosten passief bedrijf opslagfaciliteit voor verglaasd afval, alternatieve schatting (zie Appendix B)*

Kostenpost	Bedrag (fl/jaar)
Personeel	1460000
Ventilatie	119537
Onderhoud	159759
Afschrijving (materieel)	1509224
Algemeen	186000
Monitoring en inspectie	260124
<i>Totaal:</i>	<i>3694644</i>

De schatting is exclusief eventuele lasten voor brandweer, verzekeringen en een eventueel noodzakelijk documentatie- en informatiecentrum.

De conclusie is dat de jaarlijkse kosten voor het openhouden van de opbergmijn tenminste 4 Mfl per jaar bedragen. Maatschappelijke en politieke eisen kunnen dit bedrag doen oplopen. Een voorbeeld is de monitoring, waarvan de werkelijke kosten afhankelijk zijn van het te kiezen ontwerp en de wensen ten aanzien van de specificaties van de omgevingsmonitoring.

4.6 Afsluiten van de mijn

Er worden geen relevante verschillen in de kosten van het afsluiten van de opbergmijn volgens het in [2] beschouwde OPLA-A concept en het in [1] beschreven METRO-I concept verwacht.

5. CONCLUSIES

In fase 1 van de OPLA studie is een concept ontwikkeld voor opberging van radioactief afval in steenzoutformaties in de diepe ondergrond. Op basis van dit ontwerp is het METRO-I concept ontwikkeld, waarin expliciet de mogelijkheid van terughalen van het afval is voorzien.

In tabel 5.1 zijn de verschillen gegeven tussen het ontwerp van Van Hattum en Blankevoort voor OPLA [2] en het METRO-I ontwerp [1].

Tabel 5.1 *Verschillen tussen de mijnconcepten van ECN en van Van Hattum en Blankevoort*

METRO-I	Van Hattum en Blankevoort
Schachten aanleggen met "vriesmethode"	Schachten aanleggen met "boormethode"
Opslag verglaasd KSA in horizontale boorgaten, één container per boorgat, diepte ca. 4.3 m.	Opslag verglaasd KSA en HAVA 200 in verticale boorgaten; Ø 600 mm, diepte ca. 100 m, ca. 100 containers per boorgat
-	Opslag HAVA 1430 in verticale boorgaten, Ø 1350 mm, diepte ca. 100 m
-	Opslag resterende HAVA in een HAVA-caverne van 750 m ³
-	Opslag van LAVA en MAVA in 4 LAVA-kamers, elk 27000 m ³
De schachten, laadzones en galerijen van de mijn blijven een aantal periodes van elk ca. 25 jaar toegankelijk. Na elke periode moet besloten worden of de mijn afgesloten wordt, of een volgende periode open blijft, of dat het afval teruggehaald dient te worden.	-
Uiteindelijk zal de mijn afgesloten worden.	Binnen vijf jaar na het beëindigen van de opberg-activiteiten wordt de mijn afgesloten.

Een opbergingsoperatie kan in een vijftal fasen gesplitst worden, die achtereenvolgens uitgevoerd moeten worden. In tabel 5.2 zijn de geschatte kosten voor deze fasen gegeven, uitgedrukt in de muntwaarde van 1994.

Tabel 5.2 *Overzicht van de geschatte kosten per fase van de opbergingsoperatie*

	METRO-I (prijspeil 1994)	Van Hattum en Blankevoort (prijspeil 1994)
Onderzoek & ontwikkeling	x*	x*
Locatie 'screening' en evaluatie	x*	x*
Ontwerp en bouw	401 Mfl	373 Mfl
Opbergen afval	113 Mfl	113 Mfl
Afsluiten van de mijn	108 Mfl	108 Mfl
Totaal:	622 Mfl	594 Mfl
Optionele terughaalbaarheid	4 Mfl/jaar	n.v.t.

x*: Deze kosten zijn niet beschouwd in deze studie.

De twee kostenposten 'Onderzoek en ontwikkeling' en 'Locatie screening en evaluatie' worden tesamen geschat op 200 M US\$ voor België en 7700 M US\$ voor het omvangrijke nucleaire programma van de Verenigde Staten [3]. Voor Nederland zijn dergelijke getallen niet beschikbaar. Deze kostenposten zijn afhankelijk van de omvang van de hoeveelheid te bergen afval en het aantal en de omvang van de beschouwde locaties voor berging. De getallen uit het buitenland zijn daarom niet zonder meer toepasbaar in de Nederlandse situatie.

Nauwkeurigheid

In de NEA studie [3] zijn kostenschattingen die zijn uitgevoerd in verschillende landen met elkaar vergeleken. Uit deze vergelijking kan geconstateerd worden dat de onzekerheid in de schattingen tenminste een factor 2 bedraagt. Echter, in de concepten besproken in deze NEA studie is geen "terughaalbaarheidsfase", die de onzekerheid in de kostenschatting kan doen toenemen.

In dit rapport is aangegeven dat de kosten voor onderhoud tijdens passief bedrijf ongeveer 4 Mfl per jaar bedraagt, bij een minimale, vooral voor technisch onderhoud bedoelde organisatie. Maatschappelijke en politieke eisen aan deze organisatie kunnen de jaarlijkse kosten echter sterk doen oplopen.

REFERENTIES

- [1] J.J. Heijdra, J. Prij, *Concept ontwerp terughaalbare berging in steenzout*, ECN-C-96-087, Petten, maart 1997
- [1a] D.H. Dodd, J.J. Heijdra, J. Prij, *A repository design for the retrievable disposal of radioactive waste in rock salt*, ECN-RX--97-054, Petten, september 1997
- [2] *Locatie-onafhankelijke studie inzake de aanleg, bedrijfsvoering en afsluiting van mogelijke faciliteiten voor de definitieve opberging van radioactief afval in steenzoutformaties in Nederland*, Van Hattum en Blankevoort, Koninklijke Volker Stevin, April 1986
- [3] *The cost of high-level waste disposal in geological repositories; an analysis of factors affecting cost estimates*, NEA/OECD, Paris, 1993
- [4] J.J. Heijdra, J. Bekkering, J. v.d. Gaag, P.H. v.d. Kleyn, J. Prij, *Retrievability of radioactive waste from a deep underground disposal facility*, EUR 16197, 1995
- [5] Engelmann, Bollingfehr, fax aan W.W.J. Götz, T-EA/Dr.Kr, 12 december 1997
- [6] *DBE: Geschäftsbericht 1996*, Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern von Abfallstoffe mbH, Peine, 19 juni 1997
- [7] *COVRA NV Jaarverslag 1996*, Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval, middelburg, 23 april 1997
- [8] M. Noakes, T. Lanz (Ed.), *Cost Estimation Handbook for the Australian Mining Industry*, The Australian Institute of Mining and Metallurgy, Victoria, Australia, 1993

APPENDIX A Evaluatie 'Van Hattum en Blankevoort' door de NEA

In 1993 heeft de NEA een rapport gepubliceerd met als titel *The cost of high-level waste disposal in geological repositories* [3]. De aanleiding tot deze studie was dat de resultaten van kostenberekeningen uitgevoerd in onderzoeksprogramma's in diverse landen, waaronder Nederland, zeer sterk verschillen. Het doel van de NEA studie was deze verschillen te verklaren.

In het rapport wordt geconcludeerd dat:

- De beschouwde kostenberekeningen onderling consistent zijn.
- Het kader en het doel van de beschouwde kostenberekeningen verschillend zijn, wat de hoofdoorzaak is van de verschillen in de resultaten.

De studie van Van Hattum en Blankevoort brengt de kosten van de technische uitvoering goed in beeld. Het aantal begrote kostenposten is echter kleiner dan het aantal activiteiten beschreven in het rapport, doordat activiteiten gegroepeerd zijn in kostenposten. Het is echter niet voor alle activiteiten te achterhalen in welke kostenpost ze ondergebracht zijn. In het NEA rapport is aangegeven dat dit niet alleen geldt voor de Nederlandse studie, maar voor alle beschouwde studies uit de diverse landen.

De kosten van R&D vóór het project gestart wordt en de kosten van locatie-selectie en locatie-evaluatie zijn niet beschouwd. In de NEA studie worden deze kosten niet meegenomen in de vergelijking omdat ze sterk afhangen van het nationale beleid: beide kostenposten zijn sterk afhankelijk van politieke en maatschappelijke factoren en de wetgeving. De geschatte kosten van R&D en "siting" variëren van 200 M US\$ (in België) tot 7700 M US\$ in de Verenigde Staten. Voor Nederland was geen schatting beschikbaar.

In de NEA studie wordt geconcludeerd dat de door Van Hattum en Blankevoort geschatte kosten van de opbergingsmijn bij het OPLA-B nucleaire programma consistent zijn met de kostenschattingen in andere landen. De OPLA-A optie, die samenhangt met het METRO-I mijnmodel, is niet beschouwd in de NEA studie.

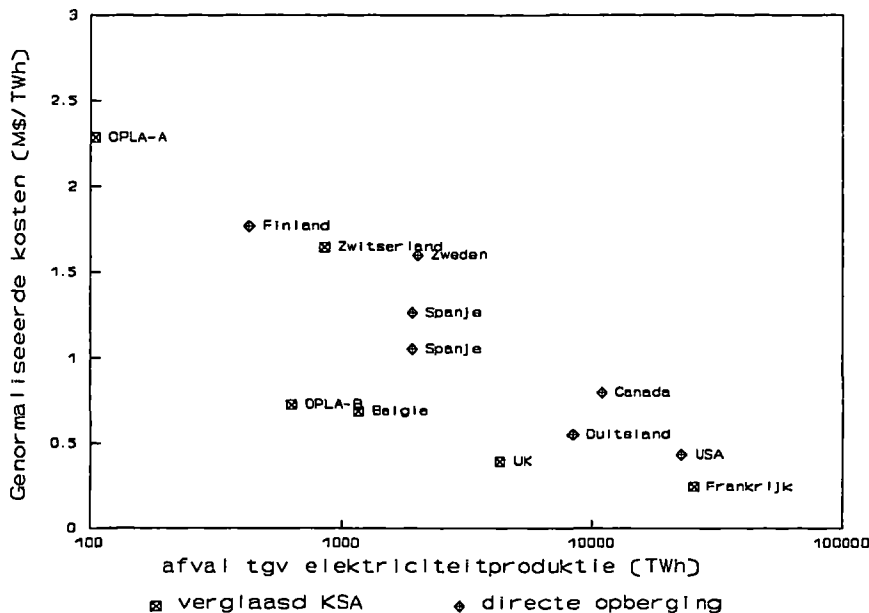
In de NEA studie zijn de kosten (exclusief R&D en "siting") vergeleken, waarbij onderscheid gemaakt is tussen "directe opberging" en "opberging van opwerkingsafval". De hoeveelheid op te bergen afval is uitgedrukt in de hoeveelheid elektriciteit (TWh) die geproduceerd is: een vuistregel is dat één bedrijfsjaar van een 1000 MWe PWR ongeveer 7 TWh electriciteit oplevert, waarbij 25 ton splijtstof verbruikt wordt. Na opwerken van 25 ton verbruikte splijtstof komt ongeveer 4 m³ verglaasd KSA vrij.

In OPLA-A wordt uitgegaan van 30 jaar bedrijf van KCB en KCD. Het gezamenlijke vermogen is ongeveer 550 MWe. Volgens de vuistregels komt dit

overeen met een totale elektriciteitsproductie van ongeveer 100 TWh, en een verbruik van ongeveer 400 ton uranium. Na opwerken leidt dit tot ongeveer 60 m³ verglaasd KSA. In de OPLA studies werd voor deze strategie uitgegaan van 320 canisters met elk 175 liter verglaasd KSA: dit komt overeen met 56 m³.

In de NEA studie worden de genormaliseerde kosten vergeleken. Voor de OPLA-A strategie is dit: 455 Mfl ≈ 240 M US\$ (1985) bij een elektriciteitsopbrengst van 100 TWh is dan ongeveer 2.4 M\$/TWh.

In figuur A.1 zijn de genormaliseerde kosten gegeven van de in de NEA studie besproken studies en de schatting van Van Hattum en Blankevoort van een opbergmijn voor de OPLA-A strategie. Voor Spanje zijn twee punten in de figuur gegeven, daar twee verschillende types gastgesteenten zijn beschouwd.



Figuur A.1 Genormaliseerde kosten van een opbergingsmijn

In figuur A.1 valt op dat de genormaliseerde kosten afnemen bij grotere hoeveelheden op te bergen afval. De "vaste" kosten, zoals de aanleg van de schachten, kunnen immers over een steeds grotere hoeveelheid afval verdeeld worden. Uit de schattingen voor OPLA-A (240 M\$ bij 100 TWh) en OPLA-B (460 M\$ bij 650 TWh) kunnen de marginale kosten geschat worden:

$$\text{Marginale kosten} = (460 \text{ M\$} - 240 \text{ M\$}) / (650 \text{ TWh} - 100 \text{ TWh}) = 0.4 \text{ M\$/TWh}$$

bij 100 TWh.

Bij een zeer grote hoeveelheid op te bergen afval zijn de marginale kosten ongeveer gelijk aan de genormaliseerde kosten. Een tweede schatting voor de marginale kosten is de Franse schatting van de genormaliseerde kosten: 0.25 M\$/TWh bij 25700 TWh. Aangezien te verwachten is dat de marginale kosten enigszins afnemen bij toenemende hoeveelheid afval, is de mate van

overeenkomst acceptabel.

Verder valt op in figuur A.1 dat de genormaliseerde kosten bij directe opberging hoger zijn dan bij het opbergen van opwerkingsafval. Dit is een gevolg van de (kostbare) "overpacks" die gebruikt worden bij directe opberging, terwijl het opwerkingsafval zonder overpack of met een heel eenvoudige overpack opgeborgen wordt. Een uitzondering is Zwitserland, waar het opwerkingsafval in een zware overpack wordt opgeborgen. Figuur A.1 laat zien dat het Zwitserse opbergingconcept dan ook relatief duur is.

APPENDIX B Toelichting op alternatieve schatting van kosten openhouden opbergmijn

In de kostenschatting van Van Hattum en Blankevoort [2] is nog geen rekening gehouden met de gewenste terughaalbaarheid van opgeborgene afval. Schattingen van de kosten van het in bedrijf houden van de mijn voor optionele terughaalbaarheid kunnen gevonden worden in EUR 16179 [4] en bedragen ongeveer 2 Mfl per jaar. Dit zijn de kosten van ondergronds onderhoud, ventilatie en een minimale personeelsbezetting.

Tabel B.1 *Jaarlijkse kosten passiefbedrijf opslagfaciliteit voor verglaasd afval volgens [4], prijspeil 1994*

Kostenpost	Bedrag (fl/jaar)
Personeel	1116000
Ventilatie	119537
Onderhoud	159759
Afschrijving (materieel)	253120
Algemeen	156483
Monitoring en inspectie	0
<i>Totaal:</i>	1804900

Uit een brief van de 'Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern fuer Abfallstoffe mbH (DBE)', blijkt dat DBE deze kosten voor de in bedrijf zijnde Morsleben mijn op ongeveer 33 Mfl per jaar schat. Weliswaar heeft Morsleben een veel grotere omvang dan het door ons bestudeerde concept, maar het bedrag is zoveel hoger dan de schatting uit [4], dat een alternatieve schatting gerechtvaardigd lijkt. Overigens zijn de jaarlijkse kosten van de Duitse mijn inclusief de daar gepleegde opbergactiviteiten, circa 65 MDM = Mfl 72,8.

Voor de alternatieve schatting dient [4] nog steeds als basis, doch aangevuld met gegevens uit het DBE jaarverslag over 1996 [6] (Deutsche Marken uit 1996), het COVRA Jaarverslag over 1996 [7] (Nederlandse Guldens uit 1996) en het 'Cost Estimation Handbook for the Australian Mining Industry' [8] (Australian Dollars uit 1993). Dit laatste werk geeft zeer gedetailleerde kostenschattingen voor alle aspecten van de mijnbouw.

De gehanteerde wisselkoersen zijn: 1 A\$ = fl 1,35 en DM 1 = fl 1,12.

Het resultaat van de alternatieve schatting is gegeven in de volgende tabel.

Tabel B.2 *Jaarlijkse kosten passief bedrijf opslagfaciliteit voor verglaasd afval, alternatieve schatting*

Kostenpost	Bedrag (fl/jaar)
Personeel	1460000
Ventilatie	119537
Onderhoud	159759
Afschrijving (materieel)	1509224
Algemeen	186000
Monitoring en inspectie	260124
<i>Totaal:</i>	<i>3694644</i>

De schatting is exclusief eventuele lasten voor brandweer, verzekeringen en een eventueel noodzakelijk documentatie- en informatiecentrum.

De conclusie is dat de jaarlijkse kosten voor het openhouden van de opbergmijn tenminste 3,7 Mfl per jaar bedragen.

De onderbouwing van de alternatieve schatting wordt in de volgende paragrafen gegeven.

B.1 Personeel

De functieverdeling zoals die in [4] beschreven wordt lijkt onevenwichtig. Tabel B.3 presenteert een andere functieverdeling. De loonkosten in deze tabel zijn, behalve voor de directeur, overgenomen uit [4]. Gezien de geringe verantwoordelijkheden is het salaris van de directeur verminderd met een ton.

Tabel B.3 *Alternatieve verdeling functies tijdens openhouden van de mijn*

Functie	Jaarlijkse kosten in fl
Algemeen manager	150000
Voorman	85000
Inspecteur	80000
Administrator	80000
Secretaresse/receptioniste	41000
Electriciën/mechaniciën	65000
Schachtpersoneel 1	41000
Schachtpersoneel 2	41000
Bewaker 1	35000

Functie (vervolg)	Jaarlijkse kosten in fl (vervolg)
Bewaker 2	35000
Bewaker 3	35000
Bewaker 4	35000
Bewaker 5	35000
Mijnwerker 1	25000
Mijnwerker 2	25000
Mijnwerker 3	25000
Totaal	833000

In [4] worden bij het bepalen van de personeelskosten alleen de loonkosten beschouwd. Uit de tabel blijkt dat na onze correctie de gemiddelde loonkosten op fl. 62583,33 per persoon komen te liggen (in [4] is dit fl. 66626,87).

In de jaarverslagen van [5] en [6] liggen de loonkosten veel hoger. Dit kan verklaard worden uit het gegeven dat ook de sociale lasten, pensioenkosten en vakantiegeld bij de loonkosten worden betrokken. In tabel B.4 worden de gemiddelde loonkosten uit de referenties [4], [5] en [6] vergeleken.

Tabel B.4 *Vergelijking gemiddelde loonkosten uit verschillende referenties*

Bron	Totale loonsom	# personeelsleden	Gemiddeld loon
[4]	111600	16,75	66626,87
[5]	86550558	745	130116,28
[6]	3999427	43,3	92365,52

Op grond van praktijkgegevens lijkt een gemiddelde loonsom van 100000 per jaar reëel. Uitgaande van een personeelsbestand van 14 personen maakt dit een totale loonsom van 1,4 Mfl.

Naast de loonkosten zijn er nog additionele loonkosten, zie tabel B.5. Op grond van het voorgaande wordt de alternatieve schatting van de jaarlijkse personele kosten op fl 1460000 gesteld (1,4 Mfl + 60000 fl).

Tabel B.5 *Overige personeelskosten*

Post	Berekening	Bron	Schatting (fl)
Veiligheidsinstructie en training	2 a 3% van loonkosten	[8]	30000
Verzekeringen	?	-	0
Werving & selectie	3000\$A*0,05 /persoon	[8]	2430
Vervoers- & reiskosten	fl 2000/ persoon	[8]	24000
Ontspanning	100\$A/ persoon	[8]	1620
Eerste hulp	150 \$A/ persoon	[8]	2430
<i>Totaal</i>			60000

B.2 Ventilatie

De electriciteitskosten van fl 119537,60 voor ventilatie wordt overgenomen uit [4]. De vervangingskosten worden in paragraaf B.4 besproken.

B.3 Onderhoud

De onderhoudskosten aan de schachten en gangen van fl 159759,60 worden overgenomen uit [4]. Op grond van [5] lijkt dit een zeer conservatieve schatting. Er zijn echter op dit moment geen betere schattingen voorhanden.

B.4 Afschrijvingen

In [4] wordt alleen de afschrijving van het materieel voor mijnonderhoud beschouwd. In de alternatieve schatting worden ook voor andere zaken afschrijvingen beschouwd. In totaal komt men op een bedrag van 1,5 Mfl. Zie tabel B.6.

B.5 Algemeen

In [4] worden de algemene kosten gedefinieerd als de som van water- en kantoorkosten plus de elektriciteitskosten exclusief ventilatie. De kantoorkosten zijn echter laag ingeschat. Een alternatieve schatting treft men in tabel B.7 aan, voornamelijk gebaseerd op [8]. Voor sommige posten is een eigen schatting (e.s.) gemaakt, meestal betreft het een aanpassing voor de Nederlandse situatie. De totale algemene kosten zijn fl 186000 per jaar (fl 130000 + fl 56000).

Tabel B.6 *Schatting afschrijvingen*

Post	Berekening	Termijn	Nieuw	Afschrijving
Materieel voor mijnonderhoud	[4]			472000
Kantoorgebouw	KG als in [7]	30	20.000.000	666667
+ onderhoud KG	0,4% nieuw	-		80000
Kantoorinventaris	10000/ persoon	4	120000	30000
Automatiseringsapparatuur	50000/ persoon	3,3	60000	18182
+ onderhoud	3% van nieuw	-		8400
Stralingscontrole apparatuur	als in [7]	30	6269250	208975
Dienstauto's	2 auto's	4		25000
<i>Totaal</i>				1509224

Tabel B.7 *Schatting kantoorkosten*

Post	Berekening	Schatting (fl.)
Telecommunicatie	500 A\$/persoon	8100
Computer support	2000 A\$/persoon	2700
Post	1000 A\$	1350
Kleine kantoorbenodigdheden	e.s.	10000
Lidmaatschappen	5000 A\$	6750
Donaties	2000 A\$	2700
Drinkwater	e.s.	1000
Bankiersdiensten	5000 A\$	6750
Koeriersdiensten	e.s.	1000
Vergunningen	10000	13500
Subtotaal		53850
Onderhoud faciliteiten	3% van aanschaf	2150
<i>Totaal</i>		56000

B.6 Monitoring en inspectie

In [4] worden deze kosten niet beschouwd. De kosten voor omgevingsmetingen worden in [7] geschat op fl 86708. Voor het mijnconcept zullen er naast omgevingsmetingen ook ondergrondse inspecties en metingen gedaan moeten worden. Daarom wordt de aannahme gedaan dat de kosten minimaal driemaal zo groot zijn, waarmee de kosten van 'monitoring en inspectie' op minimaal fl 260124 per jaar komen. De werkelijke kosten van de monitoring zijn afhankelijk van het te kiezen ontwerp en de wensen ten aanzien van de specificaties van de omgevingsmonitoring.