Analyse, inform and activate

LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie

De Laka-bibliotheek

Dit is een pdf van één van de publicaties in de bibliotheek van Stichting Laka, het in Amsterdam gevestigde documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie.

Laka heeft een bibliotheek met ongeveer 8000 boeken (waarvan een gedeelte dus ook als pdf), duizenden kranten- en tijdschriften-artikelen, honderden tijdschriftentitels, posters, video's en ander beeldmateriaal. Laka digitaliseert (oude) tijdschriften en boeken uit de internationale antikernenergie-beweging.

De catalogus van de Laka-bibliotheek staat op onze site. De collectie bevat een grote verzameling gedigitaliseerde tijdschriften uit de Nederlandse antikernenergie-beweging en een verzameling video's.

Laka speelt met oa. haar informatie-voorziening een belangrijke rol in de Nederlandse anti-kernenergiebeweging.

The Laka-library

This is a PDF from one of the publications from the library of the Laka Foundation; the Amsterdam-based documentation and research centre on nuclear energy.

The Laka library consists of about 8,000 books (of which a part is available as PDF), thousands of newspaper clippings, hundreds of magazines, posters, video's and other material.
Laka digitizes books and magazines from the international movement against nuclear power.

The catalogue of the Laka-library can be found at our website. The collection also contains a large number of digitized magazines from the Dutch anti-nuclear power movement and a video-section.

Laka plays with, amongst others things, its information services, an important role in the Dutch anti-nuclear movement.

Appreciate our work? Feel free to make a small donation. Thank you.

www.laka.org | info@laka.org | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294

NRG
AN ECN KEMA COMPANY

Nader onderzoek naar de verwerking van gebruikte splijtstof uit Nederlandse kerncentrales

R.J.M. Konings & D.H. Dodd

Met bijdragen van:

P.M.G. Damen, J.F.A. van Hienen, H.P. Hofs,

R. Jansma, J.C. Kuijper & H.M. van Rij

Petten

24 maart 1999

21483/99.24187/P

Collection Laka foundation
www.laka.org
Digitized 2018

Company profile

NRG offers a wide range of high quality services to energy utilities, government organisations and various branches of industry - including the nuclear, financial services and medical sectors. NRG operates independently of all equipment suppliers: this independence combined with our expertise and experience in research and development, engineering and consultancy, and plant and system operation support makes NRG a reliable partner.

NRG recognises the uniqueness of every product and process: in close co-operation with our clients we develop practical custom-made solutions.

NRG Petten
Westerduinweg 3
P.O. Box 25
1755 ZG Petten
The Netherlands

phone
+31 224 56 49 50

fax
+31 224 56 39 12

e-mail
info@nrg-nl.com

NRG Arnhem
Utrechtseweg 310
P.O. Box 9035
6800 ET Arnhem
The Netherlands

phone
+31 26 356 60 09

fax
+31 26 351 80 92

internet
www.nrg-nl.com

Nader onderzoek naar de verwerking van gebruikte splijtstof uit Nederlandse kerncentrales

Petten, 24 maart 1999

21483/99.24187/P

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken

auteurs :	R.J.M. Konings D.H. Dodd	beoordeeld:	A.M. Versteegh
21483/99.24187/P RE/DD/AK		goedgekeurd :	H.U. Stahl

© NRG 1999

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

Voorwoord

Dit is het eindrapport van het project 'Vervolgstudie Opwerking Nederlandse Splijtstof'. Het project werd uitgevoerd door NRG in opdracht van de Ministerie van Economische Zaken (opdrachtnummer E/EE/KK/98041810), onder de projectnummers 71483 (1998) en 21483 (1999).

Dit eindrapport behelst een samenvatting van de volgende bijlagen:

Bijlage 1	H.P. Hofs: *Nuclear industries and clusters of childhood leukaemia*
Bijlage 2	P.M.G. Damen & J.C. Kuijper: *Use of MOX from the Dutch plutonium in nuclear power plants*
Bijlage 3	J.F.A. van Hienen & H.M. van Rij: *Financiële aspecten van het conditioneren van gebruikte splijtstof*
Bijlage 4	R. Jansma: *Opslag capaciteit splijtstofbassins van KCB en KCD*
Bijlage 5	R. Jansma: *Transport of spent fuel*
Bijlage 6	D.H. Dodd: *The status of radioactive waste disposal in Europe*

Deze bijlagen zijn uitgebracht als NRG rapport 21483/99.24188/P.

Inhoud

Samenvatting & Conclusies 5

1. Inleiding 9

2. Opwerking Nederlandse Splijtstof: Resultaten/Conclusies van de ECN-Studie uit 1997 11
   2.1 Algemeen 11
   2.2 Milieu-aspecten 11
   2.3 Proliferatie-risico's 13
   2.4 Kosten 13
   2.5 Conclusie 14

3. Stralingsbelasting in de omgeving van opwerkingsfabrieken 15
   3.1 Achtergrond 15
   3.2 Het gebruik van collectieve dosis 15
   3.3 Opwerking en leukemie 16

4. Hergebruik van plutonium 21
   4.1 Achtergrond 21
   4.2 Wat is MOX? 22
   4.3 Het Nederlandse plutonium 22
   4.4 Hergebruik in het buitenland 23
   4.5 Hergebruik in Borssele 25
   4.6 Hergebruik van Nederlandse plutonium: mogelijk of onmogelijk? 26

5. Opslag en conditioneren van gebruikte splijtstofelementen 27
   5.1 Achtergrond 27
   5.2 Zweden 27
   5.3 Duitsland 28
   5.4 De Nederlandse situatie 29
   5.5 Conclusies 30

6. Opslagcapaciteit splijtstofbassins van de KCB en KCD 31
   6.1 Achtergrond 31
   6.2 Algemene overwegingen 31
   6.3 Technische mogelijkheden 32
   6.4 Gebruik van de opslagbassins: geen reële optie 32

7. Transport van gebruikte splijtstofelementen 33
   7.1 Achtergrond 33
   7.2 Besmetting van transportcontainers en voertuigen 33
   7.3 Oppervlaktebesmetting: geen gevaar voor de volksgezondheid 34

Collection Laka foundation
www.laka.org
Digitized 2018

8. Verwerking van kernsplijtingsafval in Europa: stand van zaken 35
8.1 Achtergrond 35
8.2 Situatie in enkele West-Europese landen 35
8.3 Conclusies 38

9. Literatuur 39

10. Verklaring van begrippen en afkortingen 43

Samenvatting & Conclusies

De opwerking van de gebruikte splijtstof uit de Nederlandse kerncentrales in Borssele (KCB) en Dodewaard (KCD) is in 1997 het onderwerp geweest van een uitgebreide discussie in de Tweede Kamer. Aanleiding vormde de vraag van kamerlid Blaauw naar een notitie van de regering waarin "het hele traject, zowel het opwerken dan wel opslaan van radioactief afval en het zonodig transporteren van radioactief afval" moet worden bezien, inclusief de financieel-economische aspecten. In een vlak daarvoor gepubliceerde studie van de Technische Universiteit in Eindhoven, uitgevoerd in opdracht van Greenpeace Nederland, werd namelijk geconcludeerd dat de problematiek van civiele plutoniumoverschotten alleen de wereld uit kan worden geholpen door radicaal te stoppen met opwerking.

De vraag van de heer Blaauw, die werd gesteund door een meerderheid van de Tweede Kamer, resulteerde in een opdracht van het Ministerie van Economische Zaken aan het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) om een rapport te maken over de consequenties van het openbreken van de bestaande opwerkingscontracten en waarin de milieu-aspecten, de proliferatierisico's en de kosten van de huidige wijze van verwerking van gebruikte splijtstof (opwerking) en het alternatief (directe opslag) worden geanalyseerd. ECN heeft geconcludeerd dat met betrekking tot milieueffecten en proliferatierisico's de beide alternatieven voor- en nadelen hebben die tegen elkaar opwegen zodat er geen voorkeur kan worden uitgesproken. Met betrekking tot de kosten daarentegen bestaat een duidelijke voorkeur voor het continueren van de opwerkingscontracten aangezien in de huidige Nederlandse situatie opwerking van de splijtstof financieel aanzienlijk aantrekkelijker is en bovendien meer zekerheid biedt ten aanzien van de kosten.

De notitie van minister Wijers die in juni 1997 samen met het ECN-rapport naar de Tweede Kamer is gestuurd, onderschreef deze conclusies en stelde dat er "geen zwaarwegende en dringende redenen aanwezig zijn om het huidige beleid van de E-sector, dat uitgaat van opwerking, te doen wijzigen". Tijdens de bespreking van deze notitie in het algemeen overleg tussen de vaste commissie voor Economische Zaken en de minister (22 januari 1998) alsmede tijdens de discussie in de Tweede Kamer werd echter de wens uitgesproken nadere informatie te ontvangen over enkele aspecten die voor de afweging tussen opwerking en directe opslag van belang zijn, zoals vastgelegd in de motie Feenstra, Blaauw en Jorritsma-van Oosten. Het betreft vier onderwerpen die in het ECN-rapport weliswaar werden behandeld maar waar nadere beschouwingen noodzakelijk worden geacht om de consequenties met betrekking tot een mogelijke beleidswijziging nauwkeurig in beeld te brengen.

Naar aanleiding hiervan heeft het Ministerie van Economische Zaken opnieuw ECN ingeschakeld om een viertal vragen te beantwoorden. Het betreft specifieke vragen die tijdens de discussies in de Tweede Kamer naar voren zijn gebracht. De opdracht is door de uit ECN en KEMA N.V. voortgekomen NRG (Nuclear Research and consultancy Group) uitgevoerd. De vier vragen en de door NRG geformuleerde antwoorden hierop zijn:

1. *Hoe staat het met de stralingsbelasting in de - directe - omgeving van opwerkingsfabrieken in het buitenland, met name in de omgeving van La Hague (waarnaar reeds dergelijk onderzoek in gang is gezet)?*
   In dorpen in de omgeving van de opwerkingsfabrieken in Sellafield en Dounreay komt een verhoging van het aantal gevallen van leukemie bij kinderen voor. Een aantal studies wijzen ook op een verhoging van het vóórkomen van leukemie in de omgeving van La Hague. Een epidemiologische studie die onlangs in opdracht van de Franse overheid is uitgevoerd heeft echter geen bewijs opgeleverd voor een significante toename van het vóórkomen van leukemie in deze omgeving. Wetenschappelijk onderzoek heeft geen bewijs kunnen vinden voor een verband tussen de blootstelling aan ioniserende straling - veroorzaakt door lozingen van nucleaire installaties of door blootstelling van de vader vóór de conceptie - en het verhoogde vóórkomen van leukemie. Wel is uit statistisch onderzoek gebleken dat in groeisteden en "nieuwe steden" concentraties van leukemie vóórkomen in gebieden waar bovengemiddelde welvaart is en/of waar de bevolkingsdichtheid hoog is ("population mixing"). Het is momenteel in de medische wereld geaccepteerd dat verhogingen van het vóórkomen van leukemie het resultaat zijn van een complexe set van factoren in combinatie met toeval en dat een monocausaal verband tussen leukemie en opwerking niet bestaat.

2. *Hoe staat het met de inzet van Nederlandse MOX in - buitenlandse - kernenergiecentrales? Is een dergelijke inzet ook in de kernenergiecentrale Borssele mogelijk? Is er al opgewerkt splijtbaar plutonium afkomstig uit Borssele verkocht?*
   Voor het hergebruik van Nederlands plutonium in het buitenland bestaan geen technische belemmeringen. In het verleden is een deel van het plutonium afkomstig uit Borssele ten behoeve van elektriciteitsopwekking verkocht. De mogelijkheid van verkoop van het resterende Nederlands plutonium zal worden bepaald door economische overwegingen. Tot 2015 zal er voor de fabricage van MOX-splijtstof geen tekort ontstaan aan plutonium. Gedurende deze periode zal het plutonium zeer waarschijnlijk een negatieve handelswaarde hebben. Hergebruik van Nederlands plutonium in Borssele is technisch eveneens mogelijk. In ongeveer 11 jaar (bij een belading van 40% MOX) kan het geproduceerde plutonium dan worden ingezet. Hiervoor dient de centrale dan wel langer in bedrijf te blijven dàn tot eind 2003 zoals nu is voorzien. Technisch vormt dit geen probleem: wanneer omstreeks 2002 met het gebruik van MOX zou worden begonnen, kan al het plutonium vóór 2014, de oorspronkelijk geplande levensduur van de centrale, zijn verwerkt.

3. *Welke zijn de - financiële - onzekerheden rondom conditionering van opgebrande splijtstofstaven? Zijn hier mogelijkheden aanwezig voor internationale samenwerking?*
   Ontwerpen voor installaties voor het conditioneren van opgebrande splijtstofelementen zijn beschikbaar in Zweden en in Duitsland. De capaciteit van deze installaties is echter veel te groot voor Nederland, waarvoor een installatie met een veel kleinere capaciteit zou volstaan. De kosten van een kleinere installatie zijn op basis van de Zweedse en Duitse gegevens geschat op 470 à 630 miljoen gulden, inclusief de kosten voor bedrijf, ontmanteling, en de

containers voor eindberging. De kosten van het conditioneren van de splijtstof uit KCB en KCD in een buitenlandse installatie worden geschat op 100 tot 190 miljoen gulden, gebaseerd op de genormeerde kosten voor Zweden en Duitsland. Ook dit bedrag is inclusief de kosten van de containers voor eindberging maar exclusief transportkosten. In deze raming is geen rekening gehouden met mogelijke winsttoeslagen of R&D kosten die buitenlandse conditionerings-faciliteiten in rekening zouden kunnen brengen. De haalbaarheid van deze tweede optie (conditionering in het buitenland) kan echter moeilijk worden ingeschat aangezien alleen in Duitsland de vereiste technologie momenteel wordt getest. Gezien het heftige publieke verzet in Duitsland tegen bepaalde nucleaire transporten en de opvatting van de nieuwe Duitse regering ten aanzien van kernenergie, is hier momenteel geen betrouwbare uitspraak over te doen.

4. *Zijn er mogelijkheden in de bassins van de kernenergiecentrales Borssele en Dodewaard, om te komen tot opslag van opgebrande splijtstofstaven?*
   Er kleven aan de opslag van de gebruikte splijtstofelementen in de opslagbassins van KCD en KCB bezwaren. De opslagbassins van KCD en KCB blijken niet groot genoeg te zijn voor de opslag van alle nog niet opgewerkte splijtstofelementen. In KCB kan deze beperking echter tot op zekere hoogte worden opgevangen door additionele compactrekken in het opslagbassin te plaatsen. Voor KCD is dit niet mogelijk. Hier zou een nieuw opslagbassin moeten worden gerealiseerd. Voor KCD is echter het traject dat moet leiden tot declassificatie en ontmanteling al ingeslagen door middel van een wijziging van de vergunning. Gebruik van de locatie voor de tussenopslag van gebruikte splijtstof elementen geeft de verplichting tot het in stand houden van omvangrijke technische, procedurele en personele voorzieningen en zou pas mogelijk zijn na het doorlopen van de relevante vergunningsprocedures. Deze bezwaren zullen te zijner tijd ook voor KCB gelden. Gezien deze problemen lijkt de opslag van gebruikte splijtstof-elementen in KCD en KCB geen redelijk alternatief voor eventuele opslag in een aangepaste HABOG of nieuw te ontwerpen centrale opslag faciliteit.

Tijdens het formuleren van de opdracht zijn in overleg met het Ministerie van Economische Zaken hier nog aan toegevoegd het verzoek om informatie over het transport van opgebrande splijtstofstaven naar aanleiding van de discussie in de Tweede Kamer over incidenten met transporten van kernmateriaal tijdens de zomer van 1998, en het verzoek om de stand van zaken ten aanzien van de eindverwerking van kernsplijtingsafval in Europa samen te vatten, naar aanleiding van de uitspraak van de heer Feenstra dat het vraagstuk van de eindverwerking van radioactief afval geen exclusief Nederlands vraagstuk is.

5. *Hoe staat het met het transport van gebruikte splijtstof tussen de kernenergiecentrales en de opwerkingsfabrieken?*
   De oppervlaktebesmetting van transportcontainers en -voertuigen, zoals in Nederland en in het buitenland heeft plaatsgevonden, heeft geen gevaar voor de volksgezondheid opgeleverd. Verbeterde procedures en extra bescherming moeten in de toekomst herhalingen voorkomen. Ook bestaat nu de verplichting overschrijdingen te melden aan de overheid.

6. *Wat is de situatie in de ons omringende landen met betrekking tot de eindverwerking van hoogradioactief afval?*
   Het beleid met betrekking tot verwerking van gebruikte splijtstof in diverse West-Europese landen blijkt per land duidelijk te verschillen en is bovendien nog aan wijzigingen onderhevig. Er worden nationale oplossingen gezocht afhankelijk van de wijze van verwerking (opwerking of directe opslag, in Frankrijk ook in combinatie met transmutatie) en de beschikbaarheid van geschikte locaties voor eindberging. Wel is duidelijk dat in alle beschouwde landen eindberging in de diepe ondergrond als beste oplossing wordt gezien voor de lange termijn. Terughaalbaarheid is in de meeste landen, in tegenstelling tot Nederland, nog geen beleid, maar krijgt wel steeds meer aandacht.

De antwoorden op deze vragen moeten worden opgevat als een verdere onderbouwing van de conclusie van de ECN studie uit 1997 dat voor de Nederlandse situatie voortzetting van opwerking de voorkeur heeft boven directe opslag.

Deze overkoepelende rapportage behelst een samenvatting van de volgende bijlagen:

Bijlage 1	H.P. Hofs: *Nuclear industries and clusters of childhood leukaemia*
Bijlage 2	P.M.G. Damen & J.C. Kuijper: *Use of MOX from the Dutch plutonium in nuclear power plants*
Bijlage 3	J.F.A. van Hienen & H.M. van Rij: *Financiële aspecten van het conditioneren van gebruikte splijtstof*
Bijlage 4	R. Jansma: *Opslag capaciteit splijtstofbassins van KCB en KCD*
Bijlage 5	R. Jansma: *Transport of spent fuel*
Bijlage 6	D.H. Dodd: *The status of radioactive waste disposal in Europe*

1. Inleiding

De opwerking van de gebruikte splijtstof uit de Nederlandse kerncentrales in Borssele (KCB) en Dodewaard (KCD) is in 1997 het onderwerp geweest van een uitgebreide discussie in de Tweede Kamer. Aanleiding vormde de vraag van kamerlid Blaauw naar een notitie van de regering waarin "het hele traject, zowel het opwerken dan wel opslaan van radioactief afval als het zonodig transporteren van radioactief afval" moet worden bezien, inclusief de financieel-economische aspecten. In een vlak daarvoor gepubliceerde studie van de Technische Universiteit in Eindhoven [1.1], uitgevoerd in opdracht van Greenpeace Nederland, werd namelijk geconcludeerd dat de problematiek van civiele plutoniumoverschotten alleen de wereld uit kan worden geholpen door radicaal te stoppen met opwerking.

De vraag van de heer Blaauw, die werd gesteund door een meerderheid van de Tweede Kamer, resulteerde in een opdracht van het Ministerie van Economische Zaken aan het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) om een rapport te maken over de consequenties van het openbreken van de bestaande opwerkingscontracten. In dit rapport [1.2] heeft ECN de milieu-aspecten, de proliferatierisico's en de kosten van de huidige wijze van verwerking van gebruikte splijtstof (opwerking) en het alternatief (directe opslag) geanalyseerd. Geconcludeerd werd dat met betrekking tot milieueffecten en proliferatierisico's de beide alternatieven voor- en nadelen hebben die tegen elkaar opwegen zodat er geen voorkeur kan worden uitgesproken. Met betrekking tot de kosten daarentegen bestaat een duidelijke voorkeur voor het continueren van de opwerkingscontracten aangezien in de huidige Nederlandse situatie opwerking van de splijtstof financieel aanzienlijk aantrekkelijker is en bovendien meer zekerheid biedt ten aanzien van de kosten. Hoofdstuk 2 geeft een uitgebreide samenvatting van deze studie.

De notitie van minister Wijers die in juni 1997 samen met het ECN-rapport naar de Tweede Kamer is gestuurd [1.3], onderschreef deze conclusies en stelde dat er "geen zwaarwegende en dringende redenen aanwezig zijn om het huidige beleid van de E-sector, dat uitgaat van van opwerking, te doen wijzigen". Tijdens de bespreking van deze notitie in het algemeen overleg tussen de vaste commissie voor Economische Zaken en de minister (22 januari 98) alsmede tijdens de discussie in de Tweede Kamer werd echter de wens uitgesproken nadere informatie te ontvangen over enkele aspecten die voor de afweging tussen opwerking en directe opslag van belang zijn, zoals vastgelegd in de motie Feenstra, Blaauw en Jorritsma-van Oosten. Het betreft onderwerpen die in het ECN-rapport weliswaar worden behandeld maar waar nadere beschouwingen noodzakelijk worden geacht om de consequenties met betrekking tot een mogelijke beleidswijziging nauwkeurig in beeld te brengen. Naar aanleiding hiervan heeft het Ministerie van Economische Zaken opnieuw ECN ingeschakeld om de volgende vragen te beantwoorden:

1. Hoe staat het met de stralingsbelasting in de - directe - omgeving van opwerkingsfabrieken in het buitenland, met name in de omgeving van La Hague (waarnaar reeds dergelijk onderzoek in gang is gezet)?

2. Hoe staat het met de inzet van Nederlandse MOX in - buitenlandse - kerncentrales? Is een dergelijke inzet ook in de kerncentrale Borssele mogelijk? Is er al opgewerkt splijtbaar plutonium afkomstig uit Borssele verkocht?

3. Welke zijn de - financiële - onzekerheden rondom conditionering van opgebrande splijtstofstaven? Zijn hier mogelijkheden aanwezig voor internationale samenwerking?

4. Zijn er mogelijkheden in de bassins van de kerncentrales Borssele en Dodewaard, om te komen tot opslag van opgebrande splijtstofstaven?

Hier is nog in overleg met het Ministerie van Economische Zaken aan toegevoegd het verzoek om informatie over het transport van opgebrande splijtstofstaven naar aanleiding van de discussie in de Tweede Kamer over incidenten met transporten van kernmateriaal tijdens de zomer van 1998 [1.4], en het verzoek om de stand van zaken ten aanzien van de eindverwerking van kernsplijtingsafval in Europa samen te vatten, naar aanleiding van de uitspraak van de heer Feenstra dat het vraagstuk van de eindverwerking van radioactief afval geen exclusief Nederlands vraagstuk is [1.5].

In dit rapport worden de resultaten en conclusies gepresenteerd van deze opdracht, die door de uit ECN en KEMA N.V. voortgekomen NRG (Nuclear Research and consultancy Group) is uitgevoerd.

2. Opwerking Nederlandse Splijtstof: Resultaten/Conclusies van de ECN-Studie uit 1997

2.1 Algemeen

In de studie "Opwerking van Nederlandse Splijtstof" die ECN in 1997 heeft uitgevoerd [1.2] zijn twee schema's voor de verwerking en opslag van splijtstof beschouwd:

1. De huidige aanpak van de E-sector: opwerking van splijtstof om het nog bruikbare uranium en plutonium af te scheiden, en opslag van de niet-bruikbare componenten in de vorm van verglaasd kernsplijtingsafval.
2. De alternatieve aanpak: directe opslag van gebruikte splijtstofelementen.

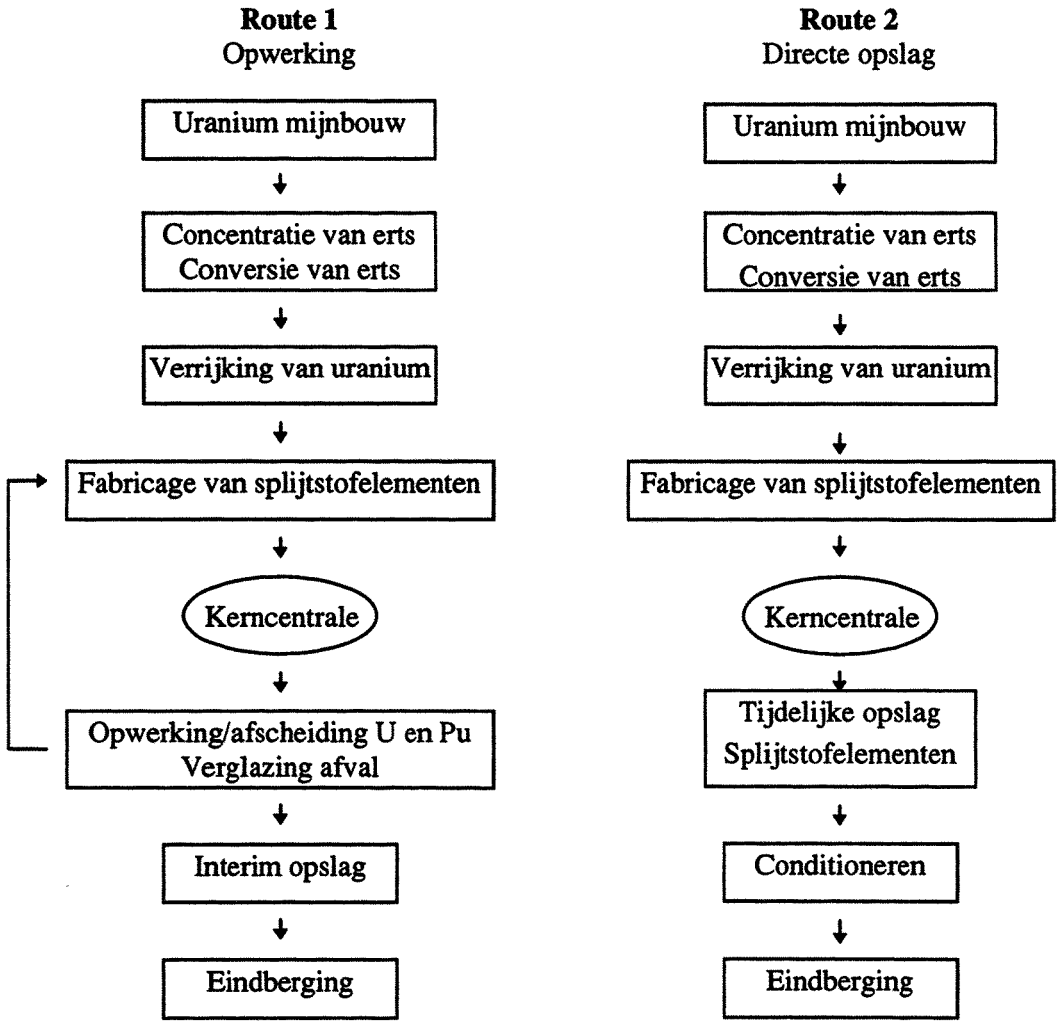
Zoals in Figuur 1 is weergegeven, verschillen de stappen in de twee ketens aanzienlijk voor het traject na de kerncentrale. In route 1 wordt het uit de gebruikte splijtstofelementen afgescheiden uranium en plutonium teruggevoerd in de keten door er opnieuw splijtstofelementen van te maken. De hoogactieve afvalprodukten, de resten van de splijting (splijtingsprodukten) en kleine hoeveelheden actiniden, worden verglaasd. Deze glasblokken worden vervolgens tijdelijk bovengronds opgeslagen en zullen volgens de huidige inzichten uiteindelijk in een ondergrondse eindberging worden gebracht. In route 2 worden de gebruikte splijtstofelementen eerst tijdelijk bovengronds opgeslagen. Vervolgens worden ze gereed gemaakt voor de ondergrondse eindberging door middel van conditionering (het verpakken), mogelijk in combinatie met demonteren en ontgassen.

2.2 Milieu-aspecten

Aangezien alle bestaande en geplande nucleaire installaties aan de vergunningseisen voldoen, is de maximale individuele stralingsdosis die door de handelingen in de installatie wordt veroorzaakt altijd lager dan de relevante dosislimiet. Op basis hiervan kan er geen onderscheid worden gemaakt tussen route 1 en route 2. De analyse is daarom gebaseerd op de collectieve dosis, de som van alle individuele doses die het gevolg zijn van de verschillende fasen in de splijtstofketen. De volgende constateringen zijn gemaakt:

- Conversie, verrijking, splijtstoffabricage, tijdelijke opslag en transport dragen nauwelijks bij aan de collectieve stralingsbelasting.
- De collectieve stralingsbelasting van elektriciteitsopwekking en die van eindopberging zijn niet verwaarloosbaar maar voor beide routes van dezelfde grootte.
- De collectieve stralingsbelasting van uranium mijnbouw is relatief het grootst, maar in het geval van route 1 is minder mijnbouw nodig als gevolg van hergebruik van U en Pu.
- De collectieve stralingsbelasting van opwerking van splijtstofelementen (route 1) zal aanzienlijk hoger zijn dan die van het conditioneren van splijtstofelementen (route 2).

Het verschil tussen route 1 en route 2 is derhalve afhankelijk van de mate van vermindering van de stralingsbelasting van de mijnbouw en van de toename van de stralingsbelasting door het opwerken in route 1. Grosso modo zijn deze effecten van dezelfde orde van grootte, zeker als men in ogenschouw neemt dat de waarden die in de literatuur worden vermeld, indicatief zijn. Bovendien ligt de grootte van de stralingsbelasting voor de totale wereldbevolking tengevolge van de opwekking van kernenergie in Nederland in de orde van 40-80 menssievert per jaar, wat gering is in vergelijking met de collectieve dosis van ca. 5.000 menssievert per jaar voor de Nederlandse bevolking tengevolge van niet-nucleaire technologie.



Figuur 1: *Schematisch overzicht van de splijtstofketens voor route 1 en route 2*

2.3 Proliferatie-risico's

De basis voor het verhinderen van proliferatie van materiaal uit de splijtstofketen wordt gevormd door een systeem van controles en inspecties van nucleaire installaties dat voortvloeit uit internationale verdragen. Deze controles en inspecties dienen uitgevoerd te worden ongeacht welke route men kiest.

Voor de twee routes die zijn geanalyseerd bestaan er duidelijke verschillen. In route 1 worden chemische bewerkingen uitgevoerd waarbij de splijtbare materialen, uranium en plutonium, worden afgescheiden. De aanwezigheid van afgescheiden plutonium brengt risico's met zich mee waartegen momenteel beveiliging bestaat door de diverse internationale verdragen waaraan Nederland en alle andere EU-landen zich middels ratificatie hebben gecommitteerd. Door hergebruik van het plutonium zal, zo er toch al sprake is van enig risico, dit nog sterker verminderen, mede doordat door hergebruik de geschiktheid van het plutonium voor wapens afneemt. In route 2 worden geen chemische bewerkingen met de splijtstofelementen uitgevoerd en blijft het plutonium opgeborgen in de splijtstof. Gedurende de eerste tientallen jaren van de opslag vormt de straling die de gebruikte splijtstofelementen uitzenden, een extra bescherming tegen misbruik. Daarna wordt de zelfbescherming minder en dus het proliferatierisico groter. Ook in dit geval zal dus bewaking en inspectie noodzakelijk zijn. Het grootste risico ontstaat echter verder in de toekomst, in een periode waar nu geen garanties voor kunnen worden verkregen.

Geconcludeerd is derhalve dat de kans op proliferatie van plutonium dat is afgescheiden uit Nederlandse splijtstof zeer klein is, zeker wanneer het wordt verwerkt in nieuwe splijtstofelementen of wordt geïmmobiliseerd. Voor de verre toekomst zijn echter noch voor route 1 noch voor route 2 absolute garanties te geven.

2.4 Kosten

Voor de kosten van de verschillende routes zijn drie scenario's beschouwd:

1. Scenario 1, de huidige situatie waarin de splijtstof wordt opgewerkt en verglaasd afval wordt opgeslagen.
2. Scenario 2a, annulering van het opwerkingscontract (maximale boete) en opslag van gebruikte splijtstofelementen gevolgd door het conditioneren van de elementen in Nederland in daarvoor speciaal ontworpen faciliteiten.
3. Scenario 2b, annulering van het opwerkingscontract (gemiddelde boete) en opslag van gebruikte splijtstofelementen in Nederland gevolgd door het conditioneren van de elementen in het buitenland.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat over de kosten van scenario 1 slechts kleine onzekerheden bestaan. Ze liggen grotendeels vast aangezien ze voortvloeien uit de contracten die door EPZ en GKN zijn afgesloten voor de opwerking, de interim opslag en de eindberging. De grootste post

wordt gevormd door de opwerkingskosten, meer dan 50% van het totaal. De kosten van de scenario's 2a en 2b zijn daarentegen veel minder nauwkeurig te bepalen, vooral omdat met het conditioneren van splijtstofelementen in route 2 weinig ervaring is. De daarvoor benodigde installaties bestaan nog niet en de eisen die aan de produkten ervan worden gesteld zijn nog niet geformuleerd. De grootste kostenposten in scenario 2 zijn de annulering van de contracten voor opwerking, de opslag van gebruikte splijtstofelementen (het bestaande ontwerp van het gebouw voor de opslag van hoogradioatief afval in Nederland, het HABOG, voorziet hier niet in) en het conditioneren.

Voor de kerncentrale Borssele zijn de nominale kosten van scenario 2a 450 miljoen gulden en van scenario 2b 154 miljoen gulden hoger geraamd dan voor scenario 1. Voor de netto contante waarde van deze kosten zijn de verschillen respectievelijk 277 miljoen gulden (2a-1) en 104 miljoen gulden (2b-1). Vergelijkbare berekeningen voor de Kerncentrale Dodewaard geven aan dat in het geval van openbreken van het contract voor opwerking van splijtstof tussen GKN en BNFL de nominale additionele kosten 167-217 miljoen gulden en de netto contante waarde van de additionele kosten 87-100 miljoen gulden hoger zullen zijn. Voor de centrales tezamen ligt de nominale waarde van de kosten 300 - 700 miljoen gulden hogen en de netto contante waarde van de kosten 200 - 400 miljoen gulden hoger dan de kosten van de huidige aanpak.

2.5 Conclusie

ECN heeft geconcludeerd dat met betrekking tot milieueffecten en proliferatierisico's de beide alternatieven voor- en nadelen hebben die - grosso modo - tegen elkaar opwegen zodat er geen voorkeur kan worden uitgesproken. Met betrekking tot de kosten daarentegen bestaat een duidelijke voorkeur voor het continueren van de opwerkingscontracten aangezien in de huidige Nederlandse situatie opwerking van de splijtstof financieel aanzienlijk aantrekkelijker is en bovendien meer zekerheid biedt ten aanzien van de kosten.

3. Stralingsbelasting in de omgeving van opwerkingsfabrieken

3.1 Achtergrond

Zoals in hoofdstuk 2 is vermeld, is op basis van een vergelijking van de collectieve dosis voor een keten met en zonder opwerking door ECN geconcludeerd dat er weinig verschil is in de stralingsbelasting. Echter, tijdens de discussies in de Tweede Kamer is niet alleen de vraag naar voren gebracht of de collectieve dosis wel de juiste maat is, maar is ook de aandacht gevestigd op het mogelijke vóórkomen van een verhoogde kans op leukemie van bevolkingsgroepen die in de nabijheid van de opwerkingsfabrieken in Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk leven. Vandaar dat in het kader van deze studie aandacht aan deze punten is besteed. In dit hoofdstuk zullen dan ook achtereenvolgens het gebruik van de collectieve dosis nader worden toegelicht, de beschikbare wetenschappelijke informatie over het vóórkomen van leukemieclusters in Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk en elders worden samengevat.

3.2 Het gebruik van collectieve dosis

De collectieve dosis is de som van alle individuele effectieve doses in een bevolkingsgroep. Het is een maat voor de totale stralingsbelasting van die groep en kan worden gebruikt voor de schatting van stochastische stralingseffecten *(zie Verklaring van Afkortingen en Begrippen)*. De collectieve dosis kan in de meeste gevallen worden berekend zonder kennis van de individuele doses. De collectieve dosis mag echter niet worden gebruikt wanneer de individuele doses in het gebied liggen waar deterministische stralingseffecten *(zie Verklaring van Afkortingen en Begrippen)* kunnen optreden.

De collectieve dosis is door de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP) geïntroduceerd om de stralingsbescherming te kunnen optimaliseren [3.1]. De criteria die de ICRP hanteert voor stralingsbescherming bij nucleaire activiteiten zijn rechtvaardiging, optimalisatie en dosislimieten.

In de onlangs verschenen publikatie ICRP-77 wordt het gebruik van de individuele en collectieve dosis bij de beperking van de blootstelling van het publiek door opslag van radioactief afval becommentarieerd. Met betrekking tot de individuele dosis stelt de ICRP dat deze "as low as reasonably achievable (ALARA)" moet zijn waarbij economische en sociale factoren moeten worden beschouwd. Daarnaast beveelt de ICRP een individuele dosislimiet van 0,3 mSv per jaar aan voor iedere stralingsbron. Met betrekking tot de collectieve dosis stelt de ICRP dat deze een beperkte maar belangrijke rol speelt: de collectieve dosis is van belang bij de rechtvaardiging van een bepaalde toepassing en bij de optimalisatie van de stralingsbescherming. In dat geval moet de totale collectieve dosis worden gebruikt waarbij ook kleine doses moeten worden meegewogen. Bovendien beveelt de ICRP aan dat aanvullende informatie moet worden verstrekt over de

verdeling van de dosis en spreekt de ICRP twijfels uit over het gebruik van de collectieve dosis over langere tijd.

Geconcludeerd kan worden dat vergelijkingen op basis van collectieve dosis wel een rol behoren te spelen in de stralingsbescherming maar dat dergelijke vergelijkingen met deskundig inzicht moeten worden gebruikt.

3.3 Opwerking en leukemie

Epidemiologisch onderzoek heeft een verhoogd aantal gevallen van leukemie bij personen tussen 0 en 24 jaar aangetoond in dorpen nabij de opwerkingsfabrieken in Sellafield, Dounreay en La Hague. Vele onafhankelijke wetenschappelijke studies zijn de laatste tijd uitgevoerd om te onderzoeken of er een direct verband bestaat met blootstelling aan ioniserende straling als gevolg van nucleaire activiteiten of dat er andere oorzaken zijn. Voor de helderheid zal de beschikbare informatie per locatie (Sellafield, Dounreay, La Hague) worden behandeld.

3.3.1 Sellafield

Sellafield is de plaats in Engeland waar de opwerkingsfabrieken van BNFL zijn gevestigd. Deze plaats is in 1947 door de Britse overheid geselecteerd voor de vestiging van nucleaire faciliteiten voor de produktie van plutonium. In de jaren 50 werden er ook MAGNOX reactoren en een opwerkingsfabriek voor MAGNOX-splijtstof gebouwd. Sinds 1971, toen BNFL het beheer van de locatie heeft overgenomen, zijn er diverse nieuwe faciliteiten gebouwd, onder andere fabrieken voor opwerking van lichtwaterreactorsplijtstof (THORP) en voor fabricage van MOX-splijtstof. In oktober 1957, heeft in een van de reactoren voor militaire plutoniumproduktie (Windscale No. 1) een brand gewoed waardoor radioactieve besmetting van de omgeving heeft plaatsgevonden die nog altijd meetbaar is.

In 1983 werd door Yorkshire Television voor het eerst melding gemaakt van een zogeheten cluster van leukemie bij kinderen die in Seascale, een plaatsje in de nabijheid van de Sellafield, woonden. Naar aanleiding hiervan is een adviescommissie in het leven geroepen die dit uitgebreid heeft onderzocht. Deze commissie, die onder leiding stond van Sir Douglas Black, heeft in 1984 uitgebreid gerapporteerd over de dosis en kansen op kanker in West Cumbria, de regio waar Sellafield ligt (het 'Black rapport') [3.2]. Hierin werd gemeld dat uit een vergelijking van 152 districten in Engeland en Wales bleek dat Millon Rural District, waartoe Sellafield behoort, het op één na hoogste vóórkomen van leukemie bij personen tussen 0 en 24 jaar heeft. De sterfte in die leeftijdscategorie als gevolg van andere ziektes is daarentegen niet afwijkend. De conclusies kunnen als volgt worden samengevat [3.3]:

- Het verhoogde vóórkomen van leukemie bij personen tussen 0 en 24 in Seascale en Millon Rural District is 'ongewoon'. Dit fenomeen is echter niet uniek en komt ook voor in vergelijkbare bevolkingsgroepen die niet in de nabijheid van nucleaire installaties wonen.
- Het dosisequivalent voor het rode beenmerg dat veroorzaakt is door de reguliere lozingen van Sellafield en de brand in Windscale reactor No. 1 is slechts 13% van het dosisequivalent als gevolg van de natuurlijke achtergrondstraling in de deze regio.
- De verhoogde sterfte als gevolg van leukemie kan niet worden verklaard door radioactieve lozingen.
- Het verband tussen het verhoogde vóórkomen van leukemie en de aanwezigheid van de nucleaire installaties in Sellafield kan niet volledig worden weerlegd, maar ook niet worden bewezen.

In een daaropvolgende studie door de National Radiological Protection Board (NRPB) werd berekend dat het gemiddelde risico voor kinderen in Sellafield geboren na 1960 ongeveer 1 per 75.000 is, gebaseerd op de lozingen van Sellafield [3.4]. De waargenomen sterfte door leukemie is ongeveer 1 per 300. Alhoewel er enige onzekerheid bestaat over de exacte omvang van de dosis veroorzaakt door de lozingen van Sellafield, wordt de kans zeer klein geacht dat dit verschil geheel verklaard kan worden door fouten in de berekende dosis of in de gebruikte risicofactor.

Hoe kan deze 'ongewone' verhoging van leukemie in de nabijheid van Sellafield worden verklaard? Voor het antwoord op deze vraag zijn in de loop der tijd diverse hypothesen gepostuleerd. De belangrijkste zullen hier worden besproken.

Gardner [3.5] heeft een relatie gesuggereerd tussen de ioniserende straling waaraan de vader tijdens het werk is blootgesteld ('parental preconceptional irradiation') en het optreden van leukemie bij zijn kinderen (de 'Gardner hypothese'). Deze hypothese wordt echter door epidemiologen en andere wetenschappers als onvoldoende bewezen beschouwd. Bovendien heeft een gedetailleerde studie onder de 9.256 kinderen waarvan de vader aan straling is blootgesteld voor de conceptie, aangetoond dat de Gardner hypothese niet opgaat voor Seascale [3.6]. Alleen in deze plaats treedt namelijk een verhoogd vóórkomen van leukemie onder kinderen op terwijl het grootste deel van de collectieve dosis van de ouders in de pre-conceptuele fase betrekking heeft op kinderen geboren buiten Seascale. Hoewel in daaropvolgende studies wel een verband is gelegd tussen het optreden van leukemie en de waarschijnlijkheid dat de vader een radiologisch werker is, is geen relatie gevonden tussen dosis en effect [3.7].

Kinlen [3.8] heeft gesuggereerd dat het verhoogde vóórkomen van leukemie onder kinderen het resultaat is van een zeldzame reactie op virus infecties die wordt versterkt door de menging van nieuwkomers in een geïsoleerde bevolkingsgroep (de 'Kinlen hypothese'). De bouw van de nucleaire installaties in Sellafield heeft in de jaren 50 geleid tot een grote instroom van mensen in dit oorspronkelijk geïsoleerd deel van Engeland ('population mixing'). De hypothese wordt gesteund door het feit dat in een afgelegen gebied in Schotland waar omstreeks dezelfde tijd een sterke instroom van mensen heeft plaats gevonden, eveneens een significante toename van

leukemie bij mensen tussen 0 en 24 jaar is waargenomen [3.8]. Vervolgonderzoek door Kinlen [3.9] naar het vóórkomen van leukemie bij kinderen die wonen in de nabijheid van grote niet-nucleaire bouwactiviteiten in afgelegen gebieden van Groot Brittannië toonde aan dat de verhogingen van dezelfde orde van grootte zijn als in Sellafield.

In het rapport van de Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE) zijn onlangs de gegevens en informatie over het vóórkomen van leukemie in de nabijheid van Sellafield bijgewerkt [3.10]. Er wordt geconcludeerd dat er geen bewijs is van een verband tussen de blootstelling aan ioniserende straling en het verhoogde vóórkomen van leukemie. 'Population mixing' kan volgens COMARE de verhoging niet volledig verklaren; een andere oorzaak kan niet worden uitgesloten. Deze laatste conclusie is echter bekritiseerd door Kinlen die van mening is dat de aanpak van COMARE het effect van 'population mixing' onderschat.

3.3.2 Dounreay

Dounreay ligt in het noorden van Schotland. Op het terrein van UKAEA is een opwerkingsfabriek gevestigd waar splijtstof uit onderzoeksreactoren (metallische splijtstof) wordt verwerkt, onder andere van de op dat terrein gevestigde Dounreay Materials Testing Reactor (DMTR). Deze opwerkingsfabriek is sinds 1958 in bedrijf. Verder zijn er op het terrein diverse installaties gebouwd voor het Britse onderzoek naar snelle reactoren. Het betreft de Dounreay Fast Reactor (DFR) en de opwerkingsfabriek voor de splijtstof van deze reactor (niet meer in bedrijf sinds 1975). Ook de Prototype Fast Reactor (PFR) is er gebouwd. In 1977 heeft er een explosie plaatsgevonden in één van de installaties voor opslag van middel- en laagradioactief afval, die daarna is gesloten. In mei 1998 zijn alle nucleaire installaties in Dounreay stilgelegd na een incident waarbij een deel van het terrein 16 uur geen electriciteitstoevoer heeft gehad. Een veiligheidsevaluatie uitgevoerd door de Health and Safety Executive (HSE) en Scottish Environment Protection Agency (SEPA) die naar aanleiding van dit incident heeft plaatsgevonden, heeft geen acute veiligheidsproblemen aangetoond maar wel chronische tekortkomingen met betrekking tot de veiligheid [3.11]. De installaties zullen pas weer kunnen worden opgestart wanneer de vereiste veiligheidsmaatregelen zijn geïmplementeerd.

In 1986 is ook voor de omgeving van Dounreay een statistische relevante verhoging van het aantal gevallen van leukemie bij kinderen gerapporteerd [3.12]. Dit is door onderzoek door COMARE bevestigd, maar deze commissie concludeerde tevens op basis van berekeningen dat radioactieve lozingen van Dounreay hier niet de oorzaak van konden zijn. Ook voor Dounreay zijn diverse mogelijke verklaringen onderzocht, inclusief bestraling van de ouders in de preconceptiefase en 'population mixing', met de volgende resultaten:

- Er is geen relatie gevonden tussen het vóórkomen van leukemie en het werken door de ouders bij Dounreay of de stralingsdosis van de ouders ontvangen voor de conceptie.

- Uit onderzoek van kinderen die óf in het gebied zijn geboren óf in hun jeugd zijn komen wonen óf na hun geboorte uit het gebied zijn vertrokken, is gebleken dat de geboorteplaats niet belangrijker is dan de woonplaats [3.13, 3.14].
- Er lijkt een verband te bestaan met het bezoek/gebruik van de stranden in de nabijheid (25 km) van Dounreay maar dit kan ook een gevolg zijn van de gebruikte statistische methode [3.15].
- Onderzoek onder 30.000 werknemers uit de olie-industrie in het noorden van Schotland bevestigt de hypothese dat 'population mixing' onder invloed van deze industrie een rol speelt bij de verhoging van het aantal leukemie gevallen in het gebied rond Dounreay [3.16].
- Er bestaat geen bewijs voor de toename van het risico voor leukemie rond de nucleaire installaties in Schotland, noch voor een trendmatige afname van het risico met de afstand tot de installatie. Een verhoogd risico is alleen waargenomen voor Dounreay [3.17].

3.3.3 La Hague

In La Hague in Frankrijk staan twee opwerkingsfabrieken van COGEMA, UP2 en UP3. Hier wordt sinds 1967 splijtstof opgewerkt. Aanvankelijk betrof het de splijtstof uit Franse gas-gekoelde reactoren maar sinds 1976 wordt ook splijtstof van lichtwaterreactoren uit Europa en Japan verwerkt.

De eerste berichten over het verhoogde vóórkomen van leukemie bij kinderen uit de buurt van La Hague stammen uit de jaren 90. Studies onder leiding van Viel [3.18,3.19] wijzen op een verhoging van het vóórkomen van leukemie ten zuidoosten van La Hague. In een vervolgstudie is een verband gesuggereerd tussen het vóórkomen van leukemie en blootstelling aan straling als gevolg van recreatieve activiteiten op de stranden rond La Hague [3.20,3.21]. De Franse overheid heeft deze mogelijkheid ontkent: zij ziet geen reden voor beperkingen van de toegang tot de stranden of het eten van schaaldieren uit de zee. Een epidemiologische studie die onlangs in opdracht van de Franse overheid is uitgevoerd levert geen bewijs op voor een significante toename van het vóórkomen van leukemie rond La Hague [3.22].

3.3.4 Wat is er nu bewezen?

Uit de bovenstaande beschrijving van de onderzoeken die rondom de opwerkingsfabrieken in Sellafield en Dounreay zijn uitgevoerd is bewezen dat er dorpen zijn in de omgeving van deze fabrieken waar een verhoging van het aantal gevallen van leukemie voorkomt in vergelijking met het landelijk gemiddelde. Een aantal studies wijzen ook op een verhoging van het vóórkomen van leukemie in de omgeving van La Hague. Een epidemiologische studie die onlangs in opdracht van de Franse overheid is uitgevoerd heeft echter geen bewijs opgeleverd voor een significante toename van het vóórkomen van leukemie in deze omgeving. Er zijn daarentegen ook diverse onderzoeken uitgevoerd naar de relatie tussen kanker/leukemie en de nabijheid van nucleaire installaties waar vergelijkbare processen zijn of worden toegepast, die geen verhogingen aantonen, onder andere in Canada [3.23] en de Verenigde Staten [3.24]. Wanneer niet alleen

opwerkingsfabrieken worden beschouwd, maar nucleaire installaties in het algemeen, dan blijkt dat er slechts op één andere plek, nabij de kerncentrale in Krümmel in Duitsland, een verhoging van leukemiegevallen is gerapporteerd [3.25]. Wetenschappelijk onderzoek heeft echter geen bewijs kunnen vinden voor een verband tussen de blootstelling aan ioniserende straling - veroorzaakt door lozingen van nucleaire installaties of door blootstelling van de vader voor de conceptie - en het verhoogde vóórkomen van leukemie.

Bovendien heeft grootschalig onderzoek ook concentraties van leukemie aangetoond in gebieden waar geen nucleaire activiteiten plaatsvinden [3.26]. Relaties met andere industriële activiteiten waarbij lozingen van giftige stoffen (bijvoorbeeld door de chemische industrie) of natuurlijke radioactiviteit (bijvoorbeeld door de produktie van kunstmest of het verbranden van kolen) kunnen optreden zijn gesuggereerd maar niet bewezen. Ook is de relatie met elektromagnetische straling gesuggereerd [3.27]. Wel is uit statistisch onderzoek gebleken dat in Groot Brittannië concentraties van leukemie vóórkomen in gebieden waar bovengemiddelde welvaart is en/of waar de bevolkingsdichtheid hoog is [3.28]. Het vóórkomen van dergelijke concentraties in groeisteden en "nieuwe steden" lijkt de theorie van "population mixing" te ondersteunen.

Het is momenteel in de medische en epimidologische wereld geaccepteerd dat verhogingen van het vóórkomen van leukemie het resultaat zijn van een complexe set van factoren zoals hierboven genoemd, in combinatie met toeval en dat een monocausaal verband tussen leukemie en opwerking niet bestaat.

4. Hergebruik van plutonium

4.1 Achtergrond

Bij het afwegen van de voor- en nadelen van opwerking in vergelijking met directe opslag speelt het hergebruik van het afgescheiden plutonium (en in mindere mate het afgescheiden uranium) een belangrijke rol. Want indien er geen hergebruik plaatsvindt zijn niet alleen de uitgaven voor de opwerking vergeefs geweest maar is het plutonium ook onnodig in een zuivere - voor proliferatie gevoelige - vorm gebracht. Bovendien kan dan met betrekking tot de milieubelasting niet langer worden gesteld dat opwerking leidt tot een verlaging van de benodigde omvang van de mijnbouw van uranium zodat de milieubelasting bij opwerking wordt gecompenseerd.

Hergebruik van plutonium kan gebeuren door middel van inzet als splijtstof in een kerncentrale waar er elektriciteit mee wordt opgewekt. De meest toegepaste wijze van hergebruik is momenteel de inzet van mixed-oxide-splijtstof (MOX) in lichtwaterreactoren (voor nadere uitleg van MOX zie 4.2). Dit gebeurt reeds op relatief grote schaal in Europa. In Frankrijk, Zwitserland, Duitsland en België heeft een groot aantal centrales (37) vergunning voor de inzet van MOX. In 35 centrales wordt MOX daadwerkelijk gebruikt (zie Tabel 4.1). Ook in Japan heeft onlangs de eerste centrale een vergunning ontvangen voor gebruik van MOX-splijtstof. In Nederland is in het verleden MOX-splijtstof in de kerncentrale Dodewaard ingezet in het kader van internationaal onderzoek (Europa en Japan). In Nederland wordt momenteel geen MOX gebruikt.

Tabel 4.1: *Het aantal reactoren in Europa waarvoor een MOX vergunning is verleend (stand van zaken in 1998) [4.1]*

Land	Aantal Reactoren		Gebruik van MOX sinds
	Vergund	Gebruik	
België	2	2	1995
Duitsland	12	11	1968
Frankrijk	20	20	1987
Zwitserland	3	2	1978

Voor het hergebruik van het plutonium uit de Nederlandse kerncentrales zijn er in principe twee mogelijkheden: inzet van MOX in Nederland of in het buitenland. Voor hergebruik in Nederland komt op dit moment alleen de kerncentrale Borssele in aanmerking, waarbij a priori kan worden gesteld dat de centrale dan langer in gebruik moet blijven dan de nu voorziene sluitingsdatum van 30 december 2003. In het kader van deze studie is onderzocht of inzet van MOX in Borssele mogelijk is, hoeveel MOX kan worden ingezet, en hoe lang het duurt om het afgescheiden Nederlandse plutonium te verwerken. Voor hergebruik in het buitenland is de vraag niet zozeer welke reactoren in aanmerking komen dan wel of er politieke, technische of andere belemmeringen bestaan. De uitkomsten van het onderzoek naar deze twee mogelijkheden worden in dit hoofdstuk gepresenteerd, samen met relevante informatie over MOX en het Nederlandse plutonium.

4.2 Wat is MOX?

De 'standaard' splijtstof van lichtwaterreactoren bestaat uit tabletten van uraniumoxide (UO_2) die worden gemaakt door het persen van UO_2-poeder en het sinteren van de zo verkregen tabletten bij hoge temperatuur. De fractie van het splijtbare uraniumisotoop ^{235}U in 'standaard' splijtstof is verrijkt tot 3-5%, in vergelijking tot 0.7% in natuurlijk uranium. Het overige uranium wordt gevormd door het isotoop ^{238}U dat niet splijtbaar is.

MOX-splijtstof wordt gemaakt door plutoniumoxide, gemaakt van afgescheiden plutonium, te mengen met verarmd uraniumoxide, een restprodukt van de verrijking van uranium. Het fabricageproces van MOX is in principe vergelijkbaar met dat van UO_2-splijtstof. Wel moet het gehele proces in handschoenkasten plaatsvinden die verspreiding van plutonium voorkomen. In België, Frankrijk en Groot Brittannië staan fabrieken waar dit op commerciële schaal gebeurt. Omdat het afgescheiden plutonium een mengsel is van verschillende isotopen (^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu en ^{242}Pu) die niet alle splijtbaar zijn, is het plutoniumgehalte in MOX (6-8%) hoger dan het ^{235}U gehalte in 'standaard' splijtstof.

In de praktijk worden de UO_2-splijtstofelementen van een lichtwaterreactor slechts voor een deel door MOX-splijtstofelementen vervangen. Dit heeft te maken met het feit dat de reactor-fysische eigenschappen van de reactorkern enigszins veranderen bij het gebruik van MOX. In het geval van belading met MOX-splijtstofelementen wordt in die elementen plutonium verbruikt (ongeveer twee derde van de aan de splijtstof toegevoegde hoeveelheid) en wordt in de UO_2-splijtstofelementen plutonium gevormd. De netto afname of toename van plutonium in de reactorkern als geheel wordt onder andere bepaald door de fractie MOX elementen in de kern.

Gebruikte MOX-splijtstof kan net als UO_2-splijtstof worden opgewerkt. Dit is aangetoond door Cogéma. In de praktijk worden de gebruikte MOX-splijtstofelementen momenteel echter tijdelijk opgeslagen. Het plutonium is dan in dezelfde vorm aanwezig als in gebruikte UO_2-splijtstof, maar de "kwaliteit" van het plutonium in MOX-splijtstof is wel zodanig verminderd dat de geschiktheid van het plutonium voor kernwapens is afgenomen.

4.3 Het Nederlandse plutonium

Het plutonium dat door de kerncentrales in Nederland is geproduceerd bevindt zich in diverse fasen van de splijtstofketen en zal daardoor in verschillende vormen vóórkomen, als afgescheiden plutonium en in gebruikte splijtstofelementen. Bovendien zal in de centrale Borssele nog tot eind 2003 plutonium worden gevormd. Volgens de contracten van KCB met Cogéma en van KCD met BNFL zal in 2009 alle splijtstof uit Nederland zijn opgewerkt.

In Tabel 4.2 wordt de totale hoeveelheid plutonium gegeven die door de twee Nederlandse kerncentrales geproduceerd zal worden [1.3].

Tabel 4.2: *De totale hoeveelheid plutonium (in kg) geproduceerd door de Nederlandse kerncentrales*

	Hoeveelheid splijtbaar plutonium [kg]	Totale hoeveelheid plutonium [kg]
KCB	2.189	3.158
KCD	301	418
Totaal	2.490	3.576

Een deel van dit plutonium is verkocht, is uitgeleend of is gebruikt voor onderzoeksdoeleinden (zie [1.3]); verwacht wordt dat na opwerking van alle Nederlandse splijtstof circa 2.080 kg splijtbaar plutonium (circa 3.000 kg plutonium in totaal) als MOX ingezet zou kunnen worden.

4.4 Hergebruik in het buitenland

De centrale vragen die ten behoeve van hergebruik van Nederlands plutonium in het buitenland zijn onderzocht, zijn de volgende:

1. Zijn er vergunningstechnische en/of politieke belemmeringen voor de 'verkoop' van plutonium aan buitenlandse bedrijven?
2. Bestaat er vraag, nu of in de toekomst, naar het plutonium?
3. Zijn er economische belemmeringen voor de 'verkoop' van Nederlands plutonium?

De informatie over deze onderwerpen is verkregen uit literatuur en persberichten en door middel van gesprekken met vertegenwoordigers van industrie en overheid in binnen- en buitenland.

Vergunningstechnisch bestaan er geen belemmeringen voor verkoop van het Nederlands plutonium zodat het in een buitenlandse centrale als MOX kan worden ingezet. Ook internationale verdragen staan dit toe. Binnen Europa kan plutonium zonder veel problemen worden verhandeld zolang het uitsluitend voor vreedzaam gebruik is bestemd [4.2, 4.3]. Dit is in het verleden al gebleken uit de verkoop van Nederlands plutonium. België vormt echter, voor zover bekend, een uitzondering op de regel van vrije verhandeling. De vergunning voor het gebruik van MOX in Doel-3 en Tihange-2, die aan Electrabel is verstrekt voor een periode tot 2003, is beperkt tot het plutonium dat door opwerking van Belgische splijtstof wordt verkregen. Voor plutonium van andere oorsprong is een nieuwe vergunning vereist. Aangezien Electrabel momenteel een nieuwe vergunning voorbereidt voor de periode na 2003, zou dit nu aan de orde kunnen worden gesteld.

De beschikbare en benodigde hoeveelheden plutonium voor de periode 1994 tot 2015 in enkele Europese landen en Japan volgens de plannen van de elektriciteitsproducenten zijn in Tabel 4.3

weergeven. Uit deze informatie blijkt dat er de komende jaren een overschot aan plutonium op de markt zal zijn: deze landen hebben in het algemeen voldoende 'eigen' plutonium ter beschikking voor de fabricage van de MOX-splijtstof. Alleen in Duitsland is in de periode tot 2015 de hoeveelheid plutonium die maximaal nodig zou kunnen zijn, iets groter dan de beschikbare hoeveelheid.

Tabel 4.3: *De beschikbare en benodigde hoeveelheden plutonium voor de periode 1995 tot 2015 in enkele Europese landen en Japan volgens de plannen van de elektriciteitsproducenten [4.1,4.4]*

	Pu uit de opwerking [kg]	Pu nodig voor MOX [kg]
België	7.500	7.100
Duitsland	45.700	48.100
Frankrijk	125.400	108.600 [a]
Groot Brittannië	11.000 [c]	9.200
Zwitserland	11.200	10.400
Japan	94.600	82.500 [b]
Totaal	295.400	265.900

[a] exclusief 15.400 kg oorspronkelijk gepland voor snelle reactoren
[b] exclusief 17.600 kg oorspronkelijk gepland voor snelle reactoren
[c] exclusief 29.600 kg verkregen door opwerking van MAGNOX splijtstof

Aangezien er geen tekort aan plutonium ontstaat in de komende jaren zal het mogelijke gebruik van het Nederlands plutonium in het buitenland vooral afhangen van economische overwegingen. Hierbij spelen twee zaken een rol: de mogelijke financiële voordelen van MOX-splijtstof in vergelijking met UO_2-splijtstof en de prijs die de Nederlandse elektriciteitsproducenten moeten betalen bij een eventuele verkoop (negatieve handelswaarde). Overigens dient te worden opgemerkt dat de totale hoeveelheid Nederlands plutonium aanzienlijk kleiner is dan de in Europa en Japan verwachte beschikbare en benodigde hoeveelheden.

In 1994 heeft de OESO/NEA de kosten van UO_2- en MOX-splijtstof op respectievelijk 1.394 US$/kg en 1.172 US$/kg [4.5] geschat, waarbij werd aangenomen dat de kosten voor de fabricage van MOX vier maal die van de fabricage van UO_2 zijn. De fabricagekosten van MOX worden gecompenseerd door besparingen in de aankoop van natuurlijk uranium en van de kosten voor verrijking van uranium. Hierbij moet echter wel worden gemeld dat de prijs van natuurlijk uranium momenteel (eind 1998) aanzienlijk lager is dan destijds werd aangenomen.

De balans tussen de kosten van UO_2- en MOX-splijtstof is voor iedere elektriciteitsproducent anders omdat er in het algemeen langlopende contracten voor de aankoop en verrijking van uranium zijn afgesloten. Daarnaast is de balans ook afhankelijk van de centrale waar de MOX-splijtstof wordt ingezet, waarbij vooral de opbrand van belang is.

Omdat er tot 2015 voor MOX geen tekort aan plutonium zal ontstaan, zal het Nederlandse plutonium, indien het in het buitenland zou worden gebruikt, gedurende deze periode zeer waarschijnlijk een negatieve handelswaarde hebben. In de eerdere ECN-studie is hiervoor een

bedrag van 30.000 gulden per kg plutonium aangenomen. Op basis van dit bedrag (en de schatting van de OESO/NEA voor de kosten van het fabriceren van MOX-splijtstof) kan worden berekend dat het gebruik van MOX-splijtstof voor de gebruiker aantrekkelijk wordt.

4.5 Hergebruik in Borssele

Vrijwel ieder type kerncentrale vereist een specifiek ontwerp van een MOX-splijtstofelement, zo ook Borssele. Zelfs om de in het kader van deze opdracht gestelde vragen op semi-kwantitatieve wijze te beantwoorden is enige kennis over het MOX-splijtstofelement noodzakelijk. Omdat deze specifieke informatie voor Borssele niet bestaat, is gebruik gemaakt van het ontwerp voor de Gösgen reactor in Zwitserland, evenals Borssele een reactor van Siemens waarin een 15×15 splijtstofelement wordt gebruikt. Een dergelijk element voor Borssele bevat 204 splijtstofstaven waarin ongeveer 310 kg uranium plus plutonium zit. Het gehalte aan splijtbaar plutonium is geschaald naar het equivalent splijtbaar uranium in UO_2-splijtstof: ieder element zal dan ongeveer 14,9 kg splijtbaar plutonium bevatten. Dit houdt in dat ongeveer 139 MOX-splijtstofelementen kunnen worden gefabriceerd van het Nederlandse plutonium (zie 4.3).

Uitgaande van deze gegevens zijn berekeningen uitgevoerd voor verschillende percentages van MOX-belading van de kern, waarbij de kern van de reactor in Borssele is benaderd door een vereenvoudigd rekenmodel bestaande uit 9 splijtstofelementen (3×3) in een oneindig tweedimensionaal rooster. De resultaten, binnen de beperkingen van het model verkregen, zijn als volgt samen te vatten. De met de veiligheidskarakteristieken van de reactor samenhangende reactiviteitscoefficienten veranderen geleidelijk met de toename van de fractie aan MOX elementen in de reactorkern van 0% (dit is de referentiesituatie met 100% UO_2 elementen in de kern) via 25%, 33% en 40% tot 50%. Momenteel is 33% algemeen geaccepteerd en implementeerbaar in lichtwater reactoren zonder omvangrijke wijzigingen aan het reactiviteitscontrolesysteem van de reactor. Naar verwachting zullen ook hogere fracties, 33 - 50%, aan MOX elementen in de kern van de Borssele reactor kunnen worden toegepast. Echter, hoe hoger de gewenste fractie aan MOX elementen, des te meer wijzigingen aan het reactorsysteem en -bedrijf nodig zullen zijn om dit mogelijk te maken.

In tabel 4.4 is weergegeven welke netto reductie van de Nederlandse voorraad aan afgescheiden plutonium (3000 kg totaal; 2080 kg splijtbaar) wordt verwacht bij toepassing van een gegeven fractie aan MOX elementen in de kern van de Borssele reactor. Hierbij is rekening gehouden met de productie van plutonium in de UO_2 elementen in de kern. Tevens is de tijd weergegeven, benodigd voor het één maal hergebruiken van de gehele Nederlandse plutonium voorraad.

Tabel 4.4: *Reductie van de Nederlandse voorraad aan afgescheiden plutonium door eenmalige toepassing als MOX in de Borssele reactor*

MOX fractie [%]	Benodigde tijd [jaar]	Reductie totale hoeveelheid plutonium [kg]	Reductie hoeveelheid splijtbaar plutonium [kg]
25	18	-312	137
33	14	114	418
40	11	327	557
50	9	528	688

Bij een MOX fractie van 33% neemt zowel de totale hoeveelheid plutonium als de hoeveelheid splijtbaar plutonium af. Bij hogere MOX fracties is de afname van de hoeveelheid plutonium groter omdat er minder UO_2 elementen in de kern aanwezig zijn. Hoewel het plutoniumverbruik niet zo hoog is moet in ogenschouw worden genomen dat de balans veel gunstiger is dan in het geval van alleen UO_2-splijtstofelementen. Wel worden in alle gevallen meer zogeheten 'minor actinides', isotopen van neptunium, americium en curium, gevormd dan in het geval van UO_2-splijtstof. Daarnaast moet gemeld worden dat, als de gebruikte UO_2 en MOX elementen niet worden opgewerkt, dat (1) het plutonium in de gebruikte splijtstofelementen achterblijft en (2) naast het reeds geproduceerde verglaasde afval, ook de gebruikte splijtstofelementen opgeslagen moeten worden.

4.6 Hergebruik van Nederlandse plutonium: mogelijk of onmogelijk?

Voor het hergebruik van Nederlands plutonium in het buitenland bestaan geen technische belemmeringen. In het verleden is reeds een deel van het Nederlandse plutonium verkocht (zie [1.3]). De mogelijkheid van verkoop van het resterende Nederlandse plutonium zal worden bepaald door economische overwegingen. Tot 2015 zal er voor de fabricage van MOX geen tekort ontstaan aan plutonium. Gedurende deze periode zal het plutonium dus zeer waarschijnlijk een negatieve handelswaarde hebben. In de eerdere ECN-studie is hiervoor een bedrag van 30.000 gulden per kg plutonium aangenomen. Op basis van dit gegeven kan worden berekend dat het gebruik van MOX-splijtstof voor de gebruiker aantrekkelijk wordt.

Uit bovenstaande beschouwingen en berekeningen blijkt dat hergebruik van Nederlands plutonium in Borssele eveneens technisch mogelijk is. In ongeveer 11 (40% MOX) à 14 (33% MOX) jaar zou al het geproduceerde plutonium kunnen worden ingezet. Hiervoor dient de centrale dan wel langer in bedrijf te blijven dan tot eind 2003 zoals nu is voorzien. Technisch vormt dit geen probleem: wanneer omstreeks 2002 met het gebruik van MOX zou worden begonnen, kan dit proces vóór 2014, de oorspronkelijk geplande levensduur van de centrale, zijn afgerond. Hier is echter wel een politiek besluit voor nodig. Overigens kan worden opgemerkt dat in het buitenland steeds meer rekening wordt gehouden met een langere technische levensduur dan oorspronkelijk voorzien.

5. Opslag en conditioneren van gebruikte splijtstofelementen

5.1 Achtergrond

In het geval van directe opslag, het alternatief voor de huidige Nederlandse praktijk van opwerking, zullen de splijtstofelementen na gebruik en tijdelijke opslag in het splijtstofbassin van de centrale worden afgevoerd naar een faciliteit voor tussenopslag. Hierin zullen gedurende een periode van enkele tientallen jaren de splijtstofelementen verder kunnen afkoelen. Hierna zullen ze een behandeling moeten ondergaan (conditioneren) waarbij ze, hetzij als een volledig splijtstofelement hetzij als een bundel splijtstofstaven (pennen), zodanig worden verpakt dat insluiting van de gebruikte splijtstof kan worden gegarandeerd gedurende een zeer lange periode onder omstandigheden zoals die in de definitieve opbergplaats kunnen optreden. Daarna kan de geconditioneerde splijtstof eventueel opnieuw tijdelijk worden opgeslagen voordat het naar de definitieve opbergplaats gaat, waarvoor een (ondergrondse) opbergmijn wordt voorzien.

Uit de vorige studie naar de voor- en nadelen van opwerken en direct opslaan van gebruikte splijtstof die door ECN is uitgevoerd, is gebleken dat deze stappen (tussenopslag en conditioneren) in de splijtstofketen duur zijn voor de Nederlandse situatie omdat in het geval van verandering van beleid slechts een deel van het reeds relatief geringe aantal splijtstofelementen deze behandeling zal moeten ondergaan. De kosten van tussenopslag en conditioneren zullen in dat geval dus zwaar op het totaal drukken. Destijds zijn de kosten van de tussenopslag van gebruikte splijtstof op 200 miljoen gulden geschat. Er werd aangenomen dat òf het ontwerp van het HABOG aangepast zou worden òf dat een nieuwe faciliteit voor de opslag van gebruikte splijtstof zou worden gebouwd. Destijds werd geen onderscheid gemaakt tussen de tussenopslag voor en na de conditionering. De kosten van het conditioneren in Nederland, inclusief de kosten van de benodigde installatie, werden geschat op 500 miljoen gulden. Voor conditioneren in het buitenland werden de kosten op circa 210 miljoen gulden geschat, exclusief de kosten van het transport. Deze schattingen waren gebaseerd op summiere gegevens over dergelijke installaties die in Duitsland en Zweden zijn of worden gebouwd. Gezien de grote invloed van deze bedragen op het totaal van de kosten van de directe opslag, is in het kader van deze opdracht onderzocht of de schatting beter kan worden onderbouwd, mede door de Duitse en Zweedse concepten aan een nadere analyse te onderwerpen.

5.2 Zweden

Zweden beschikt over vier locaties met in totaal 12 kernreactoren. In Zweden werd de gebruikte splijtstof aanvankelijk opgewerkt maar later is gekozen voor directe opslag van de gebruikte splijtstofelementen.

In afwachting van conditionering voor eindopslag worden de gebruikte splijtstofelementen van de Zweedse kerncentrales eerst tijdelijk opgeslagen in het CLAB nabij de kerncentrale in

Oskarshamn [5.1]. Het CLAB is bedoeld voor een tussenopslag van alle splijtstofelementen die zijn gebruikt (of zullen worden gebruikt) in de Zweedse kerncentrales: er wordt uitgegaan van in totaal 6.300 ton gebruikte splijtstof. In het CLAB kunnen de splijtstofelementen gedurende een periode van ongeveer 35 jaar afkoelen. De gebruikte splijtstofelementen bevinden zich in canisters voor "natte opslag" die in waterbassins ondergronds zijn opgeslagen. In Zweden bedragen de totale kosten van de bouw, inclusief de reservering voor decommissioning, van de tussenopslag ongeveer 900 miljoen gulden. De kosten van de bedrijfsvoering van de tussenopslag worden geraamd op ongeveer 1.100 miljoen gulden. De totale kosten van de tussenopslag bedragen ongeveer 0,32 miljoen gulden per ton opgeslagen gebruikte splijtstof.

Volgens de planning zal in 2014 een faciliteit voor conditionering van gebruikte splijtstof in bedrijf worden gesteld. In deze installatie, die naast het CLAB zal worden gebouwd, worden de splijtstofelementen afkomstig uit het CLAB uit hun "natte opslag" canisters gehaald en in voor ondergrondse opslag geschikte canisters geplaatst. Deze canisters zijn van koper, ter bescherming tegen corrosie, en zijn uitgerust met een stalen binnenwerk dat zorgt voor de mechanische sterkte en de splijtstofelementen ondermeer tegen uitwendige druk beschermt. De kosten van de bouw, inclusief de reservering voor de kosten van ontmanteling, van de installatie voor de conditionering worden geraamd op ongeveer 600 miljoen gulden. De kosten van de bedrijfsvoering van de conditionering waarbij in totaal 6.300 ton gebruikte splijtstof als intacte splijtstofelementen in ongeveer 3.100 koperen canisters wordt verpakt, zullen ongeveer 1 miljard gulden bedragen. De totale kosten van de conditionering bedragen ongeveer 0,26 miljoen gulden per ton geconditioneerde (gebruikte) splijtstof. De genoemde bedragen voor de Zweedse situatie zijn gebaseerd op prijspeil januari 1998.

5.3 Duitsland

Tot 1994 was het in Duitsland wettelijk verplicht dat gebruikte splijtstof wordt opgewerkt en dat het afval van deze opwerking in een eindberging komt. Aanpassingen van de Atoomenergiewet in dat jaar hebben echter ook directe opslag van gebruikte splijtstof mogelijk gemaakt. In de praktijk wordt momenteel door de Duitse elektriciteitsproducenten van beide mogelijkheden gebruik gemaakt.

In Duitsland is gekozen voor een "droge opslag" in Castor V containers. Er zijn momenteel twee installaties voor tijdelijke opslag beschikbaar: het 'Transportbehälterlager Gorleben (TBL) en het 'Brennelemente-Zwischenlager Ahaus' (BZA). Volgens de huidige vergunningen kunnen momenteel in Gorleben 3800 tHM en in Ahaus 3960 tHM worden opgeslagen. Op basis van een tussenopslag gedurende 20 jaar bedragen de totale kosten van de tussenopslag ongeveer 0,4 miljoen gulden per ton opgeslagen gebruikte splijtstof (inclusief de kosten van de Castor V19 containers - ongeveer 2,5 miljoen gulden per stuk).

Na afloop van de tussenopslag wordt ook in Duitsland conditionering van de gebruikte splijtstof voorzien [5.2]. Er worden momenteel drie methoden voor de conditionering van gebruikte

splijtstof onderzocht. Bij alle drie de mogelijkheden worden de splijtstofelementen gedemonteerd en de splijtstofstaven na bundeling in bussen in een container/canister verpakt. Volgens de "referentie" methode worden de splijtstofstaven in een voor de eindberging geschikte Pollux-container gedaan. De Pollux-container is geschikt voor de staven van 8 tot 10 splijtstofelementen van een drukwaterreactor of 24 tot 30 splijtstofelementen van een kokendwaterreactor, afhankelijk van de grootte van het element. De splijtstofroosters, die niet hoog- maar middelactief zijn, worden samengeperst en ook in een Pollux-container gedaan.

In 1990 is gestart met de bouw van een proefinstallatie voor het conditioneren van splijtstofelementen, de 'Pilotkonditionieringsanlage' (PKA) in Gorleben. Deze installatie is zo goed als gereed en de vergunning voor de inbedrijfsname wordt halverwege 1999 verwacht. Volgens deze vergunning mag er per jaar 35 ton splijtstof worden verwerkt. Technisch gezien kan de installatie 450 ton per jaar verwerken. De totale bouwkosten van de PKA worden geschat op 660 miljoen gulden. Er zijn verschillende ramingen te vinden voor de operationele kosten van een dergelijke conditionerings-faciliteit: voor onderhavige studie wordt een bedrag van 0,9 miljoen gulden per tHM aangenomen (inclusief de kosten van de POLLUX containers).

5.4 De Nederlandse situatie

Het is nu de vraag hoe de bovenstaande gegevens naar de Nederlandse situatie kunnen worden vertaald. De hoeveelheid eventueel te verwerken splijtstof in Nederland, ongeveer 57 ton van Dodewaard en 156 ton van Borssele [1.3], is namelijk veel kleiner dan in Zweden (ongeveer 6.300 ton) of in Duitsland (ongeveer 10.000 ton). Bovendien is nog niet vastgelegd welke eisen in Nederland moeten worden gesteld aan de tijdelijke opslag en het conditioneren. Bij het schatten van de kosten van tussenopslag en conditionering van de Nederlandse splijtstof zijn de volgende scenario's beschouwd:

<u>Tussenopslag en conditioneren in Nederland</u>
Voor het schatten van de kosten van tijdelijke opslag van splijtstofelementen in Nederland zijn twee opties beschouwd: a) het bouwen van een nieuwe faciliteit; b) het aanpassen van het gebouw voor opslag van hoogradioactief afval, het HABOG, waarvoor onlangs de vergunning aan COVRA is verleend. De kosten hiervan zijn in de ECN-studie [1.2] geschat op 200 miljoen gulden. Dit bedrag is aanzienlijk lager dan de kosten van de faciliteiten in Zweden en Duitsland vanwege de kleine hoeveelheid splijtstof en het verwaarlozen van de kosten voor bedrijf en ontmanteling van een in Nederland te bouwen faciliteit.

In [1.2] is de wijze van opslag (d.w.z. nat of droog) niet verder gespecificeerd. Hoewel het nog niet mogelijk is om de Zweedse gegevens ("natte opslag") te schalen naar de Nederlandse situatie kan dit wel worden gedaan voor de Duitse gegevens ("droge opslag"). Uitgaande van het Duitse concept zouden de kosten van de Castor containers circa 110 miljoen gulden bedragen. De kosten van het ontwerpen, bouwen, bedrijven en ontmantelen van het opslag gebouw moeten hierbij worden opgeteld. De raming van destijds van 200 miljoen gulden lijkt dus redelijk. Uiteraard

zullen de kosten van een eventuele tussenopslag pas volledig kunnen worden uitgewerkt als de relevante eisen van de overheid bekend zijn gemaakt en het ontwerp van de faciliteit is uitgewerkt.

De te verwachten kosten voor de bouw van een faciliteit voor de conditionering van splijtstofelementen in Zweden en Duitsland zijn vrijwel gelijk: 600 en 660 miljoen gulden. De capaciteit van deze installaties is echter veel te groot voor Nederland. Echter de faciliteit in Zweden heeft een capaciteit van een canister per dag. Ook de proefinstallatie in Duitsland heeft beperkte capaciteit. Mogelijk kunnen afmetingen van het opslagbassin en de tijdelijk opslag voor de canisters gereduceerd worden. Hier wordt ervan uitgegaan dat de kosten van de bouw van een conditioneringsfaciliteit in Nederland tweederde zijn dan de bouwkosten van de conditioneringsfaciliteit in Zweden of Duitsland; d.w.z. 400 - 440 miljoen gulden (inclusief kosten voor ontmanteling). Afhankelijk of het Zweedse of Duitse voorbeeld wordt genomen, worden de totale kosten van de bouw en het bedrijf van een conditioneringsfaciliteit in Nederland geraamd op 470 à 630 miljoen gulden.

Tussenopslag in Nederland en conditioneren in het buitenland

Indien de Nederlandse splijtstof naar Zweden zou worden getransporteerd voor conditionering, wordt op basis van de Zweedse gegevens een bedrag van ca. 100 miljoen gulden geschat voor de conditionering van de Nederlandse splijtstof in ca. 200 koperen canisters. Indien de splijtstof in Duitsland zou worden geconditioneerd, zou hiervoor op basis van de Duitse gegevens een bedrag van 190 miljoen gulden nodig zijn. Voor het conditioneren in het buitenland wordt dus een bedrag tussen 100 - 190 miljoen gulden geschat, exclusief transportkosten. In deze raming is geen rekening gehouden met mogelijke winsttoeslagen of R&D kosten die buitenlandse conditioneringsfaciliteiten in rekening kunnen gaan brengen.

Er kan dus worden geconcludeerd dat in het geval van internationale samenwerking op het gebied van het conditioneren van gebruikte splijtstof de kosten waarschijnlijk lager uit zullen vallen. De haalbaarheid van deze optie kan echter moeilijk worden ingeschat aangezien alleen in Duitsland de vereiste technologie momenteel wordt getest. Gezien het heftige publieke verzet in Duitsland tegen bepaalde nucleaire transporten en de opvatting van de nieuwe Duitse regering ten aanzien van kernenergie, is hierover momenteel geen betrouwbare uitspraak over te doen.

5.5 Conclusies

In grote lijnen komen de huidige schattingen overeen met die uit de eerdere studie [1.2]. In ieder geval wordt de conclusie van [1.2] omtrent de hoge kosten van de optie van directe eindberging van de in Nederland gebruikte splijtstof bevestigd. Wel is duidelijk dat er nog onzekerheden zijn in de kostenschatting, die mede wordt veroorzaakt door de beperkte beschikbaarheid van gedetailleerde informatie. Daarnaast kan de haalbaarheid van de optie "conditioneren in het buitenland" moeilijk worden ingeschat.

6. Opslagcapaciteit splijtstofbassins van de KCB en KCD

6.1 Achtergrond

In het geval dat zou worden besloten te stoppen met de opwerking van gebruikte splijtstof uit de Nederlandse centrales zal er niet alleen verglaasd afval (afkomstig van de reeds opgewerkte splijtstofelementen) moeten worden opgeslagen bij de COVRA maar ook gebruikte splijtstofelementen. De faciliteit die door COVRA is gepland voor de tijdelijke opslag van verglaasd afval, het HABOG, is echter niet geschikt voor opslag van gebruikte splijtstofelementen. Zoals in de eerdere studie van ECN reeds is geconstateerd, zal in dat geval een aangepast HABOG moeten worden gebouwd of een speciale faciliteit voor de tijdelijke opslag van gebruikte splijtstofelementen. Dit brengt aanzienlijke kosten met zich mee, ongeveer 200 miljoen gulden volgens de schatting door ECN [1.2].

In de discussies in de Tweede Kamer over dit onderwerp is opslag van de gebruikte splijtstofelementen in de opslagbassins van de kerncentrales in Borssele en Dodewaard als goedkoper alternatief gesuggereerd. Deze mogelijkheid is in het kader van deze opdracht nader onderzocht, waarbij gebruik is gemaakt van informatie die door middel van interviews met EPZ en GKN is verkregen. De resultaten met betrekking tot vergunningsaspecten en de technische mogelijkheden zullen in dit hoofdstuk worden belicht.

6.2 Algemene overwegingen

De huidige kernenergiewetvergunningen van de KCD en KCB bevatten voorschriften die de centrales verplichten de opslag van gebruikte splijtstofelementen zo veel mogelijk te beperken. Tijdelijke opslag voor langere tijd van grote aantallen splijtstofelementen is dan ook in strijd met de vergunningen. Voor de KCD is de situatie zelf nog extra gecompliceerd omdat naar aanleiding van het besluit de centrale te sluiten en te ontmantelen een wijziging van de kernenergie-wetvergunning is aangevraagd en verleend. Deze wijziging schrijft voor dat alle bestraalde splijtstof uiterlijk op 31 december 2001 moet zijn afgevoerd. Ook de bestemmingsplannen sluiten gebruik van de centrales voor alleen opslag van splijtstofelementen uit. Alleen activiteiten die gericht zijn op de produktie en distributie van electriciteit zijn toegestaan.

Wanneer KCD en KCB toch voor de tijdelijke opslag van gebruikte splijtstofelementen zouden worden gebruikt, zullen ze volgens de Kernergiewet ook na de buitenbedrijfstelling als kerncentrale nog altijd als een kerntechnische installatie worden aangemerkt. Als gevolg van de aanwezigheid van splijtstof zal een aantal veiligheidssystemen in stand moeten worden gehouden wat aanzienlijk meer personeel zal vergen.

Een aanvullend probleem vormt het feit dat de beide centrales momenteel geen vergunning hebben om reeds afgevoerde splijtstof terug te halen van de opwerkingsfabrieken. Ook de

technische voorzieningen en procedures hiervoor ontbreken, niet alleen in Nederland maar ook bij opwerkingsfabrieken in La Hague en Sellafield.

6.3 Technische mogelijkheden

Volgens de vergunning is de hoeveelheid splijtstof die zich in de KCD mag bevinden gelijk aan de inventaris op 26 maart 1997, i.e. 168 bestraalde en 44 onbestraalde splijtstofelementen, 76 bestraalde MOX-splijtstofstaven, 380 bestraalde uraniumoxide-splijtstofstaven, en 16,7 kg onbestraald uraniumoxide. De onbestraalde splijtstof is reeds afgevoerd, de rest bevindt zich nog in het splijtstofopslagbassin. In het splijtstofopslagbassin van de KCD is plaats voor 248 splijtstofelementen. Dit is veel minder dan het aantal splijtstofelementen van de KCD dat reeds naar Sellafield is verscheept (794). Om de opslag toch in Dodewaard te kunnen realiseren zou de bouw van een nieuw opslagbassin kunnen worden overwogen. Hiervoor zou een nieuwe vergunning moeten worden aangevraagd.

Er kunnen in het splijtstofopslagbassin van de KCB 312 splijtstofelementen worden opgeslagen. De capaciteit mag worden uitgebreid tot 500 splijtstofelementen wanneer gebruik gemaakt wordt van additionele 'compactrekken'. Dit is ruim voldoende om de 366 splijtstofelementen die tot 2003 vrij zullen komen op te slaan. In principe zou het dan zelfs mogelijk zijn om de 117 splijtstofelementen die nog niet door COGEMA zijn opgewerkt op te slaan. De volledige capaciteit van 500 elementen zal echter nooit volledig benut kunnen worden, omdat in het bassin ruimte moet blijven voor de manipulatie van elementen.

6.4 Gebruik van de opslagbassins: geen reële optie

Zoals in de voorafgaande paragrafen duidelijk is gemaakt kleven aan de opslag van de gebruikte splijtstofelementen in de opslagbassins van KCD en KCB bezwaren. De opslagbassins van KCD en KCB blijken niet groot genoeg te zijn voor de opslag van alle nog niet opgewerkte splijtstofelementen. In KCB kan deze beperking echter tot op zekere hoogte worden opgevangen door additionele compactrekken in het opslagbassin te plaatsen. Voor KCD is dit geen oplossing. Hier zal een nieuw opslagbassin moeten worden gerealiseerd. Voor KCD is echter het traject dat moet leiden tot declassificatie en ontmanteling al ingeslagen door middel van een wijziging van de vergunning. Gebruik van de locatie voor de tussenopslag van gebruikte splijtstof elementen geeft de verplichting tot het in stand houden van omvangrijke technische, procedurele en personele voorzieningen en zou pas mogelijk zijn na het doorlopen van de relevante vergunningsprocedures. Deze bezwaren zullen te zijner tijd ook voor KCB gelden. Gezien deze problemen lijkt de opslag van gebruikte splijtstof-elementen in KCD en KCB geen redelijk alternatief voor eventuele opslag in een aangepaste HABOG of nieuw te ontwerpen centrale opslag faciliteit.

7. Transport van gebruikte splijtstofelementen

7.1 Achtergrond

In de zomer van 1998 is een discussie ontstaan over het transport van gebruikte splijtstof tussen de kerncentrales en de opwerkingsfabrieken naar aanleiding van externe besmettingen van de transportcontainers die in Europa zijn geconstateerd. In Frankrijk, Duitsland en Zwitserland werden hogere waarden van oppervlaktebesmetting gemeten dan de norm. Als gevolg hiervan werd het transport van gebruikte splijtstof in de meeste landen, waaronder Nederland, tijdelijk stilgelegd [7.1]. De oorzaak, de mogelijke gevolgen van de besmettingen en de voorgestelde verbeteringen in de procedures om besmetting te voorkomen zullen in dit hoofdstuk in het kort worden behandeld.

7.2 Besmetting van transportcontainers en voertuigen

De transporten van nucleair materiaal zijn onderworpen aan regels die door de overheid zijn vastgelegd. Het doel van deze regels is de bescherming van radiologische werkers, publiek en het milieu tegen effecten van ioniserende straling. Naast de nationale regels die zijn vastgelegd in de Kernenergiewet en het Besluit vervoer splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen, betreft het internationale regels in het kader van de IAEA en Euratom verdragen [7.2].

Gebruikte splijtstofelementen worden vervoerd in B-containers die aan strenge eisen moeten voldoen. Bij het vervoer van deze containers moet zowel de externe stralingsbelasting die het gevolg is van de inhoud van de container, als de mogelijke radioactieve besmetting op het oppervlak van de container worden vastgelegd. Voor de externe stralingsbelasting geldt een limiet van 2 mSv per uur aan het oppervlak van de container en 0.1 mSv per uur op 1 meter van het oppervlak. Dit kan eenvoudig met een stralingsmeter worden vastgesteld. Voor de oppervlaktebesmetting geldt een norm van 0.4 Bq per vierkante centimeter voor stoffen die alfa-straling uitzenden, en 4 Bq/cm^2 voor stoffen die bèta- en gamma-straling uitzenden. Dit laatste is meestal het geval bij oppervlaktebesmetting. Oppervlaktebesmetting wordt gemeten met behulp van een smeertest waarbij een oppervlak van ongeveer 300 cm^2 wordt schoongewreven. Met behulp van analyse wordt vervolgens het aantal Bq bepaald dat is verwijderd, waarbij meestal wordt aangenomen dat dit slechts 10% van de totale besmetting van het oppervlak is.

De in 1998 onder de aandacht gekomen overschrijding van de norm voor transport in diverse Europese landen betreft in alle gevallen de oppervlaktebesmetting. Deze besmetting is niet afkomstig van de inhoud van de containers, hoewel er vaak foutief over "lekkende containers" is gesproken. Ook in Nederland hebben besmettingen van transportcontainers en -voertuigen plaatsgevonden, zowel voor het transport van lege als beladen containers (zie Tabel 7.1). De besmettingsniveaus varieerden van 4 tot 180 Bq per vierkante centimeter. Deze besmettingen zijn

in de administratie van de kerncentrales opgenomen, maar niet gerapporteerd aan de overheid aangezien dit niet was voorgeschreven.

Tabel 7.1: *Overzicht van geconstateerde besmettingen bij transporten van Nederlandse splijtstof*

Transporten (1988 - 1996)	Aantal Transporten	Gerapporteerde Gevallen	
		Voertuig	*Containers*
Leeg transporten van COGEMA naar KCB	110	2,7%	6,4%
Leeg transporten van BNFL naar KCD	37	0%	8,1%
Beladen transporten van KCB naar COGEMA	110	0%	4,5%
Beladen transporten van KCD naar BNFL	37	0%	0%

Door middel van onderzoek in diverse landen is aangetoond dat de containers besmet raken tijdens het beladen en ontladen in de opslagbassins van de centrales en de opwerkingsfabrieken. In deze bassins bevinden zich namelijk kleine hoeveelheden van radioactieve stoffen die zich aan het oppervlakte kunnen hechten of in de poriën van de container kunnen diffunderen, waardoor ze met een smeerproef niet worden gedetecteerd. Deze stoffen kunnen echter onder invloed van thermische of mechanische processen die tijdens het transport optreden, loslaten of terug naar het oppervlak diffunderen waardoor bij aankomst op de plaats van bestemming hogere waarden worden gemeten dan op de plaats van beladen. Dit proces wordt in de regelgeving onderkend. Indien bij controle tijdens een transport een besmetting wordt geconstateerd die hoger is dan de relevante norm dan wordt de container schoongemaakt waarna het transport mag worden hervat.

De besmettingen van de containers en de binnenkant van de treinstellen die in Europa zijn waargenomen varieerden sterk, met uitschieters zoals de in Zwitserland gemeten waarde van 1440 Bq/cm^2. De radiologische relevantie van een dergelijke waarde is gering: de bijdrage aan de externe stralingsbelasting is verwaarloosbaar, het publiek komt niet in aanraking met de containers en er is geen interne besmetting waargenomen bij het personeel van de spoorwegen [7.3]. Om de kans om dergelijke voorvallen te minimaliseren zijn de procedures voor het beladen en ontladen van containers verder aangescherpt in samenspraak met de nucleaire industrie. Het betreft hier harmonisatie van de methoden om oppervlaktebesmetting te meten, verbetering van de wijze van decontamineren na beladen en ontladen, en verbetering van de informatie over transport en melding van incidenten. Daarnaast zijn er extra beschermende maatregelen voorgesteld om het oppervlak van de containers af te schermen, bijvoorbeeld met plastic.

7.3 Oppervlaktebesmetting: geen gevaar voor de volksgezondheid

Uit de bovenstaande beschrijving is duidelijk geworden dat de gevallen van oppervlaktebesmetting van transportcontainers en -voertuigen, die in Nederland en in het buitenland zijn geconstateerd geen gevaar voor de volksgezondheid hebben opgeleverd. Verbeterde procedures en extra bescherming moeten in de toekomst herhalingen voorkomen. Ook bestaat nu de verplichting overschrijdingen te melden aan de overheid.

8. Verwerking van kernsplijtingsafval in Europa: stand van zaken

8.1 Achtergrond

In dit hoofdstuk wordt de stand van zaken met betrekking tot verwerking van radioactief afval in een aantal West-Europese landen beschreven: het beleid van de overheid en de actuele praktische invulling hiervan.

In Nederland is besloten om al het radioactief afval voor een periode van 50 à 100 jaar bovengronds op te slaan [8.1]. Daarnaast wordt onderzoek verricht naar de berging van radioactief afval in de diepe ondergrond. In dit verband is het beleid van de Nederlandse overheid dat hoog-toxische afval zodanig moet worden opgeborgen dat het in de toekomst kan worden teruggehaald. Bij het inventariseren van het beleid en de invulling hiervan in de andere landen is daarom speciaal aandacht besteed aan terughaalbaarheid.

8.2 Situatie in enkele West-Europese landen

8.2.1 België

In België is de gebruikte splijtstof jarenlang opgewerkt. Aanvankelijk in de Eurochemic fabriek in Mol, later in La Hague in Frankrijk. Synatom N.V., de eigenaar van de Belgische splijtstof, heeft nog een contract met COGEMA dat tot 2015 loopt. Dit contract verschilt van de contracten voor het opwerken van de Nederlandse splijtstof aangezien het Synatom de optie biedt om gebruik te maken van capaciteit voor opwerking, maar dus ook om er van af te zien. In België wordt MOX momenteel in twee centrales gebruikt. De afgelopen jaren is ook in België een discussie ontstaan over de voor- en nadelen van opwerken van splijtstof. In december 1998 heeft de Belgische overheid besloten om af te zien van verdere opwerking van splijtstof van Tihange maar om een contract voor opwerking van splijtstof van Doel door te laten gaan. Er worden momenteel studies uitgevoerd naar opwerking, directe opslag en het gebruik van MOX. Een parlementaire discussie over de resultaten wordt in 1999 verwacht.

Het onderzoeksprogramma in België is gericht op ondergrondse opslag van het hoogactieve radioactieve afval in kleilagen. Een referentie-ontwerp voor een opslagmijn in klei is reeds beschikbaar. Terughaalbaarheid wordt hierbij echter niet beschouwd, hoewel dit niet is uit te sluiten aangezien de Belgische regering terughaalbaarheid in het geval van laag- en middelactief afval wel serieus overweegt. In Mol is een ondergronds laboratorium waar onderzoek wordt uitgevoerd. Uitbreiding van dit laboratorium is momenteel gaande om in de komende 10-15 jaar 'full-scale' testen mogelijk te maken.

8.2.2 Frankrijk

In Frankrijk wordt momenteel de uraniumoxide splijtstof opgewerkt. Het opgewerkte plutonium wordt hergebruikt in MOX-splijtstof in lichtwaterreactoren. Momenteel hebben 20 reactoren in Frankrijk hier een vergunning voor. Gebruikte MOX splijtstof wordt momenteel tijdelijk opgeslagen. De beste wijze van behandelen van het Franse kernsplijtingsafval wordt nog onderzocht. In 1991 is een wet aangenomen die voor een periode van 15 jaar onderzoek op de volgende aspecten voorschrijft [8.2]:

- scheiding en transmutatie van langlevende radionucliden;
- terughaalbare of definitieve opslag in geologische formaties;
- conditioneren en lange termijn opslag op of nabij het aardoppervlak.

In de periode van 15 jaar moeten volgens de planning ondergrondse laboratoria zijn gerealiseerd. Definitieve keuzes met betrekking tot gesteentetype zijn nog niet gemaakt. Wel heeft de Franse regering onlangs besloten tot de bouw van twee ondergrondse laboratoria, een in klei en een in graniet.

Terughaalbaarheid wordt in Frankrijk zeer expliciet overwogen. Het nationale comité dat het onderzoek beoordeeld heeft hierover de volgende aanbevelingen gedaan [8.3]:

- Lange termijn opslag op of nabij het aardoppervlak lijkt de beste oplossing voor gebruikte splijtstof aangezien de potentiële waarde van het materiaal eenvoudige terughaalbaarheid vereist.
- Verglaasd afval kan het best langere tijd (minimaal 50 jaar) bij de opwerkingsfabrieken worden opgeslagen. Daarna kan worden beoordeeld of, bijvoorbeeld, transmutatie een mogelijkheid is.
- Andere soorten radioactief afval kunnen het beste in de diepe ondergrond worden opgeborgen. terughaalbaarheid geldt hierbij alleen voor de periode dat de opslagmijn in bedrijf is.

8.2.3 Duitsland

Tot 1994 bestond in Duitsland de wettelijke verplichting gebruikte splijtstof op te werken. Aanpassingen van de Atoomenergiewet in dat jaar hebben echter ook directe opslag van splijtstofelementen mogelijk gemaakt. In de praktijk wordt momenteel door de Duitse elektriciteits-producenten van beide mogelijkheden gebruik gemaakt. Het opgewerkte plutonium wordt in MOX-splijtstof verwerkt.

De nieuwe Duitse regering van de Sociaal Democraten en de Groenen heeft bij het aantreden besloten om te stoppen met opwerking [8.4]. Alhoewel de regering kort daarna heeft aangekondigd dat vanaf januari 2000 opwerking niet meer mogelijk zou zijn, is de definitieve

beslissing over een dergelijke 'verbod' uitgesteld. Het ziet er nu (medio februari 1999) naar uit dat de lopende contracten met COGEMA en BNFL gehonoreerd zullen worden.

Voor alle vormen van radioactief afval, dus ook verglaasd kernsplijtingsafval en gebruikte splijtstofelementen, wordt geologische opslag in de diepe ondergrond voorzien. Dit werd door de nieuwe regering bevestigd [8.4]. Voor het hoogactieve afval wordt vooral opslag in zoutkoepels onderzocht. Jarenlang is er onderzoek in de Assemijn uitgevoerd en momenteel wordt een ondergronds laboratorium in Gorleben gebouwd. Gorleben wordt daarom ook meestal als referentie genomen hoewel de geschiktheid van deze zoutkoepel nog bevestigd moet worden (een uitspraak wordt in 2005 verwacht). Terughaalbaarheid is in dit ontwerp niet meegenomen, maar Duits onderzoek heeft aangetoond dat afval opgeslagen in zout altijd teruggehaald kan worden.

De nieuwe Duitse regering heeft de intentie om het onderzoek te Gorleben op te schorten en de geschiktheid van andere locaties te onderzoeken [8.4]. Daarna zal er een definitieve locatie-keuze worden gemaakt. De implicaties hiervan voor het Duitse eindbergingsonderzoek programma zijn nog niet duidelijk.

8.2.4 Groot Brittannië

De gebruikte splijtstof van de Britse kerncentrales wordt opgewerkt in Sellafield waar ook het afval tijdelijk wordt opgeslagen. Momenteel is er in Groot Brittannië geen door de overheid gecoördineerd onderzoek gaande naar de opslag van hoogactief afval. Wel is er een voorkeur uitgesproken voor opslag in diepe geologische formaties. Terughaalbaarheid is in Groot Brittannië niet vereist maar krijgt, mede door de ontwikkelingen rond een eventuele faciliteit voor laagactief afval, steeds meer belangstelling.

8.2.5 Zwitserland

Een deel van de gebruikte splijtstof van de Zwitserse kerncentrales wordt opgewerkt; het overige deel wordt tijdelijk opgeslagen bij de centrales. Voor zowel het verglaasd afval als de gebruikte splijtstofelementen wordt een centrale opslagfaciliteit gerealiseerd. Bij het onderzoek naar de eindberging van radioactief afval wordt rekening gehouden met beide typen afval. De bouw van een opslagmijn voor hoogactief afval wordt pas na 2020 verwacht. Deze mijn zal in de diepe ondergrond worden gesitueerd. Momenteel wordt er onderzoek uitgevoerd naar de geschiktheid van verschillende geologische formaties. In de huidige ontwerpen is opslag in galerijen voorzien. Terughaalbaarheid wordt in Zwitserland niet als criterium gehanteerd maar krijgt, mede door de ontwikkelingen rond een eventuele faciliteit voor laagactief afval, steeds meer belangstelling.

8.2.6 Zweden

De splijtstof uit de Zweedse kerncentrales werd oorspronkelijk opgewerkt door BNFL en COGEMA. In de jaren tachtig is echter gekozen voor directe opslag van splijtstofelementen. De resten van de door COGEMA reeds opgewerkte splijtstof (57 ton) zijn omgewisseld met 23 ton gebruikte MOX-splijtstof uit Duitsland zodat er slechts één type 'afval' is dat in Zweden moet worden opgeborgen. Tevens zijn de rechten voor opwerking verkocht aan Duitse bedrijven.

Al het lang-levend afval zal in de diepe ondergrond worden opgeborgen dus ook de gebruikte splijtstof. Onderzoek naar de eindberging is in gang gezet door SKB, de Zweedse organisatie die voor eindberging verantwoordelijk is. Momenteel wordt een 'gefaseerde' ondergrondse berging in graniet op 500 meter diepte voorzien. Het afval dat tijdens de eerste fase wordt geplaatst (5 à 10% van het totaal) moet in ieder geval voor een beperkte periode terughaalbaar zijn.

8.3 Conclusies

Uit de bovenstaande beschrijving van de stand van zaken met betrekking tot verwerking van gebruikte splijtstof in diverse West-Europese landen blijkt dat het beleid duidelijk verschilt (Tabel 8.1) en bovendien nog aan wijzigingen onderhevig is. Er worden nationale oplossingen gezocht afhankelijk van de wijze van verwerking (opwerking of directe opslag, in Frankrijk ook in combinatie met transmutatie) en de beschikbaarheid van geschikte locaties voor eindberging. Wel is duidelijk dat in alle beschouwde landen eindberging in de diepe ondergrond als beste oplossing wordt gezien voor de lange termijn. Terughaalbaarheid is in de meeste landen, in tegenstelling tot Nederland, nog geen beleid, maar krijgt wel steeds meer aandacht.

Tabel 8.1: *Het beleid van enkele Europese landen met betrekking tot verwerking gebruikte splijtstof*

Land	Wijze van verwerking van gebruikte splijtstof	Status opslag	Terughaalbaarheid
België	opwerking en tijdelijk opslag - discussie m.b.t. toekomstige beleid	onderzoek naar eindberging in klei	geen beleid wordt onderzocht
Frankrijk	opwerking van UO_2 tijdelijke opslag MOX	onderzoek naar eindberging in graniet en klei	geen beleid wordt onderzocht
Duitsland	opwerking en directe opslag	onderzoek naar geschiktheid van zoutformaties	geen beleid wordt niet overwogen
Groot Brittannië	opwerking	geen gecoördineerd onderzoek	geen beleid wordt onderzocht
Zwitserland	opwerking en tijdelijk opslag	onderzoek naar eindberging in graniet en klei	geen beleid wordt onderzocht
Zweden	directe opslag	onderzoek naar eindberging in graniet	geen beleid wordt onderzocht

9. Literatuur

[1.1] D. Pantsers, B. van der Sijde, *Opwerking en hergebruik van plutonium.* Technische Universiteit Eindhoven, 1996.

[1.2] D.H. Dodd, R.J.S. Harry, J.L. Kloosterman, R.J.M. Konings, A.M. Vesteegh, *Opwerking van Nederlandse Splijtstof.* Energieonderzoek Centrum Nederland, ECN-C--97-031, 1997.

[1.3] G.J. Wijers, *Opwerking van radioactief materiaal.* Tweede Kamer, Vergaderjaar 1996-1997, 25 422, nr 1.

[1.4] Tweede Kamer, Vergaderjaar 1997-1998, 25 600 XI, nr 63.

[1.5] Tweede Kamer, 59ste vergadering, 11 maart 1998, TK 59, 59-4447.

[3.1] *Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste.* ICRP Publication 77, Permagon Press, UK, 1997.

[3.2] D. Black, *Investigation of the possible increased incidence of cancer in West Cumbria.* Report of the Independent Advisory Group. London (England). HSMO, 1984.

[3.3] M. Dousset, H. Jammet, *Cases of leukemia in the Sellafield area: the "Sir Black" report.* ERV. Gen. Nucl. (1984) 460.

[3.4] J.W. Stather, J. Dionian, J. Brown, T.P. Fell, C.R. Muirhead, *Assessing risks of childhood leukaemia in Seascale. Radiation and health: the biological effects of low-level exposure to ionising radiation.* Conference: International conference on the biological effects of ionising radiation, London, UK, 24 November 1986. Proceedings pp. 65-80. Editor(s): R.R. Jones and R. Southwood, (1987). Chichester, United Kingdom: John Wiley and Sons.

[3.5] M.J. Gardner, A.J. Hall, J.D. Terrell, *Follow up study of children born elsewhere but attending schools in Seascale, West Cumbria.* BMJ 295 (1987) 819.

[3.6] R. Wakeford, D.M. McElvenny, E.J. Tawn, L.E. Scott, K. Binks, L. Parker, H. Dickinson, J. Smith, *The descriptive statistics and health implications of occupational radiation doses received by men at the Sellafield nuclear installation before the conception of their children.* Journal of Radiological Protection 14 (1994) 3.

[3.7] G.J. Draper, M.P. Little, T. Sorhan, et al.. *Cancer in the offspring of radiation workers: a record linkage study.* BMJ 315 (1997) 1181.

[3.8] L.J. Kinlen, *Evidence for an infective cause of childhood leukaemia: comparison of a Scottish new town with nuclear reprocessing sites in Britain.* Lancet 2 (1988) 1323.

[3.9] L.J. Kinlen, M. Dickson, C.A. Stiller, *Childhood leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma near large rural construction sites, with a comparison with Sellafield nuclear site.* British Medical Journal 310 (1995) 763.

[3.10] B.A. Bridges, *Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment (COMARE) 4. report. The incidence of cancer and leukaemia in young people in the vicinity of the Sellafield site, West Cumbria: Further studies and an update of the situation since the publication of the report of the Black Advisory Group in 1984.* 1996. 179 p. Available from British Library Document Supply Centre, Boston Spa, Wetherby, West Yorks. LS23 7BQ.

[3.11] *Safety Audit of Dounreay,* UK Health and Safety Executive, London, 1998.

[3.12] M.A. Heasman, J.D. Urquhart, I.W. Kemp, R.J. Black, *Childhood leukaemia in Northern Scotland [letter].* Lancet 266 and 355, 1986.

[3.13] R.J. Black, J.D. Urquhart, S.W. Kendrick, K.J. Bunch, J. Warner, D. Jones, *A Incidence of leukaemia and other cancers in birth and schools cohorts in the Dounreay area.* BMJ 304 (1992) 1401.

[3.14] R.J. Black, L. Sharp, E.F. Harkness, P.A. McKinney, *Leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma: incidence in children and young adults resident in the Dounreay area of Caithness, Scotland in 1968-91.* Journal of Epidemiology and Community Health 48 (1994) 232.

[3.15] W.S. Watson, D.J. Sumner, *The measurement of radioactivity in people living near the Dounreay Nuclear Establishment, Caithness, Scotland.* Int. J. Radiat. Biol 70 (1996) 117.

[3.16] L.J. Kinlen, F. O'Brien, K. Clarke, A. Balkwill, F. Matthews, *Rural population mixing and childhood leukaemia: Effects of the North Sea oil industry in Scotland, including the area near Dounreay nuclear site.* BMJ 306 (1993) 743.

[3.17] L. Sharp, R.J. Black, E.F. Harkness, P.A. McKinney, *Incidence of childhood leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in the vicinity of nuclear sites in Scotland, 1968-93.* Occup. Envir. Med. 53 (1996) 823.

[3.18] J.-F. Viel, S.T. Richardson, *Childhood leukaemia around the Hague nuclear waste reprocessing plant.* BMJ 300 (1990) 580.

[3.19] J.-F. Viel, D. Pobel, A. Carre, *Incidence of leukaemia in young people around the La Hague nuclear waste reprocessing plant: a sensitivity analysis.* Statistics in Medicine 14 (1995) 2459.

[3.20] J. Clavel, D. Hemon, *Leukaemia near La Hague nuclear plant; and replies.* British Medical Journal 314 (1997) 1553.

[3.21] D. Pobel, J.-F. Viel, *Case-control study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant: the environmental hypothesis revised.* British Medical Journal 314 (1997) 101.

[3.22] Communiqué de presse commun du ministère de l'aménagement de territoire et de l'environment et du secrétariat d'Etat à la santé: Remise des rapports de Mme Sugier (IPSN) sur la radioécologie dan le Nord-Côtentin et du Professuer Spira (INSERM) sur la surveillance épidémiologique, 7 octobre 1998.

[3.23] E.A. Clarke, J. McLaughlin, T.W. Anderson, *Childhood leukaemia around Canadian nuclear facilities. Phase 2. Final report.* June 1991. 94 p. , 1991.

[3.24] D.P. Loomis, S.H. Wolf, *Mortality of workers at a nuclear materials production plant at Oak Ridge, Tennessee, 1947-1990.* Am. J. Ind. Med. 29 (1996) 131.

[3.25] W. Hoffmann, H. Dieckmann, *A cluster of childhood leukaemia near a nuclear Reactor in Northern Germany.* Arch. Environ. Health 52 (1997) 275.

[3.26] P. Ilbery, *Leukaemia clusters: support for radiation as a cause crumbles.* Australian Radiology 37 (1993) 360.

[3.27] L. Slesin, *Thurso and McFarland. A second look at two childhood cancer clusters.* SCRAM: Anti-Nucl. Safe Energy J. 69 (1989)13.

[3.28] E.A. Gilman, E.G. Knox, *Geographical distribution of birth places of children with cancer in the UK*. Br. J. Cancer 77 (1998) 842.

[4.1] *The Database of the Uranium Institute*, London.

[4.2] *The Non-Proliferation Treaty.*

[4.3] *The Declaration of Dublin.*

[4.4] *The recycling of nuclear materials - Final report of the recycling working group.* The Uranium Institute, London, 1996.

[4.5] *The Economics of the Nuclear Fuel Cycle.* Organisation for Economic Co-operation and Development, Nuclear Energy Agency, Paris, 1994.

[5.1] Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., *Plan 98. Costs for Management of the Radioactive Waste from Power Production.* SKB Technical Report 98-07, Stockholm, June 1998.

[5.2] I. Hensing und W. Schulz, *Wirtschaftlichkeitsvergleich verschiedener Entsorgungspfade von Kernkraftwerke.* Oldeburg Verlag München, 1995.

[5.3] Fichtner: *Untersuchung der Auswirkung unterschiedlicher Entsorgungspfade auf eine gesicherte Kernbrennstoffversorgung,* Studie im Auftrag des Bundesminsteriums fur Wirtschaft, Beratende Ingenieure, Stuttgart, 1991.

[7.1] Brief van de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Voorzitter van de Tweede Kamer, kenmerk DGM/SVS/98031560, 19 juni 1998.

[7.2] *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (Requirements).* IAEA Safety Series ST-1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996.

[7.3] Dr. H. Fuchs, *Aktuelle Entwicklungen in der Schweizerischen Kernenergie*, Communiqué, SVA, 4 September 1998.

[8.1] Nota Radioactief Afval, Kamerstuk 1983-1984, 18.343, nrs 5 & 6.

[8.2] Franse wet 91-1381, 30 December 1991.

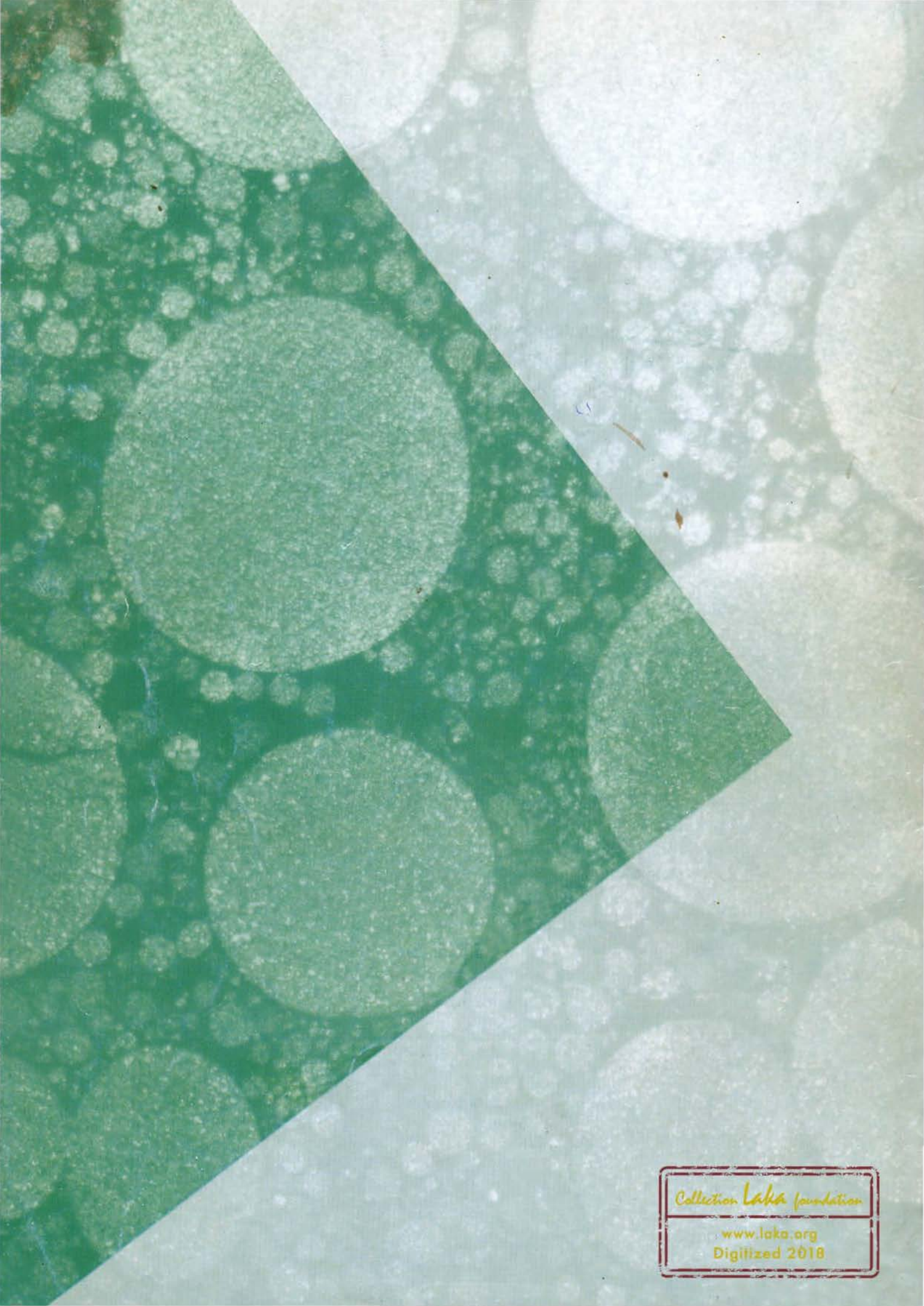
[8.3] Commision Nationale D'Evaluation, *Réflexions sur la Reversibilité des Stockages, Juin 1998, Paris.*

[8.4] Aufbruch und Erneuerung - Deutschlands Weg ins 21. Jahrhundert, Koalitionsvereinbarung zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands und Bündnis 90/Die Grünen, Bonn, 20 Oktober 1998.

10. Verklaring van begrippen en afkortingen

Actinide	Een chemisch element met atoomnummer tussen 89 (actinium) en 103 (lawrencium).
BNFL	British Nuclear Fuels plc
Bq	Becquerel, de eenheid van radioactiviteit
BZA	Brennelemente-Zwischenlager Ahaus
COGEMA	Compagnie Générale des Matières Nucléaires
contante waarden	uitgaven die met behulp van een reële rente zijn gecorrigeerd tot het jaar van het prijspeil
COMARE	Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval NV
deterministisch stralingseffect	zie stochastisch stralingseffect
DFR	Dounreay Fast Reactor
DM	Duitse Mark
DMTR	Dounreay Materials Testing Reactor
ECN	Energieonderzoek Centrum Nederland
EPZ	NV Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland
Euratom	Acroniem voor de Europese Gemeenschap voor Atoomenergie
Eurochemic	Onderzoekscentrum in Mol, opgericht door de OECD-staten, voor het opwerken van gebruikte splijtstof
GCO	Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek
GKN	Gemeenschappelijke Kernenergiecentrale Nederland
HABOG	Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslaggebouw
HFR	Hoge Flux Reactor te Petten
HOR	Hoger Onderwijs Reactor te Delft
HSE	Health and Safety Executive (Groot Brittannië)
IRI	Interfacultair Reactor Instituut te Delft
ICRP	International Commission on Radiological Protection
KCB	Kerncentrale Borssele
KCD	Kerncentrale Dodewaard
kgHM	kilogram heavy metal (zwaar metaal)
kWh	kilowattuur, een eenheid voor energie
LFR	Lage Flux Reactor te Petten
LSO	Laboratorium voor Sterk-radioactieve Objecten
LWR	Lichtwaterreactor
MA	Minor Actinides, isotopen van de elementen neptunium,

	americium en curium
MAGNOX	Met grafiet gemodereerd, CO_2-gekoeld reactortype
menssievert	zie sievert
MOX	Mixed Oxide (uraniumoxide en plutoniumoxide)
MWd/tHM	Megawattdag per ton heavy metal, de eenheid waarin de versplijtingsgraad wordt uitgedrukt.
NERSA	Centrale Nucleaire Européene à Neutron Rapide SA
NLG	Nederlandse Guldens
nominale waarde	uitgaven die met behulp van inflatie zijn gecorrigeerd tot het jaar van het prijspeil
NRG	Nuclear Research and consultancy Group
PFR	Prototype Fast Reactor te Dounreay
Pu	Plutonium
SBK	Schnell-Brüter-Kernkraftwerksgesellschaft mbH
sievert	eenheid van dosisequivalent
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB (Swedish Nuclear Fuel and Waste management Company)
SEK	Zweedse Kronen
SEPA	Scottish Environment Protection Agency
SNR-300	Schnelle Neutronen Reaktor, de snelle kweekreactor in Kalkar Duitsland
stochastisch stralingseffect	Bij 'stochastische' effecten wordt de waarschijnlijkheid van optreden en niet de ernst van het effect als een functie van dosis beschouwd, waarbij wordt aangenomen dat er geen drempel bestaat. Bij deterministische effecten varieert de ernst van het effect met de dosis en daarom kan daarbij een drempel waarde bestaan. In het voor stralings-bescherming belangrijke dosisbereik worden erfelijke effecten als stochastisch gezien.
TBL	Transportbehälterlager Gorleben
THORP	Thermal Oxide Reprocessing Plant, de opwerkingsfabriek van BNFL voor splijtstof van lichtwaterreactoren
tHM	Metric ton heavy metal (zwaar metaal)
U	Uranium
UKAEA	United Kingdom Atomic Energy Authority
UO_2	Uraniumoxide
UP2	Usine Plutonium 2
UP3	Usine Plutonium 3



Collection Laka foundation
www.laka.org
Digitized 2018