

Ontwikkelingen met betrekking tot eindverwerking van gebruikte splijtstof

R. Jansma, NRG

Met bijdragen van

NRG:

R.P.C. Schram

J.F.A. van Hienen

F.C. Klaassen

A.I. van Heek

Clingendael:

E. Bakker

Petten

13 april 2005

21468/05.64940/C

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

Ontwikkelingen met betrekking tot eindverwerking van gebruikte splijtstof

R. Jansma, NRG

Met bijdragen van

NRG:

R.P.C. Schram

J.F.A. van Hienen

F.C. Klaassen

A.I. van Heek

Clingendael:

E. Bakker

Petten, 13 april 2005

21468/05.64940 /C

In opdracht van het Ministerie van VROM, zaaknummer 5040040116

auteur: R. Jansma

goedgekeurd A.M. Versteegh

72 blz

21468.64940.doc

© NRG 2005

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 “Ontwikkelingen met betrekking tot opwerking van splijtstof”. Het project werd uitgevoerd door NRG in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM-zaaknummer 5040040116) onder het NRG-projectnummer 21468. De inhoud van het rapport is in overleg met de opdrachtgever en een begeleidingscommissie vastgesteld.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	5
Lijst van afkortingen	6
Samenvatting	7
1 Onderzoeksopdracht en achtergrond	15
1.1 Beschrijving vraagstelling van de opdracht	15
1.2 Beschrijving van in deze studie beschouwde routes voor de eindverwerking van gebruikte splijtstof	15
1.3 Samenvatting resultaten vorige studies	19
2 Nederlands en internationaal beleid ten aanzien van eindverwerking	21
2.1 Nederlands praktijk en beleid ten aanzien van eindverwerking van gebruikte splijtstof	21
2.1.1 Nederlandse praktijk van opwerking	21
2.1.2 Nederlands beleid ten aanzien van beheer van eindproducten van de splijtstofcyclus	22
2.1.3 Voorzieningen bij de COVRA	22
2.2 Internationaal beleid ten aanzien van eindverwerking van gebruikte splijtstof	23
2.2.1 De nucleaire component in de energiepolitiek	23
2.2.2 Beleid in Europa	24
2.2.3 Beleid in Azië	27
2.2.4 Beleid in de Verenigde Staten van Amerika	27
2.2.5 Beleid in de Russische Federatie (RF)	28
2.2.6 OSPAR Convention	29
2.2.7 International Atomic Energy Agency (IAEA) van de Verenigde Naties	30
3 Nieuwe feiten en ontwikkelingen met betrekking tot de eindverwerking van gebruikte splijtstof	33
3.1 Inleiding	33
3.2 Recente praktijk van opwerking	33
3.2.1 Plutonium	33
3.2.2 Het Nederlandse plutonium	35
3.2.3 REPU	36
3.3 Recente praktijk directe opslag	37
3.3.1 Scandinavië	37
3.3.2 Verenigde Staten van Amerika	38
3.4 Ontwikkelingen en onderzoek relevant voor Route 1 (cyclus met opwerking)	39
3.4.1 Aanpak Pu met nieuwe splijtstoffen	39
3.4.2 Recycling actiniden en splijttingsproducten	39

3.4.3	Gen-IV programma	40
3.4.4	Milieu aspecten recycling van splijtstoffen	41
3.5	Ontwikkelingen en onderzoek relevant voor Route 2 (met directe opslag)	41
3.5.1	Eindbergingstechniek	41
3.5.2	Overwegingen bij interim-opslag van gebruikte splijtstof	44
4	Analyse invloed recente ontwikkelingen en inzichten op huidige opwerkingsstrategie	45
4.1	Milieu	45
4.1.1	Hoeveelheden grondstof en eindproduct	45
4.1.2	Stralingsbelasting bevolking	48
4.1.3	Emissie van broeikasgassen	53
4.1.4	Verstandig grondstofgebruik	53
4.2	Veiligheid en non-proliferatie	53
4.3	Veiligheid	54
4.3.1	Vergelijking in ontwerp beschouwde inbreuken op de veiligheid met terrorisme	55
4.3.2	Vergelijking van de twee routes ten aanzien van de veiligheid	56
4.3.3	Resumé veiligheid	57
4.4	Non-proliferatie	59
4.4.1	Non-proliferatie en evaluatie mogelijke inbreuken	60
4.4.2	Vergelijking Route 1 en Route 2	61
4.4.3	Non-proliferatie voor de lange termijn	62
4.4.4	Non-proliferatie en bedreigingen buiten onze directe invloedssfeer	62
4.4.5	Gebruik van materiaal voor een radioactive dispersion device (RDD)	63
4.4.6	Resumé non-proliferatie	63
4.5	Economische aspecten	64
4.5.1	Overzicht beschouwde studies	64
4.5.2	Huidige economische realiteit	65
4.5.3	Kosten noodzakelijke voorzieningen bij gewijzigde praktijk	65
4.5.4	Resumé kosten	66
4.6	Evaluatie	66
	Bijlage - Samenvatting rapporten uit 1999 en 1997	71

Lijst van tabellen

Tabel 1	Eindproducten uit twee splijtstofcycli	18
Tabel 2	Wereld inventaris van civiel plutonium op 31-12-2003, volgens schattingen van het IAEA en rapportage van betrokken landen.	34
Tabel 3	Geschatte hoeveelheid plutonium, geproduceerd in Nederlandse kerncentrales t/m 31-12-2004	36
Tabel 4	Hoeveelheden grondstof en eindproducten bij opwerking en directe opslag volgens scenario's uit een studie van de NEA uit 2002. Getallen zijn weergegeven per 1 TWhe elektriciteitsproductie [#] .	47
Tabel 5	Collectieve dosis per eenheid geproduceerde energie voor de Routes 1 en 2 voor een scenario uit de NEA studie	51
Tabel 6	Geïdentificeerde nucleaire faciliteiten per route van de splijtstofcyclus.	58
Tabel 7	Aantal Transporttrajecten per route van de splijtstofcyclus. Let wel: het aantal transporttrajecten is niet gelijk aan het aantal transporten.	59

Lijst van figuren

Figuur 1	Schematisch overzicht van de massastromen van Route 1 met opwerking en hergebruik van plutonium, en Route 2 zonder opwerking.	9
Figuur 2	Eenvoudige schematische weergave van de processtappen van Route 1 (opwerking) en Route 2 (directe opslag)	16
Figuur 3	Principe van een eindberging voor hoogactief afval in steenzout. Containers worden aangevoerd via de mijnschacht en gaan via de hoofdgalerij naar opberggalerijen. In de opberggalerijen, waarvan er hier één getoond is, worden de containers in boorgaten geplaatst. Deze boorgaten worden daarna opgevuld. Boven de eindberging bevindt zich een zoutlaag van enkele honderden meters dikte.	42
Figuur 4	Schematisch overzicht van de massastromen van Route 1 met opwerking en hergebruik van plutonium, en Route 2 zonder opwerking.	46
Figuur 5	Stralingsbelasting van Nederlandse bevolking vanuit diverse bronnen. Kernenergie zit in de post 'Overige bronnen', tezamen met fall-out van kernproeven en industriële bijdragen.	49

Lijst van afkortingen

Bq	Becquerel
CORA	Commissie Opberging Radioactief Afval
COVRA	Centrale Organisatie voor Radioactief Afval
E	Energie (vaak uitgedrukt in eenheid MW.uur of GWd)
EPR	European Pressurized (light water) Reactor, een modern type kernreactor
EPZ	N.V. Elektriciteits-Productiemaatschappij Zuid-Nederland
GWa	Gigawatt.jaar (a = annum), een eenheid van (geleverde) energie. Een GWa is een miljard Watt.jaar, hetgeen ongeveer gelijk is aan 9 miljard kiloWatt.uur
GWd	Gigawatt-dag, een eenheid van (geleverde) energie. Een GWd is een miljard Watt.dag, hetgeen ongeveer gelijk is aan 24 miljoen kiloWatt.uur
HABOG	Hoog radioactief Afval Behandelings- en OpslagGebouw
IAEA	International Atomic Energy Agency, het atoomagentschap van de Verenigde Naties
KCB	Kerncentrale Borssele
kWh	Eenheid van (geleverde) energie, de kiloWatt.uur
MOX	Mixed oxide fuel, aanduiding splijtstof bestaande uit oxiden van uranium en plutonium
NEA	Nuclear Energy Agency (onderdeel OECD)
NPT	Treaty on the non-proliferation of nuclear weapons
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OSPAR	The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (the “OSPAR Convention”), ter tekening voorgelegd in 1992 na bijeenkomst van de ‘Oslo and Paris Commissions’
REPU	Reprocessed uranium, ook wel geschreven als RepU; uranium uit opwerking
TBq	Terabecquerel, 10^{12} Bq (1 miljoen \times 1 miljoen Bq)
TK	Tweede Kamer
TRU	Transuranen, alfa straling uitzendende stoffen zoals isotopen van plutonium, americium en curium
UF ₆	Uraniumhexafluoride
TWh	TeraWatt.uur, een eenheid van (geleverde) energie. Een TWh is 10^{12} Watt.uur en dus 10^9 kiloWatt.uur, dus een miljard kWh

Samenvatting

Voor het produceren van elektriciteit door middel van kernsplijting, is naast het bedrijven van een kerncentrale ook een aantal andere installaties en activiteiten noodzakelijk. De brandstof voor de kerncentrale, de zogenoemde splijtstof, moet eerst geproduceerd worden uit te mijnen grondstoffen. Na gebruik in de centrale, waarbij energie wordt geproduceerd, volgt de eindverwerking van de gebruikte splijtstof. Er kan daarbij voor gekozen worden de splijtstof te bestemmen voor hergebruik ('opwerking') dan wel als afvalstof te beschouwen en op te slaan ('directe opslag'). Het geheel van de opeenvolging van processen, van mijnbouw tot en met de opberging van reststoffen, noemt men de splijtstofcyclus. In de huidige Nederlandse praktijk van opwerking, komt uit het opwerkingsproces alleen het verglaasde hoogactieve afval en ander bedrijfsafval terug naar Nederland. Al het plutonium is overgedragen of zal worden overgedragen voor recycling en is bestemd om elders gebruikt te worden. Het teruggewonnen uranium uit opwerking (REPU) is voor circa de helft weer in de kerncentrale te Borssele ingezet, het eigendom van het resterende deel is onder toezicht van IAEA en Euratom aan anderen overgedragen.

In de motie Spies van 1 juli 2004 is gevraagd om een onderzoek naar de beschikbare alternatieven voor eindverwerking van gebruikte splijtstof uit kerncentrales en de beoordeling hiervan op de aspecten milieu, veiligheid, proliferatie en kosten. VROM heeft een opdracht voor dit onderzoek verleend aan NRG, die samen met Clingendael een studie heeft uitgevoerd naar genoemde aspecten. In deze studie zijn de recente ontwikkelingen in kaart gebracht, waarbij het rapport¹, dat NRG in 1999 in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken heeft geschreven, als uitgangspunt is gebruikt. Een korte samenvatting van het rapport uit 1999 is te lezen in paragraaf 1.3.

Het voorliggende rapport spitst zich toe op de routes 'opwerking' (Route 1) en 'directe opslag' (Route 2), waarbij met name wordt ingegaan op de factoren die onderscheidend zijn voor deze routes voor wat betreft de aspecten milieu, veiligheid, non-proliferatie en kosten (Hoofdstuk 4). Daarnaast is aandacht voor Nederlands en internationaal beleid (Hoofdstuk 2) en de recente ontwikkelingen op het gebied van de eindverwerking van gebruikte splijtstof (Hoofdstuk 3). Het rapport is voornamelijk gericht op de Nederlandse situatie en gaat uit van het Hoofdlijnenaccorder van het kabinet Balkenende II, waarin staat dat de kerncentrale zal worden gesloten wanneer de technische ontwerp levensduur (ultimo 2013) bereikt is.

De Nederlandse praktijk

Details ten aanzien van de Nederlandse praktijk zijn te vinden in paragraaf 2.1. Nederland kent een praktijk van opwerking van gebruikte splijtstof van kernenergiecentrales. Splijtstof van de reeds gesloten kernenergiecentrale Dodewaard is naar de opwerkingsfabriek van BNFL in het

¹ "Nader onderzoek naar de verwerking van gebruikte splijtstof uit Nederlandse kerncentrales", R.J.M. Konings & D.H. Dodd, NRG rapport 21483/99.24187/P (1999)

Verenigd Koninkrijk verscheept. De centrale in Borssele van de firma EPZ, heeft een contract met Cogema in Frankrijk. Recentelijk heeft de EPZ aan VROM bericht gebruik te maken van een in de overeenkomst met Cogema voorziene mogelijkheid om zijn opwerkingscontract te verlengen.

Nederland kent een beleid van centrale inzameling van al het radioactieve afval door één organisatie, de COVRA N.V. Al het afval wordt voor een periode van zeker 100 jaar bovengronds bewaard. Daarna is het de bedoeling dat het in een geschikte ondergrondse berging, een zogenoemde eindberging, wordt opgeslagen. Het beleid voorziet ook in onderzoek in Europees verband naar dit type berging. De COVRA heeft faciliteiten voor de opslag van het verglaasde hoogradioactieve opwerkingsafval, alsmede het meer volumineuze, middel- en laagradioactieve bedrijfsafval van het opwerkingsproces.

Recente praktijk, ontwikkelingen en relevant onderzoek betreffende opwerking

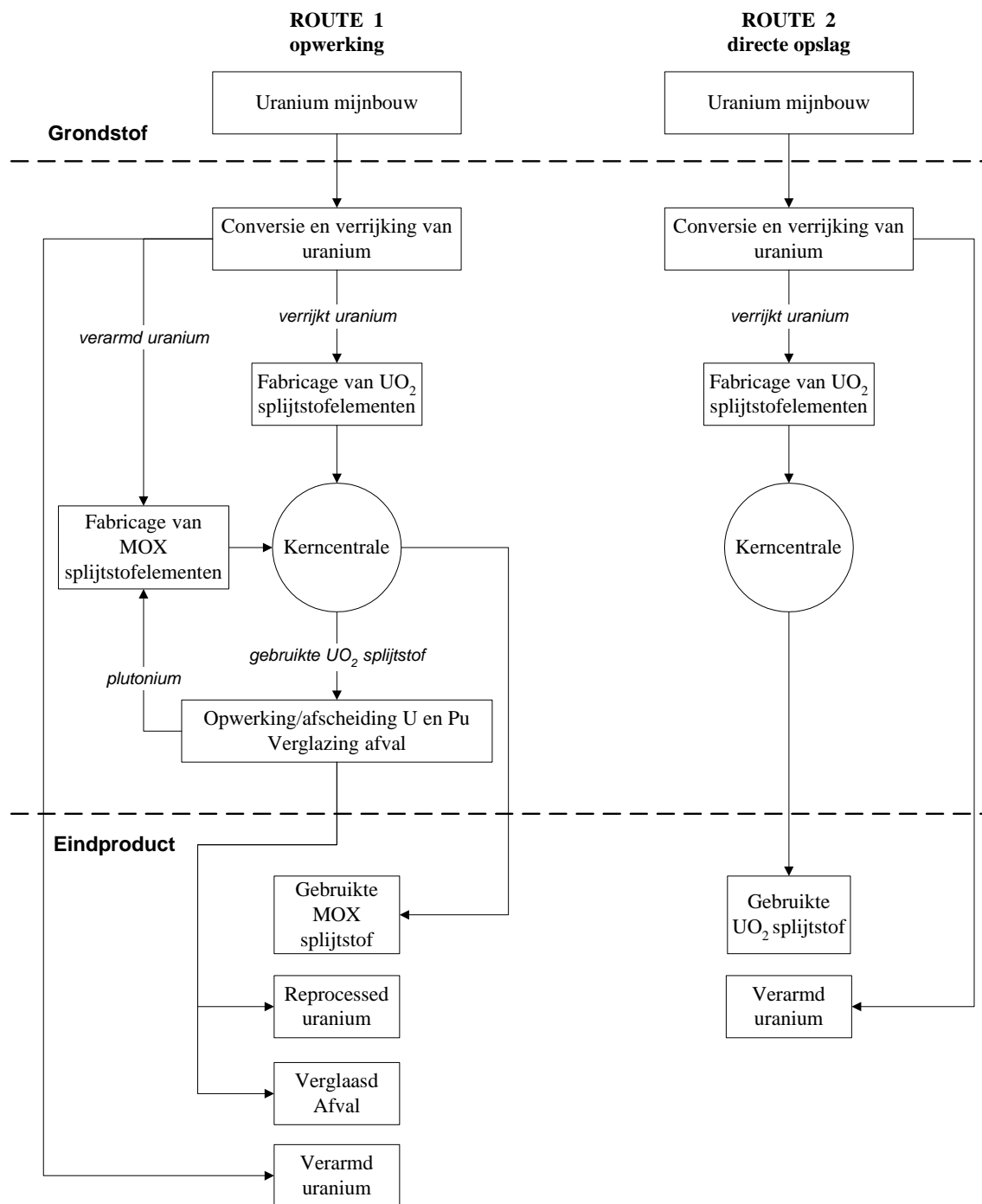
Route 1 vereist het proces van opwerking. Dit is het proces waarbij uit gebruikte splijtstof plutonium en uranium worden afgescheiden. Na opwerking resteert afgescheiden uranium (95%), plutonium (1%), en restafval (4%), dat verglaasd wordt. Plutonium kan gebruikt worden in MOX, mixed oxide splijtstof, een mengsel van plutoniumoxide en uraniumoxide. Het uranium uit opwerking wordt REPU genoemd, een afkorting voor 'reprocessed uranium'. REPU kan weer verwerkt worden tot splijtstof, zoals voor de kerncentrale te Borssele gebeurt. Het wordt op de internationale markt ook als strategische reserve gezien, die ingezet kan worden als logistieke of economische redenen dat wenselijk maken. Meer informatie over de praktijk van opwerking is te vinden in paragraaf 3.2. In deze studie wordt er van uit gegaan, dat MOX-splijtstof na gebruik in een kerncentrale niet nog een keer wordt opgewerkt, maar verder Route 2 van 'directe opslag' volgt.

De hoeveelheid plutonium die tot en met het jaar 2004 door Nederlandse kerncentrales is geproduceerd, bedraagt ongeveer 3,7 ton. Daarvan is circa 1,4 ton verkocht, zodoende is nog 2,3 ton in Nederlands bezit. Dit plutonium is van het type 'reactorkwaliteit'. Dit type bevat naast ongeveer 50% splijtbaar plutonium-239, nog 20% plutonium-240, dat de werking van een dergelijk wapen verstoort. Door deze samenstelling is het praktisch gezien niet geschikt om als nucleair explosief te gebruiken. In theorie zou reactorkwaliteit materiaal voor een explosief gebruikt kunnen worden, maar dit zou een geavanceerd en nog te ontwikkelen ontwerp vereisen.

Op dit moment wordt er wereldwijd onderzoek gedaan naar innovatieve reactoren en innovatieve splijtstoffen. Zo wordt binnen het 'Partitioning & Transmutation' onderzoek gekeken naar mogelijkheden om langlevende nucliden in het opwerkingsafval om te zetten naar nucliden met een kortere halveringstijd (van meer dan 100.000 jaar naar enkele honderden jaren). Binnen het internationale 'Generation-IV' onderzoek worden reactoren en splijtstofcycli bestudeerd, die efficiënt met grondstoffen omgaan en minder afval produceren. Voor beide onderzoeksprogramma's geldt dat opwerking een essentieel onderdeel is van de beschouwde innovatieve splijtstofcycli. Tijdens de technische ontwerplevensduur van de centrale te Borssele,

zullen de onderzoeksresultaten nog geen praktische betekenis kunnen hebben. Meer informatie over onderzoek, relevant voor Route 1, is te vinden in paragraaf 3.4.

Figuur 1 Schematisch overzicht van de massastromen van Route 1 met opwerking en hergebruik van plutonium, en Route 2 zonder opwerking.



Bij de keuze voor opwerking zijn ook van belang de afspraken die hieromtrent in OSPAR verband zijn gemaakt. De OSPAR Conventie is een verdrag voor de bescherming van het aquatische

leefmilieu in het Noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan. Tot de verdragspartijen behoort ook Nederland. De verdragspartijen bij OSPAR, zijn unaniem in het streven naar minimalisering van de belasting van het aquatisch milieu met radioactieve stoffen. In dit streven worden de verdragspartijen aangemoedigd tot een zekere mate van herbezinning inzake opwerking. In de visie van de Nederlandse regering schendt zij echter geen internationale verplichtingen wanneer zij eventuele nieuwe opwerkingscontracten of verlenging van lopende contracten al dan niet faciliteert. Meer informatie hierover is te vinden in paragraaf 2.2.6.

Recente praktijk, ontwikkelingen en relevant onderzoek betreffende directe opslag

Men spreekt van 'directe opslag' (Route 2) wanneer splijtstof zonder opwerking in een eindberging wordt geplaatst. Alvorens deze splijtstof te kunnen opslaan, moeten splijtstof elementen uit elkaar worden genomen en de componenten in duurzame containers worden geplaatst. Dit proces vindt plaats in een conditioneringsfaciliteit, waarmee wel experimentele ervaring is, maar waarvan er op dit moment geen operationeel is. Duitsland beschikt momenteel over een testfaciliteit. Deze faciliteit heeft tot op heden geen vergunning om daadwerkelijk te kunnen conditioneren.

Op dit moment zijn er in Zweden en Finland concrete projecten voor de aanleg van eindbergingen voor de opslag van gebruikte splijtstof. Zweden denkt in 2015 een faciliteit voor eindberging van gebruikte splijtstof in bedrijf te kunnen stellen. Bij deze faciliteit komt ook de installatie voor het conditioneren van de gebruikte splijtstof. In Finland wordt eveneens onderzoek naar directe opslag uitgevoerd. Dit land heeft in 2001 in overleg met de lokale bevolking besloten een eindberging voor gebruikte splijtstof bij de plaats Olkiluoto te realiseren.

Meer informatie over de praktijk van directe opslag is te vinden in paragraaf 3.3. Over relevant onderzoek op dit gebied is meer te lezen in paragraaf 3.5.

Hieronder worden de belangrijkste bevindingen gepresenteerd van de vergelijking van Routes 1 en 2, gerubriceerd naar de daarbij beschouwde aspecten.

Milieu

Het aspect milieu kent diverse deelaspecten. In deze studie zijn onder meer beschouwd: dosisbelasting van de bevolking, grondstofgebruik en productie van plutonium. Hieronder worden de deelaspecten toegelicht.

De 'gemiddelde' Nederlander ontvangt een individuele stralingsdosis van ongeveer 2500 microsievert per jaar. De grootste bijdrage hieraan wordt geleverd door straling uit natuurlijke bron en medische handelingen. Minder dan 1% van de dosisbelasting komt uit 'overige bronnen' zoals kernenergie, 'fall-out' van atoomwapenproeven en industriële bijdragen. In de directe omgeving van de opwerkingsfabriek in Frankrijk, La Hague, ontvangen de meest blootgestelde bewoners 0,3% van hun jaardosis ten gevolge van de lokale industriële activiteiten.

Opwerking is de dominante stap wat betreft de dosisbelasting door de splijtstofcyclus, waardoor Route 1 (opwerking) een iets grotere bijdrage aan de collectieve dosis geeft dan Route 2 (directe opslag). Nieuwe onderzoeksresultaten betreffende de lozingen van de nucleaire- en de niet-nucleaire industrie, relativeren het belang van opwerking in de bijdrage aan de collectieve dosis in het gebied in en langs het Noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan (het OSPAR gebied). Deze bijdrage is zes procent van de totale industriële dosisbelasting en een kleine fractie (1/60000) van de bijdrage van alle natuurlijke bronnen aldaar. Voor gedetailleerde dosisbeschouwingen, zie paragraaf 4.1.2.

Ingeval van hergebruik, reduceert opwerking in Route 1 de behoefte aan mijnbouw en spaart op die manier de voorraden van de delfstof uranium. Tevens wordt minder plutonium geproduceerd per eenheid van geleverde energie. Dit is een direct gevolg van het gebruik van mixed oxide splijtstof (MOX), een mengsel van plutoniumoxide en uraniumoxide, waarbij een deel van het plutonium wordt 'opgebrand'. Meer hierover is te lezen in de paragrafen 4.1.1 en 4.1.4.

Veiligheid

De bestaande ontwerpen en procedures met betrekking tot de installaties van de nucleaire splijtstofcyclus, alsmede met betrekking tot transport(containers), zijn in het verleden aan uitgebreide veiligheidsanalyses onderworpen. Een gecompliceerde terroristische poging tot inbreuk op de veiligheid, zal qua gevolgen binnen de enveloppe van de consequenties van reeds beschouwde ongevallen blijven. De reeds bestaande voorzieningen, aangevuld door extra maatregelen, maken dat de kans op 'succes' van een poging tot inbreuk op de veiligheid klein wordt geacht. De recentelijk extra getroffen voorzieningen zijn om begrijpelijke redenen niet allen openbaar, een kwantitatieve analyse wordt hierdoor bemoeilijkt. De betreffende maatregelen dienen om de kans van optreden van inbreuken op de veiligheid te minimaliseren. Dit is ook van belang voor de bedrijfszekerheid. Een terroristische actie kan, ook wanneer deze zonder gevolgen voor de omgeving blijft, veel economische schade aanrichten. Voorbeelden zijn een onderbreking van de bedrijfsvoering of negatieve publiciteit, zaken die tot extra kosten kunnen leiden.

Bij het vergelijken van routes, kan men in een eerste benadering het aantal processtappen beschouwen. Route 1 kent meer faciliteiten en transporten dan Route 2. Op Nederlands grondgebied geldt dat Route 2 de meeste processtappen heeft. Bij deze constatering dient te worden opgemerkt, dat niet elk van de stappen uit de splijtstofcyclus een even grote bijdrage aan een theoretisch risico vertegenwoordigt. Deze kans hangt samen met de geïmplementeerde veiligheidsvoorzieningen bij de diverse processtappen. De fysieke voorzieningen in ontwerp en beveiliging van een faciliteit zijn altijd in verhouding tot het belang in de cyclus en het belang van de zaken die beschermd dienen te worden. Het aantal faciliteiten en transporttrajecten is echter wel de meest concrete indicator voor de mogelijkheid van een *poging* tot een inbreuk op de veiligheid.

Zie paragraaf 4.3 voor de behandeling van het aspect veiligheid.

Non-proliferatie

De staten van de Europese Unie met nucleaire faciliteiten zijn aan twee ‘safeguards’ regimes onderworpen; die van Euratom en die van het non-proliferatie verdrag, het NPT (‘Treaty on the non-proliferation of nuclear weapons’). Het doel hiervan is het ervoor zorgdragen dat nucleair materiaal enkel voor vreedzame doeleinden wordt gebruikt. Inspecties zijn deel van het safeguards regime. Vele technische en procedurele voorzieningen zijn aanwezig om ontvreemding van splijtbaar materiaal te voorkomen. Tot op heden zijn geen inbreuken op dit regime vastgesteld.

Belangrijk bij het vergelijken van de proliferatie-aspecten van de beide routes is het plutonium. In beide routes is reactor-kwaliteit plutonium aanwezig, dat praktisch gezien niet geschikt is voor de vervaardiging van nucleaire explosieven. Route 1 (opwerking) kent meer processtappen waarbij voorzieningen ten aanzien van non-proliferatie getroffen dienen te zijn dan Route 2. Op nationaal niveau is de situatie overigens omgekeerd. In de Route 1 ‘opwerking’ is het plutonium in afgescheiden toestand en in de vorm van ‘verse MOX’ beschikbaar. Gezien de veiligheidsvoorzieningen voor nucleaire faciliteiten en transporten binnen Europa, lijkt de kans op ontvreemding van plutonium zeer gering. Om begrijpelijke redenen zijn niet alle voorzieningen ten behoeve van de beveiliging openbaar. Een kwantitatieve analyse wordt hierdoor bemoeilijkt.

In Route 2 moet er een nieuwe stap worden geïntroduceerd: het conditioneren van de gebruikte splijtstof. Dit houdt in het klaar maken voor berging en het in bergingscontainers plaatsen. Het realiseren van voorzieningen die de non-proliferatie moeten garanderen, is bij deze faciliteit niet anders dan bij andere nucleaire faciliteiten. Bij plaatsing van geconditioneerde gebruikte splijtstof van Route 2 in een eindberging, zijn er in de eerste fase van berging continue bewegingen van gebruikte splijtstof, met daarin plutonium. Intensieve verificatieactiviteiten zijn nodig om er voor te waken, dat transportcontainers, die na lossen de berging verlaten, nog splijtstof bevatten. Deze stappen zijn ook nodig bij Route 1 voor gebruikte MOX-splijtstof, indien hergebruik van plutonium (in het buitenland) plaatsvindt.

Zie paragraaf 4.4 voor het aspect non-proliferatie.

Economie

Veel economische studies concluderen dat met Route 1 (opwerking) hogere kosten gemoeid zijn dan met Route 2 (directe opslag). Wel gaat men doorgaans uit van nog te bouwen installaties en bestaan er grote verschillen in de kostenramingen voor beide varianten. In de Europese praktijk heeft men te maken met bestaande opwerkingsinstallaties, die waarschijnlijk al geheel of gedeeltelijk zijn afgeschreven. Tevens is er in de Europese nucleaire industrie een consolidatieslag voltooid, die tot schaalvergroting heeft geleid met bijbehorende kostenreductie.

In de praktijk zal een bedrijfver van een kernenergiecentrale te maken hebben met de actuele contractvoorwaarden van een opwerkingscontract en de getroffen voorzieningen in eigen land voor de opberging van een bepaalde afvalvorm. Het geheel van deze zaken bepaalt welke route het

voordeligste is voor de bedrijver van de centrale. In het geval van de Nederlandse situatie lijkt er geen financieel voordeel te behalen met een keuze voor Route 2.

Momenteel wordt in Nederland, Route 1, opwerking, gepraktiseerd. Mocht men op enigerlei wijze deze praktijk willen en kunnen wijzigen ten gunste van Route 2, dan kunnen er kosten zijn ten gevolge van:

1. Kosten vastgelegd in (bij de auteurs onbekende) clausules in contract tussen 'opwerker' en kerncentrale (in de Nederlandse situatie dus Cogéma en EPZ) in de vorm van boetes bij verbreken contract;
2. De keuze voor Route 2, betekent dat bepaalde nieuwe voorzieningen geregeld dienen te worden zoals een interim opslag voor gebruikte splijtstof, die nog niet aanwezig is. Gebruikte splijtstof kan niet in het bestaande HABOG ondergebracht worden, hiervoor zal bij COVRA een nieuw gebouw moeten worden ontworpen en gebouwd.;
3. Er zal een conditioneringsfaciliteit moeten worden gerealiseerd of gezocht voor het gereed maken van splijtstof voor de eindberging. In deze te bouwen faciliteit wordt de splijtstof vrijgemaakt uit het splijtstofelement en in speciale containers gedaan, die geschikt zijn voor opslag in een eindberging. Momenteel is er geen conditioneringsfaciliteit in Europa operationeel, wel zijn er experimenten op dat gebied gedaan. Mocht er één ergens in Europa operationeel zijn tegen de tijd dat deze voor Nederlandse splijtstof nodig is, dan kan een Nederlandse klant pogen daarvan tegen betaling gebruik te maken.

Overigens moet opgemerkt worden dat bij Route 1 het HABOG op termijn modulair zal moeten worden uitgebreid voor de opslag van verglaasd afval, dat ontstaat uit splijtstof die na 2007 uit de kern van de kerncentrale te Borssele wordt ontladen. De kosten hiervan zijn lager dan die van een nieuw gebouw voor gebruikte niet-opgewerkte splijtstof.

Opwerking reduceert de hoeveelheid warmteproducerend hoogactief afval dat moet worden opgeslagen. Dit kan in een later stadium bij de aanleg van een eindberging een kostenvoordeel betekenen. De beperktere warmtebelasting van de berging en de geringere lengte van de containers waarmee in het ontwerp rekening moet worden gehouden, zijn factoren die kostenbesparend werken. Echter, de kosten voor een eindberging liggen in een wat verdere toekomst, waarbij geprofiteerd kan worden van in de tijd groeiende fondsen. Daarom zijn economische bespiegelingen voor de kwestie van een eindberging, minder urgent dan die ten aanzien van een HABOG-achtige interim opslag voor gebruikte splijtstof uit Route 2.

Zie paragraaf 4.5 voor een nadere beschouwing van de economische aspecten.

1 Onderzoeksopdracht en achtergrond

Dit hoofdstuk beschrijft de onderzoeksopdracht van VROM betreffende de diverse opties voor de eindverwerking van gebruikte splijtstof alsmede de achtergronden daarvan. Voorts wordt een toelichting gegeven op het begrip ‘splijtstofcyclus’ voor zover deze van belang is voor een goed begrip van de vraagstelling. Tenslotte wordt inzicht gegeven in de uitwerking van de opdracht.

1.1 Beschrijving vraagstelling van de opdracht

In de motie Spies (1 juli 2004) is gevraagd om een onderzoek naar de beschikbare alternatieven voor eindverwerking van gebruikte splijtstof uit kerncentrales en de beoordeling hiervan op de aspecten milieu, veiligheid, proliferatie en kosten. Het onderzoek richt zich op een inventarisatie van technische, geopolitieke en economische aspecten van eindverwerking van afval. VROM heeft een opdracht voor dit onderzoek verleend aan NRG, die samen met Clingendael een ‘delta’ studie zal uitvoeren naar genoemde aspecten. In deze studie worden de recente ontwikkelingen in kaart gebracht, waarbij het rapport², dat NRG in 1999 in opdracht van de Tweede Kamer heeft geschreven, als uitgangspunt zal worden gebruikt.

In overleg met de opdrachtgever VROM is vastgesteld dat de inhoud van het rapport zich zal toespitsen op de routes opwerking en directe opslag, en dat met name de onderscheidende aspecten van opwerking en opslag geadresseerd dienen te worden. Het rapport zal zich voornamelijk richten op de Nederlandse situatie en uitgaan van de sluiting van de centrale te Borssele in 2013.

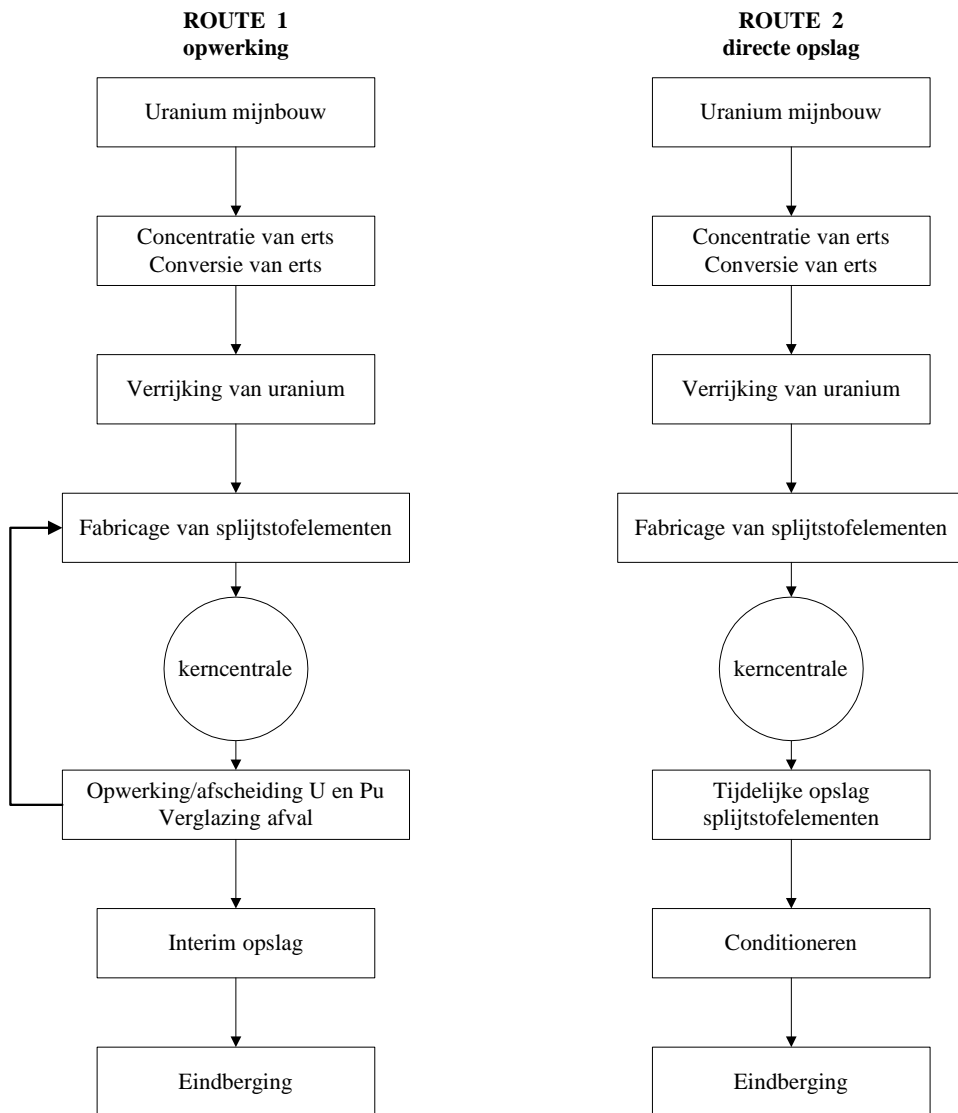
1.2 Beschrijving van in deze studie beschouwde routes voor de eindverwerking van gebruikte splijtstof

Voor het produceren van elektriciteit middels kernsplijting, is naast het bedrijven van een kerncentrale ook een groot aantal andere installaties en activiteiten noodzakelijk. De brandstof voor de centrale, de zogenoemde splijtstof, moet eerst geproduceerd worden uit te mijnen grondstoffen. Na gebruik in de centrale, waarbij energie wordt geproduceerd, dient de gebruikte splijtstof te worden hergebruikt (‘opgewerkt’) dan wel als reststof te worden verwerkt. Het geheel van al deze zaken noemt men de splijtstofcyclus.

Er zijn meerdere varianten van de splijtstofcyclus mogelijk. In het voorliggende rapport worden twee verschillende routes voor de eindverwerking van gebruikte splijtstof beschouwd, te weten Route 1 – ‘Opwerking’ en Route 2 – ‘Directe opslag’. Deze routes zijn dezelfde als die gepresenteerd in het eerder genoemde NRG rapport uit 1999 en zijn schematisch weergegeven in de onderstaande figuur.

² “Nader onderzoek naar de verwerking van gebruikte splijtstof uit Nederlandse kerncentrales”, R.J.M. Konings & D.H. Dodd, NRG rapport 21483/99.24187/P (1999)

In een Algemeen Overleg (TK 25 422, Nr. 39, vergaderjaar 2003-2004) is nog een andere variant aan de orde gekomen, waarbij gebruikte splijtstof, die reeds in de opwerkingsfabriek is, zonder opwerking wordt verpakt. De opwerkingsfabrieken beschikken echter niet over conditioneringsfaciliteiten voor niet-opgewerkte splijtstof. Verder is verglazen van niet-opgewerkte splijtstof met de huidige technieken niet mogelijk.



Figuur 2 Eenvoudige schematische weergave van de processtappen van Route 1 (opwerking) en Route 2 (directe opslag)

Route 1 is de route waarbij de gebruikte uraniumoxide (UO_2) splijtstof wordt opgewerkt en het afgescheiden plutonium (Pu) wordt hergebruikt in de vorm van Mixed Oxide (MOX) splijtstof. Deze MOX splijtstof, een mengsel van uraniumoxide en plutoniumoxide, wordt eenmaal gebruikt en vervolgens opgeslagen.

Route 2 is de route van directe opslag, waarbij de gebruikte UO_2 splijtstof niet wordt opgewerkt, maar direct wordt opgeslagen.

Het huidige rapport concentreert zich op de *verschillen* tussen beide routes voor wat betreft de aspecten milieu, veiligheid (terrorisme), proliferatie en economische aspecten. In Hoofdstuk 3 worden nieuwe ontwikkelingen ten aanzien van de praktijk en mogelijkheden voor eindverwerking van gebruikte splijtstof gepresenteerd. In Hoofdstuk 4 worden de routes vergeleken op de te beoordelen aspecten.

Hieronder worden enkele begrippen betreffende de splijtstofcyclus toegelicht, alsmede de grondstoffen en eindproducten die daarin een rol spelen.

Toelichting van enkele begrippen betreffende de splijtstofcyclus

De cyclus begint met mijnbouw. Als eerste moet er uraniumerts gewonnen worden en verwerkt. Daarna moet het uranium in een zodanige chemische vorm worden gebracht ('conversie'), dat het verder kan worden verwerkt. In de meeste landen met kerncentrales als onderdeel van de elektriciteitsvoorziening, wordt enigszins verrijkt uranium als splijtstof gebruikt. Verrijken is hierbij het proces, waarbij het gehalte aan splijtbaar uranium in de splijtstof op het gewenste niveau wordt gebracht. Na deze verrijkingsstap, wordt het uranium in een geschikte vaste chemische vorm gebracht om zogenoemde splijtstoftabletten te maken. Dit zijn tabletten van uraniumoxide, aangeduid met UO_2 . De tabletten worden in een andere processtap in een buis gestapeld tot een zogenoemde 'splijtstofstaaf'. Splijtstofstaven worden weer gebundeld tot zogenoemde 'splijtstofelementen'. Deze elementen zijn de noodzakelijke verpakking van 'brandstof' voor de kerncentrale. In deze studie beschouwen we twee mogelijkheden voor de situatie ná gebruik van de splijtstof in de kerncentrale:

1. De gebruikte splijtstof wordt 'opgewerkt'. Opwerking (Engels: 'reprocessing') is een proces, waarbij de nog bruikbare grondstoffen (circa 95%) uit de gebruikte splijtstof worden gehaald, zodat ze kunnen worden hergebruikt.
2. De gebruikte splijtstof wordt als afval opgeborgen. Dit noemt men wel 'directe opslag', alhoewel er nog een tijdelijke opslagperiode is voor de definitieve plaatsing in een (ondergrondse) zogenoemde 'eindberging'.

Tussen alle hiervoor geschetste processen door, vindt ook nog het transport van grondstoffen en producten plaats. De gehele keten van de winning van het uranium tot en met het opbergen van het afval wordt de splijtstofcyclus genoemd.

De route van 'directe opslag' wordt een 'open cyclus' genoemd. Bij volledige opwerking wordt wel gesproken van een 'gesloten cyclus'.

Definitie van grondstoffen en producten van de splijtstofcyclus

In Nederland en de meeste landen met kerncentrales als onderdeel van de energievoorziening, staat het element uranium centraal in de splijtstofcyclus. Uranium (U) komt in verschillende vormen voor, die chemisch gelijk zijn, maar op atomair niveau verschillen: de zogenoemde

isotopen. Het isotoop van uranium dat het interessantste is voor de kernsplijting, is het zogenoemde uranium-235, ook wel aangeduid met U-235.

In de kern van de reactor vindt splijting van uranium plaats. Dit is het proces waarbij energie wordt opgewekt. Hierbij ontstaan onder andere splijtingsproducten. Niet al het uranium wordt verspleten, na gebruik is er bruikbaar uranium over. In de splijtstof ontstaat uit niet-splijtbaar uranium ook nog splijtbaar plutonium. Dit levert tijdens bedrijf van de reactor een aanzienlijk aandeel aan de energieproductie. Na gebruik van de uraniumsplijtstof bevat deze nog zo'n 1% plutonium, 3 tot 5% splijtingsproducten, 94-96% uranium en minder dan 1% aan andere producten.

De splijtstofcyclus met opwerking kent voor veel processtappen dezelfde soorten stromen van grondstoffen en producten als de cyclus met 'directe opslag'. Maar er zijn duidelijke verschillen als het om de eindproducten van de cyclus gaat. De verschillen ontstaan bij de processtap opwerking en het hergebruik van de teruggewonnen grondstoffen.

Tabel 1 Eindproducten uit twee splijtstofcycli

Met opwerking (Route 1)	Zonder opwerking (Route 2)
Verglaasd afval met daarin splijtingsproducten en zogenoemde actiniden Plutonium, deels in gebruikte MOX splijtstof REPU ('reprocessed' uranium)	Gebruikte splijtstof
Gecementeerd afval uit opwerkingsfabriek, hierin constructiemateriaal (metaal) van geopende splijtstofelementen	
Bedrijfsafval uit overige stappen van de splijtstofcyclus	Bedrijfsafval uit overige stappen van de splijtstofcyclus

Bij de cyclus met opwerking wordt uit gebruikte splijtstof het uranium (U) en plutonium (Pu) teruggewonnen. De splijtingsproducten en overige producten worden als afval gezien; dit wordt verglaasd in een speciale matrix, zogenoemd borosilicaatglas. Het teruggewonnen uranium wordt REPU genoemd ('REProcessed Uranium'). Dit kan weer verrijkt worden om uraniumsplijtstof te maken. Van teruggewonnen plutonium kan plutoniumoxide gemaakt worden. Dit kan gemengd worden met uraniumoxide (gemaakt van teruggewonnen U of natuurlijk U), het resulterende product heet 'Mixed Oxide' of kortweg MOX. MOX bevat meestal 6-8% plutonium en kan gebruikt worden als brandstof voor kernreactoren.

Bij de cyclus zonder opwerking, wordt de gebruikte splijtstof als een eindproduct gezien dat niet verder gebruikt wordt en dat moet worden opgeborgen in een zogenoemde eindberging.

1.3 Samenvatting resultaten vorige studies

In deze paragraaf worden de gegevens uit een NRG rapport³ uit 1999 besproken. In dat rapport zijn ook belangrijke resultaten uit 1997⁴ uitgebreid gememoreerd. Hieronder zullen de resultaten uit 1997 en 1999 kort worden samengevat, voor zover ze relevant zijn voor het voorliggende rapport. Een uitgebreidere samenvatting is te vinden in de Bijlage bij dit rapport.

In 1997 werden twee routes voor verwerking van gebruikte splijtstof beschouwd: Route 1 ‘Opwerking’ en Route 2 ‘Directe opslag’. Voor beide routes werd destijds een evaluatie gemaakt van de voor- en nadelen, waarbij de aspecten milieu, veiligheid, proliferatie en economie werden beschouwd. In 1997 werd geconcludeerd dat alleen het aspect economie onderscheidend is voor de routes. Voor wat betreft de kosten werd destijds geconcludeerd, dat continuering van de opwerkingscontracten uit financieel oogpunt de voorkeur heeft en het opwerkingscontract zekerheid biedt ten aanzien van de kosten.

Bovenstaande resultaten werden in 1999 gememoreerd in voornoemd NRG-rapport. Tevens werd in dat rapport bericht over aanvullend onderzoek. Zo werden de kosten van het conditioneren van gebruikte (niet opgewerkte) splijtstof in een buitenlandse installatie destijds berekend op 100 tot 190 miljoen gulden, exclusief transportkosten, mogelijke winsttoeslagen en R&D kosten die dergelijke faciliteiten in rekening zouden kunnen brengen. Voorts werd geconcludeerd dat er geen monocausaal verband is aan te tonen tussen leukemie en opwerking. Ook het hergebruik van Nederlands plutonium in het buitenland werd in 1999 beschouwd. Er werden geen technische belemmeringen vastgesteld, een deel van het plutonium was destijds al ten behoeve van elektriciteitsopwekking verkocht. Verkoop van het resterende plutonium zou worden bepaald door economische overwegingen, tot 2015 werd geen tekort aan plutonium voor MOX verwacht. Vastgesteld werd ook dat gebruik van MOX in de centrale te Borssele technisch mogelijk is.

³ “Nader onderzoek naar de verwerking van gebruikte splijtstof uit Nederlandse kerncentrales”, R.J.M. Konings & D.H. Dodd, NRG rapport 21483/99.24187/P (1999); “Nader onderzoek naar de verwerking van gebruikte splijtstof uit Nederlandse kerncentrales. De Bijlagen”, NRG rapport 21483/99.24188/P (1999)

⁴ “Opwerking van Nederlandse Splijtstof”, D.H. Dodd et al., ECN-C—97-031 (1997)

2 Nederlands en internationaal beleid ten aanzien van eindverwerking

Voor een beter begrip van de materie wordt in dit hoofdstuk het huidige beleid ten aanzien van de eindverwerking van gebruikte splijtstof en het beheer van radioactief afval beschreven. Dit beleid wordt in een internationaal kader geplaatst door middel van een overzicht van de praktijk in Europa en de rest van de wereld. Tevens wordt de betekenis van diverse belangrijke internationale verdragen toegelicht, voor zover ze een relatie hebben met de praktijk van eindverwerking van gebruikte splijtstof.

2.1 Nederlands praktijk en beleid ten aanzien van eindverwerking van gebruikte splijtstof

2.1.1 Nederlandse praktijk van opwerking

Nederland kent de praktijk van opwerking van gebruikte splijtstof van kernenergiecentrales. Splijtstof van de - in 1997 uit bedrijf genomen - centrale Dodewaard is getransporteerd naar de opwerkingsfabriek van BNFL in het Verenigd Koninkrijk. De kernenergiecentrale van EPZ te Borssele heeft een contract met COGEMA in Frankrijk. Na opwerking van de splijtstof, wordt verglaasd afval naar Nederland gezonden. Er wordt in Nederland ook rekening gehouden met de terugkeer van bedrijfsafval van het opwerkingsproces, zie hiervoor paragraaf 2.1.3 'Voorzieningen bij de COVRA'.

Begin 2004 heeft EPZ aan VROM bericht gebruik te maken van de in de bestaande overeenkomst met Cogema voorziene mogelijkheid tot verlenging van het opwerkingscontract⁵. Op dit moment wordt er geen MOX gebruikt in Nederland en EPZ heeft geen vergunning aangevraagd voor het gebruik van MOX.

Er zijn geen voorzieningen in Nederland voor de ontvangst van plutonium uit opwerking en vergunningen daarvoor zijn ook niet aangevraagd. De details omtrent de status van de verkoop van EPZ plutonium, zijn recent⁶ aan VROM ter inzage aangeboden. Middels contracten heeft EPZ laten zien dat al het plutonium van EPZ, als bestemming hergebruik door kerncentrales elders heeft. Dit betreft ook het plutonium dat nog geproduceerd gaat worden. Van de reeds uit opwerking verkregen plutonium is 54% reeds overgedragen voor hergebruik elders. Meer details zijn te vinden in paragraaf 3.2.2 'Het Nederlandse plutonium'.

Overigens staan transacties van splijtbaar materiaal zoals plutonium onder toezicht van Euratom en de IAEA, maar deze supranationale instantie behandelt dergelijke informatie als vertrouwelijk. Meer over Euratom is te lezen in paragraaf 2.2.2 'Beleid in Europa'.

Op dit moment is de plutonium-output van de opwerkingsfabrieken hoger dan het plutoniumgebruik voor MOX, hetgeen resulteert in plutoniumopbouw in verschillende landen. Eén en ander is uiteraard sterk afhankelijk van de uraniumprijs, welke op dit moment laag is, maar

⁵ TK 25422, nr. 37, 15 juni 2004, vergaderjaar 2003-2004

⁶ 6 april 2005, Aantekeningen VROM DGM Directie SAS

die wel sinds 2003 een stijging laat zien. Volgens de World Nuclear Association⁷ is de verwachting dat in 2010 de productie en gebruik van plutonium in MOX meer in balans zullen zijn.

2.1.2 Nederlands beleid ten aanzien van beheer van eindproducten van de splijfstofcyclus

Nederland kent het beleid van de centrale inzameling van al het radioactieve afval door één organisatie, de COVRA NV, de 'Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval. Voor faciliteiten van de COVRA, zie paragraaf 2.1.3. Op het terrein van COVRA zal al het afval langdurig (tenminste 100 jaar) bovengronds worden opgeslagen. Daarna kan het afval in een geschikte ondergrondse berging worden ondergebracht, een zogenoemde 'eindberging'. De afvalproducenten betalen voor de overdracht van hun materiaal aan COVRA. Met de zo ontvangen gelden, moet COVRA op termijn een dergelijke berging bekostigen.

Het afval dient in eerste instantie 'terugneembaar' te worden opgeslagen. Dat wil zeggen dat het mogelijk moet zijn het uit de berging terug te halen. Er zijn diverse opbergconcepten voor de veilige opberging van radioactief afval. Allen gaan zij uit van een ontwerp met meerdere barrières ('defense in depth') tussen het radioactieve afval en de leefomgeving van de mens (de 'biosfeer'). Deze vele 'blokkades' zorgen ervoor, dat radioactieve stoffen, mochten zij vrij komen uit de verpakking, op weg naar de biosfeer vertraagd en verdund worden. Bovendien verliezen de stoffen tijdens deze reis steeds meer radioactiviteit en daarmee hun schadelijkheid, waardoor de uiteindelijke mogelijke blootstelling van de bevolking beneden de toegestane waarden blijft.

Het beleid van de overheid voorziet tevens in onderzoek naar de veilige berging van radioactief afval in de diepe ondergrond. Hierbij wil men aansluiten bij Europees onderzoek en tevens participeren in een buitenlandse ondergrondse testfaciliteit, ook wel een 'Underground Research Laboratory' (URL) genoemd.

2.1.3 Voorzieningen bij de COVRA

De COVRA heeft al jaren voorzieningen voor de opslag van laag- en middelactief afval. Recentelijk is de faciliteit (HABOG) voor sterk radioactief afval geopend bij COVRA. Deze faciliteit is geschikt voor de opslag van verglaasd warmte producerend opwerkingsafval. Het eerste opwerkingsafval (verglaasd afval) is in het najaar van 2004 in ontvangst genomen. Er is in dit gebouw tevens een voorziening voor de opslag van gebruikte splijstof van onderzoeksreactoren. Het HABOG is niet geschikt voor de opslag van onbewerkte gebruikte splijstof van de kernenergiecentrales. De splijstofstaven, tezamen met hun verpakking, verschillen in dimensies en warmteproductie van de containers met verglaasd afval, waarvoor de voorzieningen zijn ontworpen. Het HABOG heeft voldoende capaciteit voor de ontvangst van verglaasd afval dat vrijkomt uit de opwerking van de splijstof, die tot en met 2007 uit de kern van de kerncentrale te Borssele wordt ontladen. Voor de splijstof die na 2007 ontladen wordt, zal op

⁷ WNA, Mixed Oxide Fuel (MOX), juli 2003, <http://www.world-nuclear.org/info/inf29.htm>

termijn modulaire uitbreiding van de capaciteit van het HABOG moeten worden gerealiseerd, om verglaasd afval uit opwerking te kunnen blijven ontvangen. COVRA houdt ook rekening met de terugkeer met bedrijfsafval van het opwerkingsproces. In de aanvraag tot wijziging van de vergunning van COVRA inzake de Kernenergiewet uit 1995⁸, wordt rekening gehouden met 2000 kubieke meter laag- en middelactief afval uit opwerking. Dit afval kan in de vorm van geconditioneerd afval in cement of bitumen worden afgeleverd. In de vergunning wordt ook rekening gehouden met 800 kubieke meter hoogradioactief niet-warmteproducerend afval uit opwerking.

2.2 Internationaal beleid ten aanzien van eindverwerking van gebruikte splijtstof

In deze paragraaf wordt eerst summier ingegaan op de energiepolitiek in de Europese landen en enkele belangrijke gebieden elders in de wereld. Daarna wordt geschetst hoe diverse landen omgaan met de verwerking van onder meer gebruikte splijtstof, ter vergelijking met de Nederlandse situatie. Tenslotte komen enkele relevante internationale verdragen aan de orde.

2.2.1 De nucleaire component in de energiepolitiek

Wereldwijd wordt circa 16% van alle elektrische energie met kernenergiecentrales opgewekt. In Europa ligt dit percentage momenteel op circa 35%. De politiek ten aanzien van kernenergie varieert per land.

Enkele Europese landen zoals België, Duitsland en Zweden, kennen een phase-out beleid, hetgeen betekent dat zij het aandeel van nucleaire energie in de energievoorziening willen afbouwen. In België is dit voornemen met diverse voorwaarden geformuleerd, hetgeen de regering enige speelruimte laat. In Italië zijn de kernenergiecentrales tussen 1982 en 1990 uit bedrijf genomen. De verplichting de emissie van broeikasgassen te beteugelen en klachten over vermeende hoge energieprijzen, heeft de discussie in Italië over herintroductie van nucleaire energie aangezwengeld.

Nieuwbouw van nucleaire energiecentrales is voorgenomen in Frankrijk en Finland. Litouwen moet volgens de afspraken rond de toetreding tot de Europese Unie, de twee Russische kernreactoren uit bedrijf nemen, maar zoekt financiering voor een nieuwe kerncentrale. Polen is voornemens rond 2020 over een kernenergiecentrale te beschikken en werkt aan plannen daarvoor.

In de Verenigde Staten zijn voor meer dan 25 centrales de vergunningen met twintig jaar verlengd. Tevens wordt daar gestudeerd op uitbreiding van de nucleaire capaciteit, met argumenten betreffende leveringszekerheid, milieu en geringere afhankelijkheid van de levering van fossiele brandstoffen vanuit het buitenland.

⁸ *Milieu-effectrapport, behorende bij de aanvraag tot wijziging van de Kew-vergunning van COVRA N.V., augustus 1995*

De omvangrijkste nieuwbouwplannen zijn in Azië te vinden, in landen als China, India, Korea en Japan. Zo zal China volgens haar plannen de nucleaire capaciteit voor 2020 verzesvoudigen tot circa 36 GWe.

2.2.2 *Beleid in Europa*

Er is in de Europese Unie (EU) geen eensluidend beleid ten aanzien van de verwerking van gebruikte splijtstof en radioactief afval. Ieder individueel land heeft zijn eigen beleid. De indeling in klassen van afval is ook niet geheel gestandaardiseerd binnen Europa, hetgeen de vergelijking van eindverwerkingsstrategieën van de lidstaten bemoeilijkt.

Euratom

Wel zijn de bepalingen uit het Euratom verdrag van kracht. Deze geven met name aanwijzingen betreffende de bescherming van de bevolking en werknemers tegen straling en het beschermen van splijtbaar materiaal tegen misbruik voor andere doeleinden dan waarvoor ze bedoeld zijn. Euratom neemt ook de controle op zich ingevolge een overeenkomst met het Atoomagentschap van de VN (het IAEA) krachtens het ‘Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons’ (NPT). Over het NPT is meer te lezen in paragraaf 2.2.7. Het Euratom inspectoraat (Euratom DCS – Luxemburg) is verplicht controles uit te voeren in de installaties binnen de EU, die splijtstoffen in hun bezit hebben. Inspecteurs hebben toegang tot alle plaatsen waar nucleair materiaal zich bevindt. Overeenkomsten (verkoop/uitleen) over splijtstoffen moeten goedgekeurd worden door Euratom. Het Euratom systeem is een supranationaal systeem, er wordt rechtstreeks onderhandeld met bedrijvers van nucleaire faciliteiten en niet met de overheden van de landen waar deze faciliteiten staan.

Het Euratom verdrag is weinig specifiek waar het gaat om het veilig bedrijven van nucleaire faciliteiten. Dit is momenteel een zaak van nationale overheden. De Commissie heeft daarom een voorstel gedaan voor een richtlijn van de Raad van Europa, betreffende vaststelling van de fundamentele verplichtingen en algemene beginselen op het gebied van de veiligheid van nucleaire installaties.

Opwerking en directe opslag in Europa

Opwerking van gebruikte splijtstof is de praktijk in diverse landen zoals Nederland, Frankrijk het Verenigd Koninkrijk en Zwitserland, hoewel in het laatste land in 2006 een moratorium op opwerking van kracht wordt voor de duur van tien jaren. In enkele Oost-Europese landen zijn er bovendien opwerkingscontracten, waarbij splijtstof naar de Russische Federatie terug kan keren. Veel landen hebben ooit splijtstof laten opwerken en hebben verglaasd afval of zullen dit op termijn ontvangen van de opwerkingsfabrieken. Uit een recente studie blijkt dat veel Europese landen nog vele opties ten aanzien van de eindverwerking van splijtstof openhouden⁹. Illustratief

⁹ The Comparison of Alternative Waste Management Strategies for Long-lived Radioactive Wastes, EUR 21021 EN, 2003

is de verkenning die Italië uitvoert ten aanzien van opwerking van haar splijtstof in het Verenigd Koninkrijk.

Hieronder wordt de praktijk van een aantal landen belicht. Zweden is een land dat opwerking verlaten heeft en concrete projecten heeft met als doel het realiseren van een eindberging voor gebruikte splijtstof. Frankrijk is een land dat opwerking praktiseert voor zijn eigen behoefte en die van anderen. Duitsland is een buurland, dat de opwerkingsroute verlaten heeft en in de nabije toekomst niet over een eindberging zal beschikken.

In Zweden wordt van alle geproduceerde elektriciteit circa 50% opgewekt door kernenergiecentrales, 40% door waterkrachtcentrales en de rest door thermische centrales. In Zweden wordt opwerking al enkele decennia om politieke en economische redenen niet meer gezien als de optimale route van eindverwerking van gebruikte splijtstof. In het verleden zijn er wel opwerkingscontracten afgesloten. Bij BNFL in het Verenigd Koninkrijk is splijtstof opgewerkt, hetgeen REPU en plutonium heeft opgeleverd, waarvan men MOX wil laten maken. Ook bij COGEMA in Frankrijk heeft men een contract gehad, de splijtstof die men daarnaar gestuurd heeft, is geruild voor gebruikte MOX splijtstof uit Duitsland. Zweden heeft een strategie voor de eindberging van gebruikte splijtstof. Aan het einde van deze paragraaf is meer te vinden over projecten op dit gebied in Scandinavië.

In Frankrijk is reeds in de zeventiger jaren van de 20^{ste} eeuw gekozen voor de opwerkingsroute voor de verwerking van gebruikte splijtstof. Een industrieel park is voor deze activiteiten opgebouwd. Ongeveer een derde van de Franse kernenergiecentrales gebruikt MOX brandstof gemaakt uit producten van opwerking. Om geen onnodige accumulatie van afgescheiden plutonium te krijgen, wordt opgewerkt wanneer plutonium nodig is, dit noemt men wel het 'equal flow' principe. Daarom is er voorzien in bassins waarin de splijtstof gekoeld kan verblijven voor deze verwerkt wordt. Plutonium moet wel binnen een aantal jaren gebruikt worden. Na verloop van tijd ontstaat uit Pu-241, het niet-splijtbare americium-241, dat bovendien veel gammastraling afgeeft en daardoor het hanteren van grondstoffen in een MOX-fabriek bemoeilijkt. Frankrijk beschikt over alle processtappen uit een volledige splijtstofcyclus met opwerking, op eindberging en mijnbouw na. Frankrijk streeft een beleid na waarbij het de afhankelijkheid van import van energiedragers wil beperken. Opwerking past in deze strategie. Ongeveer 75% van alle elektriciteit is van nucleaire oorsprong. Dit wordt aangevuld met ongeveer 15% elektriciteit uit waterkracht. Frankrijk heeft nog geen eindberging, maar heeft wel omvangrijke onderzoeksprojecten op dit gebied en beschikt over een ondergronds onderzoekslaboratorium in een kleilaag op circa 450 meter diepte.

In Duitsland wordt circa 35% van de elektriciteit¹⁰ middels kernenergie opgewekt. Centrales die steenkool en bruinkool verbranden hebben een aandeel van meer dan 50%. Dit wordt aangevuld

¹⁰ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Stromerzeugung nach Energieträgern von 1991 bis 2004 (in TWh) Deutschland insgesamt

door de verbranding van aardgas (circa 10%) en andere brandstoffen (circa 3%), en de inzet van overige bronnen waaronder windenergie en waterkracht (circa 3%). In tien kernenergiecentrales wordt MOX brandstof gebruikt. Er is in het verleden een test-opwerkingsfabriek gebouwd, maar deze is in 1990 uit bedrijf genomen. Er zijn opwerkingscontracten met faciliteiten in Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk, maar de overheid is met de energiebedrijven overeengekomen om deze praktijk medio 2005 te beëindigen. Deze maatregel moet worden gezien in het licht van de keuze van de huidige regering om het commerciële gebruik van kernenergie voor de energievoorziening geleidelijk te beëindigen. De huidige regering van Duitsland meent dat er risico's verbonden zijn aan kernenergie, afvalbeheer en opwerking, die dit besluit noodzakelijk maken. In het verleden heeft Duitsland omvangrijke protestacties tegen nucleaire transporten gekend. Met de beëindiging van de praktijk van opwerking zal het aantal transporten van splijtbaar materiaal aanzienlijk worden gereduceerd¹¹. Er is een test-faciliteit voor de conditionering van gebruikte (niet-opgewerkte) splijtstof, maar deze mag volgens de vergunning alleen gebruikt worden voor de reparatie van containers. Het land beschikt over enkele interim opslag faciliteiten voor gebruikte splijtstof en radioactief afval. Er zijn ondergrondse faciliteiten voor het onderzoek naar de mogelijkheid van eindberging van radioactief materiaal, maar er zijn geen concrete bouwplannen voor de aanleg van een echte eindberging voor warmte producerend hoogactief afval en gebruikte splijtstof. Wel heeft de federale overheid gesteld tegen 2030 over zo'n faciliteit te willen beschikken.

Eindberging

Slechts in enkele landen in Europa zijn er concrete projecten voor de realisatie van geologische bergingen voor de opslag van gebruikte splijtstof. In Europa zijn er wel veel plaatsen waar in ondergrondse testlaboratoria experimenten plaats vinden om eindberging in geologisch stabiele lagen te onderzoeken. Voorbeelden daarvan zijn onder meer te vinden in België, Frankrijk, Duitsland, Zwitserland, Zweden en Finland. In de laatste twee landen zijn concrete projecten voor de aanleg van eindbergingen voor de opslag van gebruikte splijtstof.

In Zweden beschikt men reeds over ondergrondse faciliteiten voor radioactief afval (eindberging, Forsmark, sinds 1988) en gebruikte splijtstof (interim opslag, Oskarshamn, sinds 1985). In 2015 moet ook een eindberging voor gebruikte splijtstof in gebruik worden genomen¹². Op die plek moet ook een zogenoemde conditioneringsinstallatie worden gerealiseerd, waar de splijtstof voor de berging in een geschikte vorm kan worden gebracht en verpakt.

¹¹ Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Report of the Federal Republic of Germany for the First Review Meeting in November 2003, 5 May 2003

¹² Sweden's first national report under the Joint Convention on the Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, 2003

In Finland werd in 2001 besloten een eindberging voor gebruikte splijtstof bij de plaats Olkiluoto te realiseren, na consultatie van de lokale bevolking. Op die plek was reeds sinds 1992 een eindberging voor radioactief afval in bedrijf. Finland beschikt sinds 1998 bij de plaats Loviisa over een tweede eindberging voor dit type afval.

2.2.3 *Beleid in Azië*

In Azië zijn veel economieën in opkomst met een sterk toenemende behoefte aan energie. Hierbij is voor veel landen kernenergie een gewenste optie die in toenemende mate wordt ingezet. De landen kennen hun eigen beleid ten aanzien van nucleaire energie en er kan niet gesproken worden van een Aziatisch beleid ten aanzien van kernenergie en eindverwerking van gebruikte splijtstof.

In veel landen in deze regio zijn er voorzieningen voor de opberging van laagactief en middelactief afval, maar nog niet voor gebruikte splijtstof of verglaasd afval uit opwerking. Japan is het enige land in de regio met een beleid waarin gebruikte splijtstof wordt opgewerkt, voorlopig grotendeels in het buitenland. Het beleid voorziet in de planning van een ondergrondse berging voor verglaasd opwerkingsafval, die ambitieus is; men hoopt rond 2030 een geologische berging te hebben. Japan is met 52 kernenergiecentrales het land met het grootste reactorpark in de regio. Sinds de oliecrisis in de zeventiger jaren van de 20^{ste} eeuw is nucleaire energie een middel om de afhankelijkheid van de olie-importen te beperken en de prijs van elektriciteit te stabiliseren¹³.

2.2.4 *Beleid in de Verenigde Staten van Amerika*

De Verenigde Staten hebben een omvangrijk reactorpark van meer dan honderd eenheden, die 20% van alle elektriciteit in het land produceren. Er is momenteel geen opwerking van gebruikte splijtstof uit commerciële kernenergiecentrales. Er is wel ooit op beperkte schaal gebruikte splijtstof opgewerkt (Nuclear Fuel Services Inc., West Valley). In 1977 werd er onder president Carter echter een moratorium op opwerking van kracht. Deze werd al in 1981 opgeheven, maar sindsdien is er om economische redenen geen nieuwe commerciële opwerkingsactiviteit gestart¹⁴. Het uit het 'niets' opbouwen van een nieuwe opwerkingsfabriek zou grote investeringen vereisen, waarna geconcurrereerd zou moeten worden met de bestaande (en al afgeschreven) fabrieken in het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk.

De VS beschikken op de locatie van de voormalige opwerkingsfabriek over een installatie voor de verglazing van hoogactief afval, die momenteel niet in gebruik is. Voor militair-strategische doeleinden is er elders een beperkte opwerkingscapaciteit beschikbaar.

¹³ Convention on Nuclear Safety, National Report of Japan for the Third Review Meeting, August 2004, Government of Japan

¹⁴ United States of America, National Report Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of radioactive Waste Management, US DOE, DOE/EM-0654, May 2003

Om overschotten militair-nucleair materiaal veilig te verwerken, is er met Rusland een MOX-project gestart. In samenwerking met de firma AREVA wil het US DOE wapen-plutonium tot MOX maken, dat in kernenergiecentrales gebruikt kan worden als splijtstof. Er zijn plannen om een MOX-fabriek in de VS te bouwen, men is momenteel in het vergunningetraject.

De meeste gebruikte splijtstof wordt bij de centrales opgeslagen, deels in zogenoemde 'spent fuel pools' (SFPs), deels in droge opslag. Regelgeving uit 1990 maakt het mogelijk gebruikte splijtstof in gecertificeerde containers voor droge opslag te bewaren op terreinen van daartoe gemachtigde kernenergiecentrales.

Een eindberging bij Yucca Mountain (Nevada), kan vanwege diverse juridische procedures nog geen gebruikte splijtstof en hoog-actief afval in ontvangst nemen. Daarnaast is er de Waste Isolation Pilot Plant (WIPP), die volgens de Amerikaanse overheid de eerste ondergrondse eindberging is met een vergunning voor opslag van transuranen (TRU) uit onderzoek en wapenproductie.

2.2.5 Beleid in de Russische Federatie (RF)

Direct na de tweede wereldoorlog zijn in Rusland een aantal kernreactortypen voor de energieproductie ontwikkeld en in gebruik genomen. De eerste operationele kerncentrale voor elektriciteitsproductie werd dan ook in Rusland in bedrijf genomen (Obninsk, 1954, drukbuizen, grafiet gemodereerd). De Russische ontwerpen volgden in eerste instantie de ontwikkelingen in de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk, maar de uiteindelijke ontwerpen verschilden soms aanmerkelijk. In de Sovjet Unie zijn in verband met de plutoniumproductie opwerkingsfaciliteiten in bedrijf gesteld. Hiervoor worden grafiet-gemodereerde met drukbuizen uitgevoerde reactoren gebruikt. Hetzelfde ontwerp is ook in gebruik voor kernenergiecentrales. De bestraalde splijtstof van deze energieproductiecentrales is tot nu toe bij de centrales opgeslagen. Voorbeelden van grafiet-gemodereerde reactoren zijn de VK-50 (laag vermogen) en de RBMK (hoog vermogen). Bij de RBMK is het mogelijk tijdens bedrijf splijtstof kort te bestralen t.b.v. plutonium productie.

Recentelijk is een regeling voor het beheer van radioactief afval uitgevaardigd. Belangrijke acties zijn het reduceren van de hoeveelheden vloeibaar radioactief afval door conditionering tot vast afval. Ook zijn er uitgewerkte plannen om regionale faciliteiten tot stand te brengen voor de opslag van geconditioneerd radioactief bedrijfsafval, maar ook van bestraalde splijtstof.

Bij energieproductiecentrales van het type VVER, een drukwater reactor, die ook in bevriende socialistische landen is gebouwd, wordt de bestraalde splijtstof bij de centrale bewaard. Dit type reactor is gebouwd in Tsjecho-Slowakije, Hongarije, Bulgarije, de Duitse Democratische Republiek en Finland. Opslag bij de centrale is ook toegepast bij centrales met het oudere type drukwater reactor type AMB, die destijds alleen in Rusland zijn gebouwd.

Na het uiteenvallen van de Sovjet-Unie en de koerswijzigingen in de Oost-Europese landen, is een deel van de bij de centrales opgeslagen splijtstof teruggestuurd naar de Russische Federatie. Daar is mogelijk al een deel van de bestraalde splijtstof opgewerkt. Ook is in de RF begonnen met de productie van MOX en met het gebruik hiervan in de nieuwe versies van de VVER-1000, een modern type reactor dat sterk op de Westerse PWR's lijkt en waarvan een aantal onder andere in China is gebouwd.

In de Russische Federatie zijn ook metaal gekoelde reactoren in bedrijf (type BN) waar verrijkte splijtstof met een hoge opbrand (ca. 100 GWd/ton) wordt gebruikt. Het ziet er naar uit dat onderzoek en bouwactiviteiten in de RF sterk op gang zijn gekomen, mede vanwege de afzet naar de externe markt voor de VVER-1000 en het nieuwe ontwerp VVER-1500, de tegenhanger van de Franse EPR.

Geconcludeerd mag worden dat de Russische Federatie op dit moment zowel Route 1 als Route 2 volgt.

2.2.6 OSPAR Convention

De OSPAR Conventie is een verdrag voor de bescherming van het aquatische leefmilieu in het Noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan. Tot de verdragspartijen, de 'Contracting Parties', behoren de EU en 15 landen, waaronder Nederland. De commissie streeft naar behoud van biologische diversiteit, beperking van eutroficatie (overbemesting), beperking gevaarlijke stoffen, beperking vervuiling door offshore activiteiten, en beperking van de aanwezigheid van radioactieve stoffen.

De 'contracting parties' bij OSPAR, zijn unaniem in het streven naar minimalisering van de belasting van het aquatisch milieu met radioactieve stoffen. Dit streven is verder uitgewerkt in Decision 200/01 en Decision 2001/1. 'Decision 2000/01' moedigt de 'Parties' aan tot het beginnen van onderhandelingen over bestaande opwerkingscontracten, het niet vergunnen van nieuwe opwerkingsfaciliteiten en het niet toestaan van een aanzienlijke vergroting van de bestaande opwerkingscapaciteit. De landen met opwerkingsfaciliteiten, het Verenigd Koninkrijk (VK) en Frankrijk, hebben zich bij Decision 2000/01 van stemming onthouden. De tweede Decision (2001/01) roept op tot de voltooiing van de evaluatie ('review') van de autorisatie van lozingen uit opwerkingsfabrieken. Het VK, Frankrijk en Zwitserland hebben hun stem onthouden bij de behandeling van deze Decision.

In de Tweede Kamer zijn eerder vragen gesteld over het OSPAR verdrag en de consequenties daarvan voor opslag en opwerking van gebruikte splijtstof van de kernenergiecentrale Borssele¹⁵. De staatssecretaris van VROM heeft bij die gelegenheid geantwoord dat Nederland geen verplichtingen schendt wanneer zij eventuele nieuwe opwerkingscontracten of verlenging van

¹⁵ TK 716, Vergaderjaar 2002-2003

lopende contracten al dan niet faciliteert. De ‘aanmoediging’ in de met name genoemde Decision 2000/1 tot onderhandelingen over bestaande vergunningen, blijkt volgens de staatssecretaris van VROM geen internationaal juridisch bindende verplichting en kan dus niet worden geschonden.

Naar aanleiding van een op verzoek van Greenpeace door dr. Brus (Universiteit Leiden) vervaardigde studie, waarin tot een tegengestelde conclusie wordt gekomen, is op basis van een door de Landsadvocaat opgesteld advies, door de Staatssecretaris van VROM nogmaals aan de Tweede Kamer bericht dat er geen juridische mogelijkheid bestaat om afsluiten van opwerkingscontracten tegen te gaan¹⁶.

2.2.7 International Atomic Energy Agency (IAEA) van de Verenigde Naties

De IAEA is het ‘International Atomic Energy Agency’ van de Verenigde Naties. Het IAEA beoogt de veilige en vreedzame toepassing van nucleaire wetenschap en techniek te bevorderen. Het speelt een belangrijke rol bij het streven naar internationale vrede en veiligheid en wil daarnaast bijdragen aan sociale en economische ontwikkeling alsmede het milieu.

Bij de uitvoering van diverse belangrijke verdragen is aan de IAEA een centrale rol toegekend. Een selectie van deze verdragen wordt hieronder beknopt behandeld.

Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons (NPT)

Het nucleaire non-proliferatie beleid is gericht op het verhinderen van de verspreiding van kennis en materiaal dat gebruikt kan worden voor de constructie van kernwapens. De belangrijkste politieke instrumenten voor non-proliferatie zijn:

- Het genoemde NPT, waarbij naast de vijf bestaande kernwapenstaten, alle andere toegestreden staten beloven geen kernwapens te verwerven (van kracht sinds 1970).
- Het IAEA Statuut, dat de basis vormt voor een wereldwijde samenwerking bij alle toepassingen van nucleaire technieken.
- Het Euratom Verdrag, dat alle vreedzame nucleaire activiteiten in de Europese Unie aan regels bindt. Euratom werkt op dit punt samen met het IAEA.

Deze drie verdragen leiden tot het toepassen van internationale inspecties op vreedzame nucleaire activiteiten, de splijtstofbewaking of ‘safeguards’ door Euratom en de IAEA. Wat betreft de splijtstofcontrole hebben de landen van de Europese Unie daarom de bijna gelijktijdige ontwikkeling van twee parallelle controlesystemen meegemaakt. Dit betekent dat inzake safeguards de landen van de Europese Unie op dit moment onderworpen zijn aan twee waarborgsystemen, het Euratomsysteem (gecreëerd door het Verdrag van Rome van 1957) en de IAEA controle door de toetreding tot het NPT.

¹⁶ TK 25422, nr. 34, 9 december 2003 en nr. 37, 15 juni 2004

Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, IAEA

Nederland is een Contracting Party bij dit verdrag, dat zoals de naam al suggereert, beoogt het veilig beheer van gebruikte splijtstof en radioactief afval te bevorderen. Dit verdrag is in 2001 van kracht geworden en is door veel industrielanden ondertekend, met als belangrijke uitzonderingen landen als China en Rusland. De 'parties' dienen periodiek een 'national report' te produceren waarin ze aantonen aan de volledige set artikelen van de Conventie te voldoen of activiteiten in gang te hebben gezet om er aan te gaan voldoen.

Joint Convention on Nuclear Safety, IAEA

Nederland is een contracting party bij dit verdrag, dat beoogt een veilig bedrijf van nucleaire installaties te waarborgen. Het verdrag werd in 1996 van kracht.

Convention on the Physical Protection of Nuclear Material

Nederland is een contracting party bij dit verdrag, dat contracting parties verplicht nucleair materiaal te beschermen tijdens het transport over hun grondgebied. Het werd van kracht in 1980.

Strategische overwegingen van de Director General van de IAEA

De directeur-generaal van de IAEA, Mohamed ElBaradei heeft ideeën naar voren gebracht over een nieuw regime. Hij pleitte bijvoorbeeld, voor de beperking van het gebruik voor vreedzame doeleinden van materiaal waarmee kernwapens gemaakt kunnen worden. De productie van deze materialen dient onder multilateraal toezicht komen te staan. Daarnaast zouden er volgens ElBaradei nucleaire energiesystemen ontwikkeld en gebouwd moeten worden, die geen materiaal gebruiken, dat ook voor het maken van kernwapens gebruikt kan worden. Ook pleitte hij voor multinationale benaderingen voor het beheer van gebruikte brandstofstaven en radioactief afval; het aantal opslagplaatsen kan hiermee worden gereduceerd. Tevens lanceerde hij het idee voor het onder internationale controle stellen van voorraden verrijkt uranium en plutonium¹⁷. Daarnaast werden in een recent rapport van de directeur-generaal getiteld 'Nuclear Security - Measures to Protect Against Nuclear Terrorism'¹⁸ ten aanzien van een op te stellen strategie de volgende conclusies getrokken:

"Nuclear terrorism poses four types of risks: nuclear weapons acquired by theft; nuclear explosive devices created from stolen nuclear material; radioactive dispersal devices (RDDs); and radioactive hazards caused by an attack on, or sabotage of, a facility or transport containing nuclear and radioactive materials. A strategy to counter nuclear terrorism is founded on measures to prevent thefts of nuclear and other radioactive material and to provide a defence against malicious acts on facilities, supplemented with a range of detection and response measures in the event that prevention is unsuccessful".

¹⁷ ElBaradei, interview in Der Spiegel, nr. 5, 2004, p. 104.

¹⁸ IAEA, Report by the Director General, 'Nuclear Security - Measures to Protect Against Nuclear Terrorism', GOV/2004/50-GC(48)/6, 11 augustus 2004.

Op 22 februari 2005 is er een zogenoemd 'Expert Group Report'¹⁹ aangeboden aan de directeur-generaal van de IAEA, met aanbevelingen voor een multilaterale benadering van de splijtstofcyclus, die het non-proliferatieregime kan versterken en die geleidelijk zou kunnen worden ingevoerd. Realisatie van de voorstellen zou kunnen leiden tot de concentratie van de nucleaire faciliteiten op een beperkt aantal locaties, per regio of zelfs per continent. Mogelijkheden in dat verband zijn 'fuel leasing' en 'fuel take back' aanbiedingen, commerciële diensten voor het opslaan en eindbergen van radioactief afval en commerciële 'splijtstofbanken'. De IAEA zou hierbij als beheerder kunnen optreden en daarmee de levering van bepaalde diensten kunnen garanderen. Bestaande nucleaire faciliteiten zoals opwerkingsfabrieken zouden tot multinationale instellingen kunnen worden omgevormd, met gedeeld eigendom, hetgeen de controle op het werk op die locaties kan versterken.

¹⁹ IAEA, INFCIRC/640, Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle: Expert Group Report submitted to the Director General of the IAEA, 22 February 2005

3 Nieuwe feiten en ontwikkelingen met betrekking tot de eindverwerking van gebruikte splijtstof

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de recente ontwikkelingen betreffende de eindverwerking van gebruikte splijtstof, in casu directe opslag en opwerking. In dit hoofdstuk worden alleen feiten en ontwikkelingen behandeld voor zover ze van belang zijn voor het vergelijken van de Routes 1 en 2.

3.2 Recente praktijk van opwerking

Opwerking van gebruikte splijtstof gebeurt voornamelijk in de opwerkingsfabrieken van BNFL (Verenigd Koninkrijk) en COGEMA (Frankrijk). Andere opwerkingsfaciliteiten zijn er in Japan en Rusland. Nieuwe opwerkingscapaciteit is gepland in Japan en China, terwijl ook in de Verenigde Staten op deze optie wordt gestudeerd. Bij de discussies over de optie opwerken krijgt de afscheiding van plutonium van de splijtstof veel aandacht. Met name op de diverse aspecten van plutonium wordt in deze paragraaf ingegaan.

3.2.1 Plutonium

Er zijn twee soorten plutonium (afkorting Pu), namelijk wapenkwaliteit (weapon-grade) en reactor-kwaliteit (reactor-grade). Het verschil wordt veroorzaakt door de samenstelling van de isotopen van plutonium. Globaal kan men stellen dat plutonium geschikt is voor kernwapens als het veel van het goed splijtbare plutonium-239 (Pu-239) bevat. Plutonium van wapen-kwaliteit bevat circa 93% Pu-239. Reactor-kwaliteit plutonium bevat ongeveer 50% Pu-239 en meer dan 20% Pu-240, dat een versturende werking heeft bij gebruik in kernwapens.

Defensie-doeleinden

Plutonium geproduceerd voor militaire doeleinden bevindt zich geheel buiten de civiele sector. Naar schatting is in de wereld in totaal 260 ton wapenplutonium geproduceerd, het merendeel door de Verenigde Staten (ca. 85 ton) en de Russische Federatie (140-160 ton). Deze beide landen hebben een deel van hun militair plutonium als overtollig aangemerkt. Voor de VS is dit 34.5 ton²⁰, voor Rusland 50 ton. In 2000 hebben beide landen afgesproken dat ieder van hen in totaal 34 ton wapenplutonium onschadelijk zal maken, door er MOX splijtstof van te maken en die te gebruiken in kerncentrales, of door immobilisatie, zodat het niet meer gebruikt kan worden. De invloed van dit programma op de commerciële MOX-markt is gering, omdat de hoeveelheden klein zijn, en omdat het programma in beide landen zelf wordt geïmplementeerd. Wel heeft het tot gevolg dat MOX-fabricage technologie, die vooral in Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk en België aanwezig is, naar deze landen wordt geëxporteerd.

²⁰ In totaal hebben de VS 52.5 ton plutonium als overtollig aangemerkt, maar niet al dit plutonium is van wapenkwaliteit.

Elektriciteitsopwekking

Plutonium wordt tevens geproduceerd bij commerciële elektriciteitsopwekking. Alle plutonium uit energieopwekking is van reactor kwaliteit. Het bevat bij de huidige opbrand van 50 GWd/tHM²¹ ongeveer 52% Pu-239 en 24% Pu-240. Volgens schattingen van de IAEA is er wereldwijd ongeveer 1700 ton civiel plutonium²². Per jaar wordt er circa 75 ton plutonium geproduceerd. Van het plutonium is, volgens rapportage van betrokken landen aan de IAEA²³, 233 ton afgescheiden, verkregen uit het opwerken van opgebrande splijtstof (stand eind 2003). Het meeste daarvan bevindt zich in het Verenigd Koninkrijk (96 ton), Frankrijk (79 ton) en de Russische Federatie (38 ton). Het plutonium in Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk is gedeeltelijk eigendom van andere landen, zoals Japan, Duitsland, Zwitserland en, wellicht, Nederland.²⁴ In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de hoeveelheden civiel plutonium in de wereld.

Tabel 2 Wereld inventaris van civiel plutonium op 31-12-2003, volgens schattingen van het IAEA en rapportage van betrokken landen²⁵.

Totale hoeveelheid reactor-kwaliteit plutonium:		~ 1700 ton
Onafgescheiden plutonium		~ 1467 ton
	Opwerking niet voorzien / niet waarschijnlijk	~ 1075 ton
	Opgeslagen in opwerkingsfabrieken	137 ton
	Geproduceerd plutonium, in de toekomst nog op te werken *	255 ton
Afgescheiden plutonium		233 ton
	Opgeslagen bij opwerkingsfabrieken	179 ton
	In MOX fabricageproces	20 ton
	In onbestraalde MOX splijtstof	27 ton
	Overig onbestraald plutonium, zoals voor onderzoekdoeleinden	~ 7 ton

* Plutonium uit opgebrande splijtstof, dat nu tijdelijk is opgeslagen in kerncentrales in Frankrijk, Verenigd Koninkrijk, Japan en Rusland. Hierbij is aangenomen, dat deze landen hun huidige opwerkingsstrategie ongewijzigd voortzetten.

Theoretisch is het mogelijk van reactor-kwaliteit plutonium een kernwapen te fabriceren, maar het is lastig aan te geven hoe plutonium van reactor kwaliteit aan te wenden is voor gebruik in

²¹ Commerciële UO₂ splijtstof wordt tegenwoordig gebruikt tot een opbrand van 50 GWd/tHM, wat betekent dat met 1 ton uranium ca. 400 miljoen kWh elektriciteit wordt geproduceerd.

²² Schattingen uit 1997, geëxtrapoleerd naar 2004.

²³ IAEA information circulars, nr.549, 2004

²⁴ De situatie van het Nederlandse plutonium wordt besproken in paragraaf 3.2.2. Het is de auteurs bekend in hoeverre het door Nederland geproduceerde plutonium, tot en met 2004 circa 3 ton, geheel of gedeeltelijk is verkocht.

²⁵ IAEA Information circulars, nr.549 (2004)

kernwapens. Gedetailleerde informatie hierover is in het publieke domein niet voorhanden, om begrijpelijke redenen. Het officiële standpunt van het Amerikaanse Department Of Energy (DOE) is, dat alle plutonium in theorie gebruikt kan worden voor het vervaardigen van een primitief wapen²⁶. Wel kan men stellen dat het technisch zeer veel moeilijker is om een werkend (primitief) nucleair explosief te maken van reactor kwaliteit plutonium, waarvan bovendien de betrouwbaarheid niet duidelijk is. Hoe slechter de kwaliteit van het plutonium - dus hoe minder Pu-239 en hoe meer Pu-240 in het materiaal - hoe geavanceerder het ontwerp van een nucleair explosief dient te zijn. Zeker met de huidige gebruikelijke hoge opbrand (uitgedrukt in GWd/tHM), zal het verstorende Pu-240, een factor van betekenis zijn. Het vervaardigen van een betrouwbaar en efficiënt nucleair explosief met behulp van reactor-kwaliteit plutonium zou de ontwikkeling vergen van nieuwe kernwapens, inclusief nucleaire testen.

Overigens wordt de kwaliteit van plutonium bij hogere opbrand en na hergebruik in de vorm van MOX steeds minder, omdat steeds meer Pu-239 verspleten wordt en er meer Pu-240 wordt geproduceerd. Opgebrande MOX splijtstof bevat minder dan 40% Pu-239 en meer dan 30% Pu-240.

3.2.2 *Het Nederlandse plutonium*

In een eerdere studie²⁷ werd de totale hoeveelheid Nederlands plutonium berekend op 3576 kg, 418 kg van de Kerncentrale Dodewaard (KCD) en 3158 kg van de Kerncentrale Borssele (KCB). In deze studie werd aangenomen dat KCB na 2003 zou sluiten. Aangezien KCB, volgens de huidige inzichten, tot en met 2013 operationeel blijft, wordt er additioneel plutonium geproduceerd. Op basis van de huidige splijtstof management, waarbij jaarlijks ongeveer 9 ton uranium wordt verwisseld, betekent dit een jaarlijkse toename van de plutoniumvoorraad met ongeveer 108 kg²⁸. In totaal is derhalve tot en met eind 2004 een hoeveelheid plutonium geproduceerd van 3,7 ton, zoals weergegeven in Tabel 3. Bij bedrijf tot en met 2013 zal de hoeveelheid plutonium, geproduceerd door KCB, nog met bijna 1 ton toenemen.

Uit opwerking van gebruikte splijtstof heeft EPZ tot nu toe 2.5 ton plutonium verkregen. Hiervan is 23% in vroegere jaren verkocht aan de Kalkar en Superphénix projecten (circa 0.6 ton). Recent is nog 31% overgedragen (circa 0.8 ton) voor recycling als MOX in buitenlandse kerncentrales²⁹. Aan de hand van contracten heeft EPZ aangetoond dat alle plutonium, geproduceerd of nog te

²⁶ US Department of Energy (1997), *Nonproliferation and Arms Control Assessment of Weapons-Usable Fissile Material Storage and Excess Plutonium Disposition Alternatives*, DOE/NN-0007, pp. 37-39

²⁷ “Nader onderzoek naar de verwerking van gebruikte splijtstof uit Nederlandse kerncentrales”, R.J.M. Konings & D.H. Dodd, NRG rapport 21483/99.24187/P (1999); “Nader onderzoek naar de verwerking van gebruikte splijtstof uit Nederlandse kerncentrales. De Bijlagen”, NRG rapport 21483/99.24188/P (1999)

²⁸ Aangenomen is een typische opbrand van 50 GWd/tHM en een initiële verrijking van 4.2%; dit komt overeen met een productie van 12 kg plutonium per ton uranium.

²⁹ Aantekeningen van overleg van VROM DGM Directie SAS met EPZ, op 6 april 2005

produceren, is overgedragen of zal worden overgedragen voor recycling, waarbij het eigendom overgaat op de verkrijger(s) daarvan. Deze transacties staan onder controle van de IAEA en Euratom.

Uitgaande van bovenstaande gegevens is in totaal nog 2.3 ton plutonium in Nederlands bezit: 0.4 ton van KCD en 1.9 ton (zijnde 3.3 ton minus de verkochte 1.4 ton) van KCB, in Nederlands bezit (stand 31-12-2004).

Tabel 3 Geschatte hoeveelheid plutonium, geproduceerd in Nederlandse kerncentrales t/m 31-12-2004

Herkomst	Hoeveelheid plutonium
Hoeveelheid Pu kerncentrale Dodewaard	~ 0.4 ton
Hoeveelheid Pu kerncentrale Borssele t/m 2004	~ 3.3* ton
Totale hoeveelheid plutonium, geproduceerd in Nederland t/m 2004	~ 3.7 ton

* Dit is 3.2 ton (3158 kg) geproduceerd plutonium t/m 2003 plus 0.1 ton (108 kg), door KCB geproduceerd in 2004.

De in tabel 3 genoemde hoeveelheid Plutonium betreft 3.2 ton (3158 kg) plutonium geproduceerd tot en met 2003, zoals genoemd in kamerstuk 25422 nr. 1. Deze hoeveelheid correspondeert met een totale hoeveelheid initieel uranium van 382 ton. Een deel van deze hoeveelheid uranium is tijdens bedrijf omgezet in splijtingsproducten en, onder meer, plutonium. Voor lichtwaterreactoren is dit omgezette deel iets minder dan 5%. De totale hoeveelheid uranium die vrijkomt bij opwerking (de REPU), zal daarom ongeveer 360 ton bedragen.

3.2.3 REPU

‘Reprocessed Uranium’ (REPU) is naast plutonium een product van opwerking. In paragraaf 3.2.2 is vastgesteld, dat ongeveer 360 ton REPU uit Nederlandse splijtstof is geproduceerd. Dit product is armer aan het splijtbare uranium-235 dan het uranium in reactorbrandstof, maar rijker dan uraniumerts. Dit REPU kan weer verrijkt worden. Er zijn aanwijzingen dat dit hergebruik op beperkte schaal in Frankrijk plaatsvindt. Er zijn transporten³⁰ van REPU in de vorm van uranyl nitraat van de opwerkingsfabriek naar de Cogema-Pierrelatte faciliteit. Deze fabriek zet deze grondstof om in uraniumhexafluoride, de uitgangsstof voor verrijkingsfabrieken.

In de Nederlandse situatie is vastgesteld³¹, dat van de 280 ton REPU, die voor EPZ tot nu toe uit opwerking is verkregen, 126 ton opnieuw is verrijkt voor nieuwe herladingen van de kerncentrale te Borssele en dat 139 ton is overgedragen aan derden. Voor de resterende 15 ton denkt EPZ ook

³⁰ “Statistics on the transport of radioactive materials and statistical analyses” (contract N° 4.1020/D/01-003), EC, 2001, co-ordinator NRPB

³¹ Aantekeningen van overleg van VROM DGM Directie SAS met EPZ, op 6 april 2005

een bestemming te vinden. Bij de overdracht van REPU is het eigendom overgegaan op genoemde derden. Dit soort transacties staan onder controle van de IAEA en Euratom.

REPU wordt op de internationale markt ook gebruikt als strategische reserve, een voorraad uranium die niet direct geconverteerd hoeft te worden in splijtstof, maar die aangesproken kan worden wanneer logistieke of economische overwegingen dat wenselijk maken. Ontwikkelingen in de uraniumprijs, de prijs van conversie van uranium en dergelijke, zijn factoren die bepalen wanneer dit REPU weer moet worden ingezet. Meer over marktontwikkelingen is te lezen in paragraaf 4.1.4, 'Verstandig grondstofgebruik'.

3.3 Recente praktijk directe opslag

Bij 'directe opslag' (Route 2) wordt splijtstof zonder opwerking in een eindberging (definitieve bergplaats) geplaatst. De splijtstof moet wel in duurzame containers verpakt worden alvorens deze in de bergplaats geplaatst kan worden. De praktijk van directe opslag vereist daarom de aanwezigheid van een zogenoemde conditioneringfabriek. In een dergelijke fabriek worden de splijtstofelementen uit elkaar genomen, zodat de splijtstofstaven (buizen gevuld met splijtstoftabletten) vrijkomen. Deze staven kunnen dan in geschikte containers geplaatst worden. Op dit moment is nog geen enkele conditioneringinstallatie in bedrijf. Wel zijn er diverse experimenten geweest, zodat gesteld kan worden dat conditioneren mogelijk is.

3.3.1 Scandinavië

Voor voorbeelden van een daadwerkelijke implementatie van directe opslag (Route 2) moeten we de ontwikkelingen in Scandinavië beschouwen. Zowel in Zweden als Finland zijn plannen goedgekeurd voor de aanleg van eindbergingen voor gebruikte splijtstof.

In beide landen gaat men uit van de verpakking van deze splijtstof in koperen containers, met een gietijzeren interieur voor de stevigheid. Koper is gekozen wegens de goede corrosiebestendigheid. De bergplaatsen zijn gesitueerd in granieten lagen op grote diepte. De ontwerpen voorzien in een ondergronds gangenstelsel met daarin boorgaten, waarin de containers rechtopstaand kunnen worden geplaatst. De ruimte rond een container wordt gevuld met bentoniet klei. Dit vulmiddel heeft goede eigenschappen ten aanzien van het isoleren van de verpakking van zijn directe omgeving.

In Zweden beschikt men sinds 1988 over een ondergrondse definitieve opslagplaats (eindberging) voor radioactief afval bij de plaats Forsmark, maar deze is niet geschikt voor de opslag van gebruikte splijtstof. Wel is veel nuttige ervaring opgedaan die van nut is voor de bouw van eindbergingen. Voor gebruikte splijtstof is al wel ondergrondse interim opslag beschikbaar bij de plaats Oskarshamn, die sinds 1985 in gebruik is. In 2015 moet ook een eindberging voor gebruikte

splijtstof in gebruik worden genomen³². Twee locaties zijn in beeld, momenteel wordt onderzoek verricht naar hun geschiktheid. Op de te kiezen plek moet ook een zogenoemde conditioneringinstallatie worden gerealiseerd, waar de splijtstof voor de berging in een geschikte vorm kan worden gebracht en verpakt.

Een belangrijke stap in de ontwikkeling van de definitieve eindberging in Zweden, was de aanleg van het ondergrondse proeflaboratorium bij Äspö, dat op een diepte van 460 meter ligt. Hier is ervaring opgedaan met karakterisering van de locatie, aanleg van tunnels en schachten en het plaatsen en terughalen van containers.

In Finland werd in 2001 besloten een eindberging voor gebruikte splijtstof bij de plaats Olkiluoto te realiseren, na consultatie van de lokale bevolking. Op die plek was sinds 1992 een eindberging voor radioactief afval in bedrijf. Finland beschikt sinds 1998 bij de plaats Loviisa over een tweede eindberging voor dit type afval. De eindberging voor splijtstof zal op een diepte van circa 500 meter gerealiseerd worden en zal net als in Zweden een netwerk van tunnels omvatten. In de planning gaat men uit van ingebruikname in 2020. Bij de faciliteit zal op termijn ook een conditioneringsfaciliteit moeten worden gebouwd om de splijtstof te kunnen verpakken.

In Finland wordt de gebruikte splijtstof in bassins bewaard, bij de centrale. De eerste jaren blijft de splijtstof in het reactorgebouw, maar daarna ‘verhuist’ deze naar bassins met een grotere capaciteit buiten dit gebouw. Al eerder is de capaciteit van bassins uitgebreid om de splijtstof enkele decennia lang te kunnen opslaan.

3.3.2 *Verenigde Staten van Amerika*

De Verenigde Staten beschikken over een locatie in de staat Nevada, waar uitgebreid onderzoek is uitgevoerd in een URL (underground research laboratory) ten aanzien van de berging van gebruikte splijtstof. Deze faciliteit kan momenteel niet verder ontwikkeld worden tot eindberging, hangende diverse juridische procedures. Momenteel wordt gebruikte splijtstof en hoogradioactief afval bewaard op circa 125 locaties in het land. De centrale overheid zou de opslag daarvan graag centraliseren bij Yucca Mountain (Nevada). Op 23 juli 2002, tekende president Bush ‘House Joint Resolution 87’, die het Department of Energy (DOE) mogelijk maakt de volgende stap te nemen om een eindberging bij Yucca Mountain te realiseren. DOE bereidt momenteel een vergunningaanvraag voor, die bij de zogenoemde ‘Nuclear Regulatory Commission’ (NRC) moet worden ingediend.

³² Sweden’s first national report under the Joint Convention on the Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, 2003

3.4 Ontwikkelingen en onderzoek relevant voor Route 1 (cyclus met opwerking)

3.4.1 Aanpak Pu met nieuwe splijtstoffen

De IAEA heeft recentelijk het zogenoemde ‘Protected Plutonium Production’ (PPP) Project gelanceerd. Binnen dit PPP concept wordt aandacht besteed aan methoden en middelen voor plutonium productie met ‘proliferation-resistant’ karakteristieken en actinidenopbrand met milieuvriendelijke karakteristieken. De IAEA beoogt partijen uit onderzoekswereld en industrie bij elkaar te brengen om de discussie over de mogelijkheden voor technische verbeteringen in de splijtstofcyclus aan te zwengelen en deze mogelijkheden te beoordelen op aspecten van proliferatie, veiligheid, economie en milieu.

Een van de relevante innovatieve splijtstofconcepten betreft de zogenoemde Pu-Inert Matrix Fuel. Deze splijtstof lijkt op MOX (Pu,U)O₂, alleen is bij Pu-IMF het uranium vervangen door een inerte element, zoals zirconium. Zo wordt (Pu,Zr)O₂ verkregen. Dit soort materialen hebben de eigenschap dat er, anders dan bij het gebruik van uranium in de reactor, geen nieuw plutonium wordt geproduceerd. Daarom is het materiaal geschikt voor versnelde plutonium afbraak, waarbij overigens gewoon elektriciteit wordt opgewekt. Het materiaal is, in tegenstelling tot UO₂ of MOX, niet oplosbaar en daarom is het niet geschikt voor recycling. Dit betekent ook dat het Plutonium zeer lastig is af te scheiden van de inerte matrix splijtstof, hetgeen de ‘proliferatie weerstand’ ten goede komt. Er zijn recent goede resultaten geboekt met experimenten in Japan, Noorwegen en Nederland met deze innovatieve splijtstoffen. Gebruik van dit concept wordt niet voorzien in de periode tot 2013.

3.4.2 Recycling actiniden en splijtingsproducten

Wereldwijd wordt er onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor recycling van actiniden en splijtingsproducten. In de huidige opwerkingsstrategieën wordt het uranium en plutonium afgescheiden en hergebruikt, de splijtingsproducten en de zogenoemde ‘minor actinides’³³ worden verglaasd. In geavanceerde ‘partitioning and transmutation’ (P&T) opwerkingsstrategieën wordt ook de recycling van ‘minor actinides’ en van een aantal splijtingsproducten beschouwd. ‘Partitioning’ is het chemisch afscheiden van de relevante actiniden en splijtingsproducten. ‘Transmutation’ is het omzetten van langlevende radioactieve nucliden (vervaltijd orde-grootte 100.000 jaar) naar kortlevende (vervaltijd orde-grootte 100 jaar) of stabiele nucliden. Het doel van ‘partitioning and transmutation’ is het verkleinen van de schadelijkheid van het radioactief afval. Dit wordt bereikt door selectieve afscheiding van een aantal relevante nucliden – welke de grootste bijdrage leveren aan deze schadelijkheid – en deze vervolgens in een geschikte vorm in een reactor te brengen. De relevante splijtingsproducten zijn technetium, jodium en cesium. Relevante actiniden zijn plutonium, americium en curium.

Er is recentelijk een kostenraming uitgevoerd voor een volledig gesloten splijtstofcyclus, inclusief de genoemde geavanceerde recycling. Vergeleken met het scenario van directe opslag, wordt een

³³ De minor actinides zijn de elementen Neptunium, Curium en Americium.

kostenstijging van ongeveer 10-20% op de elektriciteitsprijs verwacht³⁴. De kosten voor introductie van gedeeltelijk gesloten splijtstofcycli, waarbij alleen plutonium volledig wordt gerecycled, wordt geraamd op een stijging van 7% van de elektriciteitsprijs.

De relevantie van deze ontwikkelingen voor dit rapport heeft betrekking op opwerking. Indien in de toekomst, bij voortzetting van nucleaire elektriciteitsopwekking, P&T geïntroduceerd wordt, dan is de beschikbaarheid van opwerkingsfaciliteiten en opwerkingsexpertise een noodzakelijkheid. Zonder opwerking is recycling van actiniden onmogelijk. P&T moet gezien worden als een aantal processtappen, die aan de conventionele opwerking worden toegevoegd. Bij de huidige opwerkingsstrategieën worden de ‘minor actinides’ en splijtingsproducten verglaasd. Deze verglaasde materialen zijn daarmee ongeschikt voor recycling.

De tijdschalen voor introductie van deze innovatieve P&T strategieën zijn niet eenvoudig te ramen. In het algemeen zou men rekening moeten houden met enkele decennia voor onderzoek en ontwikkeling, vergunningverlening en realisatie van deze innovatieve methoden. De commerciële introductie van innovatieve P&T methoden is daarom niet te verwachten in de periode tot 2013.

3.4.3 Gen-IV programma

Wereldwijd wordt op dit moment gewerkt aan het zogenoemde Generation IV (Gen IV) programma, waarin een selectie van een aantal reactorontwerpen met substantiële verbeteringen ten opzichte van de bestaande ontwerpen wordt onderzocht. Dit gebeurt onder leiding van de Verenigde Staten vanuit het ‘Generation IV International Forum’, een samenwerking van 10 ‘kernenergielanden’, aangevuld met het Europese Euratom consortium. Volgens de ‘Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems’ (2002) voorziet men als toepassingen behalve grootschalige elektriciteitsopwekking, vanaf 2015 ook waterstofproductie en vanaf 2025 ook transmutatie van actiniden uit het afval van oudere reactoren, en vanaf 2045 ook de aanmaak van nieuwe typen splijtstoffen.

Er worden twee soorten opwerking voorzien, het ‘advanced aqueous’ proces voor oxidische splijtstof en het ‘pyroprocessing’ proces voor metallische splijtstof. ‘Advanced aqueous reprocessing’ is een doorontwikkeling van de bestaande processen bij de Franse en Engelse opwerkingsfabrieken. Behalve uranium en plutonium worden hierin ook andere langlevende actiniden afgescheiden en het proces bevat geen stadium meer waarin plutonium afzonderlijk voorkomt. Voor nieuwe splijtstoffen zoals nitriden en composieten zullen deze processen worden doorontwikkeld.

Een belangrijke vaststelling is, dat bij vrijwel alle splijtstofcycli die beschouwd worden binnen het GenIV programma, opwerking is voorzien. Opwerking is noodzakelijk om grondstoffen voor de

³⁴ Nuclear Energy Agency (OECD 2002), “Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles”

splijstof van deze geavanceerde kernreactoren te verkrijgen. De bovengenoemde tijdschalen voor ontwikkeling geven aan dat commerciële introductie van GenIV reactoren en splijstofcycli niet te verwachten is in de periode tot 2013.

3.4.4 Milieu aspecten recycling van splijstoffen

Bij de beschouwing van de milieu-aspecten beschouwen we stralingsbelasting, productie van broeikasgassen en de balans van grondstoffen en eindproducten. In de analyse in hoofdstuk 4 zal op al deze aspecten uitgebreider worden ingegaan.

Onderzoek naar radioactiviteit in de Noordepese wateren

Nederlandse splijstof wordt volgens de huidige praktijk opgewerkt. Onderdeel van Route 1 is de opwerkingsstap, waarbij vergunde lozingen in het aquatisch milieu plaats vinden. De impact op het aquatisch milieu van deze praktijk wordt hier beschouwd, aangezien deze afwezig is bij Route 2 (directe opslag). De vraag of deze impact voldoende onderscheidend is bij de vergelijking van deze Routes, kan alleen worden beantwoord met kennis van de omvang ervan.

Recentelijk (2002) is het MARINA II rapport uitgekomen, dat inzicht geeft in de lozing van radioactieve stoffen, hun concentraties en de consequenties voor de mens en het leven in zee. Het rapport voorziet de Europese Commissie van informatie voor haar activiteiten op OSPAR-gebied. In de MARINA studie wordt vastgesteld dat de lozingen van de opwerkingsfabrieken in de afgelopen decennia aanzienlijk zijn gedaald en dat niet-nucleaire activiteiten in en rond het OSPAR gebied veruit de grootste bijdrage aan de stralingsdosis aan de bevolking leveren. Alhoewel opwerking een bijdrage levert aan de collectieve dosis, lijkt dit geen doorslaggevend onderscheid te geven tussen route 1 (Opwerking) en route 2 (Directe Opslag), daar de bijdrage van opwerking aan de collectieve dosis in het OSPAR gebied via het marine milieu slechts procenten is van de totale bijdrage van industriële activiteit en minder dan een promille van de bijdrage van natuurlijke bronnen uit de zee. In paragraaf 4.1.2 wordt dit onderzoek samen met andere relevante milieustudies uitgebreider behandeld.

3.5 Ontwikkelingen en onderzoek relevant voor Route 2 (met directe opslag)

In deze paragraaf worden onderzoeksresultaten betreffende opslag van gebruikte splijstof besproken, voor zover ze van belang zijn voor een vergelijking van eindverwerkingsstrategieën.

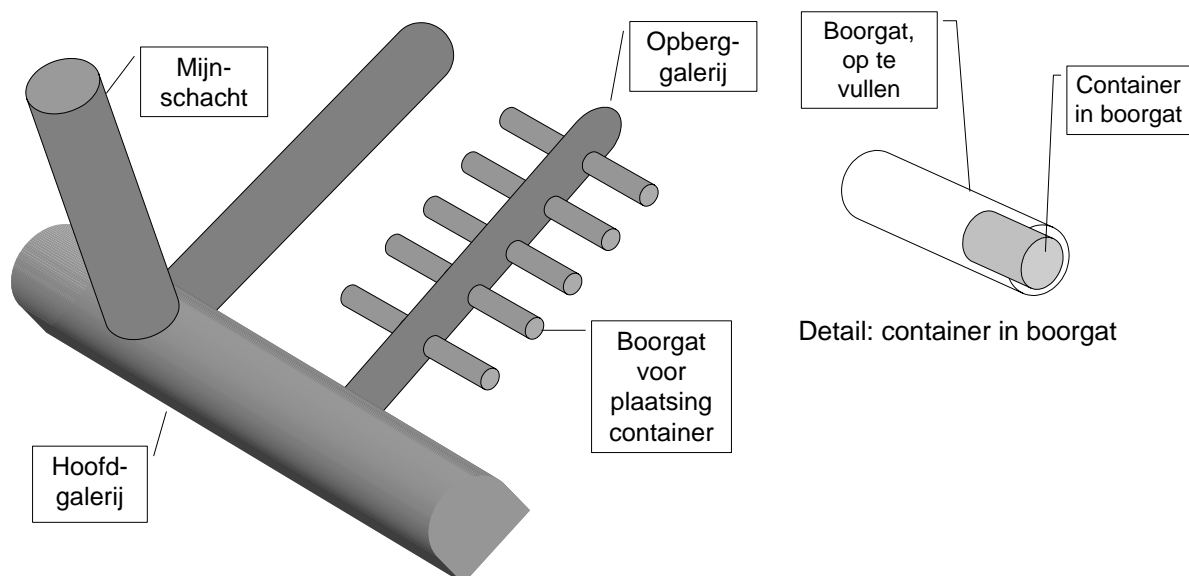
3.5.1 Eindbergingstechniek

CORA-onderzoeksprogramma

In dit in 2002 gerapporteerde onderzoeksprogramma, werd de eindberging van alle soorten radioactief afval beschouwd. Er werd in deze studie uitgegaan van opwerking van de splijstof van de kernenergiecentrales. Hierdoor zijn veel observaties uit dit programma, niet zonder meer toepasbaar op niet-opgewerkte splijstof van het scenario Route 2, 'directe opslag'. Zo zijn de in

het CORA rapport gepresenteerde kostenberekeningen voor de aanleg van een eindberging in klei en zout niet zonder aanpassingen toepasbaar op deze route.

In het CORA programma is veel aandacht geweest voor veiligheidsanalyses van diverse opbergconcepten in zeer diep gelegen zout- of kleilagen. Al deze concepten gaan uit van meerdere barrières tussen afval en de leefomgeving van de mens. Deze blokkades zorgen er voor dat radioactieve stoffen, mochten zij vrij komen uit hun verpakking, op weg naar de biosfeer tegengehouden, vertraagd en verdund worden. Tijdens hun lange reis (van honderdduizenden tot miljoenen jaren) zullen deze stoffen ook nog vervallen en daarmee hun radioactiviteit verliezen. In de CORA-analyses is ook rekening gehouden met (gepostuleerde) scenario's waarbij de natuurlijke processen verstoord worden, bijvoorbeeld door onderlopen van een opbergmijn met grondwater. De maximale stralingsdosis voor de bevolking wordt in een dergelijk scenario volgens de analyses honderdduizend jaar na de gepostuleerde verstoringen of later bereikt. Deze dosis is op dat moment slechts een klein deel (minder dan 1%) van de bijdrage van de natuurlijke achtergrondstraling. Kiest men voor de opslag van niet-verglaasd afval (bij 'directe opslag'), dan moeten deze analyses opnieuw worden gedaan.



Figuur 3 Principe van een eindberging voor hoogactief afval in steenzout. Containers worden aangevoerd via de mijnschacht en gaan via de hoofdgalerij naar opberggalerijen. In de opberggalerijen, waarvan er hier één getoond is, worden de containers in boorgaten geplaatst. Deze boorgaten worden daarna opgevuld. Boven de eindberging bevindt zich een zoutlaag van enkele honderden meters dikte.

In het onderzoek van CORA zijn de kosten van de aanleg, ingebruikname en onderhoud van een eindberging beschouwd. Opberging in klei blijkt kostbaarder dan opberging in zoutgesteente. Ook het toegankelijk houden tijdens een periode, gedurende welke het radioactieve materiaal terughaalbaar moet zijn, is kostbaarder bij een berging in klei dan bij een berging in steenzout. Deze conclusies zijn ook geldig wanneer men in plaats van verglaasd afval, uitgaat van gebruikte geconditioneerde splijtstof, zoals in Route 2. De omvang van de kosten zal voor Route 2 wel

anders zijn dan berekend in het CORA-programma, dat uitging van Route 1. Dit wordt onder meer veroorzaakt door de grotere afmetingen en grotere warmteproductie van de te plaatsen containers in Route 2. Het hanteren en plaatsen van deze objecten wordt daarmee duurder.

In het CORA programma is aandacht besteed aan het HABOG, de interim opslag voor verglaasd afval van kerncentrales en gebruikte splijtstof van onderzoeksreactoren. CORA heeft gemeld dat de kosten van dit gebouw circa 250 miljoen gulden (113 miljoen Euro) hebben bedragen. De kosten van een gebouw voor de opslag van niet-opgewerkte splijtstof, benodigd voor Route 2, zijn niet door CORA berekend, maar kunnen van dezelfde orde van grootte zijn. Er moet daarbij gecorrigeerd worden voor inflatie. Tevens moet bij een ontwerp voor een dergelijke nieuwe faciliteit rekening worden gehouden met het per eenheid van geproduceerde energie grotere volume eindproduct (gebruikte splijtstof), dat bij Route 2 zal moeten worden opgeslagen.

Overigens moet bij Route 1 de opslagcapaciteit bij HABOG modulair worden uitgebreid voor de opslag van verglaasd afval, dat ontstaat na opwerking van splijtstof, die na 2007 uit de kern van de kerncentrale te Borssele wordt ontladen. Dit zal goedkoper zijn dan ontwerp en nieuwbouw van een geheel nieuw gebouw voor de opslag van gebruikte splijtstof.

Onderzoek naar consequenties opwarming gastgesteente

Recent onderzoek³⁵ heeft het belang onderstreept van een goede kennis van de interactie van een opbergcontainer met zijn directe omgeving. Gebruikte splijtstof is een formidabele warmtebron, en genereert meer warmte dan verglaasd afval. In het ontwerp van een eindberging moet hiermee rekening worden gehouden. Bijzondere belangstelling dient – indien in een opbergconcept gebruikt – het vulmiddel bentoniet. In veel ontwerpen wordt deze vorm van gecompacteerd klei gebruikt om de ruimte tussen de wand van een boorgat en de in het gat geplaatste container te vullen. Boven een bepaalde temperatuur worden de isolerende eigenschappen van bentoniet nadelig beïnvloed.

Deze nadelige gevolgen kunnen worden voorkomen door minder splijtstof in de container te laden en/of door de splijtstof veel langer in een interim opslagplaats te bewaren alvorens in de eindberging te plaatsen. De eerste optie leidt tot de noodzaak grotere eindbergingsfaciliteiten te bouwen. Dit kan problematisch zijn als de faciliteit in ondergrondse kleilagen gesitueerd is. Bij een grote behoefte aan meer oppervlakte, zijn niet alle kleivoorkomens groot genoeg en zijn er minder locaties om uit te kiezen. Heeft men echter een gastgesteente van voldoende omvang (zoals de granietvoorkomens in Zweden) dan speelt ruimtebeslag een ondergeschikte rol.

Integriteit barrières tussen materiaal in opslag en biosfeer

Opbergconcepten gaan uit van een veelheid van natuurlijke en technische barrières tussen het opgeslagen radioactieve materiaal, gebruikte splijtstof of verglaasd afval, de leefomgeving van de mens. Deze leefomgeving wordt wel aangeduid met de biosfeer. Barrières zijn onder meer: de matrix van het opgeslagen materiaal (borosilicaatglas of splijtstof), een omhullende container van

³⁵ Bentonite barriers in integrated performance assessment (Benipa), EUR 21023 EN, 2004

staal of ander metaal, vulmiddel (zoals bentoniet), het gastgesteente (zoals zout, klei of graniet) en andere lagen boven het gastgesteente.

De eerste barrière wordt gevormd door de matrix waar het opgeborgen materiaal zich in bevindt. Over het algemeen wordt borosilicaatglas gezien als een betere blokkade tegen de migratie van radionucliden, dan de splijtstofmatrix, die bij Route 2 dient te worden opgeslagen.

3.5.2 Overwegingen bij interim-opslag van gebruikte splijtstof

In deze studie wordt uitgegaan van plaatsing van verglaasd afval (Route 1) dan wel gebruikte splijtstof (Route 2) in een eindberging. Echter, alvorens deze plaatsing te realiseren zal er een periode zijn waarin dit restmateriaal bovengronds in opslag verkeert. In de huidige Nederlandse praktijk wordt uitgegaan van circa 100 jaar bovengrondse opslag in het HABOG van verglaasd afval. Het is zeker dat in die periode geen onderhoud hoeft te worden gepleegd aan de verpakking van het afval, aangezien verglaasd afval als zeer stabiel kan worden aangemerkt. Wanneer bij Route 2 gedurende langere periodes gebruikte splijtstof bovengronds zal moeten worden bewaard, zal extra aandacht moeten worden besteed aan de conditionering van dit materiaal.

4 Analyse invloed recente ontwikkelingen en inzichten op huidige opwerkingsstrategie

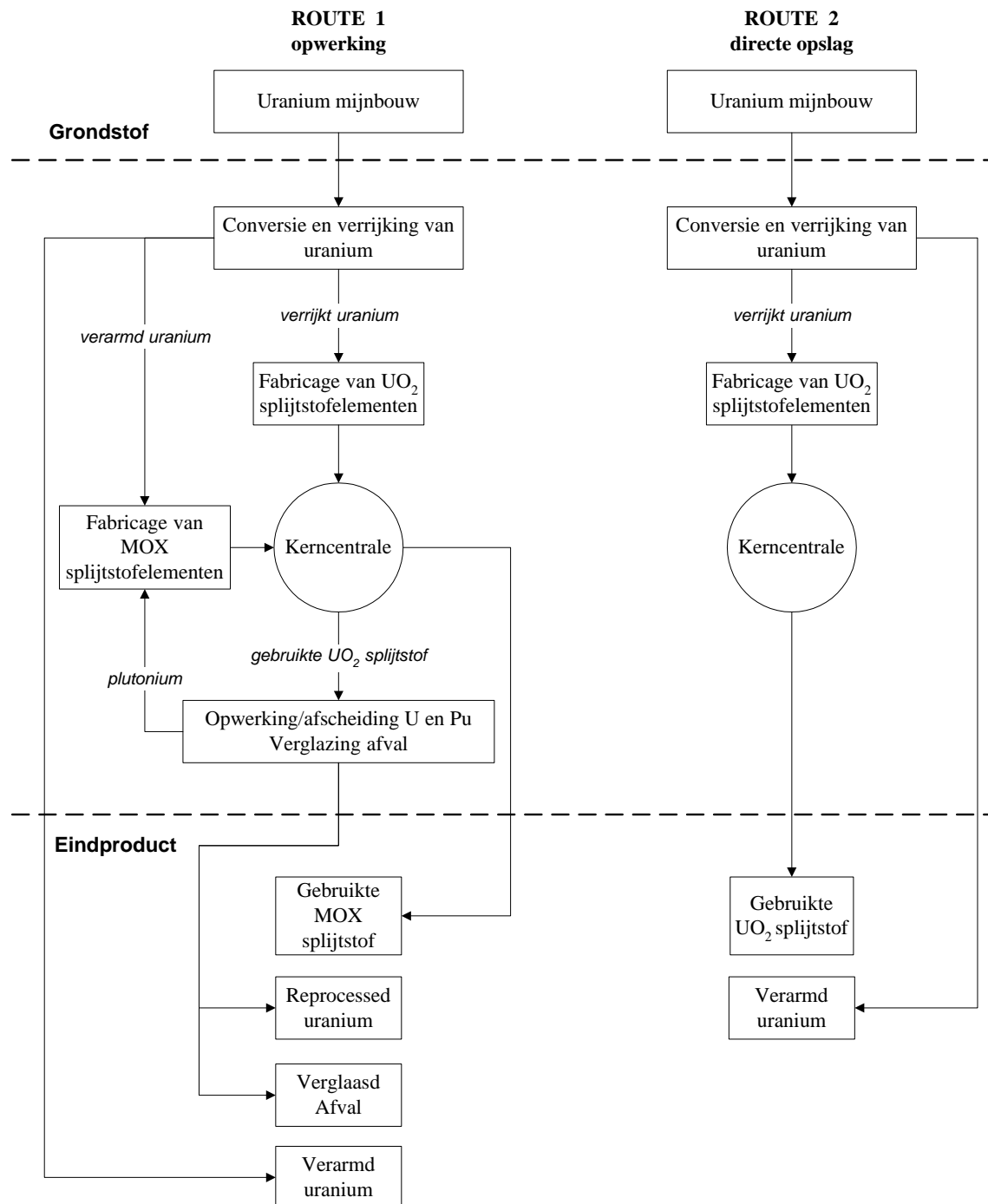
In dit hoofdstuk zal een analyse worden gemaakt van de invloed van de recente ontwikkelingen en inzichten op de huidige opwerkingspraktijk.

4.1 Milieu

4.1.1 Hoeveelheden grondstof en eindproduct

De milieu aspecten kan men beschouwen in termen van de hoeveelheid gebruikte grondstoffen en de hoeveelheid geproduceerd afval per eenheid van opgewekte elektrische energie. Hierbij kunnen de twee routes onderscheiden worden, zoals schematisch weergegeven in Figuur 4. Route 1 vertegenwoordigt de route met opwerking en hergebruik van plutonium in de vorm van MOX-splijstof. Route 2 veronderstelt dat de gebruikte splijstof direct wordt opgeslagen.

Figuur 4 Schematisch overzicht van de massastromen van Route 1 met opwerking en hergebruik van plutonium, en Route 2 zonder opwerking.



Ten einde de massastromen te vergelijken voor Route 1 en Route 2 is berekend hoeveel grondstof nodig is en hoeveel eindproduct gevormd wordt. Bij Route 1 wordt de gebruikte UO₂ splijtstof volledig opgewerkt en wordt het plutonium dat bij opwerking vrijkomt volledig ingezet als MOX. Tevens is aangenomen dat verarmd uranium wordt gebruikt voor MOX fabricage. Dit verarmd

uranium is afkomstig van het verrijgingsproces. Het MOX wordt vervolgens in een LWR gebruikt en wordt na gebruik niet opgewerkt maar opgeslagen.

In Tabel 4 staat een overzicht van de hoeveelheden benodigde grondstof en afval voor beide routes. De getallen zijn genormeerd op 1 TWh_e elektriciteitsproductie (de elektriciteitsvraag in Nederland in 2003 was ongeveer 115 TWh_e). Tevens zijn de hoeveelheden plutonium en de zogenaamde ‘minor actinides’ (MA) in de afvalcomponenten genoemd. De ‘minor actinides’ zijn elementen (voor een uitleg, zie paragraaf 3.4), die samen met plutonium verantwoordelijk zijn voor de radiotoxiciteit en de lange levensduur (ordegrootte 100.000 jaar) van het nucleaire afval.

Tabel 4 Hoeveelheden grondstof en eindproducten bij opwerking en directe opslag volgens scenario's uit een studie van de NEA³⁶ uit 2002. Getallen zijn weergegeven per 1 TWh_e elektriciteitsproductie[#].

		Route 1 - Opwerking	Route 2 – Directe Opslag
Grondstof	Natuurlijk uranium	17.9 ton	20.5 ton
Eindproduct	Reprocessed U	1.95 ton	
	Verglaasd afval	0.11 ton *	
	<i>waarvan Pu</i>	0.025 kg	
	<i>waarvan MA</i>	3.1 kg	
	Gebruikte MOX splijtstof	0.31 ton	
	<i>waarvan Pu</i>	17 kg	
	<i>waarvan MA</i>	2.3 kg	
	Gebruikte UO ₂ splijtstof		2.4 ton
	<i>waarvan Pu</i>		28.8 kg
	<i>waarvan MA</i>		3.6 kg
	Verarmd uranium	15.5 ton	18.1 ton

[#] Er wordt in deze tabel bij evenwicht uitgegaan van een reactorpark, waarbij 57% van de reactoren 100% UO₂ gebruikt, en 43% van de reactoren een belading van 1/3 MOX en 2/3 UO₂ heeft. In deze situatie is de benodigde hoeveelheid plutonium voor de fabricage van MOX splijtstof precies gelijk aan de productie van plutonium in alle UO₂ splijtstof.

* Wordt verglaasd met ca. 0.7 ton glas.

Uit de tabel blijkt:

- Het grondstofgebruik van Route 1 is lager dan dat van Route 2. Dit is een gevolg van het feit dat een gedeelte van de gebruikte UO₂ splijtstof wordt hergebruikt, waardoor zuiniger wordt omgegaan met natuurlijke grondstoffen.
- De totale hoeveelheid gevormd plutonium in Route 1 is lager dan in Route 2, hetgeen direct volgt uit het hergebruik van het plutonium in de vorm van MOX.

³⁶ “Accelerator-driven Systems (ADS) and Fast reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles”, OECD/NEA, 2002

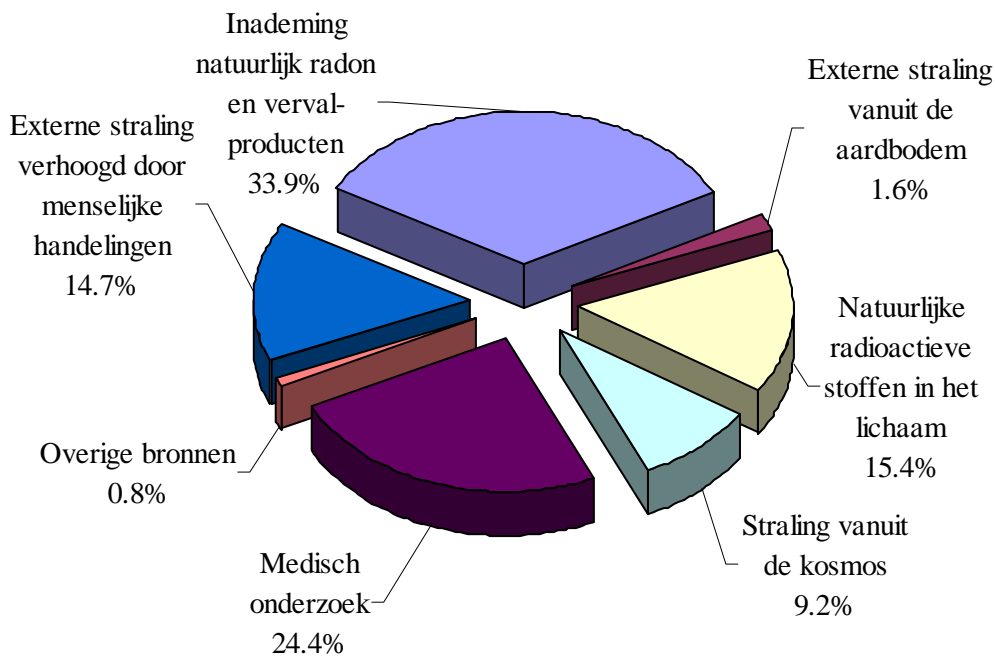
Ongeveer 1% van het kernsplijtingsafval komt terecht in het zogenoemde gecementeerde bedrijfsafval, en wordt dus niet verglaasd. In de Nederlandse situatie staat de vergunning van de COVRA de ontvangst van 70 m³ warmteproducerend verglaasd kernsplijtingsafval toe. Daarnaast is rekening gehouden met niet-warmteproducerend bedrijfsafval uit de opwerkingsfabriek: 800 m³ hoogactief afval (o.a. gecompacteerd constructiemateriaal van splijtstofelementen) en 2000 m³ laag- en middelactief afval (gecementeerd).

4.1.2 *Stralingsbelasting bevolking*

De dosis als gevolg van stralingsbelasting van de bevolking door een bepaalde industriële activiteit kan worden uitgedrukt in een zogenoemde effectieve individuele dosis, die door de 'gemiddelde' inwoner van het land per jaar wordt ontvangen.

De blootstelling van mensen aan straling door lozingen van radioactieve stoffen uit kerncentrales in Nederland bedraagt minder dan 1 microsievert per jaar. Ten opzichte van andere blootstellingbronnen zoals radon in woningen of medische diagnostiek, is de bijdrage van de kerncentrales gering. De totale dosisbelasting van de 'gemiddelde' Nederlander is circa 2500 microsievert per jaar. Overigens is dit lager dan in de meeste ons omringende landen, voornamelijk vanwege het feit dat radon elders een belangrijkere factor is.

Figuur 5 Stralingsbelasting van Nederlandse bevolking vanuit diverse bronnen³⁷. Kernenergie zit in de post 'Overige bronnen', tezamen met fall-out van kernproeven en industriële bijdragen.



In de figuur zit de bijdrage van kernenergie in de post 'Overige bronnen', dezelfde post waarin ook de bijdragen van Tsjernobyl, fall-out van kernproeven en industriële bijdragen zitten. Veruit de grootste post is de inhalatie van radon en vervalproducten. Onder 'externe straling verhoogd...' wordt verstaan: van natuurlijke bron, maar door ons handelen verhoogd, zoals gebruik van bepaald bouw materiaal of het maken van een vliegtuig.

Collectieve dosisbeschouwingen voor Routes 1 en 2 en hun betekenis

Bovenstaande gegevens bieden geen mogelijkheden om Route 1 en Route 2 te vergelijken. Wel bieden ze een mogelijkheid resultaten van dosisevaluaties in perspectief te plaatsen.

Om een vergelijking van de routes mogelijk te maken zijn rapporten bestudeerd waarin vergelijkbare routes naast elkaar zijn gezet en de dosisbelasting van werkers en bevolking zijn beschouwd. De meeste studies op dit gebied hanteren het begrip collectieve dosis, een maat die volgens de ICRP met de nodige voorzichtigheid dient te worden gehanteerd.

³⁷ RIVM rapport 861020002/2003, Ionising radiation exposure in the Netherlands, H. Eleveld, 2003

De collectieve dosis is altijd betrokken op een blootgestelde groep en is gelijk aan de over deze groep gesommeerde individuele doses. De eenheid van collectieve dosis is de mens-sievert (mensSv). Als bijvoorbeeld in een groep van 100 personen iedereen gemiddeld 1 microsievert ontvangt (1 miljoenste sievert), dan is de collectieve dosis van deze groep 100 maal de individueel ontvangen dosis, en dit is 100 micro mensSv.

Bij lage individuele doses ten gevolge van een industriële activiteit (lager dan de belasting door de achtergrondstraling), is de collectieve dosis niet geschikt voor het inschatten van gevolgen van deze activiteit. De collectieve dosis is in dat geval wel geschikt voor het vergelijken van de prestaties op gebied van milieubeheer door de jaren heen of het vergelijken van de milieuprestaties van verschillende alternatieven.

Studie door de NEA

In de onderstaande tabel met gegevens ontleend aan een studie door de OECD/NEA³⁸, is de collectieve dosis weergegeven per eenheid van geleverde hoeveelheid energie voor twee scenario's, overeenkomend met Route 1 en Route 2. De geschatte totale collectieve dosis ten gevolge van Route 1 'opwerking' is hoger dan die voor directe opslag, en dit verschil wordt met name veroorzaakt door de dosisbijdrage van de opwerkingsfabriek. Bij deze resultaten moet worden opgemerkt, dat de verschillende dosisbijdragen veelal in verschillende gebieden worden ontvangen en door populaties van verschillende grootte. De dosis betreffende de vermogensproductie (kerncentrale) wordt in Nederland ontvangen, van de overige stappen wordt de dosis vrijwel volledig in het buitenland ontvangen.

³⁸ "Radiological Impacts of Spent Nuclear Fuel Management Options, a Comparative Study" AEN/NEA, ISBN 92-64-17657-8 (2000)

Tabel 5 Collectieve dosis per eenheid geproduceerde energie voor de Routes 1 en 2 voor een scenario uit de NEA studie³⁹

Stappen	Dosis (manSv/GWa)*	
	Route 1 Opwerking	Route 2 Directe Opslag
Mijnbouw	0.8	1.0
Conversie, Verrijking, Fabricage	0.0009	0.0009
Kerncentrale	0.6	0.6
Opwerking	1.2	-
Transport	-	-
Disposal	*	*
Totaal	2.6	1.6

* Deze dosis is afgekapt na 500 jaar, waardoor bijdrage van eindberging niet aanwezig is.

Zoals eerder in deze paragraaf vastgesteld, is het belang van de splijtstofcyclus voor de stralingsbelasting van de bevolking gering. Zie onder andere Figuur 5 waarin de post 'Overige bronnen' (waarin o.a. kernenergie) een aandeel in de individuele dosis neemt van 0.8%. Hierdoor is de stralingsbelasting een niet zo onderscheidende parameter bij de vergelijking van de beschouwde routes.

Radioactiviteit in de Noordepartese wateren, MARINA-studie⁴⁰

Dit onderwerp is kort toegelicht in 3.4.4. Hier volgt een analyse van de inzichten uit het recentelijk (2002) verschenen MARINA II rapport. Dit rapport geeft inzicht in de lozing van radioactieve stoffen door diverse industrieën in het gebied in en langs het Noordoostelijke deel van de Atlantische oceaan, het OSPAR-gebied. Het rapport becijfert hun concentraties en de consequenties voor de mens en het leven in zee. Het rapport voorziet de Europese Commissie van informatie voor haar activiteiten op OSPAR-gebied. In de MARINA studie wordt vastgesteld dat de lozingen van de opwerkingsfabrieken in de afgelopen decennia aanzienlijk zijn gedaald en dat niet-nucleaire activiteiten in en rond het OSPAR gebied de grootste bijdrage aan de stralingsdosis ten gevolge van industriële activiteiten leveren. Voorts wordt gesteld dat er geen aanwijzingen zijn dat schade aan de marine biota wordt toegebracht door de huidige radioactieve emissies.

De belangrijkste onderzoeksresultaten van MARINA-II:

- De overall radiologische impact van de nucleaire industrie is in de periode 1978 – 2000 gedaald van 280 mens Sv /jaar tot 14 mens Sv / jaar. De bijdrage hierin van kernenergiecentrales, splijtstoffabrieken en onderzoeksreactoren is verwaarloosbaar t.o.v. de

³⁹ "Radiological Impacts of Spent Nuclear Fuel Management Options, a Comparative Study" OECD/NEA, ISBN 92-64-17657-8 (2000).

⁴⁰ "MARINA II Update of the MARINA Project on the radiological exposure of the European Community from radioactivity in North European marine waters", C6496/TR/004, August 2002

bijdrage van de twee opwerkingsfabrieken in Europa. De totale impact is gedaald tot het niveau van 1950, toen er nog nauwelijks sprake was nucleaire activiteiten.

- De bijdrage van de fall-out van wapentesten bedroeg in het jaar 2000 7 mens Sv / jaar, terwijl de bijdrage van Tsjernobyl (ongeval in 1986) bijna verdwenen was.
- De allergrootste bijdrage aan de collectieve dosis door niet-natuurlijke bronnen, wordt geleverd door de niet-nucleaire industrie. Die leverde in 2000 de rest van de circa 220 mens Sv / jaar (ongeveer 91%). Het betrof met name de olie- en gasindustrie (off shore) en de fosfaatindustrie.
- Deze waarde wordt echter ruim overtroffen door de bijdrage uit natuurlijke bronnen uit de zee van circa 17000 mens Sv / jaar en een jaarlijkse collectieve dosis uit alle bronnen van natuurlijke achtergrondstraling van 844000 mens Sv.
- Er is volgens MARINA op grond van de huidige kennis en waarnemingen in het MARINA project, geen aantoonbare invloed op het leven in zee van de door de industrie vrijgezette radioactiviteit. De methode om de impact van radioactiviteit op het leven in de zee te bepalen zal zich blijven ontwikkelen en daarmee de nauwkeurigheid waarmee hierover uitspraken zijn te doen.

De resultaten van de MARINA studie zijn beschouwd door de OSPAR Contracting Parties en dit heeft geleid tot hun aanbeveling tot rapportage van de lozingen van de niet-nucleaire industrie.

Rapportage van de ASN betreffende dosisbelasting bevolking bij La Hague

De ASN (l'Autorité de Sûreté Nucléaire) is de instantie die namens de Franse overheid toeziet op de nucleaire veiligheid en de stralingshygiëne in het land.

De ASN brengt jaarlijks verslag uit van haar bevindingen. In het jaarrapport van de ASN van 2003 wordt melding gemaakt van een limiet uitgedrukt in een effectieve individuele dosis voor de lokale bevolking van 20 microsievert per jaar, die opgenomen is in de vergunning van Cogema - La Hague. In werkelijkheid is de dosis die zogenoemde referentiegroepen aldaar van de fabrieken ontvangen, niet hoger dan 8 microsievert per jaar. De ASN meldt dat de totale jaardosis (uit natuurlijke en medische bronnen), ter plekke circa 2500 microsievert bedraagt. Een referentiegroep is gedefinieerd als een groep die representatief is voor de mensen die de hoogste stralingsdosis zullen ontvangen van een bepaalde bron, in dit geval de faciliteiten van Cogema - La Hague.

Resumé dosisbelasting bevolking

Opwerking levert een bijdrage aan de collectieve dosis van de bevolking in het OSPAR gebied. De bijdrage van opwerking aan de collectieve dosis in het OSPAR gebied is zeer klein ten opzichte van de totale bijdrage van industriële activiteiten en een bijzonder kleine fractie van de bijdrage van natuurlijke bronnen. Daarom is met de dosisbelasting van de bevolking uit stralingshygiënische oogpunt geen doorslaggevend onderscheid te geven tussen Route 1 (Opwerking) en Route 2 (Directe Opslag). Voorts wordt bij Route 1 grondstof bespaard en dus

met name mijnbouw beperkt, hetgeen elders tot lagere collectieve doses van werkers en bevolking leidt.

4.1.3 Emissie van broeikasgassen

De uitstoot van broeikasgassen is bij de splijtstofcyclus ongeacht de keuze voor een bepaalde route uiterst gering en daarmee geen sterk onderscheidende parameter. In dit rapport wordt dit aspect daarom niet nader beschouwd.

4.1.4 Verstandig grondstofgebruik

In het kader van verstandig omgaan met beschikbare grondstoffen, kan gekeken worden naar de eindigheid van economisch winbare voorraden van delfstoffen zoals uranium. Hierbij moet bedacht worden dat bij kernenergie, de prijs van de grondstof (splijtstof) niet de belangrijkste factor is in de kostprijs van energie, zoals dat wel het geval is bij op fossiele brandstoffen werkende energiecentrales en dat niet op grote schaal gezocht wordt naar nieuwe uraniumvoorkomens. Voorts is van belang dat iets minder dan de helft van de behoefte aan uranium momenteel gedekt wordt door secundaire bronnen, waarvan uranium uit opwerking er één is, maar andere bronnen ook belangrijk zijn, zoals civiele en militaire voorraden, en het opnieuw verrijken van verarmd uranium uit verrijkingsfabrieken. De aanwezigheid van deze secundaire bronnen, drukt momenteel de prijs van uranium, verkregen uit mijnbouw. Aan de spotmarktprijs is wel te zien dat er sinds 2003 een stijgende trend is in de prijs. Het 'Red Book'⁴¹ van IAEA en OECD, voorziet dat op termijn de secundaire bronnen in belang zullen afnemen (vooral na 2020) en de wereld-uraniumproductie moet toenemen om vraag en aanbod in balans te kunnen houden. Groeiende economieën, zoals die in Azië, zullen bovendien bijdragen aan de toename van de uraniumconsumptie. Dit alles overwegende, lijkt vanuit het oogpunt van zuinig omgaan met de voorraad uranium, Route 1 gunstiger dan Route 2.

In de Nederlandse situatie vindt er hergebruik van REPU plaats, zoals uiteengezet in de paragraaf 3.2.3.

4.2 Veiligheid en non-proliferatie

Nucleaire veiligheid behelst meer dan bedrijfszekerheid en een veilige bedrijfsvoering. De volgende aspecten moeten worden beschouwd:

- Veiligheid, de veiligheid van nucleaire faciliteiten en transporten, waarbij bevolking en milieu beschermd worden tegen ioniserende straling. Misdadige organisaties kunnen proberen hier inbreuk op te maken. Ontwerp en een regime van 'security' (bewaking) zijn er om de veiligheid te garanderen.
- Non-proliferatie; het er voor zorg dragen dat kernenergie enkel voor vreedzame doeleinden wordt gebruikt. Een regime van 'security' (beveiliging) en 'safeguards' (waarborgen zoals

⁴¹ "Uranium 2003: Resources, Production and Demand", IAEA, OECD/NEA, 2004

inspecties, verdragen e.d.) moet dit afdwingen. Misdadige organisaties kunnen proberen hierop inbreuk te maken.

Hieronder wordt geïnventariseerd welke actoren beschouwd moeten worden bij de evaluatie van potentiële inbreuken op veiligheid en non-proliferatie. In paragraaf 4.3 wordt nader ingegaan op het aspect veiligheid, in paragraaf 4.4 wordt het aspect non-proliferatie nader beschouwd.

Actoren in onze beschouwing zijn:

1. 'Nonstate actors', zoals terroristen. Zij hebben:
 - in eerste instantie belang bij toebrengen schade met direct oogmerk veroorzaken van paniek en oogsten van publiciteit;
 - in tweede instantie belang bij bemachtigen direct inzetbaar materiaal voor terroristische doeleinden;
 - geen belang bij materiaal dat eerst vele ingewikkelde bewerkingen moet ondergaan alvorens het gebruikt kan worden.
2. Illegaal opererende 'state actors'. Zij hebben:
 - belang bij bemachtigen materiaal en kunnen materiaal uit verschillende stappen van de cyclus gebruiken;
 - maar meer nog belang bij bemachtigen van kennis.

In deze studie beschouwen we voornamelijk de nonstate actors, zoals terroristen. Bij het bemachtigen van nucleair materiaal door een nonstate actor, heeft deze het probleem dat de weg naar een explosief, uitgaande van het vergaarde materiaal, meestal lang is en diverse installaties van enige omvang vereist. Deze kunnen niet ongemerkt gerealiseerd worden, zonder medewerking van een state actor. Een state actor moet er mee rekening houden, dat na een mogelijke ontdekking van deze inbreuk op de non-proliferatie, politieke, economische en mogelijk militaire druk kan volgen.

4.3 Veiligheid

Veiligheid van de splijststofcyclus wordt technisch gezien beoordeeld aan de hand van de mate waarin het ontwerp en het bedrijven van de diverse nucleaire installaties voldoen aan de wettelijke voorschriften en de opstelling van de organisatie bij de naleving van deze voorschriften, de zogenoemde 'safety culture'. Op een zelfde manier wordt ook de veiligheid van de transporten van nucleair materiaal beoordeeld, die onderdeel zijn van de splijststofcyclus.

De kwantitatieve beoordeling van de veiligheid vindt plaats door middel van veiligheidsanalyses waarmee wordt nagegaan in hoeverre de veiligheid intact blijft ondanks:

1. invloeden van binnen uit zoals fouten van personeel, sabotage, mechanisch falen van leidingen, e.d. of;
2. invloeden van buiten, zoals extreem weer, overstroming, aardbeving, inslag vliegtuig etc.

Ook een terroristische daad kan direct of indirect de veiligheid van een faciliteit of transport in gevaar brengen. In het volgende wordt deze dreiging vergeleken met de zaken waarmee reeds in ontwerpen en procedures is rekening gehouden. Tevens zullen de routes 1 en 2 op dit punt vergeleken worden.

4.3.1 Vergelijking in ontwerp beschouwde inbreuken op de veiligheid met terrorisme

Bij een nucleaire installatie is altijd voorzien in vele barrières die het ontsnappen van radioactieve stoffen tegengaan. Deze barrières moeten ook intact blijven bij abnormale gebeurtenissen, zoals het falen van apparatuur, menselijke fouten en natuurverschijnselen. De strategie van het instellen van meerdere barrières, noemt men in het jargon wel ‘defence in depth’.

Bij veiligheidsanalyses worden ontwerpongevallen en buiten-ontwerpongevallen onderscheiden.

Ontwerpongevallen

Met de eerste klasse van ongevallen moet conform de IAEA aanbevelingen en de Nederlandse veiligheidseisen expliciet rekening gehouden zijn in het ontwerp van de nucleaire faciliteit. Het zijn invloeden (gebeurtenissen) waarbij overeenkomstig de wettelijke eisen aangetoond moet worden, dat de veiligheid van de faciliteit hier tegen bestendig is. Dit zijn hypothetische ongevallen, maar ter beheersing van deze ongevallen zijn veiligheidssystemen aangebracht. Ook bij het optreden van onwaarschijnlijke situaties wordt hiermee de bescherming van het publiek gewaarborgd. De ontwerpongevallen dienen als basis voor het ontwerp van belangrijke delen en systemen van een nucleaire faciliteit. Voorbeelden van beschouwde gebeurtenissen in de faciliteit die een ongeval kunnen veroorzaken zijn falen van (elektrische) systemen, brand en menselijk falen. Voorbeelden van beschouwde gebeurtenissen buiten de faciliteit zijn falen toevoer elektriciteit, brand of explosies naast de faciliteit, neerstorten vliegtuig, aardbevingen en extreme weersomstandigheden.

Bij transporten wordt op een vergelijkbare manier de veiligheid geanalyseerd. Bij transport van nucleair materiaal is naast de controle vooraf (zowel het vervoermiddel, lading als route) ook fysieke beveiliging aanwezig om aanslagen (met eventueel diefstal) te voorkomen. De transportcontainers zijn massieve, tonnen wegende objecten, die zodanig ontworpen zijn, dat zij ook onder een groot aantal extreme omstandigheden niet zullen falen. Bovendien wordt het verloop van nucleaire transporten continu gevolgd. Zo heeft men in Frankrijk een centraal ‘Tracking Center’ waar alle transporten real time gevolgd worden en staat een interventieteam paraat om problemen op te lossen.

Buiten-ontwerpongevallen

Acties waarbij verschillende gebeurtenissen tegelijk zullen optreden, zijn in het ontwerp niet altijd beschouwd (zogenoemde buiten-ontwerpongevallen), maar worden wel in veel veiligheidsanalyses meegenomen. Echter bij een nucleaire installatie waarbij een aanzienlijke inventaris aan radioactieve stoffen aanwezig is, is het aanbrengen van extra voorzieningen ter

beperking van de gevolgen van eventuele buiten-ontwerpegevallen altijd een vereiste. Dit betekent dat ook een dergelijke combinatie van gebeurtenissen beperkte gevolgen voor de omgeving zal hebben. Een gecompliceerde terroristische poging tot inbreuk op de veiligheid, zal qua gevolgen binnen de enveloppe van de gevolgen van de reeds beschouwde buiten-ontwerpegevallen blijven.

Vanwege recente terroristische dreiging zijn bij faciliteiten, zoals de opwerkingsfabriek in La Hague, Frankrijk, extra voorzieningen getroffen. Sommige van deze voorzieningen zijn bekend, maar doorgaans wordt om begrijpelijke redenen geen inzage gegeven in de details. De extra maatregelen hebben tot doel om de kans op het optreden van pogingen tot inbreuk op de veiligheid te minimaliseren. Ook in het kader van de bedrijfszekerheid is dit belangrijk. Een terroristische actie kan ook, wanneer deze zonder gevolgen voor de omgeving blijft, veel economische schade veroorzaken. Een onderbreking van de bedrijfsvoering is een kostbare aangelegenheid, maar ook negatieve publiciteit in relatie tot terreurdaden kan economische schade veroorzaken.

Uit bovenstaande analyse blijkt dat het expliciet beschouwen van terrorisme als oorzaak van inleidende gebeurtenissen, niet leidt tot extra inleidende gebeurtenissen met gevolgen, die nog niet eerder in de veiligheidsanalyses zijn beschouwd. De uiteindelijke invloed op de veiligheid is beperkt, omdat het ontwerp van de installaties en de bedrijfsvoering al rekening houden met dergelijke of vergelijkbare inleidende gebeurtenissen.

In de volgende paragraaf zal ingegaan worden op de verschillen tussen Route 1 (Opwerking) en Route 2 (Directe opberging) ten aanzien van het aspect veiligheid.

4.3.2 Vergelijking van de twee routes ten aanzien van de veiligheid

Zowel ten aanzien van terrorisme als proliferatie geldt, dat niet eenvoudig gesproken kan worden over kansen en risico's. Het is namelijk niet mogelijk om concrete waarden toe te kennen aan de kans op een aanslag of proliferatieactie tijdens de verschillende fasen in het opwerkingsproces of op de faciliteiten en transporten. De verschillende processtappen van de splijtstofcyclus zou men op dit punt beter kunnen vergelijken, indien men naast de conventionele bekende veiligheidsvoorzieningen, ook de extra maatregelen tegen sabotage en terreur in detail zou kennen. Deze zijn met reden niet allen openbaar. De mogelijkheden voor een kwantitatieve analyse van de terreurdreiging ten aanzien van het Nederlandse vraagstuk van opwerking versus directe opslag zijn derhalve beperkt. Wel kunnen op basis van een aantal uitgangspunten een aantal uitspraken worden gedaan.

Het belangrijkste uitgangspunt is, dat de mogelijkheden van een aanslag of proliferatieactie groter zijn naarmate er sprake is van meer nucleaire sites en meer transportbewegingen. De kans op 'succes' van een dergelijke actie hoeft daarmee niet groter te zijn, dit is afhankelijk van de veiligheidsvoorzieningen. Daarnaast kan in het algemeen worden gesteld dat de beveiliging van een transport uit logistiek oogpunt complexer is dan die van een nucleaire site.

De twee Routes

In tabellen Tabel 6 en Tabel 7 zijn respectievelijk de benodigde faciliteiten en de benodigde transporttrajecten opgesomd, voor zowel Route 1 als voor Route 2. Dit biedt een manier om de beschouwde routes te vergelijken. Wanneer we met bovengenoemde uitgangspunten naar de twee Routes kijken, zijn de volgende punten van belang:

- Het aantal nucleaire sites/faciliteiten is in het geval van Route 1 groter dan in het geval van Route 2: respectievelijk 13 en 8 faciliteiten. Route 1 kent derhalve meer locaties waar kwaadwillenden het oog op kunnen laten vallen. Route 1 speelt zich voor een belangrijk deel buiten Nederland af. Op het grondgebied van Nederland hebben we het respectievelijk over 3 en 5 faciliteiten.
- Het totaal aantal trajecten waarlangs nucleaire transporten plaats vinden, is in het geval van Route 1 talrijker dan bij Route 2: respectievelijk 13 en 7 trajecten. Route 1 kent derhalve ook meer transporttrajecten waarlangs kwaadwillenden toe kunnen slaan. Op het grondgebied van Nederland is sprake van het tegenovergestelde: namelijk 3 en 5 trajecten.
- In geval van Route 1 zijn meer faciliteiten/transporttrajecten waar/waarlangs materiaal wordt opgeslagen/vervoerd dat interessant is in het kader van de non-proliferatie.

4.3.3 Resumé veiligheid

De bestaande ontwerpen en procedures, zijn in het verleden aan uitgebreide veiligheidsanalyses onderworpen. Een gecompliceerde terroristische poging tot inbreuk op de veiligheid, zal qua gevolgen binnen de enveloppe van de gevolgen van de reeds beschouwde buitenontwerpongevallen blijven. De reeds bestaande voorzieningen, aangevuld door extra maatregelen, maken dat de kans op 'succes' van een poging tot inbreuk op de veiligheid klein wordt geacht. De getroffen voorzieningen zijn niet allen openbaar, een kwantitatieve analyse wordt hierdoor moeilijk.

Bij het vergelijken van routes, kan men in een eerste benadering het aantal processtappen beschouwen. Route 1 kent meer faciliteiten en transporten dan Route 2. Op Nederlands grondgebied geldt het tegenovergestelde. Bij deze constatering dient te worden opgemerkt, dat niet elk van de in de tabellen opgenomen faciliteiten en transporttrajecten een even grote bijdrage aan een theoretisch risico vertegenwoordigt. Daarnaast zijn de fysieke voorzieningen in ontwerp en beveiliging van een faciliteit altijd in verhouding tot het belang in de cyclus en het belang van de zaken die beschermd dienen te worden. Het aantal faciliteiten en transporttrajecten is echter wel de meest concrete indicator voor de mogelijkheid van een poging tot een inbreuk op de veiligheid.

Tabel 6 Geïdentificeerde nucleaire faciliteiten per route van de splijtstofcyclus.

Stappen	Faciliteit	Route 1	Route 2
Uranium Mijnbouw	U-mijn	1	1
Concentratie erts – conversie erts	Conversiefaciliteit	1	1
Verrijking van uranium	Verrijkingsfaciliteit	<u>1</u>	<u>1</u>
Fabricage van UO ₂ splijtstof	UO ₂ Fabricageplant	1	1
UO ₂ in kerncentrale	Kerncentrale	<u>1</u>	<u>1</u>
Tijdelijke opslag splijtstofelementen	Opslagfaciliteit	1	<u>1</u> *)
Opwerking/afscheiding U en Pu en verglazing van afval	Opwerkingsfaciliteit	1	
Fabricage van MOX fabricage	MOX Fabricageplant	1	
MOX in kerncentrale	Kerncentrale	1	
Interim opslag	Opslag faciliteit	1	
Conditioneren	Conditioneringsfaciliteit	1	<u>1</u> *)
Eindberging	Eindberging verglaasd afval	<u>1</u>	
	Eindberging geconditioneerd bestraald MOX/UOX	1	<u>1</u> *)
	Eindberging Pu en REPU	2	
Totaal aantal faciliteiten		13	8
Totaal aantal faciliteiten NL		<u>3</u>	<u>5</u>

*) Nog in Nederland aan te leggen faciliteiten

Onderstreept staat voor: mogelijk uit te voeren in Nederland

Tabel 7 Aantal Transporttrajecten per route van de splijtstofcyclus. Let wel: het aantal transporttrajecten is niet gelijk aan het aantal transporten.

Stappen	Faciliteit	Transporttraject naar faciliteit	
		Route 1	Route 2
Uranium Mijnbouw	U-mijn		
Concentratie erts – conversie erts	Conversiefaciliteit	1	1
Verrijking van uranium	Verrijkingsfaciliteit	<u>1</u>	<u>1</u>
Fabricage van UO ₂ splijtstof	UO ₂ Fabricageplant	1	1
UO ₂ in kerncentrale	Kerncentrale	<u>1</u>	<u>1</u>
Tijdelijke opslag splijtstofelementen	Opslagfaciliteit		<u>1</u> *)
Opwerking/afscheiding U en Pu en verglazing van afval	Opwerkingsfaciliteit	1	
Fabricage van MOX fabricage	MOX Fabricageplant	1	
MOX in kerncentrale	Kerncentrale	1	
Interim opslag	Opslagfaciliteit	1	
Conditioneren	Conditioneringsfaciliteit	1	<u>1</u> *)
Eindberging	Eindberging verglaasd afval	<u>1</u>	
	Eindberging geconditioneerd bestraald MOX/UOX	1	<u>1</u> *)
	Eindberging Pu en REPU	2	
Totaal aantal trajecten		13	7
Trajecten in Nederland		3	5

*) Nog geen faciliteit in Nederland beschikbaar, nog te bouwen

Onderstreept staat voor: mogelijk uit te voeren in Nederland

4.4 Non-proliferatie

In paragraaf 4.2 is het aspect non-proliferatie in samenhang met veiligheid geïntroduceerd. In deze paragraaf wordt gekeken naar de waarschijnlijkheid van inbreuk op de non-proliferatie. Hierbij is naast aandacht voor dit aspect in het heden ook aandacht voor de lange termijn. Net zoals bij het aspect veiligheid, is hier geen kwantitatieve analyse te maken. In het onderstaande worden eerst de mogelijke inbreuken geëvalueerd, waarna de beschouwde routes worden vergeleken. Voor een breder perspectief is er tevens enige aandacht voor invloeden buiten onze directe invloedssfeer.

4.4.1 Non-proliferatie en evaluatie mogelijke inbreuken

Alle staten die het NPT en andere verdragen bij de IAEA hebben getekend, hebben zich verplicht tot het hanteren van uitgebreide 'safeguards' (waarborgen). De staten van de EU, zijn zelfs onderworpen aan twee safeguards-regimes, Euratom en NPT. Tot op heden zijn geen inbreuken op dit safeguards regime in de EU geconstateerd.

In het volgende beschouwen we de inbreuk op non-proliferatie door ontvreemding van materiaal. Dit kan gebeuren van binnenuit (diefstal door medewerker) of van buitenaf (overval).

Proliferatie van materiaal uit een faciliteit

Diefstal van materiaal door medewerkers is een aspect dat al decennia lang de aandacht heeft van de nucleaire industrie en waar veel voorzieningen tegen getroffen zijn. Zo dient men zich in veel faciliteiten tot op het ondergoed uit te kleden en daarna bedrijfskleding aan te trekken, alvorens toegang te krijgen tot de gebieden waar met splijtstof wordt gewerkt. Tevens zijn er voorzieningen voor de detectie van neutronen, waarmee de aanwezigheid van splijtstof direct kan worden gesignaleerd. Het is bekend dat in veel faciliteiten de medewerkers voor en na betreden van ruimtes gewogen worden tijdens het verblijf in een portaalmonitor. Tot slot kennen zeker bedrijven zoals de splijtstoffabrieken en opwerkingsfaciliteiten in Europa een uitgebreide screening van hun medewerkers.

Een gewelddadige overval op een nucleaire faciliteit met als doel het ontvreemden van materiaal, is een onwaarschijnlijk scenario, gezien de fysieke voorzieningen, die bij die faciliteiten zijn getroffen in de vorm van (gewapende) bewaking, omheiningen, detectiemiddelen en de structuur van de gebouwen. Op dezelfde gronden is een inbraak van buitenaf met daarbij ontsnapping met proliferatiegevoelig materiaal even onwaarschijnlijk.

Proliferatie van materiaal van transporten

Al decennia lang is er veel aandacht voor de beveiliging van de transporten van materiaal uit de splijtstofcyclus. Transporten kennen beveiliging door de karakteristieken van de transportmiddelen (sterkte en gewicht containers) en de fysieke beveiliging door bijvoorbeeld politie. Tevens wordt het verloop van het transport op afstand gevolgd. De inzet van de middelen is daarbij proportioneel met het belang van het vervoerde materiaal. Ertsen behoeven bijvoorbeeld veel minder beveiliging dan gebruikte splijtstof, aangezien het ontvreemden daarvan nauwelijks relevantie heeft voor de non-proliferatie.

Diefstal door bijvoorbeeld een chauffeur van een transport van gebruikte splijtstof, kan als zeer onwaarschijnlijk worden beoordeeld. Hij moet er eerst in slagen zijn voertuig van de route laten afwijken ondanks de zorg van de politie, maar dan nog zal het moeilijk zijn ongemerkt met de zware container te ontsnappen. Transporten kunnen bovendien op afstand gevolgd worden middels GPS en andere technische middelen.

Het slagen van een gewelddadige overval op een transport, met als doel verkrijgen van materiaal, moet ook als onwaarschijnlijk worden geacht. Als het doel is verkrijgen van materiaal, dan zal men de zware container en het transportmiddel in tact moeten laten. Ook als men de container in of op een ander vervoermiddel tracht te plaatsen, dan zal nog steeds dit transport niet onopgemerkt plaats kunnen vinden. Hierdoor zullen de autoriteiten de tijd hebben om in te grijpen met geëigende middelen.

4.4.2 *Vergelijking Route 1 en Route 2*

Niet alle materialen uit de splijtstofcyclus zijn interessant voor illegaal opererende actoren, die een nucleair explosief willen produceren. Ertsen, uranium concentraten, 'lastig' hanteerbare vormen als uraniumhexafluoride, zijn minder aantrekkelijk en vereisen veel bewerkingen, waarvoor uitgebreide faciliteiten noodzakelijk zijn. Meest geschikt voor het maken van een nucleair explosief zijn hoogverrijkt plutonium (weapon-grade) of hoogverrijkt uranium, maar deze komen beide niet voor in de routes 1 en 2.

In paragraaf 4.2 is reeds vastgesteld dat Route 1 (opwerking) meer faciliteiten kent en meer trajecten waarlangs materiaal moet worden getransporteerd. Uit proliferatie-oogpunt is bovendien het optreden van afgescheiden plutonium en zuiver MOX op een beperkt aantal plekken een belangrijk gegeven. Met dit 'reactor-grade' plutonium, kan weliswaar theoretisch een nucleair explosief worden vervaardigd, maar het reactor-grade materiaal is praktisch gezien ongeschikt en eist veel van de detonatietechniek (zie ook paragraaf 3.2.1).

Voor de Nederlandse situatie zijn er bij Route 2 mogelijk meer faciliteiten en transporten op nationaal grondgebied dan bij Route 1. Bij Route 2 moet een nieuwe stap geïntroduceerd worden, de conditionering. Dit is de stap waarbij de splijtstof klaar gemaakt wordt voor berging, in bergingscontainers geplaatst en/of transportcontainers. Dit hangt af van het ontwerp.

Op zich is het realiseren van voorzieningen die de non-proliferatie moeten garanderen, bij de conditioneringsfaciliteit niet anders dan bij andere nucleaire faciliteiten: ontwerp, meetmethodes, verzegelingen, monitoringsystemen, camera's en dergelijke. Deze stap kan in Nederland uitgevoerd worden, of tegen betaling in een nog te bouwen faciliteit in het buitenland.

Na conditionering kan de gebruikte splijtstof in een eindberging worden geplaatst. Hierbij zijn er drie fases, waarbij de eerste fase bij Route 2 vooral van belang is bij de beschouwing van non-proliferatie.

1. De berging als 'actieve' berging, met tunnels waarin voortdurend geconditioneerde splijtstof wordt aangevoerd, en transportcontainers de berging na lossen weer verlaten;
2. De berging in fase van 'terughaalbaarheid' van afval, gedurende welke de tunnels nog toegankelijk zijn, maar geen containers worden geplaatst;
3. De berging nadat deze afgesloten is, opgevuld en een definitieve eindberging is geworden.

In de eerste fase van berging in Route 2 zijn er continue bewegingen van gebruikte splijtstof. Er moet voor gewaakt worden, dat transportcontainers, die na lossen de berging verlaten, nog splijtstof bevatten. Verificatieactiviteiten zijn nodig om de afwezigheid van een onttrekking van splijtstof aan de 'open' berging aan te tonen.

4.4.3 *Non-proliferatie voor de lange termijn*

Bij Route 1 wordt een ander eindproduct in een ondergrondse eindberging geplaatst dan bij Route 2. Bij de eerste route zal gebruikte splijtstof en verglaasd afval opgeborgen worden, bij de tweede gaat het alleen om gebruikte UO₂ splijtstof. Uit proliferatie-oogpunt is het verglaasde afval niet interessant, omdat dit splijtstofproducten en 'minor actinides' bevat en geen uranium of plutonium. In de eerste jaren van bedrijf van de eindbergingsfaciliteit, zal dit verschil niet relevant zijn, mits er afdoende safeguards zijn.

Maar op langere termijn (100 jaar, enkele eeuwen) kan dit wel van belang zijn, indien men beschouwt dat latere generaties de gebruikte splijtstof zouden willen delven. In theorie is de gebruikte splijtstof weer te gebruiken als splijtstof.

Ter relativering mag wel worden gesteld dat een omvangrijke operatie (mijnbouw) vereist is, om een eenmaal afgesloten ondergrondse berging weer in gebruik te nemen. In principe moeten alle gangen weer opnieuw gedolven worden om bij het opgeslagen materiaal te komen; geen operatie die ongemerkt kan worden uitgevoerd. Indien het materiaal toch gedolven zou worden dan kan men het volgende onderscheid tussen routes 1 en 2 aangeven:

- Bij Route 1 opwerking is, per eenheid van geleverde hoeveelheid electriciteit, minder plutonium opslagen in een eindbergingfaciliteit dan bij Route 2 directe opslag;
- Bij Route 1 opwerking is de plutonium concentratie in gebruikte MOX splijtstof hoger dan de plutonium concentratie in gebruikte UO₂ splijtstof;
- Echter, de kwaliteit van het plutonium in Route 1 is minder geschikt (het betreft hier het zogenoemde 2^e generatie of 'dirty' plutonium) voor het vervaardigen van een nucleair explosief dan het plutonium in Route 2.

4.4.4 *Non-proliferatie en bedreigingen buiten onze directe invloedssfeer*

Het is van groot belang dat Nederland en andere partijen die het NPT ondertekend hebben, een optimaal beleid voeren ten aanzien van non-proliferatie en verbeteringen implementeren, waar deze mogelijk zijn. Hierbij mag echter niet uit het oog verloren worden, dat er buiten onze directe invloedssfeer mogelijkheden zijn voor kwaadwillende personen en organisaties om aan nucleaire kennis en materiaal te komen. Zo is recent vastgesteld dat vanuit Pakistan kennis en kunde zijn weg heeft gevonden naar vele landen in het Midden-Oosten. In de internationale gemeenschap zijn er voorts zorgen over de nucleaire activiteiten van landen zoals Noord-Korea en Iran.

Voor het maken van een eenvoudig kernwapen dient men te beschikken over uranium-235 in de vorm van zeer hoog verrijkt uranium. In routes 1 en 2 wordt dit niet gebruikt. Om verrijkt uranium, uitgaande van natuurlijk of laag-verrijkt uranium, te verkrijgen, zijn hoogwaardige technologische kennis en faciliteiten nodig. Het beheer van een dergelijk productieproces vereist een organisatie van enige omvang. Dit kan alleen door medewerking van een state actor gerealiseerd worden. De schaal van een dergelijke bedrijfsvoering maakt dat deze lastig is te verbergen, maar dit is niet onmogelijk.

Een ander optie is gebruik van het splijtbaar Pu-239 in de vorm van opgewerkt kort bestraald uranium. Kort bestraald uranium (enkele weken bestraald) komt niet voor in de splijtstofcyclus. Dit houdt in dat men zelf uranium moet gaan bestralen. Een activiteit die niet eenvoudig ongemerkt kan plaats vinden omdat men hiervoor een reactor moet bouwen. Ook dit vereist de medewerking van een state actor. Langdurig bestraald uranium dat wel in de splijtstofcyclus voor komt, is praktisch gezien niet geschikt, zoals uitgelegd in paragraaf 3.2.1. Dit geldt in meerdere mate voor bestraalde MOX splijtstof.

Een directere route naar een compleet kernwapen, die minder faciliteiten en technische kennis vereist, is de clandestiene aankoop van een dergelijk object. Een nadere beschouwing van deze optie valt buiten het bestek van deze studie.

4.4.5 Gebruik van materiaal voor een radioactive dispersion device (RDD)

Een kwaadwillende persoon of organisatie kan materiaal uit de splijtstofcyclus willen gebruiken voor de aanmaak van een zogenoemde ‘dirty bomb’. Dit is geen ‘nucleair’ explosief, maar een combinatie van een conventioneel explosief en enig radioactief materiaal. Deze combinatie wordt in het jargon ook wel een ‘radioactive dispersion device’ (RDD) genoemd. Een dergelijk explosief geeft schade door de explosie en verspreidt lokaal enige radioactiviteit. Logistiek kan een RDD veel problemen veroorzaken (bijvoorbeeld opruimen in druk gebied), nog afgezien van de er mee veroorzaakte onrust.

Om onrust te veroorzaken volstaat het waarschijnlijk om te dreigen met detonatie van een RDD, zelfs als men niet over een dergelijk explosief beschikt.

Voor de constructie van een RDD is niet noodzakelijkerwijs materiaal uit de splijtstofcyclus nodig, radioactief materiaal is ruim voorhanden buiten de nucleaire industrie. Zelfs in een land als Frankrijk, met een grote nucleaire sector, maken de transporten voor de splijtstofcyclus maar circa een procent uit van het totaal aantal transporten van radioactief materiaal. Zo bezien is de dreiging met een RDD niet uniek voor de splijtstofcyclus.

4.4.6 Resumé non-proliferatie

Met de bestaande ‘safeguards’ is rekening gehouden met pogingen tot inbreuk op de non-proliferatie. De kans op ‘succes’ van een dergelijke poging tot inbreuk wordt klein geacht.

Bij de vergelijking van routes 1 en 2 kan men in eerste benadering het aantal processtappen beschouwen. Route 1 kent in totaal meer stappen en Route 2 kent meer stappen op Nederlands grondgebied. Route 1 kent reactor-grade plutonium als plutoniumoxide en in MOX, maar dit is praktisch gezien niet geschikt voor de aanmaak van een kernwapen

4.5 Economische aspecten

Veel economische studies gaan uit van een theoretische ‘blanco’ situatie, waarin de faciliteiten van de splijtstofcyclus nog moeten worden opgebouwd. Dat dit onrealistisch is, behoeft geen betoog. Veelal zijn de installaties zoals opwerkingsfabrieken reeds ‘afgeschreven’ of behoeven voor modernisering beperkte investeringen. Zo kunnen de kosten per verwerkte ton splijtstof aanzienlijk lager zijn, dan bij de aanvang van het bedrijf van deze installaties het geval was. Met dit gegeven moet rekening worden gehouden bij de evaluatie van de beschikbare economische studies betreffende de splijtstofcyclus.

Bovendien moet opgemerkt worden dat er bij de verschillende kostenramingen uitgegaan wordt van een situatie waarin men vrijelijk kan kiezen voor de opwerking dan wel de directe opslag variant. In de praktijk kennen landen met een nucleaire sector een beleid ten aanzien van eindverwerking en hebben daaruit volgende verplichtingen, of zijn er reeds infrastructuren voor opwerking operationeel zoals in Frankrijk.

4.5.1 Overzicht beschouwde studies

In een studie van het Belfer Center⁴² wordt de ‘breakeven’ prijs van uranium beschouwd waarbij opwerking voordeliger wordt dan directe opslag. Hierbij wordt een prijsniveau van 360 USD/kg U berekend, terwijl de huidige prijsniveaus van de orde 40 USD/kg U zijn. In de Amerikaanse situatie zijn er geen opwerkingsfaciliteiten beschikbaar; die moeten nog worden opgebouwd, zou men ooit tot opwerken in eigen land besluiten.

Een andere referentie⁴³ geeft een uitgebreide analyse van de aspecten van economie, veiligheid, proliferatie, en milieu. De conclusie van dit rapport is, dat de kosten van nucleaire elektriciteitsproductie in de Verenigde Staten niet competitief zijn. Door sterke kostenreductie en toepassing van zogenoemde ‘carbon emission credit’ kan nucleair wel competitief worden. Voor wat betreft milieuargumenten wordt genoemd dat eindberging weliswaar technisch realiseerbaar is, maar dat uitvoering nog gedemonstreerd moet worden. Verder wordt gesteld dat de huidige opwerkingsstrategie van Europa en Japan niet compatibel is met de eis dat er geen wapenbruikbaar materiaal wordt geproduceerd. Aan deze eis zou kunnen worden voldaan door bijvoorbeeld uranium en splijtingsproducten en ‘minor actinides’ met het plutonium gemengd te

⁴² “*The Economics of Reprocessing vs. Direct Disposal of Spent Nuclear Fuel*”, M. Bunn, S. Fetter, J.P. Holdren, Belfer Center for Science and International Affairs, DE-FG26-99FT4028, 2003.

⁴³ “*The Future of Nuclear Power, An interdisciplinary MIT study*”, MIT, 2003

houden. Het rapport concludeert dat de directe opslag route het beste aan de genoemde uitdagingen voor kosten, milieu, veiligheid en proliferatie kan voldoen.

Opvallend is dat er grote verschillen bestaan tussen de kostenvergelijking van verschillende instanties. Zo concludeert een studie van OECD/NEA⁴⁴ dat de splijtstofcycluskosten voor directe opslag 15% lager zijn dan die voor opwerking, terwijl een andere studie concludeert dat de splijtstofcycluskosten bij directe opslag route vier maal goedkoper zijn. Deze verschillen worden met name bepaald door verschillende aannames voor de zogenoemde ‘unit costs’ van de verschillende stappen binnen de splijtstofcyclus. Voorbeelden hiervan zijn kosten aanschaf uranium, opwerkingskosten en kosten eindberging hoogactief afval. Eén en ander wordt met name bemoeilijkt doordat slechts weinig data beschikbaar zijn voor opwerking en de kosten van de eindberging van hoogactief afval zeer onzeker zijn, omdat dit op dit moment nog niet in de praktijk wordt gebracht.

4.5.2 *Huidige economische realiteit*

De raderen van deregulering zijn door de Europese Unie in gang gezet en veel is veranderd in de markt van energieopwekking en distributie, activiteiten die min of meer ontkoppeld worden. Daarnaast is juist een grote consolidatieslag voltooid, waarbij vele aanbieders tot veel grotere zijn samengevoegd. Voor de nucleaire industrie betekent dit dat enorme firma's zijn ontstaan, die meerdere stappen van de splijtstofcyclus in hun portefeuille hebben. Een voorbeeld is AREVA, dat van mijnbouw tot en met MOX-productie diensten kan leveren. Dergelijke aanbieders kunnen door de ‘economy of scale’ prijzen voor hun diensten interessant houden voor hun klanten. Door hun veelheid aan diensten kunnen zij ook onder aantrekkelijke voorwaarden bepaalde pakketten aanbieden. Hierdoor kunnen theoretische economische berekeningen niet de prijs voorspellen die een centrale betaalt voor bijvoorbeeld de opwerking van gebruikte splijtstof.

4.5.3 *Kosten noodzakelijke voorzieningen bij gewijzigde praktijk*

Momenteel wordt in Nederland Route 1, opwerking, gepraktiseerd. Mocht men op enigerlei wijze deze praktijk kunnen wijzigen ten gunste van Route 2, dan kunnen er kosten zijn ten gevolge van het verbreken van een contract:

1. Kosten vastgelegd in (bij de auteurs niet bekende) clausules in contract tussen ‘opwerker’ en centrale in de vorm van boetes bij verbreken contract;
2. Wellicht ongunstigere regelingen ten aanzien van verrekening reststoffen uit opwerkingsactiviteiten;
3. Daarnaast betekent een keuze voor Route 2, dat bepaalde voorzieningen geregeld dienen te worden zoals een interim opslag voor gebruikte splijtstof, die nog niet aanwezig is. Er is wel het HABOG, maar dat gebouw is specifiek ontworpen voor de ontvangst van verglaasd afval, voor anders-soortig afval zal een nieuw gebouw moeten worden ontworpen en gebouwd.

⁴⁴, “*The economics of the nuclear fuel cycle*”, OECD/NEA, 1994

Overigens is er op termijn bij Route 1 een modulaire uitbreiding van het HABOG noodzakelijk voor de opslag van verglaasd afval, dat ontstaat uit splijtstof die na 2007 uit de kern van de kerncentrale te Borssele wordt ontladen. De kosten hiervan zullen naar verwachting lager zijn dan voor het ontwerp en de bouw van een geheel nieuw gebouw voor onbewerkte splijtstof;

4. Er zal een conditioneringsfaciliteit moeten worden gerealiseerd voor het gereed maken van splijtstof voor de eindberging. In deze te bouwen faciliteit wordt de splijtstof vrijgemaakt uit het splijtstofelement en in speciale containers gedaan, die geschikt zijn voor opslag in een eindberging. Momenteel is er geen conditioneringsfaciliteit in Europa operationeel, wel zijn er experimenten op dat gebied gedaan. Mocht er één ergens in Europa voltooid zijn tegen de tijd dat deze voor Nederlandse splijtstof nodig is, dan kan een Nederlandse klant pogen daarvan tegen betaling gebruik te maken.

De keuze voor Route 2 zal ook consequenties hebben voor de eisen te stellen aan een eindberging. De kosten hiervan liggen wel in een verdere toekomst, dan de extra kosten voor een nieuwe interim opslagplaats. De opbouw van financiële voorzieningen voor een eindberging kan daarom profiteren van in de tijd groeiende fondsen. Niettemin zal, gezien de toename van het volume van het hoogactieve warmteproducerende afval, en het moeten hanteren van grotere containers de aanleg en het bedrijf van een eindberging bij Route 2 kostbaarder zijn dan bij Route 1. Tevens zullen eerder gedane veiligheidsanalyses uit onderzoeksprogramma's zoals CORA voor een nieuw ontwerp opnieuw gedaan moeten worden.

4.5.4 *Resumé kosten*

Geconcludeerd kan worden dat vele economische studies voor de opwerkingsroute hogere kosten berekenen dan voor het scenario van de directe opslag route. Wel gaat men doorgaans uit van nog te bouwen installaties, en bestaan er grote verschillen in de kostenramingen voor beide varianten. In de praktijk zal een bedrijver van een kernenergiecentrale te maken hebben met de contractvoorwaarden van een opwerkingscontract en de getroffen voorzieningen in eigen land voor de opberging van een bepaalde afvalvorm. Het geheel van deze zaken bepaalt welke route voor hem de voordeligste is. In het geval van de Nederlandse situatie lijkt er geen financieel voordeel te behalen met een keuze voor Route 2.

4.6 **Evaluatie**

Onderstaand worden de bevindingen van de analyse in Hoofdstuk 4 puntsgewijs weergegeven.

Milieu

- Route 1 (opwerking) geeft een grotere bijdrage aan de collectieve dosis dan Route 2 (directe opslag). Uit stralingshygiënisch oogpunt is er geen groot onderscheid tussen de routes. De bijdrage van opwerking aan de collectieve dosis in het OSPAR gebied is klein (6%) ten opzichte van de totale bijdrage van industriële activiteiten en is een bijzonder kleine fractie (1/60000) van de bijdrage van de natuurlijke bronnen. Voorts wordt bij Route

1 grondstof bespaard en dus met name mijnbouw beperkt, hetgeen elders tot lagere collectieve doses van werkers en bevolking leidt.

- Opwerking reduceert de behoefte aan mijnbouw en spaart de uraniumvoorraden.
- Opwerking en hergebruik in MOX vermindert de hoeveelheid plutonium in de te bergen eindproducten.
- Opwerking reduceert de hoeveelheid hoogactief warmteproducerend afval die moet worden opgeslagen. Voor de Nederlandse situatie betekent dit een volumereductie van dit type afval dat bij COVRA moet worden opgeslagen.

Veiligheid

- Het beschouwen van terrorisme bij veiligheidsanalyses, leidt niet tot gevolgen, die niet eerder zijn beschouwd bij veiligheidsanalyses. De uiteindelijke invloed op de veiligheid is beperkt, omdat het ontwerp en de bedrijfsvoering al rekening hielden met vergelijkbare inleidende gebeurtenissen en hun mogelijke gevolgen.
- Bij sommige faciliteiten, zoals de opwerkingsfabriek in La Hague, Frankrijk, zijn recent extra voorzieningen getroffen. Sommige van deze voorzieningen zijn bekend, maar doorgaans wordt om begrijpelijke redenen geen inzage gegeven in de details.
- De extra maatregelen hebben tot doel om de kans op het optreden van pogingen tot inbreuk op de veiligheid te minimaliseren. Ook in het kader van de bedrijfszekerheid is dit belangrijk. Een terroristische actie kan ook, wanneer deze zonder gevolgen voor de omgeving blijft, economische schade veroorzaken.
- Diefstal van nucleair materiaal uit installaties en tijdens transporten die onderdeel uitmaken van de Nederlandse splijtstofcyclus, lijkt vooralsnog geen ernstige bedreiging.
- Route 1 kent meer faciliteiten en transportroutes waar kwaadwillenden het oog op kunnen laten vallen. Beperken we ons tot Nederland, dan is het aantal faciliteiten en transporten het grootste bij Route 2. Er kan echter niet worden gesteld dat de kans op nadelige gevolgen bij de ene route groter is dan bij de andere. Deze kans hangt samen met de geïmplementeerde veiligheidsvoorzieningen bij de diverse processtappen.
- De ‘dirty bomb’ problematiek is actueel, maar is niet specifiek voor de splijtstofcyclus. Radioactieve stoffen zijn in vele andere sectoren beschikbaar en genieten daar een beperktere bescherming. Om onrust te veroorzaken volstaat het te dreigen met het toepassen van een dirty bomb, ondanks het feit dat de stralingshygiënische impact van een dergelijk explosief veelal beperkt en lokaal zal zijn.

Non-proliferatie

- Actoren die kunnen overwegen inbreuk te maken op non-proliferatie zijn ‘state actors’ en ‘nonstate actors’ zoals terroristen. State actors hebben meer belang bij het bemachtigen van kennis dan bij het ontvreemden van materiaal. Nonstate actors hebben belang bij het toebrengen van schade en het bemachtigen van direct inzetbaar materiaal. Zij hebben minder belang bij materiaal dat vele uitgebreide bewerkingen moet ondergaan. Hiervoor zou de medewerking van state actors nodig zijn. De handelingen van state actors kunnen eerder worden opgemerkt.

- Voor de productie van een kernwapen, gebaseerd op uranium, is zeer hoog verrijkt uranium nodig, dit komt in zowel Route 1 als Route 2 niet voor. Een kernwapen kan ook uit hoogverrijkt plutonium (93% Pu-239) gemaakt worden, dit komt in zowel Route 1 als Route 2 niet voor.
- Het is in theorie mogelijk ook van ‘reactor grade’ plutonium (50% Pu-239) in splijtstof een wapen te maken. Dit zou de ontwikkeling vergen van nieuwe kernwapens en bijbehorende testen, vanwege de versturende werking van Pu-240. Overigens wordt de kwaliteit van plutonium bij hogere opbrand en na hergebruik in de vorm van MOX steeds minder, omdat steeds meer Pu-239 verspleten wordt en er meer versturend Pu-240 wordt geproduceerd.
- Route 1 (opwerking) kent meer processtappen waarbij voorzieningen t.a.v. non-proliferatie getroffen dienen te zijn dan Route 2. Hierbij dient aangemerkt te worden dat (i) deze processtappen specifieke beveiliging hebben en (ii) het uit opwerking voortkomende ‘reactor-grade’ plutonium veel minder bruikbaar is voor nucleaire explosieven dan het ‘weapon-grade’ plutonium. Van de extra maatregelen die bij onderdelen van de splijtstofcyclus zijn genomen, is een deel niet openbaar, hetgeen een kwantitatieve beschouwing bemoeilijkt.
- De huidige trend naar verhoging van de opbrand van splijtstof, geeft een voor kernwapens verslechterde vorm van plutonium, zodat dit materiaal nog minder geschikt is voor het maken van nucleaire explosieven.
- ‘Nuclear capability’ is tegenwoordig ook buiten onze directe invloedssfeer beschikbaar. Vanwege de noodzakelijke infrastructuur is het lastig deze lange tijd onopgemerkt te houden, maar dat is niet onmogelijk.

Economische aspecten

- De meeste economische studies veronderstellen een ‘blanco’ nucleaire strategie waarin de keuze voor opwerking of directe opslag nog vrijelijk gemaakt kan worden en installaties nog gebouwd moeten worden. In de praktijk spelen factoren als het reeds hebben van lopende verplichtingen en/of nucleaire faciliteiten een grotere rol in de economische beschouwingen.
- In de nucleaire industrie is er tegelijk met de liberalisering van de energiemarkt een consolidatieslag gemaakt, waaruit firma’s zijn ontstaan die alle diensten voor de splijtstofcyclus kunnen aanbieden. De consolidatie heeft gunstig gewerkt op de kostenbeheersing. Economische modellen kunnen daarom niet de prijs voorspellen, die een centrale betaalt voor bijvoorbeeld de opwerking van gebruikte splijtstof.
- In de Nederlandse situatie lijkt er geen economisch voordeel te behalen uit een verandering van Route 1 (opwerking) naar Route 2 (directe opslag). Er kunnen daarbij namelijk aanvullende kosten zullen zijn 1) ten aanzien van kosten vastgelegd in clauses in het opwerkingscontract, 2) ongunstigere regelingen met betrekking tot verrekening reststoffen uit opwerkingsactiviteiten, 3) aanleg nieuwe voorzieningen zoals een opslag gebouw voor gebruikte splijtstof en 4) kosten voor de conditionering van gebruikte (niet opgewerkte) splijtstof in een hier of in het buitenland nog te bouwen faciliteit. Overigens is er op termijn bij Route 1 een modulaire uitbreiding van het HABOG

noodzakelijk voor de opslag van verglaasd afval, dat ontstaat uit splijtstof die na 2007 uit de kern van de kerncentrale te Borssele wordt ontladen. De kosten hiervan zullen naar verwachting lager zijn dan voor het ontwerp en de bouw van een geheel nieuw gebouw voor onbewerkte splijtstof;

- Opwerking reduceert de hoeveelheid hoogactief afval die moet worden opgeslagen. Voor de Nederlandse situatie betekent dit een volumereductie van het hoogactieve warmteproducerende afval dat bij COVRA moet worden opgeslagen. Dit kan in een later stadium bij de aanleg van een eindberging een kostenvoordeel betekenen. De beperktere warmtebelasting van de berging en de geringere lengte van de containers waarmee in het ontwerp rekening moet worden gehouden, zijn factoren die kostenbesparend werken. Echter, kosten voor een eindberging liggen in een wat verdere toekomst, waarbij geprofiteerd kan worden van in de tijd groeiende fondsen.

Bijlage - Samenvatting rapporten uit 1999 en 1997

Hieronder worden de resultaten van een NRG-studie⁴⁵ uit 1999 en een ECN-studie⁴⁶ uit 1997 kort samengevat, voor zover deze relevant zijn voor het project “Ontwikkelingen met betrekking tot eindverwerking van gebruikte splijtstof”. In de in 1997 uitgevoerde studie werden twee routes voor de verwerking van gebruikte splijtstof beschouwd: Route 1 ‘Opwerking’ en Route 2 ‘Directe opslag’. Voor beide routes is destijds een evaluatie gemaakt van de voor- en nadelen van de routes, waarbij alle processtappen van de splijtstofcyclus zijn beschouwd.

In de studie van 1999 zijn aanvullende vragen van de Tweede Kamer beantwoord betreffende onder andere de stralingsbelasting in de omgeving van de opwerkingsfabrieken, het gebruik van MOX, de financiële onzekerheden rond de conditionering van gebruikte splijtstof, de mogelijkheden om splijtstof bij de centrales op te slaan en de stralingshygiëne bij het transport tussen opwerkingsfabrieken en centrales.

Er dient opgemerkt te worden dat de onderzoeksvragen destijds anders waren dan bij het opstellen van het voorliggende rapport.

Milieu

Belangrijk voor de bijdrage aan de stralingsbelasting zijn volgens het rapport uit 1997 (gememoreerd in 1999), de stappen mijnbouw van uranium en opwerking van splijtstof. Het verschil in stralingsbelasting tussen beide routes is met name afhankelijk van de mate van vermindering van stralingsbelasting van de mijnbouw en de toename van de stralingsbelasting door opwerking in Route 1. Deze effecten zijn van dezelfde orde van grootte.

Veiligheid

In het rapport uit 1999 is een aantal aspecten van opslag en transport van gebruikte splijtstof uitgebreid behandeld. Het aspect veiligheid nam hierbij geen prominente plaats in. Destijds was met name aandacht voor uitwendige besmetting van containers. De vraagstelling van de Tweede Kamer had destijds (1999) geen betrekking op het aspect terrorisme.

Proliferatie

In het rapport uit 1999, of eigenlijk zijn voorganger uit 1997, zijn de routes opwerking en directe eindberging ook beoordeeld op het aspect non-proliferatie. Er werden destijds twee belangrijke verschillen geconstateerd. In de opwerkingsroute worden chemische bewerkingen uitgevoerd om het uranium en plutonium selectief af te scheiden. Het scheiden van plutonium brengt risico's met

⁴⁵ “Nader onderzoek naar de verwerking van gebruikte splijtstof uit Nederlandse kerncentrales”, R.J.M. Konings & D.H. Dodd et al., NRG rapport 21483/99.24187/P (1999); “Nader onderzoek naar de verwerking van gebruikte splijtstof uit Nederlandse kerncentrales. De Bijlagen”, NRG rapport 21483/99.24188/P (1999)

⁴⁶ “Opwerking van Nederlandse Splijtstof”, D.H. Dodd et al., ECN-C—97-031 (1997)

zich mee waartegen beveiliging bestaat en die in feite geëist wordt door de diverse internationale verdragen waaraan Nederland en de andere EU-landen zich middels ratificatie hebben gecommitteerd. Door hergebruik zal de geschiktheid van het plutonium voor wapens verminderen, waardoor het proliferatierisico vermindert. In het geval van directe eindberging vormt de straling die wordt uitgezonden door de gebruikte splijtstof een extra bescherming tegen misbruik.

In het rapport uit 1997 is geconcludeerd dat de kans op proliferatie van plutonium afkomstig uit Nederlandse splijtstof zeer klein is.

Kosten

Voor de analyse van de kosten zijn in 1997 een drietal scenario's beschouwd. In deze scenario's is voortzetting van de huidige opwerkingscontracten bestudeerd. Tevens zijn destijds twee scenario's voor annulering van de huidige opwerkingscontracten en conditionering van de splijtstofelementen in Nederland (variant A) of in het buitenland (variant B). De kosten van de laatste genoemde varianten werden 300-700 miljoen gulden (nominale waarde, de netto contante waarde is 200-400 miljoen gulden) hoger geraamd dan de voortzetting van de huidige opwerkingscontracten.

Conclusie

In de rapporten uit 1997 en 1999 is geconcludeerd, dat 'opwerking' en 'directe opslag' voor- en nadelen hebben met betrekking tot milieueffecten en proliferatierisico's, die tegen elkaar opwegen. Voor wat betreft de kosten is destijds geconcludeerd dat continuering van de opwerkingscontracten uit financieel oogpunt de voorkeur heeft, en het opwerkingscontract meer zekerheid biedt ten aanzien van de kosten.