

Het nucleaire landschap

Verkenning van feiten en meningen over kernenergie

© Rathenau Instituut, Den Haag, 2004

Rathenau Instituut
Koninginnegracht 56
Correspondentieadres:
Postbus 85525
2508 CE Den Haag
Telefoon 070- 342 15 42
Telefax 070- 363 34 88
E-mail info@rathenau.nl
Website www.rathenau.nl

Uitgever: Rathenau Instituut
Eindredactie: Rathenau Instituut
Basisvormgeving: Hennie van der Zande, Amsterdam
Opmaak: Henny Scholten, Amsterdam
Grafische productie: Herbschleb & Slebos, Monnickendam
Pre-press en druk: Meboprint, Amsterdam
Bindwerk: Meeuwis, Amsterdam
Vertaling Engelse documentatie: Nigel Harle
Vertaling Summary: english text company, Den Haag

Dit boek is gedrukt op kringlooppapier.

Eerste druk: april 2004

ISBN: 90 77364 06 4

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:
Slingerland, Stephan & Olivier Bello, Marc Davidson, Kirsten van Loo,
Frans Rooijers & Maartje Sevenster. *Het nucleaire landschap. Verken-
ning van feiten en meningen over kernenergie*. Den Haag: Rathenau
Instituut, 2004. Werkdocument 94.

Preferred citation:
Slingerland, Stephan & Olivier Bello, Marc Davidson, Kirsten van Loo,
Frans Rooijers & Maartje Sevenster. *Het nucleaire landschap. Verken-
ning van feiten en meningen over kernenergie*. Den Haag: Rathenau
Instituut, 2004. Workingdocument 94.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, fotokopie of op welke wijze dan ook,
zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Rathenau
Instituut.

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photo-
print, microfilm or any other means without prior written permission
of the holder of the copyright.

Het nucleaire landschap

Verkenning van feiten en meningen over kernenergie

Auteurs

Dr. Stephan Slingerland

Drs. Olivier Bello

Dr. Marc Davidson

Drs. Kirsten van Loo

Ir. Frans Rooijers

Dr. Maartje Sevenster

CE, Oplossingen voor Milieu, Economie en Technologie



CE Delft

Projectcoördinatie Rathenau Instituut

Drs. Rolf de Vos

Dr. ir. Lydia Sterrenberg



Bestuur Rathenau Instituut

Drs. W.G. van Velzen (voorzitter)

Mw. prof. dr. I. de Beaufort

Mr.dr. P.W. Kwant

Mw. dr. B.E.C. Plesch

Mw. mr. J.A. Schaap

Prof. ir. E.J. Tuininga

Prof. dr. W. van Vierssen

Dr. D. van Zaane

Voorwoord

De ramp in de kerncentrale bij Tsjernobyl in 1986 was een breekpunt voor de besluitvorming over kernenergie in Nederland en elders. De ramp maakte ook een abrupt einde aan de publieke discussies over kernenergie. Sindsdien bleven alleen de direct betrokkenen in gesprek over deze vorm van energieopwekking; het publieke debat werd slechts incidenteel en mondjesmaat gevoerd. Ook in het politieke debat over de energievoorziening komt kernenergie nauwelijks meer aan de orde.

Bijna twee decennia later is het landschap rond kernenergie weer langzaam aan het veranderen:

- Ten eerste verandert het bredere debat over de toekomst van de energievoorziening, dat ook in de politiek zeer actueel is en een sterke internationale component heeft. In de internationale discussies over leveringszekerheid, marktliberalisering en klimaatverandering is kernenergie een optie die zeker wordt meegewogen. Zowel de keuze vóór als tegen kernenergie heeft ingrijpende gevolgen voor het ontwerp van de energievoorziening van de toekomst.
- Ten tweede zijn binnen de nucleaire elektriciteitsopwekking zelf tal van technologische en organisatorische ontwikkelingen die kernenergie wellicht in een ander daglicht stellen.

Deze twee constatering waren voor het Rathenau Instituut redenen om kernenergie in het werkprogramma op te nemen. In opdracht van het Rathenau Instituut heeft CE verkend:

- Welke facetten van kernenergie ter discussie staan;
- Welke nieuwe ontwikkelingen daarin hebben plaatsgevonden;
- Hoe verschillende partijen daar tegenover staan.

Niet in de laatste plaats vanwege de inbreng van de breed samengestelde adviescommissie, heeft dit verkennende onderzoek geresulteerd in een evenwichtig overzicht van de stand van zaken rond kernenergie in Nederland en daarbuiten.

Een brede maatschappelijke discussie over kernenergie, zoals die in de jaren tachtig is gevoerd, is nu niet aan de orde. Borssele sluit in 2013, er zijn geen plannen voor grootschalige introductie van kernenergie in Nederland. Maar de actualiteit kan elk moment vragen om een politiek en publiek oordeel over kernenergie. Zo is een particulier initiatief voor nucleaire nieuwbouw niet denkbeeldig en staat de politieke discussie over klimaatverandering versus kernenergie al op de internationale agenda.

Met dit werkdocument beoogt het Rathenau Instituut, in overeenstemming met de eigen doelstellingen, bij te dragen aan de politieke en publieke oordeelsvorming over kernenergie. Deze gebalanceerde verkenning is naar de mening van het Rathenau Instituut een opmaat voor een discussie 'op herhaling' die niet in de herhaling van de jaren tachtig vervalt. Het is daarbij van groot belang om de discussie los te weken van de soms grote institutionele belangen bij kernenergie. Het ontbreken van de noodzaak voor dringende besluiten, zorgt wellicht voor de relatieve luwte die ruimte biedt voor een vrij, maar niet vrijblijvend debat.



Mr. drs. Jan Staman
Directeur Rathenau Instituut

Inhoud

Voorwoord	5
Samenvatting	9
Inleiding	17
1 Kernenergie: de basisgegevens	21
1.1 De kernenergie discussie in Nederland in het verleden	21
1.2 Kernenergie nu	22
1.3 De kernenergiecyclus	24
1.4 Typen kerncentrales	27
1.5 De toekomstige energievoorziening	28
2 Reactorveiligheid	29
2.1 Veiliger reactorontwerpen	29
2.2 Vierde-generatie centrales	31
2.3 Accelerator-driven systems	31
2.4 Kernfusie	32
2.5 Veiligheidsbeleid	33
2.6 Meningen over veiligheid	33
3 Afval	35
3.1 Soorten kernafval	35
3.2 Opwerking	37
3.3 Transmutatie	38
3.4 Opslag	39
3.5 Meningen over afval	40
4 Proliferatie	43
4.1 Kernenergie en kernwapens	43
4.2 Technische non-proliferatieopties	44
4.3 Het Non-Proliferatieverdrag	45
4.4 Meningen over proliferatie	46
5 Terrorisme	49
5.1 Nucleaire installaties als terroristisch doelwit	49
5.2 Radiologische wapens	50
5.3 Meningen over terrorisme	51
6 Klimaatverandering	53
6.1 Emissies over de gehele cyclus	54
6.2 Kernenergie en emissiedoelen	56
6.3 Meningen over kernenergie en klimaatverandering	58

7	Kosten	61
7.1	Externe kosten	61
7.1.1	Kosten in de keten	62
7.1.2	Subsidies en heffingen	63
7.1.3	Berekening externe kosten	65
7.2	Huidige en toekomstige marktprijs	66
7.3	Meningen over kosten	69
8	Besluitvorming en regelgeving	71
8.1	Nederland	71
8.2	Europese Unie	75
8.3	Andere landen	76
8.3.1	Finland	76
8.3.2	Duitsland, Zweden en België	77
8.3.3	Frankrijk	78
8.3.4	Verenigde Staten	79
8.3.5	Azië	80
8.4	Meningen rond besluitvorming	81
9	Maatschappelijke opinie	83
9.1	Gebruikte opiniepeilingen	83
9.2	Nederland	84
9.3	Nederland en Europa	85
9.4	Politiek en maatschappij	89
9.5	Meningen over publieke opinies	91
	Summary	93
	Literatuur	101
	Dankwoord	109
	Bijlage 1 Interviews	111
	Bijlage 2 Gebruikte afkortingen	143
	Noten	145
	Adviescommissie	147
	Over de auteurs	149

Samenvatting

Deze verkenning geeft feiten over kernenergie in Nederland, binnen een internationale context en gericht op nieuwe ontwikkelingen. Daarnaast probeert het rapport zo goed mogelijk het brede spectrum aan meningen weer te geven die in 2003 over kernenergie in Nederland bestaan.

De verkenning van kernenergie in Nederland is uitgevoerd met interviews en literatuurstudie.

In de interviews zijn beleidsmakers, onderzoekers, de milieubeweging en personen uit de kernenergie-industrie bevroegd naar hun visie op:

- Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van kernenergie;
- Standpunten over kernenergie;
- Meninge n over de wenselijkheid van een nieuw debat.

Hierbij zijn ook enkele internationale beleidsmakers betrokken.

De literatuurstudie omvatte een groot aantal rapporten, documenten en een uitgebreide scan van via internet toegankelijke informatie. Hierbij zijn gezaghebbende bronnen gebruikt, die mede zijn aanbevolen door de bij dit project betrokken adviescommissie. In deze commissie waren personen uit alle bovenstaande partijen vertegenwoordigd. Gezamenlijk vertegenwoordigen zij een breed spectrum aan meningen over kernenergie.

In overleg met de begeleidingscommissie is ervoor gekozen om het onderzoek met name te richten op de als meest relevant geselecteerde onderwerpen: veiligheid, afval, proliferatie en terrorisme, klimaat, kosten, besluitvorming en maatschappelijke opinie.

Het rapport zelf bevat een overzicht van de relevante feiten per deelonderwerp en een doorkijk op de uiteenlopende meningen per deelonderwerp. Hieronder staat een samenvatting van de belangrijkste conclusies, met in de kaders de belangrijkste ontwikkelingen in de laatste twintig jaar.

Ontwikkelingen

Veiligheid

Ten opzichte van twintig jaar geleden is er sprake van een stapsgewijze ontwikkeling op het gebied van veiligheid van kerncentrales. Het onderzoek hiernaar gaat door, maar er zijn geen 'doorbraken' geweest in de zin van nieuwe reactorconcepten die in de praktijk getest zijn en die algemeen worden erkend als 'inherent veilig'.

- Van een 'derde generatie' kerncentrales, met passieve veiligheidsaspecten gebaseerd op *engineered components*, zijn verschillende exemplaren in bedrijf genomen en andere in aanbouw. Het gaat hierbij om verdere ontwikkelingen van bestaande typen kerncentrales.
- De Pebble-bedreactor wordt gezien als een, op veiligheidsgebied en commercieel, veelbelovend reactorconcept. Dit concept wordt ook wel als '3+' aangeduid. In Zuid-Afrika is de bouw van een modulair toe te passen reactor van dit type gepland. In China is een dergelijke reactor in gebruik.
- Een vierde generatie kerncentrales bevindt zich in de onderzoeksfase. Bij deze generatie kan de reactorkern door toepassing van fysische basisprincipes (onder andere zwaartekracht) nooit smelten of exploderen. Het IAEA 'Inpro'-project is in de fase van het opstellen van gedetailleerde criteria voor dit type centrales. Het Amerikaanse 'Generation IV'-project heeft zes modellen aangewezen als kansrijk voor verder onderzoek.
- Andere nieuwe reactortypes waarnaar onderzoek gedaan wordt, zijn Accelerator Driven Systems. Bij onder andere deze systemen wordt gekeken naar de mogelijke inzet van thorium als splijtstof. Een dergelijke inzet wordt niet op korte termijn verwacht.
- Ook naar kernfusie wordt onderzoek gedaan. In 2004 wordt de beslissing over een nieuw te bouwen grootschaliger onderzoeksreactor verwacht. Commerciële inzet is nog steeds ver weg. De EU verwacht deze niet eerder dan 2060.
- Beleidsmatig streeft men naar internationalisering van veiligheidsnormen. Dit blijkt onder andere uit het ontwerp van de nieuwe Europese richtlijn op het gebied van veiligheid.

Afval

Transmutatie van kernafval staat in de belangstelling als een nieuwe ontwikkeling op het gebied van afvalverwerking. Transmutatie is het door bestraling omzetten van langlevend radioactief materiaal (in het afval) naar kortlevend radioactief materiaal. De hierbij gebruikte technieken bevinden zich in de onderzoeksfase. Technisch is het nu al mogelijk om verschillende afvalproducten te verwerken door transmutatie. De kosten van kernenergie nemen hierdoor toe. Maar ook bij succesvolle toepassing van transmutatietechnieken blijft restafval over, waarvoor lange-termijnopslag noodzakelijk is. Aanwijzing van eindopslagplaatsen voor restafval is een actueel onderwerp in de discussie over kernenergie. Wereldwijd is nog geen dergelijke eindopslag voor radioactief restafval in gebruik. De vooruitgang van landen op dit gebied verschilt sterk.

- Radioactieve vloeibare en gasvormige emissies in de kernenergiecyclus zijn beperkt. Daar staat tegenover dat effecten van accumulatie van verschillende radioactieve stoffen in de atmosfeer niet volledig bekend zijn.
- De keuze voor het al dan niet opwerken van kernafval, verschilt per land en heeft gevolgen voor de hoeveelheid afval voor eindopslag, de emissies bij opwerking zelf en voor de proliferatiemogelijkheden van materiaal voor kernwapens.
- Transmutatie van kernafval is een verdere ontwikkeling op het gebied van opwerking. Hierbij worden de stoffen die in het kernafval voorkomen, verder gescheiden en bewerkt om zo de radioactieve levensduur van het afval te verminderen. Technisch is het al mogelijk om verschillende afvalproducten af te scheiden en deels te hergebruiken, maar door deze toepassing stijgen de kosten van kernenergie. Ook bij de transmutatietechnieken zal een lange-termijnopslag van hoogradioactief restafval noodzakelijk blijven.
- De Europese Unie wil in een conceptrichtlijn dat lidstaten voor 2018 een locatie voor eindopslag van restafval aanwijzen. Het is echter nog niet duidelijk of de richtlijn in deze vorm definitief wordt. In Nederland gaat men voornamelijk uit van bovengrondse, tijdelijke opslag voor een termijn van honderd jaar. Ook is er discussie over het al dan niet aanwijzen van een gemeenschappelijke internationale opslagplaats.
- Wereldwijd is nog geen eindopslag voor radioactief restafval in gebruik. Wel zijn er in sommige landen ondergrondse eindopslagplaatsen in aanbouw.

Proliferatie

Na het uiteenvallen van de Sovjet-Unie krijgen de gevaren van proliferatie van nucleaire technologie weer veel aandacht. Omstreden is daarbij onder meer in hoeverre het civiele en het militaire gebruik van deze technologie gescheiden zijn, en gescheiden te houden zijn.

- Het non-proliferatieverdrag en aanvullende *safeguards*-bepalingen zijn een belangrijk institutioneel instrument om proliferatie van kernwapens en nucleaire technologie tegen te gaan. Van de landen die geen verdragspartij zijn, heeft Israël waarschijnlijk kernwapens en hebben Pakistan en India zeker kernwapens. Zowel de Verenigde Staten als de IAEA pleiten voor een vernieuwing en aanscherping van het bestaande verdrag.
- Terwijl sommige partijen claimen dat het civiele en het militaire gebruik van nucleaire technologie strikt gescheiden zijn, zien andere partijen een potentieel zeer gevaarlijke overlap.

Terrorisme

Terrorisme is een relatief nieuw onderwerp bij kernenergie. De gevaren van terrorisme zijn uitgebreid onderzocht na 11 september 2001. De conclusies over de risico's van aanslagen op nucleaire installaties lopen uiteen. Verschillende studies schatten de risico's als beperkt in, andere studies suggereren substantiële risico's op specifieke punten. Aanslagen met 'vuile bommen' zijn een ander potentieel veiligheidsrisico.

- De gevaren van terrorisme voor nucleaire installaties hebben nieuwe aandacht gekregen na de aanslagen van 11 september 2001 in de Verenigde Staten. Verschillende studies komen tot de conclusie dat de risico's van aanslagen met vliegtuigen klein zijn. Andere studies geven aan dat er aanzienlijke risico's zijn op de mogelijkheid van aanslagen.
- Met name aanslagen op opslagbassins van uitgewerkte splijtstofstaven in de Verenigde Staten vormen volgens een onderzoek een veiligheidsrisico. Anderen zien een potentieel risico in de nucleaire wapenvoorraden in de voormalige Sovjet-Unie.
- De productie door terroristen van 'vuile bommen' uit radioactief materiaal (afkomstig van kerncentrales, maar ook van ziekenhuizen enzovoort) is een ander potentieel veiligheidsrisico. Hoe groot dit risico in de praktijk is, is lastig in te schatten.

Klimaatverandering

Klimaatverandering is ten opzichte van twintig jaar geleden een nieuw politiek thema bij kernenergie. Inschattingen over de bijdrage van kernenergie aan klimaatverandering verschillen. Kerncentrales kunnen een bijdrage leveren aan het verminderen van CO₂-emissies, maar ook bij sterke uitbreiding van het huidige vermogen zijn daarnaast andere energieopties nodig.

- De mogelijke bijdrage van kerncentrales aan het verminderen van CO₂-emissies is een nieuw politiek element dat van belang is in het debat over kernenergie. De beschikbare voorraden uranium lijken op zich geen beperkende voorwaarde te zijn voor een bijdrage aan het verminderen van CO₂-emissies in de komende vijftig tot honderd jaar; bij inzet van kweekreactoren zijn de huidige voorraden bij de huidige productie voldoende voor enkele duizenden jaren.
- Hoewel de productie van elektriciteit uit kernenergie zelf intrinsiek CO₂-vrij is, gaan de berekeningen ervan uit dat de verschillende andere onderdelen van de kernenergieketen fossiele bronnen gebruiken. Verschillende studies die op basis van deze aanname CO₂-emissies in de hele keten van een aantal manieren van energie-opwekking vergelijken, komen tot een CO₂-uitstoot van kernenergie die in de ordegrootte van enkele procenten van een gascentrale ligt. Andere studies komen daarentegen tot percentages van 20 tot 30 procent.
- Om een vermindering van 15 procent van de cumulatieve emissies over de periode 2000-2075 te bewerkstelligen, is volgens een studie een vertienvoudiging van het huidige opgestelde vermogen aan kerncentrales nodig.

Kosten van kernenergie

Verschillende studies geven aan dat kosten van kernenergie aanzienlijk moeten dalen om investeringen in nieuwe kerncentrales aantrekkelijk te maken voor investeerders in een geliberaliseerde energiemarkt. Daar staat tegenover dat een aantal landen op dit moment nieuwe centrales bouwt. Uit planningen blijkt dat in Azië een verdere uitbreiding te verwachten is van het aantal kerncentrales in de komende jaren.

- In vergelijking met dertig jaar geleden wordt meer aandacht besteed aan de kosten en baten van kernenergie voor investeerders. Studies over dit onderwerp zijn met grote onzekerheid omgeven: uit de studies blijkt dat kernenergie op dit moment over het algemeen te duur

is om te kunnen concurreren met stroom uit kolen en gas. De investeringskosten moeten daarvoor volgens de IAEA met een factor 2 tot 4 dalen. Het MIT berekent dat in de huidige marktsituatie in de Verenigde Staten de kosten van stroom uit nieuw te bouwen kerncentrales 2 tot 3 dollarcent per kilowattuur hoger liggen dan die uit kolen- en gascentrales. Daar staat tegenover dat volgens een Finse studie – uitgevoerd voor de investeerder die de nieuwe Finse kerncentrale laat bouwen – de prijs van de elektriciteit van de kerncentrale in deze situatie lager zal liggen dan die van kolen- of gascentrales.

- Deskundigen zijn het oneens over de mate waarin de externe kosten van kernenergie en die van andere energiebronnen, al geïnternaliseerd zijn in de huidige energieprijs. Een recente uitgebreide studie naar externe kosten (ExternE) geeft aan dat de marktpositie van kernenergie kan verbeteren door een volledige internalisatie van alle externe kosten bij verschillende energiebronnen. Lange-termijnverwachting van de IEA is dat kernenergie tot 2030 niet concurrerend zal zijn met andere energiebronnen en dat het aandeel van kernenergie in de totale elektriciteitsproductie wereldwijd zal afnemen. Alleen in Azië verwacht men een toename van het aandeel van kernenergie.

Besluitvorming

Liberalisering van de energiemarkt is een nieuwe ontwikkeling op het gebied van kernenergie. Deze ontwikkeling heeft het initiatief voor de bouw van nieuwe kerncentrales verplaatst van door de overheid aangestuurde nutsbedrijven naar private investeerders. Op verschillende deelgebieden (proliferatie, afval, voorzieningszekerheid) is de trend naar internationalisering van besluitvorming zichtbaar, maar doorslaggevend op het gebied van kernenergie is op dit moment nog steeds het nationale beleid.

- Met de geliberaliseerde energiemarkt is het initiatief voor het bouwen van nieuwe kerncentrales verschoven van de overheid naar private investeerders.
- Randvoorwaarden voor kernenergie op het gebied van veiligheid, afval en proliferatie worden steeds meer op supranationaal niveau (IAEA, EU) beïnvloed.
- Ook op het gebied van voorzieningszekerheid wil de EU volgens een 'green paper' uit 2001 meer harmonisatie nastreven.
- Op dit moment is de invloed van nationale beleidsoverwegingen nog steeds richtinggevend. Landen verschillen van mening over de vraag of kernenergie al dan niet een optie voor de toekomst is. Nationale overheidsbeslissingen lopen daarbij uiteen van het verlenen van een vergunning voor de bouw van een nieuwe kerncentrale of gedachten

daarover (Frankrijk, Finland) tot geleidelijke uitfasering van kernenergie (Duitsland, België, Zweden).

Maatschappelijke opinie

Een grote meerderheid van de Nederlandse bevolking is op dit moment, net als eerder, tegen de toepassing van kernenergie. Wel lijkt het aantal voorstanders licht toe te nemen.

- Kernenergie blijft in de publieke opinie vooralsnog een weinig populaire energiebron. Wel lijkt er een licht stijgende tendens in maatschappelijke acceptatie te bestaan.
- Als het afvalprobleem bij kernenergie wordt opgelost, dan zou dit volgens sommige enquêtes de publieke acceptatiegraad van kernenergie duidelijk kunnen verhogen.
- Kernenergie staat in 2003, in tegenstelling tot vroeger, niet in het middelpunt van de publieke aandacht.
- Nederlanders maken zich, binnen de EU, relatief weinig zorgen over afvalbeheer in eigen land en er is een relatief hoog percentage voorstanders van betaalde verwerking van kernafval uit andere landen binnen Nederland. Dit moet echter nog steeds niet te dicht bij de ondervraagde in de buurt gebeuren.
- Een Engels onderzoek geeft aan dat Britse politici de neiging hebben de mening van het publiek over kernenergie negatiever in te schatten dan feitelijk het geval is en vooral de kennis van het publiek op dit gebied hoger in te schatten.
- Uit Europese enquêtes blijkt, dat Nederlanders meer dan andere Europeanen de overheid een betrouwbare bron van informatie vinden.

De huidige discussie in Nederland

Door de in dit rapport geschetste ontwikkelingen zijn zowel de randvoorwaarden als de inhoud van het debat over kernenergie in Nederland veranderd. Inhoudelijk zijn er nieuwe ontwikkelingen op het gebied van 'oude' debatonderwerpen als veiligheid, afval en proliferatie. Ook zijn er nieuwe debatonderwerpen bijgekomen, zoals klimaat, voorzieningszekerheid en terrorisme.

Belangrijke nieuwe randvoorwaarde is dat niet langer de publieke – door de overheid aangestuurde – nutsbedrijven het initiatief nemen tot de bouw van een nieuwe kerncentrale, maar private investeerders. Ook is de beslissingsbevoegdheid van de nationale overheid over kernenergie geleidelijk aan het verschuiven naar een supranationaal niveau. Wel wordt de richting van het kernenergiebeleid op dit moment nog steeds voornamelijk nationaal bepaald. Een andere nieuwe randvoor-

waarde is dat het huidige debat minder centraal in de aandacht van het publiek staat dan vroeger.

Ondanks deze nieuwe ontwikkelingen lijken de standpunten van verschillende partijen over kernenergie in de loop der tijd nauwelijks veranderd. De in dit rapport opgenomen interviews geven aan dat de meningen over kernenergie óók met de nieuwe randvoorwaarden en inhoudelijke argumenten in 2003 nog even verdeeld zijn als in het verleden. De nieuwe ontwikkelingen en discussieonderwerpen, die er wel degelijk zijn, lijken de partijen voornamelijk aan te grijpen om hun eigen standpunt te versterken. Ze hebben vooralsnog niet geleid tot doorbraken naar de ene, dan wel de andere kant.

Inleiding

Is er aanleiding is om een actieve bijdrage te leveren aan een nieuwe dialoog over de mogelijkheden en onmogelijkheden van kernenergie in Nederland? Over die vraag wil het Rathenau Instituut zich een mening vormen. Daarvoor heeft het Rathenau Instituut CE gevraagd een verkenning te maken van feiten en meningen over kernenergie in Nederland in 2003.

Dit rapport is een weergave van deze verkenning. Het geeft feiten over kernenergie in Nederland, binnen een internationale context en met een focus op nieuwe ontwikkelingen (nieuw ten opzichte van twintig jaar geleden). Daarnaast proberen we het brede spectrum aan actuele meningen over kernenergie in Nederland zo goed mogelijk weer te geven.

Methode

De verkenning van kernenergie in Nederland is uitgevoerd met interviews en literatuurstudie. In de interviews zijn beleidsmakers, onderzoekers, milieubeweging en personen uit de kernenergie-industrie gevraagd naar hun visie op:

- Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van kernenergie;
- Standpunten over kernenergie;
- Meningen over de wenselijkheid van een nieuw debat.

Hierbij zijn ook enkele internationale beleidsmakers betrokken.

De literatuurstudie omvatte een groot aantal rapporten, documenten en een uitgebreide scan van via internet toegankelijke informatie. Hierbij zijn gezaghebbende bronnen gebruikt, die mede zijn aanbevolen door de bij dit project betrokken adviescommissie. In deze commissie waren personen uit alle bovenstaande partijen vertegenwoordigd. Gezamenlijk vertegenwoordigen zij een breed spectrum aan meningen over kernenergie.

In overleg met de begeleidingscommissie is ervoor gekozen om het onderzoek met name te richten op de volgende als meest relevant geselecteerde onderwerpen: veiligheid, afval, proliferatie en terrorisme, klimaat, kosten, besluitvorming en maatschappelijke opinie.

Afbakening

Dit onderzoek is in een beperkte tijdsduur uitgevoerd, waarin met een beperkt aantal personen kon worden gesproken en een gelimiteerd aantal bronnen kon worden geraadpleegd. Het onderzoek pretendeert dan ook niet om tot in alle details een volledig beeld te geven van de stand van zaken op het gebied van kernenergie. Wel wil het, voorzover mogelijk, nieuwe ontwikkelingen schetsen en meningen over kernenergie in 2003 aangeven. Het rapport is bovendien bedoeld voor een algemeen publiek, niet alleen voor specialisten die al zeer goed in de materie zijn ingevoerd.

We hebben geprobeerd om feiten en meningen in dit rapport zo veel mogelijk te scheiden. Daarbij moet bedacht worden dat de grens tussen feiten en meningen soms moeilijk te trekken is. Door de manier waarop ze gepresenteerd worden, kunnen partijen feiten soms gebruiken om de argumentatie te versterken. De in dit rapport gepresenteerde feiten moeten dan ook samen met de bron waarvan zij afkomstig zijn, bezien worden. Bij het gebruik van bronnen hebben we geprobeerd om een evenwicht na te streven tussen verschillende geraadpleegde organisaties, om zo alle argumenten voor en tegen kernenergie zo veel mogelijk tot hun recht te laten komen.

Aan het eind van ieder hoofdstuk over een deelonderwerp is een paragraaf opgenomen met meningen. Dat geeft zicht op het spectrum aan visies dat er op dit moment over het onderwerp bestaat. We gebruiken daarvoor citaten uit de gesprekken met geïnterviewde personen. De volledige interviews, waarin de context van de citaten staat, zijn in dit rapport opgenomen als bijlage.

Leeswijzer

Hoofdstuk 1 beschrijft de actuele stand van zaken rond kernenergie. Onder meer komen aan de orde de kernenergiecyclus en de technologie van kernenergie.

De daaropvolgende drie hoofdstukken geven de aspecten weer die deel uitmaakten van de 'klassieke' discussie over kernenergie. De hoofdstukken beschrijven de nieuwe ontwikkelingen bij deze thema's. De aspecten zijn:

- Reactorveiligheid (hoofdstuk 2)
- Kernafval (hoofdstuk 3)
- Proliferatie (hoofdstuk 4)

De hierna volgende hoofdstukken zijn de ‘nieuwe’ thema’s in het debat over kernenergie:

- Terrorisme (hoofdstuk 5)
- Kernenergie in relatie tot klimaatverandering. Vooral de afspraken in het Kyoto-verdrag staan hierbij centraal (hoofdstuk 6)
- De kosten van kernenergie (hoofdstuk 7)

De laatste hoofdstukken hebben betrekking op de besluitvorming en de publieke opinie:

- Hoofdstuk 8 gaat in op de besluitvorming over kernenergie in Nederland, de Europese Unie en in een aantal andere kernenergie-landen.
- Ten slotte geeft hoofdstuk 9 (de ontwikkelingen) in de publieke opinie weer: hoe denkt men in Nederland en Europa op dit moment over kernenergie?

In de bijlagen staan de verslagen van de interviews die in het kader van dit project zijn uitgevoerd.

1 Kernenergie: de basisgegevens

Dit hoofdstuk bespreekt achtereenvolgens informatie over het aantal kerncentrales wereldwijd, in Europa en Nederland. Daarna wordt de kernenergiecyclus beschreven aan de hand van de verschillende typen van kernenergiecentrales die er nu en in de toekomst worden gebouwd en ontwikkeld.

1.1 De kernenergie discussie in Nederland in het verleden

Kernenergie is sinds de jaren zeventig een onderwerp van discussie in Nederland. Centraal stond daarbij steeds de vraag of de Nederlandse overheid het initiatief moest nemen tot de bouw van nieuwe kerncentrales.

Halverwege de jaren zeventig was circa 50 procent van de bevolking tegen de bouw van nieuwe kerncentrales. Dit aandeel nam toe tot 85 procent na het ongeluk met de kerncentrale in Harrisburg in 1979. Tot 1984 bleef dit aandeel constant. Desondanks besloot de Nederlandse regering na een Brede Maatschappelijke Discussie (van 1981 tot 1983) tot de bouw van drie nieuwe kerncentrales. Daarna nam het aandeel tegenstanders van de bouw van nieuwe kerncentrales af tot 50 procent, maar het steeg weer tot 85 procent na het ongeluk in Tsjernobyl in 1986 (Turkenburg, 2003).

In het verleden stond het kernenergie debat met name in het teken van de verwachte schaarste aan energiebronnen, die de bouw van kerncentrales noodzakelijk zou maken. In het debat kwamen onder meer onderwerpen als veiligheid van kerncentrales, kernafval en proliferatie aan de orde. Kernenergie kon daarbij rekenen op grote publieke aandacht. Daarvan getuigen de geboorte en groei van de anti-kernenergiebeweging, al dan niet door de overheid georganiseerde publieke debatten en demonstraties die tienduizenden mensen trokken.

Hoe het er op dit moment voor staat met kernenergie en de kernenergie discussie, is onderwerp van dit rapport. In de navolgende hoofdstukken is deze vraag voor verschillende deelonderwerpen nader uitgewerkt.

1.2 Kernenergie nu

De wereld

Eind 2002 waren er wereldwijd 441 kerncentrales in bedrijf die samen 2.574 TWh uur elektriciteit produceerden; zo'n 16 procent van de wereldwijde behoefte aan elektriciteit in dat jaar. In Nederland bedroeg dat aandeel in 2002 4 procent. Tabel 1 geeft een overzicht van het in 2002 geïnstalleerde kernenergievermogen voor opwekking van elektriciteit wereldwijd.

Het opgestelde vermogen bedroeg 359 GW(e), ongeveer 1/10 van het totale elektriciteitsproductievermogen in de wereld. In 2002 waren er 32 kernreactoren in aanbouw, waarvan zeven in India en vier in China (IAEA, 2003). Er gingen in 2002 zes nieuwe centrales aan het net: vier in China, een in Tsjechië en een in Zuid-Korea. Litouwen (met twee reactoren in totaal) is het land dat het grootste aandeel kernenergie in de elektriciteitsproductie heeft (80 procent). Frankrijk (78 procent), Slowakije (65 procent) en België (57 procent) zijn ook voor meer dan 50 procent afhankelijk van kernenergie.

Tabel 1. Kerncentrales in bedrijf op 31 december 2002

<i>Land</i>	<i>Aantal Units</i>	<i>MW(e)</i>	<i>land</i>	<i>Aantal Units</i>	<i>MW(e)</i>
Argentinië 1)	2	935	Nederland	1	450
Armenië	1	376	Noord-Korea 1)		
België 2)	7	5.760	Oekraïne 1)	13	11.207
Brazilië	2	1.901	Pakistan	2	425
Bulgarije	4	2.722	Roemenië 1)	1	655
Canada	14	10.018	Rusland 1)	30	20.793
China 1)	7	5.318	Slovenië	1	676
Duitsland 2)	19	21.283	Slowakije 1)	6	2.408
Finland	4	2.656	Spanje	9	7.574
Frankrijk	59	63.073	Tsjechië	6	3.468
Hongarije	4	1.755	Verenigd Koninkrijk	31	12.252
India 1)	14	2.503	Verenigde Staten	104	98.230
Iran 1)			Zuid-Afrika	2	1.800
Japan 1)	54	44.287	Zuid-Korea 1)	18	14.890
Litouwen	2	2.370	Zweden 2)	11	9.432
Mexico	2	1.360	Zwitserland	5	3.200
			Totaal	441	358.661

1) In deze landen zijn kerncentrales in aanbouw

2) In deze landen is besloten om kernenergie uit te faseren

(Bron: IAEA, 2003)

Europa

Acht landen in de Europese Unie hebben op dit moment kerncentrales: Frankrijk, België, Finland, Duitsland, Nederland, Spanje, Zweden en Engeland. Met de uitbreiding van de EU komen hier Tsjechië, Hongarije, Litouwen, Slowakije en Slovenië bij. De laatste tien jaar zijn in de Europese Unie geen nieuwe kerncentrales gebouwd. In Finland en Frankrijk bestaan wel weer plannen voor de bouw van een nieuwe kerncentrale.

Nederland

Van de verschillende stappen in de kernenergiecyclus¹ vinden verrijking, elektriciteitsproductie en (tijdelijke) opslag ook in Nederland plaats. Daarnaast wordt er in Nederland op verschillende plaatsen nucleair onderzoek gedaan. Figuur 1 geeft de locaties aan waar op dit moment in Nederland toepassing van kernenergie of nucleair onderzoek plaatsvindt.

In Nederland is sinds de sluiting van de centrale in Dodewaard nog één centrale die elektriciteit voor het net produceert. Deze centrale in Borssele, een zogenoemde Pressurized Water Reactor in eigendom van het elektriciteitsproductiebedrijf EPZ, produceerde in 2002 3,69 TWh elektriciteit, ofwel 4 procent van de totale elektriciteitsvraag in Nederland. In Borssele is ook een tijdelijke opslagplaats voor hoogradioactief afval. Verrijking van kernsplijttingsmateriaal vindt plaats bij Urenco in Almelo.

In Petten is naast het onderzoek van NRG met de hoge en lage flux-reactor ook een Joint Research Centre van de EU ondergebracht. Verder worden er radionucliden geproduceerd voor medische toepassingen. Ander nucleair onderzoek in Nederland vindt plaats in Delft (IRI onderzoeksreactor), in Groningen (cyclotron), Eindhoven en Amsterdam (versnellers) en Nieuwegein (kernfusieonderzoek).

Figuur 1 Locaties kernonderzoek in Nederland



1.3 De kernenergiecyclus

Verschillende bronnen geven een basisuitleg van de werking van de kernenergiecyclus. Zie bijvoorbeeld de World Nuclear Association voor basisinformatie door de kernenergie-industrie (world-nuclear.org). Andere bronnen zijn een op het algemene publiek gerichte informatiesite als www.howstuffworks.org of www.nirs.org voor factsheets over kernenergie door de milieubeweging. Hieronder geven we een verkorte uitleg weer zoals die gegeven wordt door de Australische overheidsorganisatie Australian Safeguards and Non-Proliferation Office (www.asno.dfat.gov.au).

Stappen in de kernenergiecyclus

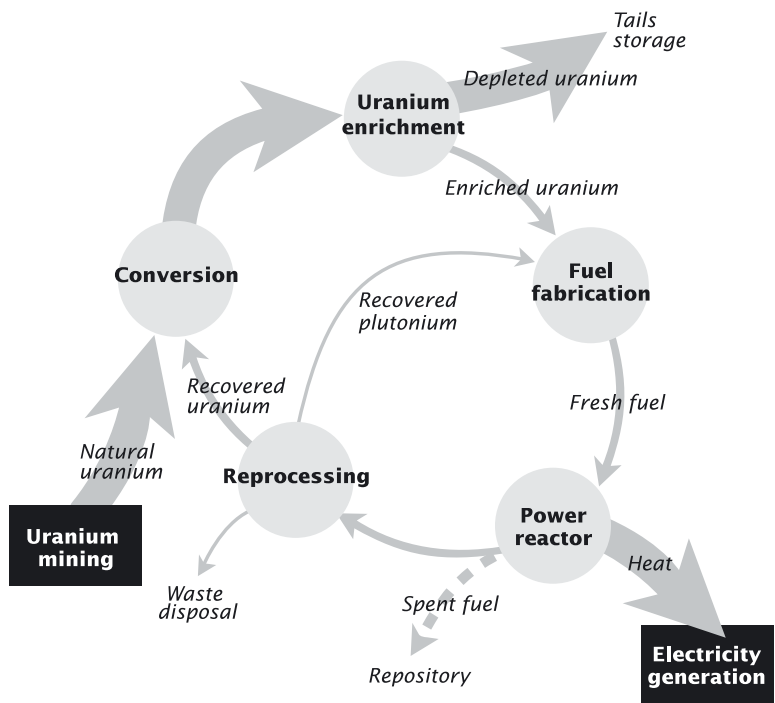
Er zijn diverse soorten civiele kernreactoren in gebruik, waarvan de meeste tot het type licht-water-reactor (LWR) behoren. In dit type reactor wordt gewoon ('licht') water voor twee doeleinden gebruikt: als 'remstof' (moderator), om de gevormde neutronen tot voor kernsplijting geschikte snelheden af te remmen, en als koelmiddel, om de in de kernreactie opgewekte warmte af te voeren en over te brengen naar de stoomturbines waarmee elektrische stroom wordt opgewekt. Omdat licht water als moderator niet zo effectief is, gebruikt dit type reactor 'verrijkt' uranium, waarin het gehalte splijtbaar isotoop U-235 tot 3 - 5 procent is opgevoerd².

Na winning en vermalen van het uraniumerts en productie van een basisconcentraat, het zogenoemde yellowcake, begint de eigenlijke LWR-brandstofcyclus, die de volgende processtappen omvat:

- **Conversie** (conversion): omzetting van natuurlijk uranium in een gasvormige verbinding, uraniumhexafluoride (UF₆), als opstap naar verrijking.
- **Verrijking** (enrichment): verhoging van het gehalte U-235, meestal met behulp van gasdiffusie of ultracentrifuges. Het verkregen product bevat 3 - 5 procent U-235 en staat bekend als laag verrijkt uranium (low-enriched uranium, LEU).
- **Splijfstofstavenfabricage** (fuel fabrication): productie uit LEU van uraanoxide-splijfstoftabletten, die in 'splijfstofstaven' worden verpakt en vervolgens tot 'splijstofelementen' worden gebundeld voor gebruik in de kernreactor.
- **Reactoren** in de reactor wordt een gecontroleerde nucleaire kettingreactie op gang gebracht waaruit veel warmte vrijkomt die gebruikt wordt om een of meer turbines aan te drijven, waarmee vervolgens elektrische stroom wordt opgewekt. Bij de meeste typen reactoren worden de turbines door stoom aangedreven. Bij zogenoemde drukwaterreactoren (Pressurised Water Reactor, PWR), bij sommige typen gasgekoelde reactoren (Gas-Cooled Reactor, GCR) en bij reactoren met vloeibaar metaal als koelmiddel (liquid metal-cooled reactor) wordt deze turbinestoom in een tweede, secundair circuit opgewekt. In sommige typen GCR met een hoge bedrijfstemperatuur (High-Temperature Gas-cooled Reactor, HTGR) worden de turbines door gas aangedreven. In een LWR worden brandstofelementen meestal voor 3-4 'bedrijfscycli' van 12-18 maanden gebruikt, d.w.z. dat er elke 12-18 maanden een reactorstop plaatsvindt waarbij één derde van de elementen verwisseld wordt.
- **Opwerking** (reprocessing): Tijdens het verblijf van de splijfstof in de reactor wordt U-238 door de bestraling met neutronen omgezet in plutonium. Dit plutonium is net als verrijkt uranium als splijfstof te gebruiken door opwerking. Opwerken houdt in

het chemisch oplossen van de uitgewerkte brandstof (spent fuel) om hoogradioactieve splijttingsproducten af te scheiden en plutonium en uranium terug te winnen. Dit uranium kan vervolgens weer verrijkt worden om opnieuw in een reactor ingezet te worden. Door het plutonium met uranium te mengen, ontstaat een splijtstofmengsel dat bekend staat als MOX (voor mixed oxide) en gebruikt wordt in LWR's en theoretisch ook in snelle kweekreactoren of snelle-neutronenreactoren.

Figuur 2 De kernenergiecyclus



(Bron: www.dfat.gov.au)

Zoals figuur 2 aangeeft, kunnen splijtstoffen na gebruik in een kerncentrale voor energieopwekking al dan niet worden opgewerkt en gedeeltelijk hergebruikt (*reprocessing*). In het eerste geval spreekt men van een *closed fuel cycle*, in het tweede geval van een *open fuel cycle*.

1.4 Typen kerncentrales

Er bestaan vijf typen kerncentrales die wereldwijd commercieel in gebruik zijn (Van der Zwaan, 1999). Drie daarvan gebruiken water als moderator. Licht-waterreactoren maken ongeveer 80 procent van de op dit moment geïnstalleerde kerncentrales uit. Er bestaan twee typen:

- De Pressurized Water Reactor (PWR);
- De Boiling Water Reactor (BWR).

Naast de licht-waterreactoren bestaat er een Canadees kerncentrale-ontwerp (CANDU), dat gebruikmaakt van zwaar water. De twee andere reactortypes zijn:

- De Gas-Cooled, Graphite Moderated Reactor;
- De Water-Cooled, Graphite Moderated Reactor (RBMK).

Het eerste type is oorspronkelijk in Engeland ontwikkeld onder de naam Magnox, en opgevolgd door de Advanced Gas-Cooled Reactor (AGR). Deze reactoren maken gebruik van grafiet als moderator, en CO₂ als koelmiddel. De RBMK is een Russisch ontwerp. De reactor in Tsjernobyl was een RBMK.

Naast verschillende *typen*, onderscheiden we verder vaak *generaties* kerncentrales. Het volgende hoofdstuk geeft daarover meer informatie.

Stralingsgevaar

Het gebruik van kernenergie houdt het gevaar in van blootstelling van mensen aan radioactiviteit. De gevolgen van een dergelijke blootstelling zijn:

- *Verhoging van de kans op kanker en leukemie;*
- *Verhoging van de kans op erfelijke aandoeningen (genetische effecten);*
- *Aangeboren ziekten of afwijkingen bij kinderen die in de foetale fase aan straling zijn blootgesteld (teratogene effecten), inclusief een verhoogde kans op jeugdanker.*

(Bron: o.a. TNO, 2001; Van der Zwaan, 1999)

Lange-termijneffecten zijn statistisch vastgesteld in groepen mensen die zijn blootgesteld aan straling. Sommige genetische effecten kunnen pas na enkele generaties tot uiting komen. Bij een hoge dosis is ook direct, klinisch waarneembare, acute schade mogelijk. Deze treedt meteen op of op zijn minst binnen enkele weken. Zeer hoge doses kunnen onmiddellijk overlijden tot gevolg hebben.

1.5 De toekomstige energievoorziening

De kernenergiediscussie vindt plaats binnen de context van de bredere vraag naar de toekomst van de energievoorziening wereldwijd. Bij toekomstscenario's voor de energievoorziening worden vaak termijnen van 25, 50 en 100 jaar onderscheiden. De meeste scenario's kijken ongeveer 25 jaar vooruit. Zo geeft de International Energy Agency in de meest recente *World Energy Outlook* van 2002 aan dat tot 2030:

- Het wereldenergiegebruik met 67 procent zal toenemen.
- Fossiele bronnen, met name gas, 90 procent van de groei voor hun rekening zullen nemen.
- Het aandeel van vernieuwbare energiebronnen snel zal toenemen, maar dat dit aandeel relatief klein zal blijven.
- CO₂-emissies zullen stijgen met 70 procent.

Ook al zijn dergelijke verkenningen van de toename van de vraag naar energie met grote onzekerheid omgeven, het is wel duidelijk dat in de nabije of verdere toekomst zowel ter aanvulling als ter vervanging een groot aantal nieuwe elektriciteitscentrales gebouwd moet worden om aan de vraag naar elektriciteit te voldoen. In Nederland is de vereniging van energiebedrijven (EnergieNed) van mening dat er in de periode 2007 tot 2009 in Nederland nieuwe elektriciteitscentrales bijgebouwd en in werking moeten zijn om aan de vraag naar elektriciteit te kunnen blijven voldoen (EnergieNed, 2003). De IEA verwacht dat het geïnstalleerde vermogen aan elektriciteitscentrales in de Europese Unie zal toenemen van 573 GW in 1999 tot 679 GW in 2010 en 901 GW in 2030. Meer dan de helft van het op dit moment geïnstalleerde vermogen zal binnen die periode moeten worden vervangen (IEA, 2002).

Of kerncentrales ook in de toekomst deel *moeten* en *zullen* uitmaken van de mondiale energievoorziening was en is nog steeds zeer controverseel. De discussie hierover wordt door de tijd heen en per land op verschillende manieren gevoerd. Standpunten over kernenergie zijn daarbij vaak diametraal tegenovergesteld. Terwijl sommigen pleiten voor onmiddellijke stillegging van de bestaande centrales, zien anderen een overgangsrol voor kernenergie weggelegd. Weer anderen menen dat kernenergie op zichzelf een duurzame bron is die ook op de lange termijn deel kan uitmaken van de wereldwijde energievoorziening.

2 Reactorveiligheid

Dit hoofdstuk geeft informatie over een aantal technische ontwikkelingen op het gebied van veiligheid bij toepassing van kernenergie. Het gaat daarbij met name om onderzoek naar 'inherent veilige' reactoren, waarvan de reactorkern door de toegepaste fysische principes onmogelijk kan smelten of exploderen. Het hoofdstuk gaat ook in op het beleid rond veiligheid.

2.1 Veiliger reactorontwerpen

Bij reactorontwerpen wordt een onderscheid gemaakt naar verschillende generaties (WNA, 2003).

- Van de *eerste* generatie kerncentrales uit de jaren vijftig en zestig zijn op dit moment nog maar weinig in bedrijf.
- De *tweede* generatie, die vrijwel alle nu werkende reactoren omvat, bevat een groter aantal actieve veiligheidssystemen dan de eerdere kerncentrales. Deze systemen vereisen bij een incident een ingreep door een operator.
- Van een *derde* generatie *advanced reactors* zijn er twee in bedrijf in Japan sinds 1996, met nog twee in aanbouw in Japan en twee in Taiwan. Deze generatie reactoren bevat passieve veiligheidssystemen, die in geval van een ongeluk automatisch in werking treden en geen tussenkomst van een operator vereisen. Deze passieve veiligheidssystemen zijn gebaseerd op *engineered components*. Binnen deze generatie vallen verschillende evolutionaire ontwerpen, die voortbouwen op bestaande Boiling Water Reactors (BWR's) en Pressurised Water Reactors (PWR's). De European Pressurised Water Reactor (EPR), die Frankrijk op dit moment ontwikkelt, is hier een voorbeeld van. Ook voor zwaar-waterreactoren worden evolutionaire ontwerpen ontwikkeld.

Een ander ontwerp binnen de derde-generatiereactoren (WNA, 2003) – ook wel als '3+- ontwerp' aangeduid – is een hogetemperatuur-, gasgekoelde reactor die gebruikmaakt van helium als koelmiddel. In Duitsland is twintig jaar onderzoek gedaan naar dit type reactor en inmiddels is, gebruikmakend van dit onderzoek, in China een dergelijke reactor gebouwd. Zuid-Afrika ontwikkelt een modulair toe te passen reactor van dit type, de Pebble Bed Modular Reactor (PBMR). Verwacht wordt dat deze centrale in 2010 kan worden ingezet. De literatuur bespreekt de mogelijkheden voor een kleinschalig en modulair ontwerp van dit type centrales als een op dit moment veelbelovende optie voor een commerciële inzet van kernenergie in geliberaliseerde elektriciteitsmarkten (Lake et al., 2002).

Ook Nederland levert een bijdrage aan het onderzoek naar deze reactor. NRG heeft onder meer een kleine Pebble Bed Reactor ontwikkeld met een grootte van 60 MW (Kovan, 2002). Betrokkenen menen dat deze zogenoemde Acacia-reactor onderhoudsarm en betaalbaar is, zodat deze bijvoorbeeld dienst zou kunnen doen in ontwikkelingslanden.

Veiligheid Pebble Bed Reactor

Veel deskundigen beschouwen de Pebble Bed Reactor als 'inherent veilig'. Zelfs het geheel wegvallen van het koelmiddel tijdens het draaien op vol vermogen, leidt niet tot schade aan de reactorkern.

Dit komt door:

- 1 De sterke negatieve temperatuurterugkoppeling: de kettingreactie en daarmee de vermogensproductie stopt vanzelf als de splijtstoftemperatuur toeneemt.*
- 2 De goede warmteafvoer vanuit de reactorkern naar de omgeving, zodat de geproduceerde vervalwarmte op passieve wijze afgevoerd kan worden.*
- 3 Het feit dat de splijtstof goed bestand is tegen hoge temperaturen: zelfs bij een temperatuur van 1.600°C komen er geen radioactieve stoffen vrij.*

Maar de veiligheid van de Pebble Bed Reactor is wel omstreden. Critici geven aan dat bij een modulaire opbouw een overkoepelende veiligheidsomhulling, zoals bij bestaande reactoren, de kosten sterk doet oplopen. Ook is het grafiet brandbaar. Daarmee zijn in het verleden al eerder ongelukken gebeurd in kernreactoren. Bovendien blijkt het in de praktijk lastig om volledig dichte grafietballen te produceren, waardoor ongelukken niet uit te sluiten zijn (www.tmia.com/pebbles.html).

Een derde ontwerp dat de World Nuclear Association (WNA) onder derde-generatiereactoren schaarst, zijn de snelle-neutronenreactoren, ofwel 'kweekreactoren'. Een voordeel van deze snelle reactoren is dat zij een veel beter gebruik van de grondstof – het uraniumerts – bewerkstelligen. Een snelle reactor benut veel meer splijtstof dan een conventionele reactor: een snelle reactor kan 60 tot 100 procent van de splijtstof uranium versplijten. De kerncentrale in het Duitse Kalkar, een Benelux-Duits samenwerkingsproject, die nooit vergunning kreeg om elektriciteit te produceren, behoorde tot dit type.

WNA noemt hoge kosten voor dit reactortype als reden dat men alleen nog in India onderzoek hiernaar doet. Hill en Pease (1999) noemen ook technische moeilijkheden in het ontwerp als reden hiervoor. Wel zijn in het onderzoeksprogramma naar de 'vierde-generatiekernreactoren' weer enkele varianten van dit type opgenomen.

2.2 Vierde-generatie centrales

Op dit moment wordt onderzoek gedaan naar een *vierde* generatie kerncentrales, waarvan de kern door slim gebruik van elementaire fysische principes (onder andere zwaartekracht), nooit kan smelten of exploderen. Dit wordt 'inherent veilig' genoemd (Fischetti, 1987). Er lopen twee internationale projecten op dit gebied:

- Generation IV onder leiding van de Verenigde Staten;
- Het Inpro-project onder leiding van de IAEA.

In het Inpro-project participeren vijftien landen, waaronder Nederland³. De eerste fase richt zich op het definiëren van gebruiksvoorwaarden voor een nieuwe generatie kerncentrales voor de toekomst. De participanten zullen daarna beoordelen of een tweede fase volgt met een daadwerkelijke ontwikkeling van vierde-generatiesystemen die voldoen aan alle gedefinieerde voorwaarden.

Het Generation IV-project, waarin de Verenigde Staten samenwerken met negen andere landen⁴, is een stap verder dan het Inpro-project. Het project onderzoekt systemen die uiterlijk 2030 commercieel inzetbaar moeten zijn. Men heeft in 2001 zes reactortypes geselecteerd die verder ontwikkeld gaan worden als vierde-generatiekerncentrales:

- Gas-cooled fast reactors;
- Lead-cooled fast reactors;
- Molten salt reactors;
- Sodium-cooled fast reactors;
- Supercritical water-cooled reactors;
- Very high-temperature gas reactors.

Alle zes de reactortypes werken op hogere temperaturen dan de huidige kerncentrales en hebben mogelijk voordelen op het gebied van veiligheid, betrouwbaarheid, het voorkomen van proliferatie en kosten (WNA, 2003). De reactoren zijn gebaseerd op een gesloten splijfstofcyclus (met opwerking van de gebruikte splijstof). Door de toegepaste hoge temperaturen kunnen vier van deze experimentele reactortypes onder meer waterstof produceren, dat vervolgens als CO₂-vrije energiebron of voor industriële toepassingen ingezet kan worden.

2.3 Accelerator Driven Systems

Een ander type reactoren waarnaar onderzoek wordt gedaan, zijn Accelerator Driven Systems (ADS). Deze systemen maken gebruik van een subkritieke reactorkern, die onvoldoende neutronen produceert om de kettingreactie te onderhouden. De kern wordt door onder meer een externe versneller voorzien van neutronen die het kernsplijtingsproces op gang houden. De oorspronkelijke veronderstelling was dat deze reactoren veiliger zouden zijn dan conventionele kernreactoren,

omdat de kernsplijtingreactie automatisch stopt als de versneller wordt afgezet. Recent onderzoek trekt dit weer in twijfel⁵. Andere argumenten voor het onderzoek naar deze reactoren blijven wel overeind. Dit zijn onder andere:

- Het gebruik van Thorium als splijtstof.
- Transmutatie van kernafval dat met deze reactoren mogelijk is (zie hoofdstuk 3).

Voorbeelden van dergelijke Accelerator Driven Systems zijn het Linear Accelerator Breeder Concept, en de Energy Amplifier, voorgesteld door Carlo Rubbia (Turkenburg, 2003).

Thorium

Naast uranium kan ook thorium gebruikt worden als grondstof voor het kernsplijtingsproces. Thorium moet dan wel eerst via bestraling worden omgezet in het splijtbare uranium-233. Thorium komt in de natuur drie keer zo veel voor als uranium. Bovendien is al het gewonnen thorium, in tegenstelling tot uranium, bruikbaar voor kernsplijtingreacties. Met name in India, dat grote natuurlijke thoriumvoorraden heeft, bestaat daarom veel interesse voor het gebruik van deze splijtstof. Thorium kan bovendien zodanig ingezet worden dat proliferatie van materiaal geschikt voor kernwapens verminderd wordt. Daar staat tegenover dat hoge kosten voor de productie van grondstof uit thorium en nog bestaande technische problemen de commerciële toepassing van thorium onwaarschijnlijk maken, zolang nog voldoende grote voorraden uranium beschikbaar zijn (zie ook het hoofdstuk klimaat in dit rapport) (WNA, 2003).

2.4 Kernfusie

Naast het onderzoek naar de verbetering van bestaande technieken en methoden van kernsplijting loopt ook onderzoek naar de mogelijkheden van gebruik van kernfusie voor opwekking van elektriciteit. Deskundigen veronderstellen dat kernfusie inherent veilig is, omdat het fusieproces meteen stopt als de brandstoftoevoer wordt afgesloten (www.fusie-energie.nl/watisker). Het radioactieve tritium dat bij deze reactie wordt gebruikt, wordt gemaakt door de grondstof lithium met neutronen uit het fusieproces te bestralen. Het tritium ontstaat dus in de reactor zelf en hoeft niet getransporteerd te worden. Het heeft een korte halfwaardetijd (12 jaar) en ons lichaam scheidt het binnen tien dagen biologisch af. Gevaren van tritium voor mensen worden klein geacht en ontstaan met name als men een grote dosis oraal (via voeding of drinken) binnenkrijgt (www.physics.isu.edu/radinf). Wel wordt

de wand van de kernfusiereactor zelf door de bestraling langdurig radioactief. Deze reactorwand moet regelmatig worden vervangen.

De grootste experimentele plasmafusiereactor – de Joint European Torus – staat in Culham, Engeland. Men is hierin op dit moment in staat om gedurende enkele seconden enige tientallen megawatts energie op te wekken. Een verdere stap in het kernfusieonderzoek wordt in 2004 verwacht. Dan valt de beslissing over de locatie – in Japan of in Frankrijk – en bouw van een veel grotere reactor: de ITER-reactor. Het is de bedoeling om in deze reactor gedurende een periode van circa 1000 seconden een energie van 500 MW op te wekken (www.iter.org). Maar de technische problemen bij kernfusie zijn nog lang niet onder controle. Voor kernfusie verwacht de EU dan ook geen commerciële inzet vóór 2060 (EZ, 2000).

2.5 Veiligheidsbeleid

Trend in het veiligheidsbeleid is het streven naar internationale harmonisatie. De IAEA heeft in 1996 overkoepelende veiligheidsstandaards voor kerncentrales aangenomen en een *International Nuclear Events Scale* ontwikkeld, waarop alle incidenten bij kerncentrales kunnen worden geclassificeerd.

Veiligheid staat ook op de agenda van de Europese Commissie. In januari 2003 is er een concept-richtlijn gepubliceerd die streeft naar een harmonisatie van regelgeving op dit gebied. Iedere lidstaat moet volgens die richtlijn een onafhankelijke veiligheidsorganisatie hebben. Veiligheidsstandaards zijn gebaseerd op die van de IAEA, maar kunnen eventueel op Europees niveau aangevuld worden. Bovendien moet iedere lidstaat een onafhankelijke organisatie oprichten die ontmantelingsfondsen beheert, waaruit een veilige afbraak van de kerncentrale na afloop van de levensduur gefinancierd kan worden (www.europa.eu.int). De richtlijn is echter niet onomstreden: verschillende landen hebben aangegeven niet direct behoefte te hebben aan een dergelijke harmonisatie.

2.6 Meningen over veiligheid

Omstreden in het debat over veiligheid van kerncentrales is de vraag of inherent veilige, vierde-generatiecentrales als resultaat van de huidige ontwikkelingen in de toekomst echt mogelijk zullen zijn. Voorstanders benadrukken de 'passieve' veiligheidskenmerken van deze centrales. Tegenstanders geven aan dat risico's door menselijk falen nooit helemaal uit te sluiten zijn. Onderdeel van dit debat is de vraag hoe veilig de Pebble Bed Reactor is.

De posities in dit debat over veiligheid lopen uiteen van zeer sceptisch tot zeer optimistisch. De in dit project gehouden interviews geven hier een globale indruk van: De Rijk (WISE) meent dat het langlopende onderzoek naar veiliger centrales nog geen resultaten heeft opgeleverd. Schöne (WNF) zegt dat kerncentrales “een risico blijven vormen”. Bongers (EPZ/Borssele) noemt de vierde generatie daarentegen “heel veilig” en Te Riele (Urenco) geeft zelfs aan dat “nieuwe centrales die nu gebouwd worden, intrinsiek veilig zijn”.

3 Afval

In dit hoofdstuk worden de ontwikkelingen besproken op het gebied van opwerking en opslag van kernafval, een van de facetten van kernenergie die ter discussie staan. Het hoofdstuk gaat ook in op de mogelijkheden om de levensduur van kernafval te verkorten door 'transmutatie', een techniek die recent in de aandacht staat.

3.1 Soorten kernafval

In de verschillende stadia van de kernenergiecyclus komt radioactief afval vrij. Dat gebeurt met name bij de winning, verrijking, na afloop van gebruik van splijtstoffen in de reactor en bij opwerking. Het afval dat in de verschillende stadia vrijkomt, bestaat zowel uit:

- Gasvormige en vloeibare emissies;
- Radioactief vast afval.

Gassen en vloeistoffen

In de kernenergiecyclus is verspreiding van radioactiviteit door gasvormige of vloeibare emissies zeer beperkt, en over het algemeen duidelijk lager dan de doses die mensen ontvangen als gevolg van natuurlijke radioactiviteit (ECN, 2001). Toch zijn met name de effecten oms treden van lozing van radioactieve reststoffen in zee (bij opwerking).

Ook is weinig bekend over de effecten van accumulatie van radionucliden in de atmosfeer. Er is volgens Turkenburg nader onderzoek nodig naar met name de effecten van krypton-85, dat vrijkomt bij opwerking van gebruikte splijtstoffen, maar ook naar die van tritium, jodium-129 en carbon-14 (Turkenburg, 2003).

Radioactief vast afval

Laag- en hoogradioactief *vast* afval in de kernenergiecyclus ontstaat bij winning van uranium uit ertsen, bij opwerking, bij ontmanteling van kerncentrales en andere nucleaire installaties (hiermee is tot dusver pas beperkt ervaring opgedaan), en na gebruik van splijtstoffen in een kerncentrale. In het laatste geval zijn er twee mogelijkheden:

- Bij een closed fuel cycle worden voor de opwerking uranium en plutonium uit de gebruikte splijtstof gehaald en gedeeltelijk nieuw gebruikt.
- Bij een open fuel cycle vindt direct opslag plaats van het hoogradioactieve afval.

Het afval kan worden ingedeeld in verschillende categorieën, afhankelijk van de mate van radioactiviteit. De World Nuclear Association gebruikt hiervoor de indeling:

- *Low-level waste*;
- *Intermediate-level waste*;
- *High-level waste*.

Daarnaast zijn er indelingen die alleen hoog- en laagradioactief afval onderscheiden.

Laag- en middenradioactief afval maakt 97 procent van het volume uit van het kernafval, en 5 procent van de radioactiviteit. Het meest in de aandacht staat de High Level Waste (HLW), waarvan een lichtwaterreactor van 1000 MW zo'n 25 tot 30 ton per jaar produceert (dat is 2-3 m³). HLW is verantwoordelijk voor 95 procent van de radioactiviteit in de kernenergiecyclus. Dit hoofdstuk beperkt zich tot deze categorie afval. Kerncentrales produceren jaarlijks wereldwijd ongeveer 12.000 ton van dit afval. In 2001 lag er rond de 250.000 ton HLW in opslag (WNA, 2003).

Typen radioactief afval

Mijnbouwafval Bij traditionele uraniumwinning blijft veel mijnbouwafval achter in de vorm van fijnkorrelige tailings. Dit afval – dat vrijwel alle radioactieve elementen bevat die van nature in uraniumerts voorkomen – wordt in speciaal ontworpen tailings dams opgevangen. Deze dammen worden later met klei en stenen afgedekt om te voorkomen dat het aanwezige radongas ontsnapt, en er wordt een zekere stabiliteit op langere termijn gewaarborgd. Als tussentijdse maatregel wordt het afval vaak met water afgedekt. Na enkele maanden daalt de radioactiviteit van deze tailings tot ongeveer 75 procent van het niveau van het oorspronkelijke erts.

Laagradioactief afval (Low-level Waste, LLW) ontstaat niet alleen in de splijtstofcyclus, maar is ook afkomstig van ziekenhuizen en diverse industrieën. Het omvat een verscheidenheid aan materialen, zoals gereedschap, filters, doeken, kleding en papier, die besmet zijn met kleine hoeveelheden, meestal kortlevende, isotopen (korte halfwaardetijd). Dit soort afval hoeft tijdens behandeling en transport niet te worden afgeschermd en wordt meestal op geringe diepte in de bodem gestort. Om het te storten volume te verminderen, wordt het afval in veel gevallen eerst ingedikt of verbrand. Hoewel de totale hoeveelheid radioactief afval qua volume voor ongeveer 90 procent uit LLW bestaat, is de bijdrage qua radioactiviteit maar 1 procent.

Middenradioactief Afval (Medium-level Waste, MLW) bevat materialen met een hogere radioactiviteit en moet in sommige gevallen wel afgeschermd worden. De voornaamste bestanddelen van MLW zijn verontreinigde chemische harsen, slib en metalen brandstofstaafomhulsels, maar er kan ook materiaal uit ontmantelde reactoren bijzitten. Kleinere voorwerpen en eventuele vloeibare en gasvormige materialen worden soms in beton of bitumen gegoten voordat eindverwerking plaatsvindt. Van de totale hoeveelheid radioactief afval is MLW verantwoordelijk voor ongeveer 7 procent qua volume en 4 procent qua radioactiviteit.

Hoogradioactief afval (High-level Waste, HLW) is het directe afvalproduct dat ontstaat uit het 'opbranden' van uraniumsplijtstof in kernreactoren: de 'as', als het ware. Het omvat zowel de splijttingsproducten als de in de reactorkern gevormde 'trans-uranaan'-elementen. Dit materiaal is zeer radioactief en ook heet, en moet daarom gekoeld en afgeschermd worden. HLW is verantwoordelijk voor meer dan 95 procent van de radioactiviteit van al het radioactieve afval dat bij de opwekking van kernenergie ontstaat.

(Bron: www.world-nuclear.org/info/inf04.htm)

3.2 Opwerking

Gebruikte splijtstof uit een kerncentrale bevat uranium, plutonium, andere actiniden als americium, neptunium en curium, en splijttingsproducten als jodium, cesium en strontium. Bij opwerking worden uranium en plutonium hiervan gescheiden en bewerkt, zodat ze gedeeltelijk nieuw kunnen worden gebruikt in kerncentrales.

De keuze voor het al dan niet opwerken van kernafval verschilt per land. De Verenigde Staten, Zweden, Finland en Canada hebben gekozen voor een 'open cyclus' (zonder opwerking). Landen als Engeland, Frankrijk en Nederland hebben daarentegen gekozen voor een 'gesloten cyclus', met opwerking. In het laatste geval gebruikt men een gedeelte van de reststoffen uranium en plutonium opnieuw en daardoor vermindert de hoeveelheid afval die direct naar een eindopslag gaat. Daartegenover staat dat lozingen van restproducten bij opwerking omstreden zijn, net als de risico's voor proliferatie van het opgewerkte plutonium en uranium. De OSPAR-conventie voor bescherming van de Noord-Oostelijke Atlantische Oceaan roept de landen die het verdrag hebben ondertekend, op om de mogelijkheden te onderzoeken om te stoppen met opwerken. Doel hiervan is om radioactieve emissies te verminderen (Ospar Commission, 2000).

Van de 12000 ton High-level Waste die jaarlijks wordt geproduceerd gaat ongeveer 3000 ton naar opwerkingsfabrieken (WNA, 2003). De gezamenlijke opwerkingscapaciteit van deze fabrieken bedraagt 5000 ton, waarvan La Hague (in Frankrijk) en Sellafield (in Engeland) verreweg het grootste gedeelte voor hun rekening nemen. Daarnaast zijn er nog kleinere opwerkingsfabrieken in Rusland, Frankrijk, India en Japan (tabel 2).

De Nederlandse kerncentrale in Borssele heeft contracten met Cogema in La Hague voor opwerking van het afval. Het afval van de inmiddels uit bedrijf genomen kerncentrale in Dodewaard werd opgewerkt in Sellafield.

Tabel 2. Commerciële capaciteit voor opwerking van kernafval wereldwijd (ton per jaar)

LWR-splijstof:	Frankrijk, La Hague	1600	
	Engeland, Sellafield (THORP)	1200	
	Rusland, Tsjelyabinsk (Mayak)	400	
	Japan	90	
	Totaal		2940
Andere splijstoffen:	Engeland, Sellafield	1500	
	Frankrijk, Marcoule	400	
	India	200	
	Totaal		2100
Totale civiele capaciteit:			5040

(Bronnen: OECD/NEA 1999 Nuclear Energy Data, Nuclear Eng. International handbook 2000.)

3.3 Transmutatie

Sinds een aantal jaren wordt er veel onderzoek gedaan naar ‘transmutatie’. Transmutatie is het door bestraling omzetten van langlevend radioactief materiaal (in het afval) naar kortlevend radioactief materiaal. De hierbij gebruikte technieken kunnen worden gezien als een verdere ontwikkeling op het gebied van opwerking. Bij transmutatie probeert men om niet alleen uranium en plutonium uit gebruikte splijstof te halen, maar om ook de overige actiniden en splijtingsproducten zo veel mogelijk te isoleren en door bestraling te bewerken. Die bestraling kan met neutronen, maar ook met protonen, zoals het geval is in Accelerator Driven Systems. Daardoor moet de levensduur van het kernafval worden verkort van tien- of honderdduizenden tot enkele honderden jaren.

In Nederland richt onderzoek van NRG zich onder meer op het omzetten van plutonium en americium in korter levende splijtingsproducten door bestraling met neutronen. Deze isotopen plaatst men daarvoor terug in de reactor, verpakt in een inert dragermateriaal, dat voorkomt dat de kernreacties te hard gaan verlopen. Ook curium moet in de toekomst op een vergelijkbare manier verwerkt kunnen worden. Afscheiding van americium en curium blijkt echter vooralsnog lastig. Ook zijn nog geen tests in commerciële reactoren uitgevoerd, omdat – volgens de onderzoeksleider bij NRG – kerncentrales nu geen problemen zien in de huidige manier van afvalverwerking en aan opslag de voorkeur geven (Mols, 2003).

Volgens NRG zal toepassing van transmutatie op een bedrijfsmatige schaal tenminste nog “enkele decennia” op zich laten wachten (www.nrg.nl). Van belang daarbij zijn met name ook de kosten van deze techniek. Op dit moment maken de kosten van afvalverwerking circa 5 procent uit van de totale kosten van kernenergie. Door het toepassen van transmutatie verwachten onderzoekers dat de kosten van afvalverwerking verder zullen stijgen, maar onduidelijk is met welk bedrag (NRC-VS, 1996; Zerriffi en Makhijani, 2000; MIT, 2003).

Wel is duidelijk dat ook bij succesvolle verdere ontwikkeling en toepassing van transmutatietechnieken in de toekomst niet alle elementen volledig kunnen worden ‘getransmuteerd’ tot elementen met een korte radioactieve levensduur (Zerriffi en Makhijani, 2000). Lange-termijnopslag van High Level Waste blijft ook dan noodzakelijk.

3.4 Opslag

Na gebruik van splijtstoffen, gaat het afval van zowel de ‘open fuel cycle’ als de ‘closed fuel cycle’ naar een tussenopslag, waar het tenminste enkele tientallen jaren verblijft. Er bestaan verschillende vormen van tussenopslag:

- Natte opslag in bassins;
- Droge opslag in speciaal daarvoor ontworpen gebouwen;
- Opslag in zogenoemde Castor-containers.

Daarna moet het afval naar een eindopslagplaats, waar het tien- of honderdduizenden jaren veilig moet kunnen worden opgeslagen. Hoewel er veel onderzoek naar veilige lange-termijnopslag wordt gedaan, is nog nergens ter wereld een dergelijke eindopslag in gebruik (tabel 3).

Nederland slaat het opgewerkte High-level Waste-afval dat terugkomt uit Frankrijk, tijdelijk bovengronds op in Borssele. In 2003 is hiervoor een tweede gebouw geopend. Dit HABOG (Hoogradioactief Afval Behandeling Gebouw) herbergt in principe voor honderd jaar het hoogradioactief afval, maar dit zou tot driehonderd jaar kunnen oplopen. De bun-

ker is groot genoeg om het afval op te slaan dat de centrale in Borssele tot 2008 produceert.

Tussen 1996 en 2000 heeft de CORA (Commissie Opberging Radioactief Afval) in opdracht van de regering onderzoek gedaan naar onder andere de mogelijkheden van ondergrondse berging in diepe kleilagen en steenzout. Uitgangspunt was daarbij de terugneembaarheid van het afval. De technische beheersbaarheid, de kosten en de veiligheid van verschillende opties zijn hierbij in kaart gebracht. Conclusie was dat een dergelijke ondergrondse opslag in principe mogelijk is (EZ, 2001). Er is echter nog geen locatie aangewezen.

De Europese Commissie geeft in een nieuwe conceptrichtlijn in 2003 aan dat lidstaten:

- Vóór 2018 een definitieve opbergplaats voor hoogradioactief afval moeten aanwijzen.
- Vóór 2013 een definitieve opbergplaats voor laag- en middenradioactief afval moeten aanwijzen.

Ook samenwerking tussen lidstaten en eventueel het aanwijzen van een gemeenschappelijke locatie voor eindopslag wordt daarbij mogelijk geacht. Of de richtlijn ook in deze vorm definitief wordt, is nog niet duidelijk.

3.5 Meningen over afval

Internationaal is men het niet eens of opwerken van kernafval al dan niet zinvol is. Toepassing daarvan verschilt per land. Argumenten variëren van 'nuttig gebruik van afval' en 'verminderen hoeveelheid afval' (voor opwerken) tot 'risico's voor proliferatie' en 'emissies bij opwerking' (tegen).

Ook over de mogelijkheden voor toekomstig gebruik van transmutatietechnieken zijn de meningen verdeeld. ECN toont zich optimistisch: "Technologieën bestaan – of kunnen worden ontwikkeld – die een verkorting mogelijk maken van de levensduur van radioactief afval." (ECN, 2001). Anderen zien transmutatie slechts als een mogelijkheid die zich nog moet bewijzen (zie bijvoorbeeld het interview met Dick Vos in dit rapport). Het kostenaspect van transmutatie lijkt in deze discussie van groot belang.

Een andere discussie op dit gebied is die over de eindberging van het restafval dat uiteindelijk overblijft. Veel experts achten dit veilig mogelijk (WNA, 2003; Turkenburg, 2003), maar het is zeker niet onomstreden. De recente geopolitieke ontwikkelingen, met name het uiteenvallen van de Sovjet-Unie, voeren sommigen aan als argument om aan te geven dat een lange-termijnbeveiliging van opslagplaatsen door stabiele politieke regimes moeilijk te realiseren is.

Tabel 3. Kernafvalbeleid en eindopslag

Nationale beheersregimes voor radioactief afval uit civiele kerncentrales		
Land	Beheersregime	Definitieve afvalopslag: stand van technische voorzieningen en onderzoek
België	Opwerking 1)	Centraal opslagdepot en ondergronds laboratorium aanwezig. Bouw van definitieve ondergrondse opslagfaciliteit in diepgelegen geologische formatie (<i>deep repository</i>) rond 2035 gepland.
Canada	Definitieve opslag	Laboratorium voor ondergrondse opslag aanwezig. Ingebruikname <i>deep repository</i> rond 2025 gepland.
China	Opwerking	Centraal opslagdepot voor uitgewerkt splijtstof in gebruik (Lan Zhou).
Duitsland	Opwerking 1)	Opslagdepots voor LLW sinds 1975 in gebruik. <i>Deep repositories</i> voor HLW na 2010 in gebruik.
Finland	Definitieve opslag	Opslagdepots voor uitgewerkt splijtstof aanwezig. Lopend onderzoek naar locaties voor HLW-eindopslag in <i>deep repository</i> , voor gebruik vanaf 2020.
Frankrijk	Opwerking	Twee opslagplaatsen voor kortlevend afval in gebruik. Lopend onderzoek naar locaties voor HLW-eindopslag in <i>deep repository</i> , voor gebruik vanaf 2020.
India	Opwerking	Lopend onderzoek naar locaties voor HLW-opslag in <i>deep repositories</i> .
Japan	Opwerking	LLW-opslagplaatsen in gebruik. HLW-opslagfaciliteit bij Rokkasjo-mura. Lopend onderzoek naar definitieve HLW-opslag in <i>deep repository</i> .
Rusland	Opwerking	Lopend onderzoek naar locatie(s) voor definitieve opslag.
Spanje	Definitieve opslag	Opslagdepots voor LLW en MLW in gebruik. Lopend onderzoek naar definitieve HLW-opslag in <i>deep repository</i> ; voor gebruik vanaf 2020.
Verenigde Koninkrijk	Opwerking	LLW-opslagplaatsen in gebruik sinds 1959. Verglazing en voorlopige opslag van HLW; definitieve opslag in <i>deep repository</i> gepland.
Verenigde Staten	Definitieve opslag	Drie LLW-opslagplaatsen in gebruik. HLW-eindopslag in <i>deep repository</i> in Yucca Mountain (regeringsbeslissing 2002).
Zuid-Korea	Definitieve opslag	Centrale, tussentijdse HLW-opslag voor 2016 gepland. Centrale, definitieve LLW- en MLW-opslag vanaf 2008. Lopend onderzoek naar definitieve HLW-opslag in <i>deep repository</i> .
Zweden	Definitieve opslag	Centrale opslagplaats voor uitgewerkt brandstof sinds 1985 in gebruik. Definitieve LLW- en MLW-opslagdepots in gebruik. Ondergronds onderzoekslab voor HLW-opslag; lopend onderzoek naar locatie voor <i>deep repository</i> , voor gebruik vanaf 2008.
Zwitserland	Opwerking 1)	Centrale, tussentijdse opslagplaats voor alle categorieën afval in aanbouw. Ondergronds onderzoekslab voor HLW-opslag in <i>deep repository</i> , voor gebruik vanaf 2020.

1) Deze landen zijn inmiddels gestopt met opwerking

(Bron: www.world-nuclear.org/info/inf04.htm, 2004, gebaseerd op OECD/NEA 1999)

Het is nog onduidelijk in hoeverre verschillende EU-lidstaten, waaronder Nederland, bereid zijn om voor 2018 een definitieve opslagplaats van het kernafval aan te wijzen. Of er al dan niet internationale eindopslagplaatsen aangewezen moeten worden, is ook onderwerp van discussie. Grotere veiligheid door samenwerking staat hier tegenover grotere risico's door transport, verwerking en concentratie van materiaal. Naast de geschiktheid van de ondergrond spelen hier met name ook publieke opinies een rol.

4 Proliferatie

Proliferatie is al vanaf het bestaan van nucleaire technologie een aandachtspunt. Hierbij gaat het om misbruik van kernwapens en nucleaire technologie door kwaadwillende staten. Na het uiteenvallen van de Sovjet-Unie krijgen de gevaren van proliferatie weer veel aandacht. In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden besproken om proliferatie tegen te gaan en het hoofdstuk geeft informatie over recente ontwikkelingen op (non-)proliferatiegebied.

4.1 Kernenergie en kernwapens

Het is omstreden in hoeverre de civiele en militaire toepassing van nucleaire technologie op dit moment gescheiden zijn, dan wel te scheiden zijn. Sommige partijen claimen dat deze toepassingen strikt gescheiden zijn, andere partijen geven aan dat dit niet het geval is en dat de overlap potentieel grote risico's in zich bergt.

Het kader 'kernwapens' hieronder, afkomstig van een Australische overheidsinstantie, geeft aan dat plutonium en uranium duidelijk verschillende verrijkingsgraden hebben voor civiel en militair gebruik. Materiaal uit een civiele reactor lijkt dan ook niet zonder meer bruikbaar voor inzet in kernwapens. Toch geven UNDP, UN-DESA en de World Energy Council in het gezaghebbende *World Energy Assessment* (2000; p. 309) aan dat *"Reactor-grade plutonium can be used to construct devastating nuclear weapons at all levels of technical sophistication."* Daarbij baseert men zich op berichtgeving van het Department of Energy in de Verenigde Staten. ECN geeft in een publicatie aan dat ook uranium, dat tot een gehalte van 50 procent uranium-235 is verrijkt (in plaats van 93 procent, zoals hieronder aangegeven), geschikt is voor de productie van kernwapens (R.J.S. Harry; 1982).

Niet omstreden is dat materiaal uit kernwapens gebruikt wordt in civiele centrales. Onder meer in Borssele is al kernwapenmateriaal uit de voormalige Sovjet-Unie gebruikt.

Kernwapens

In kernwapens kunnen diverse soorten splijtstof gebruikt worden:

- **Plutonium:** plutonium ontstaat door bestraling van uranium in een kernreactor. De isotoop uranium-238 absorbeert hierbij één neutron en wordt daarmee in plutonium-239 omgezet; bij langere bestralingstijden ontstaan ook de zwaardere plutoniumisotopen Pu-240, Pu-241 en Pu-242. Plutonium dat voor kernwapens geschikt is (weapons-grade plutonium) bevat voornamelijk de isotoop Pu-239 en hooguit 7 procent Pu-240. In kernwapens zijn Pu-240 (en ook de zwaardere isotoop Pu-242) ongewenst, omdat spontane kernsplijting dan tot een ongecontroleerde kettingreactie kan leiden en daarmee tot voortijdige ontsteking. Anders is de situatie in een civiele kernreactor (bijvoorbeeld een LWR)⁶, waar het tijdens normaal bedrijf gevormde plutonium (reactor-grade plutonium) relatief veel Pu-240 bevat, doorgaans zo'n 25 procent. Omdat weapons-grade plutonium juist zo weinig mogelijk Pu-240 moet bevatten, vindt productie plaats in speciaal daartoe ontworpen reactoren⁷, meestal met natuurlijk uranium als splijtstof en grafiet als remstof en met voorzieningen om de splijtstof na een korte bestralingstijd (en daarmee een lage burn-up) te verwijderen.
- **Uranium:** het uranium dat in kernwapens wordt gebruikt, het zogenaamde weapons-grade uranium, is 'hoogverrijkt', dat wil zeggen tot 93 procent U-235, veel meer dan standaard civiel verrijkt uranium, dat zo'n 3 – 5 procent U-235 bevat. Deze hoge verrijkingsgraad wordt bereikt in speciaal voor dit doel ontworpen en aangestuurde enrichment plants.

Vergelijking van materialen in civiele en militaire splijtstofcycli (bij benadering):

Materiaal	Civiel	Militair
Plutonium	60% Pu-239	93% Pu-239
Uranium	4% U-235	93% U-235'

(Bron: www.dfat.gov.au)

4.2 Technische non-proliferatieopties

Om het gevaar van proliferatie te verminderen, worden naast institutionele middelen – verdragen, richtlijnen en afspraken – ook technische middelen toegepast:

- Een technische optie om proliferatiemogelijkheden te verminderen, is het stopzetten van de opwerking van kernafval. Hierdoor vermindert de hoeveelheid zuiver plutonium die in omloop is en die moge-

lijk gebruikt kan worden voor kernwapens. Met name de Verenigde Staten zijn op dit moment voorstander van deze optie. Afzien van opwerking leidt wel tot grotere hoeveelheden afval die direct moeten worden opgeslagen. In de Verenigde Staten is de beschikbare hoeveelheid tijdelijke opslagcapaciteit van splijtstoffen in bassins mede daardoor nu een knelpunt (Van der Zwaan, 2003).

- Een andere technische optie om de productie van plutonium, geschikt voor kernwapens, tegen te gaan, is transmutatie van het kernsplijttingsafval (zie boven).
- Ook de ontwikkeling van nieuwe reactortypes kan proliferatiemogelijkheden verminderen. Dat geldt met name voor Pebble Bed Reactoren (veel minder plutonium) en Thorium-reactoren (geen plutonium). Maar afgezien van het feit dat deze reactoren op dit moment nog niet commercieel inzetbaar zijn, sluiten ook deze reactoren proliferatie niet volledig uit (Turkenburg, 2003).
- Een andere optie om proliferatie te beperken, zijn Accelerator Driven Systems. Ook hiervoor geldt echter dat dit type reactoren in het onderzoeksstadium is en dat de resultaten van eventuele feitelijke toepassing nog moeten worden afgewacht.

4.3 Het Non-Proliferatieverdrag

Het bekendste institutionele middel om proliferatie tegen te gaan, is het Non-Proliferatieverdrag, in 1993 aangevuld met zogenoemde *safeguards*-protocollen die verrassingsinspecties mogelijk maken. Het verdrag streeft naar het voorkomen van proliferatie van nucleaire technologie naar niet-kernwapenstaten. Ondanks de internationale controle en inspecties die dit verdrag mogelijk maken, is proliferatie van nucleaire technologie buiten de vijf oorspronkelijke kernwapenstaten hierdoor niet voorkomen. Van de landen die het verdrag niet ondertekend hebben, heeft Israël waarschijnlijk kernwapens en hebben Pakistan en India door middel van kernproeven aangetoond in het bezit te zijn van kernwapens.

Het Non-Proliferatieverdrag

Het Non-Proliferatieverdrag (NPV), dat in 1970 in werking is getreden en in 1995 voor onbepaalde tijd is verlengd, is gericht tegen de verspreiding van kernwapens. Het verdrag bepaalt dat de vijf kernwapenstaten (China, Frankrijk, Groot-Brittannië, de Russische Federatie en de Verenigde Staten) geen kernwapens of kernwapentechnologie mogen overdragen aan niet-kernwapenstaten (alle andere landen). Deze landen mogen op hun beurt geen kernwapens verwerven. Het ter beschikking stellen dan wel verwerven van nucleaire technologie voor vreedzaam gebruik is wel toegestaan.

De Internationale Organisatie voor Atoomenergie (IAEA), een in 1957 opgericht VN-orgaan, is belast met de controle op de naleving van het NPV (onder meer via inspecties). Om te voorkomen dat er nucleair materiaal voor militaire doeleinden wordt gebruikt, worden de ondertekenaars van het NPV regelmatig door de IAEA gecontroleerd (www.atlcom.nl/nonprol.htm). De nodige controles worden in de landen van de Europese Gemeenschap uitgevoerd door het Euratom-bureau in Luxemburg.

Recent pleitten zowel de Verenigde Staten als de IAEA voor aanscherping van het bestaande non-proliferatieverdrag. De huidige president van de Verenigde Staten, George W. Bush, noemde in een toespraak begin 2004 "kernwapens op dit moment de grootste bedreiging van de mensheid". Het hoofd van de IAEA, Mohamed El Baradei, waarschuwde in een ingezonden brief in de *New York Times* voor "zelfvernietiging van de wereld als de verspreiding van kernwapens niet wordt tegengegaan" (*NRC Handelsblad*, 12 februari 2004).

Bush stelt voor dat de veertig landen die deel uitmaken van de zogenoemde *Nuclear Suppliers Group* (landen die kernwapentechnologie produceren) alleen nog kerntechnologie verstrekken aan landen die de verrijking en opwerking van nucleair materiaal hebben afgezworen. Landen als Iran en Noord-Korea zouden dan niet langer recht hebben op kerntechnologie.

4.4 Meningen over proliferatie

Inschattingen over de risico's van proliferatie lopen sterk uiteen. Ook over het al dan niet gescheiden zijn van militaire en civiele toepassing van nucleaire technologie wordt verschillend gedacht. Ter illustratie is een aantal meningen hieronder weergegeven:

- Op basis van een eigen analyse van de risico's van proliferatie en terrorisme stelt het MIT (2003): *"The current international safeguards regime is inadequate to meet the security challenges of the expanded nuclear deployment contemplated in the global growth scenario. The reprocessing system now used in Europe, Japan, and Russia that involves separation and recycling of plutonium presents unwarranted proliferation risks."*
- Kees Daey Ouwens (Universiteit Eindhoven; interview dit rapport) stelt dat proliferatie van kernsplijtingsmateriaal ondanks veiligheidsmaatregelen niet te voorkomen is: "Maar zolang het nog niet gebeurd is zal de mogelijkheid dat dit kan gebeuren ontkend worden."

- Jos Bongers (EPZ; interview dit rapport): “Voor wat betreft proliferatie moet je een onderscheid maken naar het civiele gebruik van kernenergie en kernwapens. Het materiaal voor een kerncentrale is niet geschikt voor het maken van kernwapens. De Noord-Koreaanse ‘kerncentrale’ waar grondstoffen voor kernwapens gemaakt zouden kunnen worden, is geen vermogenscentrale. Het omgekeerde is wel mogelijk: Borssele gaat binnenkort militair uranium uit Rusland ontvangen om dat voor energieopwekking te verstoken.”
- Wim Turkenburg (Universiteit Utrecht; interview dit rapport): “Het grootste probleem voor kernenergie in de toekomst ligt in proliferatie en terrorisme. Zeker als je bedenkt dat voor een serieuze bijdrage van kernenergie aan oplossing van het klimaatprobleem een toename van het wereldwijd opgestelde vermogen met een factor tien nodig zou zijn.”

5 Terrorisme

Sinds de aanslagen op 11 september 2001 staat het onderwerp terrorisme internationaal hoog op de politieke agenda. De mogelijkheden van het plegen van aanslagen op kerncentrales (en andere nucleaire installaties) en het in handen krijgen van nucleair materiaal voor de productie van radiologische wapens ('vuile bommen') krijgen sinds 11 september veel aandacht. Beide mogelijkheden worden in dit hoofdstuk besproken.

5.1 Nucleaire installaties als terroristisch doelwit

Experts zijn het er niet over eens of een aanslag met een vliegtuig een serieuze bedreiging is voor kerncentrales (Anet, 2002). Er is sinds de aanslagen van 11 september een aantal studies uitgevoerd waarin is onderzocht in hoeverre kerncentrales bestand zijn tegen vliegtuigcrashes. Allereerst is er een onderzoek van het Electric Power Research Institute in opdracht van het Nuclear Energy Institute, een belangenebehartiger van de Amerikaanse kernenergie-industrie. Dit onderzoek concludeerde:

"Nuclear power plants containment buildings, in which the reactors are located, are extremely robust. Reinforced concrete containment structures, coupled with multiple, redundant safety and plant shutdown systems, have been designed to withstand the impact of hurricanes, tornadoes, floods, and airborne objects up to a very substantial force. Design requirements with respect to aircraft impacts are specific to each facility." (EPRI, 2002)

Een onderzoek van het Zwitserse Federal Nuclear Safety Inspectorate kwam tot een soortgelijke conclusie: dat hoewel de kerncentrales in Gösgen, Leibstadt, Beznau en Mühleberg bij de bouw niet waren berekend op een impact van een zwaar burgervliegtuig de waarschijnlijkheid van het vrijkomen van straling klein ("niedrig") tot zeer klein ("sehr niedrig") is (HSK, 2003). De kwantitatieve onderbouwing van de bovenstaande kwalitatieve uitspraken zijn echter zowel in het geval van het EPRI-rapport als het Zwitserse rapport niet openbaar.

Van der Zwaan (2003) haalt een praktijkproef aan waarin een vliegtuig tegen een testmuur werd gevlogen. Het vliegtuig drong maar enkele centimeters in de betonnen testmuur door, maar was van een veel lichter type dan gebruikelijke verkeersvliegtuigen. Een andere studie

suggereert daarentegen dat er wel degelijk een veiligheidsrisico is bij een aanslag met een groot vliegtuig. De US Nuclear Regulatory Commission (NRC) schat de kans dat een groot vliegtuig door een anderhalve meter dikke muur van gewapend beton binnendringt op 45 procent (NRC, 2000).

Recent Duits onderzoek schat in wat de gevolgen zijn als vliegtuigen van verschillende grootte tegen de vijf bestaande Duitse centrales zouden vliegen. Conclusie is dat in verschillende gevallen “onbeheersbare gevolgen” verwacht worden, waaronder het vrijkomen van koelvloeistof of het beschadigen van de (binnenste) veiligheidsomhulling (www.bund.net/lab/reddot2/pdf).

Ook andere nucleaire installaties kunnen het doelwit zijn van een terroristische aanslag. Daarbij moet ook de mogelijkheid van hulp ‘van binnenuit’ serieus genomen worden. Van der Zwaan (2003) onderzocht de mogelijke risico's van aanslagen op kerncentrales zelf, op tijdelijke opslagbassins van radioactief afval, die zich vaak buiten de ommanteling van de centrale zelf bevinden, droge opslagplaatsen van kernafval en containers voor transport van nucleair afval. Zijn conclusie is dat met name aanslagen op ‘natte’ opslagbassins van radioactief afval ernstige risico's voor de verspreiding van radioactief materiaal inhouden. Dit geldt met name voor de Verenigde Staten, waar het gevaar versterkt wordt doordat deze opslagplaatsen door een tekort aan opslagmogelijkheden elders vaak dichter gevuld zijn dan oorspronkelijk gepland.

5.2 Radiologische wapens

Radiologische wapens of ‘vuile bommen’ zijn explosieven waarin radioactief materiaal is verwerkt. Dit materiaal kan afkomstig zijn uit kerncentrales, opslagplaatsen, maar ook uit bijvoorbeeld ziekenhuizen. Bij ontploffing van een vuile bom is geen sprake van een kernexplosie, zoals bij kernwapens, maar wordt een groot gebied besmet met radioactief materiaal via een conventionele explosie. Ook besmetting van drinkwatervoorzieningen door vuile bommen is een mogelijkheid waarmee rekening gehouden wordt.

De risico's dat terroristen dergelijke vuile bommen tot ontploffing zullen brengen, zijn moeilijk in te schatten. De gevolgen van een vuile bom zijn ook niet duidelijk. Er zijn niet alleen directe slachtoffers, maar ook gevolgen voor economische aspecten op de lange termijn. Ontruiming van grote gebieden die besmet zijn door een vuile bom, kan noodzakelijk zijn (Anet, 2002). Een ander belangrijk effect vormen de psychologische gevolgen van een dergelijke bom op het publiek wereldwijd.

De Verenigde Naties geven aan dat Irak in 1987 een 'vuile bom' testte, maar de stralingsniveaus te laag achtte voor 'significante schade'. Irak zag daarna af van verdere ontwikkeling (www.bt.cdc.gov/radiation).

5.3 Meningen over terrorisme

Enkele meningen over terrorisme en kernenergie staan hieronder:

- Jos Bongers (EPZ, interview dit rapport): “De vraag is of het voor terroristen wel zo voor de hand ligt om een kerncentrale als doelwit te kiezen. Bovendien is het helemaal niet zo makkelijk om een kerncentrale met een vliegtuig bewust te raken.”
- Derek Taylor (Europese Commissie, DG Energie en Transport; interview dit rapport): *“The threats posed by terrorism to nuclear facilities have generally been exaggerated. Most plants are very robust and the material in them well safeguarded to avoid any risk of proliferation. As a result, it is close to impossible to cause any important release of the radioactive material or to remove such material for the use in terrorist weapons.”*
- Kees Daey Ouwens (Universiteit Eindhoven, interview dit rapport): “Onlangs was in de krant te lezen dat in Rusland een nucleaire installatie was aangetroffen zonder personeel en dat in Tsjetsjenië handel in zwaar radioactief materiaal is ontstaan. De gevolgen van het terrorisme dat hierdoor mogelijk wordt, bijvoorbeeld met een vuile cesiumbom in een grote stad, zouden heel ernstig zijn.”

6 Klimaatverandering

Nederland heeft zich bij het Kyoto-protocol ten doel gesteld de emissie van broeikasgassen in de periode 2008-2012 gemiddeld 6 procent onder het niveau van 1990 te krijgen. De EU als geheel zou een reductie van 8 procent moeten halen. In dit hoofdstuk wordt kernenergie besproken in relatie tot deze doelen.

In de discussie over kernenergie is het klimaatbeleid een belangrijke nieuwe politieke factor. Het vervangt min of meer het twintig jaar oude speerpunt van schaarste van fossiele brandstoffen. Omdat bij kernsplijting *an sich* geen broeikasgassen vrijkomen, wordt kernenergie vaak genoemd als optie om de klimaatdoelen te halen.

Bij de huidige stand van de techniek is er echter wel CO₂-uitstoot over de gehele kernenergiecyclus, van winning tot berging. Naar de CO₂-uitstoot zijn diverse studies gedaan, met uiteenlopende resultaten (zie paragraaf 6.1). Dat geldt ook voor de vraag of de inzet van kernenergie noodzakelijk is voor het behalen van de klimaatdoelen, binnen het Kyoto-protocol dan wel op langere termijn. In paragraaf 6.2 staat dit laatste aspect uitgewerkt. In paragraaf 6.3 komt een aantal meningen aan bod over klimaatverandering en kernenergie.

Voorraden uranium

De natuurlijke voorraden aan uranium worden over het algemeen niet als beperkende factor gezien voor een bijdrage van kernenergie aan de energievoorziening in de toekomst. Volgens Turkenburg (2003) worden de bekende winbare voorraden ingeschat op 3,3 miljoen ton, en de uiteindelijk winbare voorraden op 30-100 miljoen ton. Een voorraad van 30 miljoen ton levert volgens de berekening van Turkenburg bij het gebruik van LWR's zonder opwerking ongeveer 100 keer de huidige jaarlijkse elektriciteitsproductie, met opwerking ongeveer 200 keer. Bruggink en Van der Zwaan (2002) schatten dat – met de huidige bekende en economisch winbare voorraden en bij het huidige verbruik – nog 50 tot 100 jaar kernenergie op basis van uranium toegepast kan worden. Van der Hagen (mondellinge mededeling) geeft aan dat met kweekreactoren uranium een factor 100-160 beter kan worden gebruikt, zodat de gemakkelijk winbare voorraden (kosten minder dan 50 dollar per kg) bij het huidige jaarverbruik van 65 duizend ton uranium voldoende zouden zijn voor vijf- tot achtduizend jaar productie.

6.1 Emissies over de gehele cyclus

Een operationele kerncentrale stoot zelf geen broeikasgassen uit. Wel zijn er andere stappen in het productieproces die energie vragen en waarbij emissies kunnen vrijkomen als de energie uit fossiele bronnen komt:

- De bouw van de kerncentrale;
- De winning van uraniumerts;
- De verrijking van het uranium;
- Het opslaan en beheren van radioactief afval;
- De uiteindelijke ontmanteling van de kerncentrale.

Er is daarom een zogenoemde levenscyclusanalyse (LCA) nodig om de CO₂-emissies van kernenergie te bepalen. Inmiddels zijn verschillende van dergelijke LCA's uitgevoerd. In 2000 voerde het IEA een literatuurstudie uit van de tot dan toe beschikbare LCA's. Het IEA schatte de totale CO₂-emissies van kernenergie per opgewekte kilowattuur in de orde van één tot ruim tien procent van de emissies van een gasgestookte centrale. Een levenscyclusanalyse door het Zwitserse Paul Scherrer Instituut (2002) leverde getallen in dezelfde orde van grootte. Zie ook een levenscyclusanalyse van de Tokyo Electric Power Company (2000), waarin zij tot emissies van enkele procenten komen, vergeleken met een gasgestookte centrale.

Andere studies komen echter tot hogere schattingen. Storm van Leeuwen en Smith (2002) schatten de emissies van een kerncentrale over de gehele cyclus op 30 procent van de CO₂-emissies van een gasgestookte centrale voor erts met meer dan 0,1 massa-procent uranium (U₃O₈). Als het uraniumgehalte van het erts nog verder afneemt, door uitputting van de voorraden, zal de CO₂-emissie sterk toenemen tot ze meer zijn dan bij fossiele bronnen. De uitgangspunten van Storm van Leeuwen en Smith zijn omstreden; genoemd wordt dat het uraniumgehalte waar zij van uitgaan onrealistisch laag is. In tabel 4 staat voor een aantal mijnen het uraniumgehalte van het erts. Het gemiddelde voor deze mijnen is ongeveer 5 procent, het gemiddelde over de hele wereld is op dit moment 0,15 procent (*Canadian Nuclear* 2002) (zie tabel 4).

Tabel 4. Op dit moment gewonnen ertsen

Mine	Proven Reserves (tonnes U₃O₈)	Average Ore Grade (% U₃O₈)	Annual Production (tonnes U₃O₈)
Key Lake (Canada)	450	0,41	353
Rabbit Lake (Canada)	10.150	1,30	2.070
Cluff Lake (Canada)	4.100	2,7	1.519
McClellan Lake (Canada)	19.500	2,40	2.990
McArthur River (Canada)	161.300	21,00	7.830
Ranger (Australia)	38.300	0,20	4.612
Olympic Dam (Australia)	72.600	0,06	4.814
Rossing (Namibia)	117.900	0,40	3.186
Akouta Arlit (Nigeria)	90.720	0,46	2.250
Krasnokomonsk (Russia)	90.720	0,15	2.270
Highland (USA)	9.000	0,15	450

(Bron: www.nuclearfaq.ca, maart 2002)

Bijlsma *et al.* van de Rijksuniversiteit Utrecht (1989) kwamen vijftien jaar geleden op 20 procent emissies ten opzichte van een gasgestookte centrale, maar nemen niet het beheer van afval en de ontmanteling van de kerncentrale in ogenschouw. Ook zij merken op dat de berekening is gebaseerd op de huidige gebruikte uraniumertsen en dat de emissies toenemen als het erts 'armer' wordt.

Tabel 5. Overzicht CO₂-emissie over de hele keten per kWh van kernenergie t.o.v. gasgestookte centrales

Bron	Percentage	Opmerking
Paul Scherrer Institute	3%	Huidige situatie (2002)
Paul Scherrer Institute	2%	Techniek 2020 (voor zowel gas als kernenergie)
Tokyo Electric Power company	1%	Levensduur 30 jaar, 'vollast' levensduur 22,5 jaar
Central Research Institute of the Electric Power Industry Japan	4% - 12%	Diverse types LWR, levensduur 30 jaar, 'vollast' levensduur 22 – 26 jaar
Bijlsma et al	20%	1989, zonder afvalbeheer en ontmanteling van centrale. 'Vollast' levensduur 12 jaar
Storm van Leeuwen en Smith	30%	Voor materiaal met meer dan 0,1 massa% uranium; 'vollast' levensduur 24 jaar (komt overeen met totale levensduur ~40 jaar)

De geschatte percentages lopen zeer sterk uiteen. Voor de hand liggende factoren die de verschillen kunnen verklaren, zijn rijkheidsgraad van het erts – dit wordt in de discussie rond de resultaten van Storm van Leeuwen en Smith als factor genoemd – en de aangenomen

levensduur – dit is in levenscyclusbenaderingen een cruciale factor. De rijkheidsgraad van het erts lijkt niet de bepalende factor, aangezien het extreme resultaat van Storm van Leeuwen en Smith volgens hun gegevens ook geldt bij een graad van 10 procent⁸.

De aangenomen levensduur verklaart mogelijk het relatief hoge resultaat van Bijlsma et al. Zij gebruikten een veel kortere levensduur dan recente studies die in het algemeen een vollast levensduur van ongeveer 24 jaar hanteren. Hiermee zou een factor 2 te verklaren kunnen zijn ten opzichte van de studies die op een lager percentage uitkomen. Het hoge resultaat van Storm van Leeuwen en Smith wordt hierdoor echter niet verklaard. Voor precieze uitleg van de verschillen zou een diepgaandere analyse van alle onderzoeken moeten worden gemaakt dan binnen dit rapport mogelijk is, waarbij alle basisaannames worden vergeleken.

Interessant is om op te merken dat alle studies uitkomen op hogere indirecte emissies voor de gasgestookte centrales dan voor de kerncentrales. Niet alleen de brandstof, maar ook de rest van de keten geeft kennelijk voor gasgestookte centrales meer CO₂-emissies per kWh.

6.2 Kernenergie en emissiedoelen

Voor het voorkomen van klimaatverandering is meer dan één optie voor het verlagen van broeikasgasemissies nodig. Er zijn veel wegen om klimaatdoelen te behalen. De opties verschillen in geschatte haalbaarheid en kosten per vermeden hoeveelheid CO₂.

Voorbeelden van maatregelen die kunnen bijdragen aan het verlagen van broeikasgas-emissies – voor het geval het ‘standaardpakket’ aan maatregelen onvoldoende zou blijken te zijn – staan in de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid (VROM, 1999). VROM nam in haar ‘reservepakket’ de volgende maatregelen op:

- Verhoging van de regulerende energiebelasting (REB);
- Verhoging van de accijnzen;
- N₂O-reductie bij de chemische industrie;
- CO₂-opslag bij raffinaderijen en kunstmestproductie.

Men zou echter ook kunnen denken aan:

- Extra energiebesparende maatregelen;
- Inzet van schoon fossiel (met CO₂-opslag);
- Uitbreiding van het vermogen aan windenergie;
- De inzet van biomassa et cetera.

In het Optiedocument van ECN voor emissiereductie van broeikasgasen, geschreven in het kader van de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid, komt kernenergie aan de orde. De opties zijn:

- Het langer openhouden van Borssele (zoals nu ook is besloten).
- Het bouwen van nieuwe centrales.

De eerste is ook een financieel aantrekkelijker optie, de tweede is een optie voor de langere termijn. Ook in het nog te verschijnen Optiedocument dat vooruitkijkt naar 2020, zal aan deze twee opties aandacht besteden⁹ (ECN, 1998).

De nota Milieubeleid 2002-2006 geeft een prognose voor de verandering van CO₂-uitstoot in 2010 ten opzichte van de ontwikkelingen onder Paars-II. Dat gebeurt op basis van het Strategisch Akkoord van de huidige regering Balkenende-II. De grootste toename van CO₂-uitstoot is te zien in verkeer. Het openhouden van Borssele compenseert deze toename grotendeels, zoals uitdrukkelijk wordt opgevoerd. Het totale effect van het Strategisch Akkoord is dus een lichte toename van de uitstoot van CO₂ in 2010.

Op grond hiervan menen sommige partijen dat voor het halen van de 'korte-termijnklimaatdoelen' het openhouden van Borssele een 'noodzakelijke' maatregel is, vanwege de makkelijke implementatie en de grote kosteneffectiviteit. Op de lange termijn zou de sluiting van Borssele Nederland niet voor onoverkomelijke problemen plaatsen om emissiedoelen te halen, vanwege het relatief kleine aandeel kernenergie in de huidige elektriciteitsvoorziening (4 procent). In een land als Frankrijk, waar de elektriciteitsvoorziening grotendeels (78 procent) gebaseerd is op kernenergie, zou het afzien van kernenergie daarentegen veel grotere consequenties hebben.

Maatregelen buiten eigen land

In het kader van het Kyoto-protocol kan Nederland ook emissiereducties bewerkstelligen in andere landen. Voor de zogenoemde Annex-I-landen bestaat de mogelijkheid om emissiereducties – gedeeltelijk – te bewerkstelligen in andere landen onder het *Clean Development Mechanism* (CDM, projecten in niet-Annex-I-landen) of de *Joint Implementation* (JI, projecten in andere Annex-I-landen). Onder CDM en JI mogen echter geen projecten vallen op het gebied van kernenergie.

Langere-termijndoelen

Op de langere termijn heeft Nederland de ambitie een reductie van de CO₂-uitstoot te behalen van ongeveer 50 procent in 2030 ten opzichte van 1990 (Milieubeleid 2002-2006). De hiervoor nodige transitie naar een CO₂-arme energievoorziening wordt door EZ geregisseerd en men richt zich daarbij voornamelijk op technologische innovaties. In 'Energie en samenleving in 2050' wordt de energievoorziening in de toekomst geschetst in vier mogelijke scenario's (EZ, 2000). In alle scenario's neemt de vraag naar elektriciteit toe en is er een (toegenomen) aan-

deel voor – vaak op dat moment inherent veilig geachte – kernenergie. In slechts een van deze mogelijke scenario's is het klimaatprobleem afgenomen.

In een vooruitblik naar 2020 laat het ECN zien dat een CO₂-reductie van 41 procent in 2020 ten opzichte van het Global Competition¹⁰-scenario óf een reductie van 35 procent ten opzichte van de uitstoot in 1990 mogelijk is, zonder inzet van kernenergie (ECN 1998).

Wat het reduceren van broeikasemissies in Nederland op langere termijn betreft, wordt in beide rapporten, geen grote rol voor kernenergie verwacht. Om de atmosferische concentratie van broeikasgassen te stabiliseren op een zodanig niveau dat de temperatuurverandering stabiliseert op ongeveer +2°C, moet op grond van IPCC-scenario's een wereldwijde emissiereductie van 50 procent worden behaald in 2100. Dit betekent voor het Westen zelfs een reductie van zo'n 80 procent. Van der Zwaan (2002) berekent dat over de periode 2000-2075 15 procent van de totale CO₂-emissies vermeden kunnen worden als de capaciteit van kernenergie vertienvoudigd zou worden. Deze berekeningen laten zien dat kernenergie wel een bijdrage kan leveren aan het verminderen van de emissies, maar op zich niet voldoende is om de doelstellingen te behalen.

6.3 Meningen over kernenergie en klimaatverandering

Hoewel elektriciteitsproductie uit kernenergie op zichzelf CO₂-vrij is, wordt er in ketenberekeningen van uitgegaan dat grondstofwinning en andere stappen in de keten fossiele energie wordt gebruikt. Over het algemeen is er consensus over het feit dat op dit moment opwekking van elektriciteit uit kernenergie per kilowattuur aanmerkelijk minder CO₂-uitstoot tot gevolg heeft dan elektriciteit uit fossiel. Over de mate waarin dit het geval is en over hoe lang het nog het geval zal zijn als naar minder rijke ertsen zal moeten worden uitgeweken, bestaan meningsverschillen.

Over het belang – of de noodzaak – van kernenergie voor het halen van de doelstellingen van Kyoto lopen de meningen uiteen. Hierbij spelen twee vragen:

- Is het verstandig om bestaande kerncentrales te sluiten als andere maatregelen dit moeten compenseren?
- Maken nieuwe kerncentrales de doelstellingen überhaupt wel haalbaar?

In de discussie over de keuze tussen de verschillende instrumenten spelen de kosten van kernenergie in vergelijking met de alternatieven een belangrijke rol.

Twee zaken lijken onomstreden: het inzetten van kernenergie alléén is niet voldoende om het klimaatprobleem op te lossen. Ook zijn er vele scenario's waarin het klimaatprobleem zonder extra inzet van kernenergie wordt verminderd.

7 Kosten

In de jaren 80 veronderstelde men dat de kosten van kernenergie laag waren. Daarom lijken de kosten toen geen grote rol te hebben gespeeld in de discussie: zo komt dit onderwerp niet ter sprake in het Dossier Kernenergie van het ministerie van Economische Zaken uit 1993, terwijl dat dossier hét overzicht van twintig jaar discussie over kernenergie geeft. In het huidige debat over kernenergie nemen inschattingen van de kosten wel een belangrijke plaats in. Dit is vooral een gevolg van liberalisering van de elektriciteitsmarkt (zie ook hoofdstuk 8).

Dit hoofdstuk bespreekt de kosten van kernenergie. De manier waarop kosten worden meegenomen en toegerekend verschilt sterk per studie. Welke kosten worden aan de investeerder toegerekend? En welke zijn 'extern' – komen dus voor rekening van de maatschappij als geheel? De scheidslijn tussen deze kosten zijn de systeemgrenzen (paragraaf 7.1). Verschil in systeemgrenzen is een van de oorzaken van sterk uiteenlopende kostenschattingen.

Behalve over de systeemgrenzen, lopen de verwachtingen over toekomstige marktprijzen en rentabiliteit van kernenergie ten opzichte van concurrerende energieopties uiteen. Paragraaf 7.2 gaat in op de huidige marktsituatie en de economische toekomstverwachtingen voor kernenergie.

7.1 Externe kosten

Veel kostenstudies hebben tot doel om integrale kostenbeschouwingen uit te voeren. Daarin worden niet alleen kosten voor investeerders over de hele cyclus van een kerncentrale meegenomen, maar ook zogeheten externe kosten: kosten door (onbedoelde) neveneffecten van kernenergie die gedragen worden door anderen dan de investeerders. Ook subsidies zijn een vorm van externe kosten. Een effectieve marktwerking kan slechts verwacht worden als alle kosten in de prijs van kernenergie 'geïnternaliseerd' zijn. Door ook externe kosten mee te nemen in de beschouwing, kan een integrale kosten-batenanalyse gemaakt worden.

De meningen over de mate waarin alle kosten van kernenergie in de praktijk worden doorberekend aan investeerders, en dus in hoeverre de maatschappij de niet in de kostprijs geïntegreerde – externe – kosten draagt, lopen sterk uiteen. We bespreken dit voor verschillende kostenposten.

7.1.1 Kosten in de keten

De directe kosten van bouw, onderhoud en exploitatie van kerncentrales en van grondstofwinning komen automatisch voor rekening van de investeerder. Hij berekent deze kosten door in de prijs voor de opgewekte elektriciteit. Over deze directe kosten bestaat geen discussie. Bij kernenergie is het eind van de keten wel een punt van discussie, omdat het afval – waaronder de afgeschreven centrale zelf – voor zeer lange tijd veilig moet worden opgeslagen. Dat brengt kosten mee die grotendeels in de toekomst vallen.

- De vraag is of deze externe kosten voldoende zijn geïnternaliseerd in de ontmantelingsfondsen en opslagreserveringen.
- Ook bestaat discussie over de vraag of alle kosten aan het begin van de keten wel zijn geïnternaliseerd in de marktprijs voor kernenergie.

Ontmantelingsfondsen en lange-termijnopslag

Voor de ontmanteling van kerncentrales en de lange-termijnopslag van kernafval moeten investeerders een bepaald bedrag reserveren dat zij apart moeten zetten in fondsen. De manier waarop deze ontmantelingsfondsen en fondsen voor lange-termijnopslag financieel-technisch in elkaar zitten en de bijbehorende bedragen verschillen per land. In Nederland gaat het volgens Claude Tumes – europarlementariër en rapporteur aan het Europees Parlement over deze kwestie – om € 1,2 miljard (www.eu-energy.com). Andere landen zitten daar ver boven, met Frankrijk (63 miljard) als koploper.

Als de aanzienlijke bedragen die met deze fondsen gemoeid zijn bij het vermogen van de eigenaar van de kerncentrale mogen worden geteld, ontstaan hieruit financiële voordelen voor het energiebedrijf, die deze kan gebruiken bij bijvoorbeeld overnames. Het Europees Parlement heeft in 2003 daarom besloten om maatregelen te nemen om een dergelijk gebruik van de fondsen tegen te gaan en de fondsen op meer afstand van de private energiebedrijven te zetten. In Nederland bestaat daarvoor op dit moment nog geen wettelijke verplichting. Wel heeft de elektriciteitssector de reserveringen voor de eindberging van hoogradioactief afval overgedragen aan COVRA, waarvan de aandelen sinds kort voor 100 procent in de handen van de staat zijn.

Ertswinning

Bij ertswinning kunnen externe kosten optreden naast de al besproken milieueffecten (emissies). Hoewel verschillende studies zeggen de integrale kosten – interne en externe kosten – van de winning van uraniumerts te bepalen, is de exacte afbakening van de winningsketen onduidelijk. Sociale kosten kunnen bijvoorbeeld liggen in eventuele verplaatsing van de lokale bevolking/onteigening van terreinen, net als de kosten voor de rehabilitatie van de mijn na sluiting.

Tegenstanders van kernenergie vinden dat deze kosten meegenomen moeten worden, omdat het juist bij de winning van uranium meer speelt dan bij de winning van andere grondstoffen. Voorstanders geven daarentegen aan dat winning binnen geldende wetgeving plaatsvindt en daarbij niet verschilt van winning van andere grondstoffen.

7.1.2 Subsidies en heffingen

Subsidies zijn externe kosten, omdat de baten ervan niet noodzakelijkerwijs liggen bij degene die ervoor betaalt. Heffingen zijn daarentegen een instrument om externe kosten te internaliseren.

De overheid subsidieert verschillende energiebronnen. Sommigen zien de staatsaanvulling van verzekeringsuitkeringen en onderzoeksfinanciering bij kernenergie als indirecte subsidies. Daartegenover staat de CO₂-heffing, die het Rijk mogelijk in de toekomst introduceert en die kernenergie concurrentievoordelen biedt ten opzichte van andere energiebronnen.

Verzekeringskosten bij ongevallen

Kerncentrales zijn in het algemeen verzekerd voor een bepaald bedrag voor calamiteiten. Omdat de werkelijke kosten in het geval van een ongeluk moeilijk zijn in te schatten en wellicht zeer hoog kunnen zijn, worden de kosten waarvoor kerncentrales zich privaat moeten verzekeren in alle landen gemaximeerd tot een bepaald bedrag. Dit kan worden uitgelegd als een indirecte subsidie voor kernenergie.

In Nederland geeft de Wet Aansprakelijkheid Kernongevallen (WAKO) uitvoering aan de Verdragen van Parijs en Brussel (1960 en 1963), waarin de aansprakelijkheid voor ongevallen van kerncentrales internationaal is geregeld. Uitsluitend de exploitant van een kerninstallatie is volgens de WAKO aansprakelijk voor schade die is veroorzaakt door een kernongeval. Schuld van de exploitant is niet vereist. Daarom rust op hem een exclusieve risicoaansprakelijkheid waarvoor hij zich dient te verzekeren, maar deze is beperkt tot 500 miljoen gulden¹¹. Is de schade groter, dan stelt de staat openbare middelen beschikbaar tot een bedrag van 5 miljard gulden (www.nrg.nl). Het debat hier gaat over de vraag of dit laatste indirecte subsidies voor kernenergie zijn of niet.

Price-Anderson Act

In de Verenigde Staten zijn de verzekeringskosten voor kerncentrales beperkt tot een maximum via de 'Price-Anderson Act' uit 1957. Deze bepaalt dat kerncentrales jaarlijks 300 miljoen dollar aan private verzekeringskosten voor 'off-site accidents' moeten betalen. Voor kosten van een ongeluk die boven de hiermee gedekte som uitgaan, zijn in eerste instantie de kerncentrales zelf tot een gelimiteerd bedrag van 95,8 miljoen dollar per centrale verantwoordelijk. Voor nog hogere kosten zijn vervolgens lokale en ten slotte federale autoriteiten verantwoordelijk (US-NRC factsheet, 2003).

R&D-kosten

De financiering van onderzoek naar kernenergie is ook een punt van discussie. Na de liberalisering en privatisering van de elektriciteitsmarkt zijn in Nederland de middelen voor onderzoek en ontwikkeling van kernenergie bij private energiebedrijven tot een verwaarloosbaar niveau gedaald.

De Nederlandse overheid financiert het lange-termijnonderzoek naar verschillende opties voor de energievoorziening als zonne- en windenergie en ook kernenergie. Een studie naar publiek gefinancierd energieonderzoek geeft aan dat circa 12 procent van het totale beschikbare publieke energieonderzoeksbudget naar kernenergie en -onderzoek gaat. Van de € 21,6 miljoen die in 2001 beschikbaar waren voor kernonderzoek ging € 14,2 miljoen naar kernsplijting en € 7,4 miljoen naar kernfusie (Oosterbaan, 2002).

De voormalige afdeling voor nucleair onderzoek van KEMA is in een joint venture met ECN ondergebracht onder de naam 'NRG'. NRG ontving in 2002 overheidssubsidie van € 8,65 miljoen, ongeveer 20 procent van de omzet (NRG, 2003). Daarbovenop ontvangt NRG van Euratom wisselende bijdragen voor specifieke programma's. Het totale Euratom-budget voor kernonderzoek (inclusief kernfusie) in Europa omvat € 1.230 miljoen.

In de nieuwe energieonderzoekstrategie – zoals geformuleerd door het ministerie van Economische Zaken – behoort kernenergie niet tot de prioritaire thema's voor de toekomstige energievoorziening. Wat dat betekent voor financiering van het kernenergieonderzoek is vooralsnog onduidelijk. De geplande sluiting van Borssele in 2013 kan aanleiding zijn voor een herbezinning op de hiervoor beschikbare publieke fondsen.

CO₂-heffing

Het invoeren van een CO₂-heffing of CO₂-prijs – bijvoorbeeld als een handelssysteem voor CO₂-emissies wordt ingevoerd, waarbij aan de emissies een prijskaartje hangt – is een manier om de externe kosten van klimaatverandering te internaliseren in de prijs van kernenergie en concurrerende bronnen. Emissies van CO₂ over de kernenergieketen zijn laag ten opzichte van gas en kolen (zie hoofdstuk 4). Als op termijn een CO₂-emissiehandel wordt ingevoerd, zal dit daarom ook indirect voordelig zijn voor kernenergie: door verslechtering van de positie van concurrerende energiebronnen verbetert de positie van kernenergie.

Afhankelijk van de hoogte van de heffing, kan kernenergie alleen al door deze maatregel concurrerend worden ten opzichte van gas en kolen. Bij een heffing van 50, 100 en 200 dollar per ton CO₂ zou volgens MIT de prijs voor kolenstroom respectievelijk 5,4; 6,6 en 9,0 dollarcent/kWh bedragen, dat wil zeggen, per 50 dollar per ton komt er 1,2 dollarcent bij de prijs van een kWh (MIT 2003). De huidige schattingen van de handelsprijs voor CO₂ liggen rond de 5 tot 10 dollar per ton voor de eerste jaren, oftewel een prijsstijging van hooguit zo'n 0,2 dollarcent kan verwacht worden voor kolenstroom. In vergelijking met een huidige prijs van 4,2 dollarcent per kWh kolenstroom en 6,7 dollarcent voor stroom uit kernenergie (Light Water Reactor 2002), geeft dit vooralsnog geen aanleiding om op korte termijn een substantiële verandering te verwachten in de concurrentieverhoudingen tussen kernenergie en fossiel.

7.1.3 Berekening externe kosten

Voor alle energiebronnen – gas en kolen, maar ook voor hernieuwbare energiebronnen als biomassa en windenergie – is er discussie of alle milieu- of maatschappelijke kosten wel geïntegreerd zijn. Een gedetailleerde studie van de Europese Commissie naar externe kosten voor verschillende energiebronnen komt tot de volgende resultaten voor Nederland (EC, 2003).

Tabel 6. Externe kosten (discontovoet: 0%) voor energiebronnen in Nederland in eurocent per kWh

	<i>Nederland</i>	<i>Europa</i>
Kolen	3-4	4-7
Gas	1-2	1-2
Kernenergie	0,7	0.4
Wind	N/a	0,1-0,2
Biomassa	0,5	N/a

(Bronnen: www.externe.info en www.world-nuclear.com)

In andere Europese landen waarvoor cijfers uit de ExternE studie beschikbaar zijn¹² liggen de externe kosten voor kernenergie tussen 0,2 en 0,5 eurocent per kWh, voor gas op 1 tot 4 eurocent (www.externe.info). Voor Nederland ligt de verhouding wat lager; het voert echter te ver voor deze rapportage om binnen de methodiek die is gebruikt in ExternE, uit te zoeken wat daarvan de oorzaak is.

In de ExternE-studie wordt gekeken naar “*costs of damages to human health, building materials, crops, global warming, amenity losses and ecosystems*”. Deze berekeningen zijn wellicht de meest uitgebreide op het gebied van externe kosten van verschillende energiebronnen tot dusver, maar toch ook omstreden. Er moeten bijvoorbeeld grote extrapolaties gemaakt worden om de schade van overstromingen als gevolg van klimaatverandering te bepalen. Ook worden de kosten voor erts-winning niet meegenomen in de ExternE-studie (zie paragraaf 7.2.1).

7.2 Huidige en toekomstige marktprijs

Huidige marktprijs

Voor de huidige marktprijs van kernenergie moet een onderscheid gemaakt worden tussen bestaande centrales en nieuwe centrales. Kerncentrales hebben relatief hoge kapitaalkosten en lage operationele kosten: het kost kortom veel meer om een kerncentrale te bouwen dan een gasgestookte centrale, maar als hij eenmaal staat, zijn de kosten om de centrale draaiend te houden veel lager. Vandaar dat kernenergie relatief goedkoop is als de investeringskosten eenmaal zijn afgeschreven. Bestaande centrales kunnen dan ook vaak tegen een concurrerende prijs elektriciteit aanbieden. Bij overwegingen van investeerders om nieuwe centrales te bouwen ligt dit heel anders.

De marktprijs voor kernenergie is in een geliberaliseerde energiemarkt een concurrentiegevoelig gegeven. Voor een bestaande kerncentrale fluctueert deze afhankelijk van de specifieke situatie in een land en de gesloten contracten. EPZ, eigenaar van Borssele, geeft zelf aan dat “in Nederland geen recente, vergelijkende gegevens voorhanden zijn” (www.epz.nl). Voor Frankrijk haalt EPZ op de website een studie van de World Nuclear Organisation aan, waaruit blijkt dat kernenergie daar 3,2 eurocent per kWh kost, in vergelijking met 3,05 – 4,26 eurocent voor gas en 3,81 – 4,57 eurocent voor kolen.

Als op dit moment nieuw te bouwen centrales van verschillende energieopties met elkaar worden vergeleken, dan is kernenergie over het algemeen geen concurrerende optie. Volgens een recent door het Massachusetts Institute of Technology uitgevoerde studie, is in de Verenigde Staten kernenergie voor een private investeerder op dit moment duurder dan de belangrijkste concurrenten gas en kolen (MIT, 2003). Het MIT komt tot de cijfers die in tabel 7 staan.

Tabel 7. Kosten van verschillende energieopties in huidige marktsituatie in de VS voor levensduur 40 jaar en capaciteit 85%

Energieoptie	Kosten \$ cent / kWh
Kernenergie (LWR reactor)	6,7
Kolen	4,2
Gas (CCGT turbine)	3,8

(Bron: MIT, 2003)

Het MIT verwacht daarom niet dat private investeerders op dit moment het initiatief zullen nemen tot de bouw van nieuwe kerncentrales: “Conclusie is dat met de huidige verwachtingen voor constructiekosten en operationele kosten van kerncentrales, evenals verwachte onzekerheden bij regelgeving, het extreem onwaarschijnlijk is dat investeerders voor nucleaire technologie zullen kiezen in gebieden waar leveranciers toegang hebben tot aardgas of kolen.”

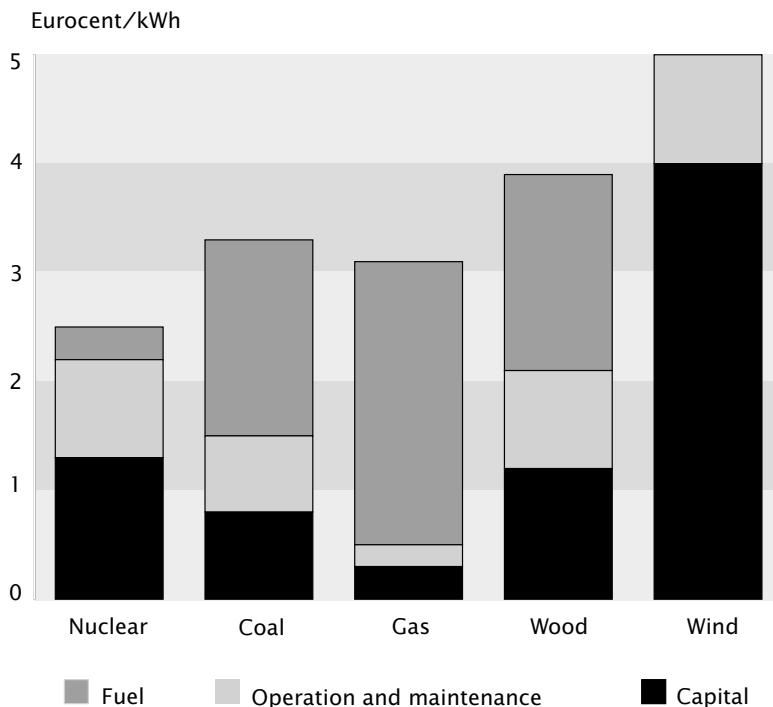
Andere bronnen komen tot een vergelijkbare conclusie. (ECN, 2001; IEA, 2002). De IAEA (2003) geeft aan dat de investeringskosten voor nieuwe kerncentrales met een factor 2-4 zouden moeten dalen om nieuwe kerncentrales voor investeerders concurrerend te maken met andere energiebronnen.

Daar staat tegenover dat berekeningen in specifieke situaties er van uitgaan dat kernenergie hier concurrerend is ten opzichte van andere bronnen. TVO, het consortium achter een nieuw te bouwen kerncentrale in Finland, heeft in 2002 een studie laten uitvoeren, waarin de totale kostprijs voor kernenergie uitkwam op 2,5 eurocent per kWh, iets onder die voor gas (LUT Lappeenranta University of Technology, 2002).

Toekomstige kosten

De verwachtingen van verschillende partijen over toekomstige rentabiliteit van kernenergie voor private investeerders lopen sterk uiteen. Voor de vraag of kernenergie in de toekomst concurrerend is, moeten er namelijk aannames gemaakt worden over onder meer de ontwikkeling van kolen- en gasprijzen en de te hanteren discontovoet, zelfs wanneer de systeemgrenzen zo veel mogelijk aansluitend bij de huidige situatie gekozen worden.

Figuur 3 Kosten van verschillende energiebronnen per kWh volgens het LUT



(Bron: www.tvo.fi/137.htm, 2003)

Discontovoet

Om kosten voor toekomstige kerncentrales te kunnen bepalen, is het noodzakelijk om aannames te doen over de te hanteren discontovoet, die vergeleken kan worden met de rente in economische modellen. Investeerders in een competitieve markt gebruiken vaak een hoge rentevoet, bijvoorbeeld 10 procent. Kernenergie is in dat geval als kapitaalintensieve optie sterk in het nadeel ten opzichte van minder kapitaalintensieve opties als gascentrales.

Sommige economen argumenteren echter dat bij milieuproblemen voor de lange termijn, zoals het broeikas effect, een lagere discontovoet van bijvoorbeeld 5 procent gehanteerd zou moeten worden. Hierdoor wordt meer rekening gehouden met toekomstige generaties, want bij een dergelijke lagere discontovoet wegen kosten die in de verdere toekomst gemaakt moeten worden, namelijk zwaarder mee in investeringsbeslissingen die nu gemaakt moeten worden (bron: ECN, 2001).

Daarbovenop komen bijvoorbeeld nog inschattingen over kostendalingen door technologieontwikkeling en *learning rates* bij kernenergie en andere energieopties, en over beleidsontwikkelingen, zoals CO₂-emissiehandel. Illustratief zijn de drie onderstaande studies:

- MIT gaat er in de berekeningen van uit dat technologische ontwikkeling bij kernenergie de kostprijs kan laten dalen tot 4,2 dollarcent/kWh en dat prijzen voor stroom uit gas kunnen stijgen tot 5,6 dollarcent/kWh. Met CO₂-emissiehandel zouden de kosten voor elektriciteit uit kolen en gas zelfs op kunnen lopen tot 9,0 en 7,7 dollarcent/kWh (dit laatste bij een zeer hoge handelsprijs voor CO₂ van 200 dollar per ton). Kernenergie zou volgens deze berekeningen concurrerend worden ten opzichte van stroom uit kolen en gas. MIT noemt haar aannames voor kostenmindering bij kernenergie door technologische ontwikkeling "*plausible, but not proven*". En er wordt niet gezegd op welke termijn zulke verbeteringen haalbaar zouden zijn.
- Een studie van de Nuclear Energy Agency uit 1998 komt tot de conclusie dat bij een gehanteerde discontovoet van 5 procent in zeven van de dertien onderzochte landen met kernenergie in 2010 deze optie goedkoper zou zijn dan gas en kolen. Dezelfde berekening bij een discontovoet van 10 procent in deze studie laat alleen Frankrijk, China en Rusland nog over als landen waar stroom uit kernenergie in 2010 goedkoper zou zijn dan andere opties (studie aangehaald door het Uranium Information Centre, 2003).
- Een studie van de Engelse regering (2001) gaat uit van 4p/kWh productiekosten voor kernenergie, tegenover 2 p/kWh voor gasturbines in een geliberaliseerde energiemarkt. Het rapport geeft aan dat de kernenergie-industrie claimt dat deze kosten in de toekomst substantieel kunnen worden verminderd door het bouwen van meerdere centrales op dezelfde site, nieuwe ontwerpen voor centrales en snellere vergunningverlening. Daar staat tegenover dat "*costs of new nuclear could (also) exceed 4,0 p/kWh since the industry, at least in the UK, has a history of underestimating costs and overestimating performance*".

Uiteindelijk is de beslissing over het investeren in kernenergie de zaak van een private investeerder. Ook in Nederland is het mogelijk dat op afzienbare termijn een investeerder een vergunningsaanvraag indient voor de bouw van een nieuwe kerncentrale (zie het in de bijlagen opgenomen interview met B. Wiersma).

7.3 Meningen over kosten

Bezien vanuit kosten- en risico-inschattingen van investeerders (die meer factoren omvatten dan alleen kosten) lijken investeringen in kernenergie in een geliberaliseerde energiemarkt, op dit moment in de meeste landen minder aantrekkelijk dan die in gas- en kolencentrales. Hoe dat in de toekomst zal zijn, is echter zeer onzeker. Verschil-

lende geïnterviewden verwachten dat voor investeerders kernenergie in de toekomst een economisch aantrekkelijke optie kan worden bij:

- Toenemende schaarste van fossiele bronnen;
- Beprijzing van CO₂;
- Een oplopende energievraag;
- Verdere technologische ontwikkelingen op het gebied van modulair inzetbare reactorontwerpen.

De meningen zijn sterk verdeeld over de mate waarin alle kosten geïnternaliseerd zijn, de toekomstverwachtingen en zelfs over de huidige kosten van kernenergie. Betrouwbare cijfers zijn schaars. De hierboven weergegeven kostprijzen en inschattingen moeten dan ook, wellicht nog meer dan andere deelonderwerpen op het gebied van kernenergie, gezien worden in samenhang met de betreffende bron die deze cijfers geeft.

Een illustratie van de meningsverschillen op het gebied van externe kosten is terug te vinden in de in dit project gehouden interviews. Hierin staan de posities van De Rijk (WISE) en Schöne (WWF) diametraal tegenover die van Bongers (EPZ). Terwijl de eersten de kernenergiesector “zwaar gesubsidieerd” vinden door onder meer gelimiteerde verzekeringskosten en te laag ingeschatte kosten voor eindberging, geeft de andere partij aan dat de kosten van kernenergie van oudsher al goed geïnternaliseerd zijn.

Een andere vraag in de context van de kostenverdeling tussen investeerders en maatschappij is die naar de inzet van publieke middelen voor kernenergieonderzoek. Terwijl sommige geïnterviewden dit van groot belang vinden, betwijfelen anderen het nut ervan. Aangezien de huidige koers van de Nederlandse regering gericht is op sluiting van de laatste Nederlandse kerncentrale in Borssele, is deze vraag naar besteding van publieke onderzoeksmiddelen aan kernenergie weer actueel.

8 Besluitvorming en regelgeving

Dit hoofdstuk gaat in op besluitvorming en regelgeving in Nederland en geeft een overzicht van de situatie in en buiten Europa. Binnen Europa hebben individuele landen op dit moment sterk tegengestelde posities op het gebied van kernenergie. Voorzieningszekerheid speelt een grote rol in de besluitvorming (zie EU, Frankrijk). In Azië en met name China zal de capaciteit in het komende decennium sterk worden uitgebreid om te voldoen aan de groeiende energievraag.

Hoewel de regelgeving niet ingrijpend is veranderd sinds de bouw van de bestaande kerncentrales, heeft de liberalisering van de Europese energiesector veranderingen in de organisatorische gang van zaken in Nederland tot gevolg. Met name zullen in een geliberaliseerde energiemarkt niet langer door de overheid aangestuurde nutsbedrijven initiatiefnemers tot de bouw van nieuwe kerncentrales zijn, maar private investeerders.

Achtereenvolgens gaat het hoofdstuk in op de situatie in Nederland (8.1) en de Europese Unie (8.2). Vervolgens gaan we in 8.4 – ter vergelijking – in op enkele andere landen, zowel binnen de Europese Unie als daarbuiten.

8.1 Nederland

Wetgeving kernenergie

De wetgeving op het gebied van radiologische toepassingen en praktijken is vastgelegd in de Kernenergiewet. Drie ministers zijn gezamenlijk bevoegd te beslissen tot vergunningverlening op grond van artikel 15 van deze wet: Dit zijn de ministers van:

- Economische Zaken (EZ);
- Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM);
- Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW).

VROM neemt daarbij sinds 1999 het voortouw, omdat milieu- en veiligheidsaspecten in de praktijk de belangrijkste aspecten van de kernenergiewet zijn. Bij de start van de kernenergiewet was EZ de eerste ondertekenaar.

De kernenergiewet is een raamwet, een aantal onderwerpen wordt in detail geregeld in Algemene Maatregelen van Bestuur, zoals:

- Begripsbepalingen, waaronder splijtstoffen, ertsen en radioactieve stoffen;
- Het vervoer, het voorhanden hebben en het zich ontdoen van splijtstoffen of ertsen;
- Het oprichten, in werking brengen of houden van inrichtingen waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt, splijtstoffen kunnen worden bewerkt of opgeslagen;
- Radioactieve stoffen bereiden, vervoeren, voorhanden te hebben of toepassen;
- Regels met betrekking tot toestellen die ioniserende stralen uitzenden;
- Vergunningsprocedures (bijbehorende Besluiten).

De Kernfysische dienst van VROM ziet toe op de naleving van de wet. De Vervoersinspectie van VenW ziet toe op het transport. De Kernfysische dienst doet ook de onafhankelijke beoordeling van (het ontwerp van) eventuele nieuwe kerncentrales.

Mogelijke locaties

De bestaande en voormalige kerncentrales zijn geplaatst op locaties volgens een Planologische Kernbeslissing¹³ (PKB) uit 1986. De mogelijke locaties waren: Borssele, Eems, Ketelmeer, Maasvlakte, Moerdijk en de Westelijke Noordoostpolderdijk. Voorbehoud was dat er maar één centrale langs het IJsselmeer zou komen (Ketelmeer en Westelijke Noordoostpolderdijk); Borssele werd in deze PKB uiteindelijk als meest geschikte locatie gezien. Eventuele nieuw te bouwen kerncentrales zijn nog steeds aan deze PKB gebonden onder het tweede Structuurschema Energievoorziening (looptijd tot 2010).

Inspraak

Zowel kerncentrales en reactoren, als installaties voor de productie, verrijking en opwerking van splijtstoffen en de opslag en definitieve verwijdering van radioactief afval zijn verplicht een milieueffectrapportage (MER) te maken. De MER is onderdeel van de vergunningsprocedure. Zowel de milieugevolgen van het project zelf als van mogelijke alternatieven moeten erin op een rij worden gezet. Uitdrukkelijk onderdeel ervan is ook publieke inspraak en – bij grensoverschrijdende effecten – ook overleg met omliggende landen. Dit laatste is geregeld via het ESPOO-verdrag¹⁴. In Nederland is het de taak van het bevoegd gezag om aan de hand van verzamelde gegevens vast te stellen of er sprake is van grensoverschrijdende effecten en dit aan de minister van VROM te rapporteren. Landen kunnen ook zelf vragen om inzage in de effectrapportage.

Milieu Effect Rapportage (MER)

Het Besluit MER 1994 (gewijzigd 1999) stoelt op hoofdstuk 7 van de Wet milieubeheer (Wm). Het is een algemene maatregel van bestuur (AMvB). Een effectrapportage bestaat uit tien vaste stappen. De gevallen waarin een MER moet worden toegepast, staan vermeld in het Besluit MER 1994. Voor kernenergie zijn van belang de MER-plichtige activiteiten (volgens art.7.2 Wm):

- *Oprichting van een inrichting waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt, met inbegrip van buitengebruikstelling of ontmanteling van dergelijke centrales of reactoren (bij constant vermogen van meer dan 1 kW (thermisch) per jaar).*
- *Oprichting van een inrichting bestemd voor de opwerking van bestraalde splijtstoffen.*
- *Oprichting van een inrichting bestemd voor de productie of de verrijking van splijtstoffen.*
- *Oprichting van een inrichting bestemd voor de behandeling, definitieve verwijdering of opslag (voor 10 jaar of langer) van bestraalde splijtstoffen en radioactief afval.*

Wijzigingen of uitbreidingen van de vier bovengenoemde inrichtingen zijn eventueel MER-plichtig (art.7.4 en 7.8a-d Wm). Voor inrichtingen waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt, worden hierbij de volgende gevallen onderscheiden:

- *Wijziging soort, hoeveelheid of verrijkingsgraad van de splijtstof;*
- *Vergroting van de lozing van radioactieve stoffen;*
- *Vergroting van de opslagcapaciteit van gebruikte splijtstof;*
- *Het aanbrengen van systemen ter voorkoming of beheersing van ernstige ongevallen;*
- *Wijziging (van meer dan vijf jaar) van het tijdstip van de buitengebruikstelling of ontmanteling.*

Bron: VROM webpagina's MER en www.wetten.nl

Via de in de MER geregelde inspraakprocedures is heel Nederland in zekere zin betrokken bij de besluitvorming. Globaal onderscheiden we zes partijen:

- Institutionele voorstanders;
- Tegenstanders (met name milieubeweging);
- Beleidsmakers;
- Onderzoekers;
- Burgers;
- Potentiële investeerders (vergunningaanvragers) in kernenergie.

Besluitvorming en liberalisering van de energiemarkt

De besluitvorming over de nieuwbouw van energiecentrales in Nederland is de afgelopen jaren fundamenteel veranderd. In het verleden werd de bouw van nieuwe energiecentrales in Nederland centraal geregeld via tienjarenplannen, waarin iedere twee jaar een planning werd gemaakt van het nieuw te bouwen vermogen en de vooruitzichten voor de komende tien jaar. Het initiatief ging daarbij uit van de samenwerkende elektriciteitsproducenten die volledig in overheids handen waren. Het elektriciteitsplan moest vervolgens worden goedgekeurd door de minister van Economische Zaken, na een advies van de Algemene Energieraad.

Sinds de nieuwe Elektriciteitswet uit 1998 ligt het initiatief tot de nieuwbouw van centrales volledig bij individuele private investeerders. Pas als sprake is van een vergunningaanvraag door een energiebedrijf, begint de bemoeienis van de overheid. Dit geldt ook voor eventueel nieuw te bouwen kerncentrales. Afvalverwerking, financiering van lange-termijnonderzoek en aftopping van de verzekeringskosten voor kernenergie blijven daarentegen een verantwoordelijkheid van de overheid.

De vergunninghouder heeft een leveringsplicht volgens de Elektriciteitswet; voorzieningszekerheid is dus in de praktijk de taak van de energiebedrijven. Op hoger niveau is het een overheidstaak dit onderdeel van de wetgeving te maken en te laten. Het belang van individuele beslissingsvrijheid van investeerders en het belang van een op ieder moment gegarandeerde elektriciteitsvoorziening, moeten zorgvuldig tegen elkaar afgewogen worden. Dit speelt des te meer, aangezien veroudering van de huidige centrales en een verwachte toenemende elektriciteitsvraag voor de toekomst op termijn zeker investeringen in nieuwe elektriciteitscentrales nodig zullen maken.

Vanaf juli 2004 kunnen niet alleen bedrijven, maar ook consumenten zelf hun aanbieder van elektriciteit kiezen. Als de overheid de aanbieder als gepland een verplichting oplegt om de herkomst van hun geleverde stroom te vermelden, kunnen consumenten kiezen of zij al dan niet stroom uit kernenergie willen afnemen. Onduidelijk is of consumenten zullen kiezen voor kernenergiestroom die mogelijk relatief goedkoop geleverd kan worden, omdat de kosten van bestaande kerncentrales al grotendeels zijn afgeschreven. Ook is onbekend in hoeverre de import van kernstroom uit bijvoorbeeld Frankrijk zal toenemen. Op dit moment bestaat ruim 5 procent van de totale elektriciteit in Nederland uit geïmporteerde kernstroom uit Frankrijk.

8.2 Europese Unie

In het Europese eenwordingsproces neemt kernenergie een speciale plaats in via het Euratom-verdrag: een van de grondverdragen van de EU in oprichting. Dit verdrag is nog steeds van kracht. Onder dit verdrag kreeg de Europese Commissie het regulerend gezag op het gebied van:

- Bescherming tegen straling;
- Voorziening van kernsplijtmetaal;
- De safeguards ter voorkoming van oneigenlijk militair gebruik.

Daarnaast ziet de Europese Commissie de beslissing om wel of geen kernenergie in te zetten als een nationale aangelegenheid (*sovereign decision*). Dat komt onder andere tot uitdrukking in het 'Groenboek' *Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply* (EC, 2001). Hiermee is echter niet gezegd dat vanuit Brussel geen opvattingen worden geventileerd. Zo stelt de commissie in het groenboek:

"The European Union must retain its leading position in the field of civil nuclear technology, in order to retain the necessary expertise and develop more efficient fission reactors and enable fusion to become a reality."

"The nuclear option must be examined in terms of its contribution to security of supply and greenhouse gas emission reductions. Nuclear energy will make it possible for Europe to save around 300 million tonnes of CO₂-emissions in 2010. This is equivalent to taking 100 million cars off the roads."

Binnen de Europese Commissie zijn verschillende opvattingen over kernenergie waar te nemen. Verder beïnvloeden grote verschillen in opvattingen over kernenergie tussen landen onderling de Europese besluitvorming.

Met name Loyola de Palacio, Eurocommissaris voor Energie en Transport, is een warm pleitbezorgster voor de inzet van kernenergie. Zij ziet die energie als noodzakelijk om als Europese Unie te kunnen voldoen aan de milieuverplichtingen van het Kyoto-verdrag (zie diverse interviews, zoals in *The Business Link*, 2002). Omdat de keuze voor of tegen kernenergie een nationale aangelegenheid is, beperkt De Palacio zich tot het harmoniseren van de regels in de EU over de veiligheid van kerncentrales en opslag van kernafval. In mei 2003 presenteerde de Europese Commissie formeel aan de Raad twee voorstellen voor richtlijnen ter harmonisering van het beleid op het gebied van veiligheid en opslag van afval. Het zijn twee nu belangrijke onderwerpen die niet binnen het Euratom verdrag zijn geregeld.

Eurocommissaris De Palacio ziet tegenover zich echter Margot Wallström, Eurocommissaris voor het Milieu. Met name het kernafval disqualificeert kernenergie voor Wallström als onderdeel van een duurzame ontwikkeling (Reuters, 17 november 2002). Zo verklaarde zij dat Finland geen uitbreiding van kernenergie nodig heeft, maar dat er juist behoefte is aan uitbreiding van duurzame energie (Reuters, 8 maart 2002). In het debat rond het Kyoto-protocol verklaarde zij dat zij liever geen stimulering van kernenergie zag in ontwikkelingslanden via het zogenoemde *Clean Development Mechanism* (Europees Parlement, 1999).

Behalve de twee eerdergenoemde conceptrichtlijnen over veiligheid en afvalopslag en de richtlijnen over milieueffectrapportages, zijn er buiten het Euratom-verdrag geen EU-richtlijnen die direct op kernenergie aangrijpen. Het Euratom-verdrag, dat in eerdere voorstellen deel zou gaan uitmaken van de Europese grondwet, is hier inmiddels uit verwijderd en blijft los van deze grondwet van kracht.

8.3 Andere landen

De wijze waarop gedacht wordt over kernenergie verschilt sterk per land.

- Landen als Ierland, Denemarken en Noorwegen hebben geen kernenergie en willen deze ook in de toekomst niet.
- Een aantal landen heeft aangekondigd hun kerncentrales op afzienbare termijn te sluiten. Duitsland, Zweden en België behoren tot deze groep van landen waar kernenergie op de terugtocht is.
- Ten slotte zijn er landen die nieuwe centrales bouwen: Finland, de Verenigde Staten, Frankrijk en verschillende Aziatische landen zijn voorstander van verdere toepassing van kernenergie. Vooral in Azië lijkt kernenergie momenteel in opmars te zijn.

Dat harmonisering van Europees beleid op het gebied van kernenergie geen eenvoudige zaak is, illustreren de volgende beschrijvingen van de situatie rond kernenergie in enkele Europese landen. Ook bespreken we ter illustratie de stand van zaken in de Verenigde Staten en Azië.

8.3.1 Finland

Op 24 mei 2002 gaf het Finse Parlement toestemming voor de bouw van een vijfde kerncentrale. Hiermee is Finland het eerste West-Europese land dat het nucleair vermogen besluit uit te breiden sinds Frankrijk in 1991 voor het laatst tot de bouw van een kerncentrale besloot. Een eerste plan voor de bouw van de reactor werd al in de jaren tachtig ingebracht, maar in de ijskast gezet na de ramp in Tsjernobyl in 1986. In 1993 verwierp het Finse parlement nog een voorstel van de regering voor de bouw van een vijfde kerncentrale met een lichte meer-

derheid van stemmen. De laatste tien jaar veranderde het politieke klimaat echter, zodat in 2002 107 parlementariërs vóór stemden en 92 tegen. De regering was ook niet unaniem in haar voorstel. Tien van de achttien ministers stemden voor, zes tegen en twee waren afwezig. Voor de Groenen was de uitslag aanleiding om twee dagen na het besluit uit de regering te stappen. Ook de bevolking was verdeeld: peilingen toonden voorafgaand aan het besluit aan dat circa 50 procent van de bevolking tegen de bouw van een vijfde reactor was.

De aanvraag van het Finse nutsbedrijf TVO¹⁵ voor toestemming voor de bouw van een nieuwe reactor was in eerste instantie gebaseerd op economische criteria: laagste kosten per kWh (zie figuur 3) en laagste gevoeligheid voor prijsfluctuaties. De belangrijkste argumenten in het publieke debat voor de bouw van een vijfde reactor waren:

- Het verminderen van de afhankelijkheid van Rusland, dat via de export van gas in 71 procent van de Finse energiebehoefte voorziet.
- Een uitbreiding van het gebruik van kernenergie zou passen in de Nationale Klimaatstrategie om aan de Kyoto-doelstellingen te voldoen. Hoewel Finland een doelstelling van 0 procent toename heeft, is er sinds 1990 een toename geweest van uitstoot van CO₂.

Daarnaast is de verwachting van TVO dat vooral het elektriciteitsgebruik zal toenemen als gevolg van de bewuste zelfpositionering van Finland als *information society*. Zowel de werkgevers als de vakbonden ondersteunden om deze redenen het besluit. De tegenstanders wezen op de gezondheids- en veiligheidsrisico's van kernenergie, met name in verband met de aanslagen van 11 september in de VS. Het afvalprobleem speelde een ondergeschikte rol in het debat, omdat het parlement al een jaar eerder had besloten tot de finale opslag van kernafval in ondergrondse steenformaties.

Besloten is dat de Finse reactor gebouwd zal worden bij een van de twee reeds bestaande nucleaire centrales.

8.3.2 Duitsland, Zweden en België

Deze drie Europese landen hebben besloten om kernenergie geheel uit te faseren.

- In Duitsland is in april 2002 een wet aangenomen om kernenergie uit te faseren, gebaseerd op een compromis tussen de overheid en de energiebedrijven. De uitfasering van kernenergie was een van de eisen van de Groenen om deel te nemen aan de regering met de Sociaal Democraten (SPD). Het compromis was dat de operationele levensduur van de bestaande kerncentrales werd beperkt tot gemiddeld 32 jaar.
- In Zweden is al in 1980 na een niet-bindend referendum besloten alle twaalf kernreactoren in 2010 te sluiten. Het parlement verliet

dit doel echter in 1997, omdat het parlement het onrealistisch vond om per 2010 voldoende vervanging uit andere energiebronnen aan te boren. Op dit moment is slechts een van de twaalf reactoren gesloten (per 1999) en er zijn plannen om de tweede reactor op dezelfde locatie te sluiten. De sluiting van de tweede centrale is echter uitgesteld, omdat er nog geen alternatief is gevonden. Gezien het hoge aandeel van kernenergie in de nationale elektriciteitsproductie (circa 50 procent) en het commitment van de Zweedse overheid aan klimaatbeleid en de Kyoto-doelstellingen, staat de overheid voor een groot dilemma.

- In België namen parlement en senaat in respectievelijk december 2002 en januari 2003 een wet aan om de zeven kerncentrales na veertig jaar dienst te sluiten. Dat komt neer op sluiting over 15 tot 25 jaar. Ook loopt in België een discussie over de vraag hoe de centrales die goed zijn voor 57 procent van de elektriciteitsbehoefte in België, kunnen worden vervangen. De kernindustrie gaat er echter van uit dat de centrales niet gesloten worden, omdat er bij sluiting onvoldoende alternatieven beschikbaar zullen zijn. Investerings in bestaande kerncentrales gaan dan ook vooralsnog gewoon door, zoals bijvoorbeeld in Doel, een centrale die in principe in 2015 gesloten wordt (*NRC Handelsblad*, 4 juli 2003).

8.3.3 Frankrijk

Dat Frankrijk bijna 80 procent van haar elektriciteit opwekt uit kernenergie is een bewuste politieke keuze, als antwoord op de energiecrisis van 1973. Frankrijk wilde – zonder eigen olie en gasreserves – onafhankelijk zijn van de rest van de wereld voor haar energiebehoefte.

Met het oog op de voorbereiding van een nieuw energiebeleid voor de komende dertig jaar hield de Franse overheid in 2003 een nationaal energiedebat over de toekomstige energievoorziening. Critici trekken de oprechtheid van de overheid echter in twijfel op basis van eerdere uitlatingen van onder andere premier Jean-Pierre Raffarin. Zo stelde Raffarin al bij voorbaat, dat een groot publiek debat zou worden geopend, gevolgd door wetgeving die kernenergie een erkende plaats zou geven (*Le Figaro*, 4 juli 2002). Ook de minister van Industrie, Nicole Fontaine, openbaarde al in een radio-interview op 9 oktober 2003 de plannen van de regering voor een vernieuwing van het kernenergieprogramma, hoewel de maatschappelijke consultatie officieel nog liep (*Le Figaro*, 10 oktober 2003).

In november 2003 verscheen een nieuw 'Witboek Energie' van de Franse regering. Beslissingen over het vervangen van alle of een deel van de centrales aan het eind van de levensduur zijn nog niet genomen. De regering gaat uit van een bedrijfsduur van minstens veertig jaar, tien jaar langer dan de voorziene levensduur bij de aanbouw. Hierover

zal per centrale besloten worden. In principe zijn dus rond 2020 de eerste centrales daadwerkelijk aan sluiting en eventuele vervanging toe.

Voorzieningszekerheid, klimaatverandering en een, internationaal gezien, scherpe elektriciteitsprijs zijn de belangrijkste redenen om kernenergie als optie open te houden. Om dit mogelijk te maken, wordt een demonstratiecentrale van de derde generatie voorzien. Hiervoor wordt een EPR genoemd, die in 2010 operationeel zou moeten zijn. De beslissing tot de bouw van deze centrale wordt in 2004 genomen. Op 17 januari is een demonstratie in Parijs gehouden door tegenstanders van nieuwe kerncentrales, die ook vinden dat in het nationale energiedebat in 2003 de burger niet is gehoord (zie boven).

8.3.4 Verenigde Staten

In de Verenigde Staten wekken ruim honderd kerncentrales circa 20 procent van de benodigde elektriciteit op. Toch is er sinds 1979 geen vergunning meer afgegeven voor de bouw van een nieuwe kerncentrale, hoewel wel enkele aanvragen verwacht worden (www.nuclear.com/n-plants/index-New_plant_orders.html).

De Watts Bar 1 was in 1996 de laatste kerncentrale die nieuw in gebruik werd genomen. Aanleiding voor het 'moratorium' op nieuwe centrales was het ongeluk in de kernreactor op Three Mile Island in Pennsylvania in 1979, waarbij de kern van de reactor gedeeltelijk smolt en radioactiviteit in de atmosfeer kwam. Met de ramp in Tsjernobyl in 1986 ging het maatschappelijk debat volledig op slot. Ook de economische interesse nam af. Er staan in de VS enkele kerncentrales waarvoor al vóór 1979 vergunning is gegeven, maar waarvan de bouw na een gedeeltelijke voltooiing is gestaakt, omdat de financiering voor voltooiing en operationele kosten niet rond was te krijgen.

De Bush-administratie heeft echter met haar aantreden begin 2001 kernenergie hoog op de politieke agenda gezet, met het oog op de groeiende vraag naar elektriciteit en de plannen om nieuwe elektriciteitscentrales te bouwen. In het *National Energy Policy*-rapport beveelt de Bush-administratie onder leiding van vice-president Dick Cheney aan: "*that the President supports the expansion of nuclear energy in the United States as a major component of our national energy policy.*" Volgens het rapport is kernenergie een schone, veilige, betrouwbare en goedkope energiebron. "*Nuclear power has none of the emissions associated with coal and gas power plants, including nitrogen oxides, sulfur dioxide, mercury and carbon dioxide. Costs of electricity generation by nuclear plants compare favorably with the costs of generation by other sources.*" In dat licht stelt de Bush-regering met de *Energy Policy Act* (aangenomen door congres en senaat in april en juni 2003) meer geld ter beschikking voor onderzoek en ontwikkeling van kern-

energie. De overheid geeft kernenergie naast directe financiële steun ook indirecte steun door verlenging van de *Price-Anderson Act*, waardoor de overheid garant blijft staan voor de vergoeding van kosten bij een ongeval. Ook stelt de overheid zich garant voor leningen door energiebedrijven bij de bouw van nieuwe kerncentrales.

8.3.5 Azië

In Azië vertonen veel landen een groeiende productiviteit en een sterk toenemend energiegebruik. Om aan deze vraag te kunnen voldoen, kiezen veel landen voor kerncentrales. In China, Japan, Noord- en Zuid-Korea, India en Iran zijn centrales in aanbouw; dat betekent dat van de tien landen met een centrale in aanbouw er zeven in Azië (tabel 1) komen te staan. Daarnaast zijn vergunningen afgegeven voor nog meer kerncentrales, zoals in Japan, waar recent (november 2003) nog een vergunning is afgegeven door het Ministry of Economy, Trade & Industry voor de bouw van een 912 MW PWR. Het toekenningsproces liep al sinds 1998 en de reactor is naar verwachting eind 2009 operationeel (*World Nuclear Association Weekly Digest*, november 28, 2003).

India

India heeft al sinds de jaren zestig een ambitieus kernenergieprogramma dat gebaseerd is op drie 'stadia':

- Het eerste stadium bestaat uit de bouw van zwaarwater-reactoren (PHWR's). Het afval hiervan wordt opgewerkt om plutonium te winnen.
- In het tweede stadium wordt dit plutonium gebruikt in Fast Breeder Reactors (FBR), waarin ook uranium-233 wordt gekweekt uit thorium. Vervolgens zou een Advanced Heavy Water Reactor moeten worden ontwikkeld, die zowel met plutonium verrijkt uranium als met uranium verrijkt thorium gebruikt.
- Het derde stadium bestaat uit een reactor die uranium-233/thorium als brandstof gebruikt. (Iyengar, in v.d. Zwaan 1999.)

Hoewel het programma in de jaren zestig van start ging, is het tweede stadium pas recent ingegaan. Onder andere het Non-proliferatie Verdrag belemmerde de uitwisseling van technologie en heeft zo de ontwikkeling van technologie in India sterk vertraagd.

Op dit moment zijn acht reactoren in aanbouw met een totaal vermogen van 7,5 GW. De reactoren zijn allemaal PWR's, twee ervan zijn de Russische versie VVER. Er is bovendien besloten tot constructie van een prototype FBR (www.dae.gov.in).

China

In China wordt tot 2020 de capaciteit van kerncentrales uitgebreid met 2 GW per jaar, tot een totaal van 36 GW (*The Straits Times*, 17 januari 2004). Deze extra capaciteit is ongeveer de helft van de totale huidige capaciteit in Frankrijk, maar zal in China, samen met de be-

staande capaciteit, slechts zo'n 4 procent van de totale elektriciteitsproductie uitmaken.

Het plan is uitgewerkt door de National Development and Reform Commission en op 24 oktober 2003 vastgesteld door de State Council voor kernenergie. In november 2003 werd een *Nuclear Power Global Bidding Preparation Conference* gehouden, door onder andere de China National Nuclear Corporation¹⁶ (CNNC). Hieraan namen diverse internationale partijen deel, waaronder Framatome (Frankrijk), Westinghouse (USA) en andere leveranciers van kerninstallaties uit Rusland, Japan en Duitsland (*People's Daily*, 7 januari 2004).

De State Council heeft voorlopige toestemming gegeven voor de bouw van vier kerncentrales met elk een capaciteit van 1 GW. De bouw zou voor 2005 moeten beginnen en de centrales moeten rond 2010 operationeel zijn (WNA, 2003). Zowel civiele als militaire nucleaire toepassingen zijn in China in handen van het CNNC, een industrieel conglomeraat dat onder toezicht en leiding staat van overheidsfunctionarissen. De combinatie van civiel en militair management is destijds overgenomen van de Sovjet Unie. Volgens sommigen is het vergroten van de capaciteit van kerncentrales onderdeel van het in stand houden van nucleaire technologie met het oog op mogelijke militaire toepassingen (*People's Daily*, 7 januari 2004).

Behalve in eigen land werkt China ook in het buitenland aan de bouw van kerncentrales. Pakistan en China hebben een convenant getekend over de bouw van een tweede reactor, van 300 MW, bij Chashma Nuclear Power Plant in Pakistan. Een formele overeenkomst wordt binnenkort verwacht (WNA, 2003).

8.4 Meningen rond besluitvorming

Besluitvorming heeft wereldwijd op allerlei gebieden invloed op meningen over kernenergie. Een omvattend overzicht hiervan is moeilijk te geven. Als we het toespitsen op meningen over de noodzaak van nieuwbouw van kerncentrales in Nederland, dan variëren de meningen van bijvoorbeeld 'onmiddellijke sluiting' en 'geen nieuwbouw' tot 'een verwachte onvermijdelijkheid van nieuwbouw van kerncentrales in de toekomst'. Ter illustratie vier meningen uit de gehouden interviews:

- Sible Schöne, WWF: "Kernenergie moet op termijn geheel uit de energiemix verdwijnen, om in 2080 tot een aandeel van 100 procent 'new renewables' te komen."

- Dick Vos, VROM: “Kernenergie heeft voordelen als energietechniek. Mits binnen strikte veiligheidsrandvoorwaarden is er geen probleem deze bron in te zetten.”
- Derek Taylor, Europese Commissie: “*In the medium to longer term there does not seem to be any serious alternative to nuclear energy.*”
- Peer de Rijk, WISE: “Opwekking van elektriciteit met kerncentrales moet zo snel mogelijk gestopt worden. Onder geen enkele voorwaarde is kernenergie aanvaardbaar.”

9 Maatschappelijke opinie

In dit hoofdstuk bespreken we de resultaten van recente opiniepeilingen en onderzoeken naar factoren die de publieke opinie beïnvloeden en naar het beeld dat de politiek van de publieke opinie heeft.

In vergelijking met de tijd van de Brede Maatschappelijke Discussie lijkt de maatschappelijke opinie over kernenergie op dit moment veel minder sterk gemobiliseerd. De discussies rond het al of niet openhouden van de centrale Borssele vinden plaats in de politiek en de media, maar hebben niet geleid tot demonstraties of acties in bredere zin. In de jaren tachtig kwam de publieke opinie sterk tot uiting in bijvoorbeeld de anti-kernenergiedemonstraties, deels in reactie op de grote ongelukken, zoals in Tsjernobyl. Daar staat tegenover dat het aandeel van de Nederlandse bevolking dat tegen kernenergie is, sinds 1986 nauwelijks is afgenomen (Turkenburg, 2003).

In paragraaf 9.1 staat een overzicht van de gebruikte informatie; daarna wordt de informatie besproken voor Nederland (paragraaf 9.2) en voor Europa en Nederland ten opzichte van andere Europese landen (paragraaf 9.3). Paragraaf 9.4 gaat in op de discrepantie tussen het beeld van de publieke opinie dat politici hebben en de publieke opinie zelf.

9.1 Gebruikte opiniepeilingen

Zowel in Nederland als in Europa worden regelmatig opiniepeilingen gehouden over kernenergie. NIPO voert in Nederland deze peilingen uit in opdracht van EPZ. In Europa vormen ze een onderdeel van de zogenaemde Eurobarometers. Hierin worden resultaten per land gepresenteerd, zodat de maatschappelijke opinie in Nederland niet alleen belicht wordt, maar ook kan worden vergeleken met de situatie in andere landen en het Europese gemiddelde. De Europese peilingen richten zich vooral op wat mensen menen te weten van bijvoorbeeld de technische kanten van kernenergie of het aandeel ervan in de energiemix van hun land.

Dit hoofdstuk is gebaseerd op de samenvatting van de NIPO-enquête die is uitgevoerd in 2002. Daarbij gaat het hoofdstuk ook steeds in op de resultaten uit 2001, zodat een indruk van mogelijke verandering van opinies in de tijd kan worden gegeven¹⁷. Enkele vragen zijn ook in

een enquête in 2003 aan bod gekomen; als ze van toepassing zijn, geven we deze resultaten ook ter vergelijking.

Verder is in dit hoofdstuk een Eurobarometer op het gebied van energie gebruikt, en twee Eurobarometers op het gebied van kernafval (uitgevoerd in 1998 resp. 2001). Dit zijn de enige recente opiniepeilingen die een systematisch beeld van de Nederlandse publieke opinie over zaken rond kernenergie geven. Naast deze peilingen is nog een aantal literatuurbronnen gebruikt die een aanvulling geven vanuit internationaal perspectief.

9.2 Nederland

Uit de Nederlandse enquête blijkt dat kernenergie ten opzichte van energiebronnen als gas of duurzame bronnen niet populair is, maar dat de populariteit wel stijgt (2002 ten opzichte van 2001). Eén vijfde van de Nederlanders¹⁸ vindt het in 2002 goed dat kernenergie een plaats heeft in de energiemix. Vergeleken met duurzame bronnen en gas is kernenergie als optie voor de energievoorziening niet populair: 95 procent, respectievelijk 74 procent van de bevolking vindt dat die twee bronnen een aandeel moeten hebben in de energiemix. Dit blijkt ook uit een onderzoek dat Intomart heeft uitgevoerd in opdracht van Greenpeace: gevraagd te kiezen tussen kernenergie en windenergie, kiest 89 procent van de ondervraagden voor het laatste (Intomart, 2002).

Een belangrijke factor voor de lage populariteit lijkt het 'afvalprobleem' te zijn. Als het afvalprobleem vergelijkbaar zou zijn met afvalproblemen voor andere energiebronnen, dan zou ruim de helft van de Nederlanders ervoor zijn om kernenergie in de energiemix te hebben. Als het afvalprobleem geheel wordt 'opgelost', dan is dit aandeel bijna vier vijfde. In 2003 is de vraag iets anders gesteld, namelijk of men voor- of tegenstander is van kernenergie. Hierbij bleek 30 procent van de ondervraagden voorstander van kernenergie, met een iets hoger percentage (41 procent) als een context van stroomstoring wordt geïntroduceerd.

Volgens Turkenburg (2003) is de tegenstand sinds 1986 min of meer constant gebleven rond 85 procent (met een marge van 5 procent). Dit is min of meer in overeenstemming met de resultaten van de NIPO-enquêtes, die voor 2001 en 2002 een percentage 'voorstanders' van respectievelijk 10 procent en 21 procent geven. In 2003 stijgt het aantal voorstanders naar 30 procent, maar de veranderde vraagstelling ten opzichte van de voorgaande twee jaren maakt een directe vergelijking lastig. Er lijkt sprake van een lichte toename van de maatschappelijke acceptatie, maar of dit een significante trend is blijft een punt van discussie.

Twee keer zo veel mensen kiezen kernenergie als voorkeurvorm van elektriciteitopwekking in 2002 als in 2001, maar het percentage blijft wel zeer klein, namelijk 4 procent in 2002 (tabel 8). Deze stijgende populariteit binnen een jaar lijkt deels te worden veroorzaakt doordat de kennis van, dan wel de bezorgdheid om het broeikaseffect toeneemt. Van de mensen die kernenergie als eerste voorkeursenergiebron noemen, zegt bijna 60 procent dat dit is omdat kernenergie 'schoon' is wat emissies betreft. Ten opzichte van 2001 zeggen in deze groep ook twee keer zo veel mensen dat kernenergie hun voorkeur geniet, omdat het 'onuitputtelijk is'; mogelijk speelt hier dus zorg over voorzieningszekerheid een rol. Hierbij dient te worden aangetekend, dat deze statistieken zijn afgeleid uit een zeer klein aantal respondenten en dat de vraagstelling mogelijk suggestief geweest is¹⁹. Volgens de samenvatting van de NIPO-enquête is de stijging van de populariteit met name te zien onder 50-plussers en hogeropgeleiden.

Tabel 8. Resultaten NIPO enquêtes Nederland

<i>(% van de ondervraagden)</i>	2001	2002 (totaal 1.131 ondervraagden)	2003 (totaal 1.134 ondervraagden)
Kernenergie voorkeurvorm voor elektriciteit	2%	4%	
Hiervan: omdat het 'schoon' is	41%	58% ²²	
Hiervan: omdat het 'onuitputtelijk' is	9%	23%	
Goed om kernenergie in mix te hebben	10%	21%	
Voorstander kernenergie			30% ²³
Voorstander kernenergie als 'gesteld' wordt dat KE nodig is om grootschalige stroomstoring te voorkomen			41% ²⁴
Voor kernenergie als afvalprobleem 'vergelijkbaar' met dat van andere energiebronnen	43%	56%	
Voor kernenergie als afvalprobleem 'opgelost'	72%	79%	
Voor import kernenergie op 'grote schaal'	9%	17%	
Voor import kernenergie als in Nederland grootschalige stroomstoring plaatsvindt			52%
Kernenergie draagt minste bij aan broeikaseffect	43%	51%	
Tegen uitbreiding aantal NL kerncentrales	82%	75%	
Voor uitbreiding aantal NL kerncentrales	7%	12%	
Tegen vroegtijdige sluiting van kerncentrales die bijdragen aan reductie broeikaseffect	46%	57%	
Voor directe sluiting van Borssele			26%
Goed om gas in mix te hebben		74%	
Goed om duurzame bronnen in mix te hebben		95%	

Uit diverse vragen over het sluiten van Borssele blijkt dat de antwoorden sterk afhangen van wat de respondent wordt verteld over de gemaakte investeringen en de bijdrage van kernenergie aan klimaatverandering. Als gezegd wordt hoeveel kosten gemaakt zijn om de centrale te bouwen en dat kernenergie minder CO₂-uitstoot tot gevolg heeft, vindt een kleine meerderheid van de mensen dat de centrale tot het eind van de levensduur open zou moeten blijven.

9.3 Nederland en Europa

In de landen van de Europese Unie worden zoals gezegd opiniepeilingen gehouden: de zogenoemde Eurobarometers (zie tabel 9 en figuur 4). Enkele zijn relevant voor het onderwerp kernenergie. Allereerst is Eurobarometer 57 relevant, die vragen bevatte over energie in het algemeen. Eerst is er informatie over vragen die op kernenergie betrekking hebben. Daarna worden Eurobarometers 50 en 56 behandeld, die vragen over kernafval bevatten. Waar dat relevant is, worden de Nederlandse statistieken vergeleken met gemiddelden van de EU of extreme resultaten van individuele andere lidstaten.

Eurobarometer 57 (gehouden in 2001) over energie in het algemeen

Op de vraag waarover men graag meer zou weten, antwoordde 33 procent van de Nederlanders 'veiligheid van kerncentrales en kernafval' (36 procent EU-gemiddelde, 49 procent Frankrijk) tegen 41 procent die meer willen weten van 'nieuwe energieopties'. Op de vraag welke energiebron in 2050 het goedkoopste zal zijn, antwoordde 12 procent van de Nederlanders kernenergie (10 procent EU-gemiddelde, 18 procent Finland). Zonne- en windenergie en biomassa werden bij deze vraag het meest genoemd (57 procent Nederland). Op de vraag welke energiebron in 2050 de meeste bruikbare energie zou leveren, antwoordde 18 procent van de Nederlanders kernenergie (17 procent EU-gemiddelde, 20 procent Finland). Hernieuwbare bronnen werden echter nog steeds het meest genoemd (41 procent Nederland). Op de vraag welke energiebron in 2050 het best zal zijn voor het milieu, antwoordde 2 procent van de Nederlanders kernenergie (3 procent EU-gemiddelde, 5 procent Finland). Hernieuwbare bronnen scoren hier 84 procent (67 procent EU-gemiddelde).

Gevraagd naar de top drie van prioriteiten voor overheden binnen de EU, staan voor Nederlanders bovenaan een lijst van gegeven punten²⁰:

- Veiligheid van kerncentrales;
- Beheer van radioactief afval;
- Veiligheid van chemicaliënproductie.

In het EU-gemiddelde staat voedselveiligheid bovenaan. In Finland en Duitsland krijgen veiligheid van kerncentrales en beheer van radioactief afval de meeste prioriteit.

Een andere vraag²¹ uit de Eurobarometer is: "Wat zijn voor u redenen dat de EU moet doorgaan met het bekostigen van nucleair onderzoek?" Van de Nederlanders wilde 12 procent dat het bekostigen van nucleair onderzoek gestopt wordt en 9 procent had geen mening; veiligheid en afvalbeheer zijn voor 50 procent een reden ermee door te gaan. Goedkopere productie is slechts voor 16 procent een reden om onderzoek te bekostigen. In Frankrijk is dit aandeel hoger, 33 procent (ook 50 procent veiligheid en afvalbeheer), terwijl daar 7 procent het bekostigen van onderzoek wil stoppen.

In Nederland, samen met Luxemburg, bestaat de grootste bereidheid om meer te betalen voor hernieuwbare energie. Ruim de helft van de Nederlanders is hiertoe bereid (58 procent, tegen 38 procent niet bereid). In Frankrijk is 29 procent bereid meer te betalen (63 procent niet), in Portugal 17 procent (72 procent niet). Het gemiddelde voor de EU is 38 procent (54 procent niet bereid).

Eurobarometer 50 en 56 (gehouden in 1998, 2001) over kernafval

Deze peilingen betroffen alleen kernafval en meningen en percepties over dit onderwerp. Uit de antwoorden blijkt dat Nederlanders vinden dat ze redelijk op de hoogte zijn van kernafval. In 1998 was de gemiddelde 'score' hierop 2,25 ten opzichte van 1,93 gemiddeld in de EU en 1,71 voor Frankrijk. Voor 2001 was de Nederlandse score 2,21 ten opzichte van 1,90 gemiddeld in de EU en 1,78 voor de Fransen. Interessant is dus dat de Fransen, die veel meer kerncentrales in eigen land hebben, vinden dat ze minder goed op de hoogte zijn dan de Nederlanders.

Kennisperceptie en bezorgdheid

Het voorgaande hoeft niet te duiden op een daadwerkelijk lager kennisniveau in Frankrijk. Juist het feit dat kernenergie zo'n belangrijk aandeel heeft in de energiemix, kan ertoe leiden dat Fransen het gevoel hebben dat ze meer zouden moeten weten van het afvalprobleem; ook het feit dat Fransen zich veel meer zorgen maken over kernafvalbeheer in eigen land zou hierop kunnen duiden.

Er is in tabel 9 geen duidelijke trend te zien die duidt op een toename of afname van de bezorgdheid over kernafvalbeheer, in eigen land danwel daarbuiten. Wel lijkt er van land tot land een relatie te zijn tussen bezorgdheid en het zich op de hoogte voelen over kernafval-

beheer (figuur 4). Naarmate men zich beter op de hoogte voelt over kernafvalbeheer, is er minder bezorgdheid.

Tabel 9. Resultaten Eurobarometers Kernafval (percentage positieve antwoorden)

<i>Eurobarometer 50 vs 56 (Nederland)</i>	1998	2001
	(1.000	(1.000
	respondenten)	respondenten)
Interesse in manier van kernafval beheer in NL	74%	--
Interesse in manier van kernafval beheer in toetredende landen	81%	--
Bezorgdheid om kernafval beheer in NL	47% (d)	46% (e)
Bezorgdheid om kernafval beheer in andere EU landen	76% (d)	69% (e)
Bezorgdheid om kernafval beheer in toetredende landen	84% (d)	81% (e)
Zou u ervoor zijn dat NL afval opslaat voor andere landen (tegen betaling)?	9%	--
Zou u ervoor zijn dat NL afval opwerkt voor andere landen (tegen betaling)?	27% (a)	--
Zou u ervoor zijn dat NL afval bergt voor andere landen (tegen betaling)?	35% (a)	--
Elk land eigen ondergrondse opslag?	69%	48% (b)
Kernafvalopslag moet meer dan 1.000 km van mij vandaan (19% nvt)	32%	--
Als afvalbeheer veilig zou zijn, dan moet kernenergie in de mix (sterk mee eens)	--	31% (c)
Kernenergie geeft minder broeikasgassen dan andere bronnen (sterk mee eens)	--	30% (c)
FR: Bezorgdheid om kernafval beheer in FR	79% (d)	75% (e)
FR: Bezorgdheid om kernafval beheer in andere EU landen	81% (d)	74% (e)
FR: Bezorgdheid om kernafval beheer in toetredende landen	86% (d)	84% (e)

- a Zeer hoog vergeleken met EU gemiddelde; 55+ minder stemmen vóór.
- b De 'weet niet' score is hier 10% hoger.
- c Samen met Scandinavië veel hoger dan rest van de EU.
- d Iets minder voor onder 25 jaar.
- e Leeftijdverschillen onbekend.

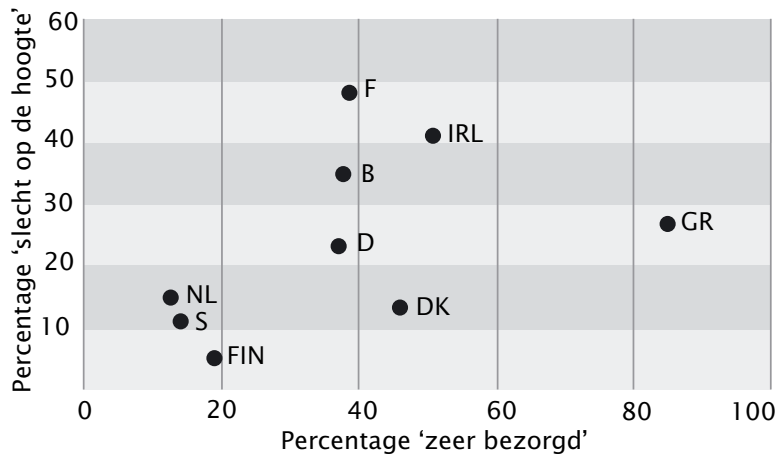
Dit hangt mogelijk ook samen met de factoren die in een studie van de Nucleair Energy Agency²² over kernenergie in de maatschappij (NEA, 2002) van belang worden geacht voor de publieke perceptie van risico's (rond kernenergie):

- Vertrouwen in de overheid;
- Vrijwillig of onvrijwillig nemen van het risico;
- Controle;

- Voordeel van het nemen van het risico;
- Kennis en begrip;
- Geslacht;
- Omvang mogelijk effect (ramp).

De NEA-studie concludeert over de invloed van kennis op de risicoperceptie hetzelfde: hoe minder men erover weet, hoe bezorgder men is over de mogelijke gevolgen van kernafvalbeheer (zie tabel 4).

Figuur 4 De statistieken voor enkele vragen uit Eurobarometer 50 tegen elkaar afgezet voor een aantal landen



9.4 Politiek en maatschappij

Naast de vraag wat de publieke opinie is over kernenergie, is de vraag interessant wat de politiek doet met deze publieke opinie. Een onderzoek in Engeland laat zien dat de meningen van Engelse parlementariërs over kernenergie dezelfde verdeling vertonen als die van burgers (ICCEPT, 1999). Van diegenen die een mening hebben, is de verdeling voor beide groepen ongeveer fifty-fifty.

Opvallend is echter de inschatting van de publieke opinie door parlementariërs. Parlementariërs gaan ervan uit dat burgers zéér negatief staan tegenover kernenergie. Ook het percentage 'weet niet' voor burgers wordt even laag ingeschat als dat van parlementariërs zelf. De politici gaan ervan uit dat ruim 80 procent van het publiek een mening heeft en bovendien dat deze mening negatief is.

Tabel 10. Meningen publiek/parlementariërs over kernenergie in het Verenigd Koninkrijk

1999 UK	<i>Favourable NE</i> (%)	<i>Unfavourable</i> (%)	<i>Don't know</i> (%)
Public	28	25	47
MPs	43	44	13
MP perception of public	2	84	14

(Bron: ICCEPT, 1999)

Volgens het ICCEPT-onderzoek overschat de politiek de kennis die de burgers hebben of denken te hebben. Een groot gedeelte van de burgers voelt zich niet voldoende op de hoogte om een mening te hebben. Het beter op de hoogte brengen van de consument zou dan leiden tot een beter beeld van de verhouding tussen voors en tegens.

Interessant hierbij is te kijken naar de antwoorden van Europeanen op vragen over informatiebronnen op het gebied van kernafval op nationaal niveau (Eurobarometers uit 1998, 2001). In 1998 is de nationale overheid voor Nederlanders de 'favoriete' bron van informatie over kernafval. In België daarentegen zijn de media favoriet, terwijl men in Finland het liefst informatie ontvangt van onafhankelijke wetenschappers. In 2001 is de vraag iets anders gesteld, namelijk welke bron van informatie men het meest 'vertrouwt'. Hierbij komen de nationale overheid en onafhankelijke wetenschappers voor Nederland op een gedeelde eerste plaats, voor Finland de media en onafhankelijke wetenschappers. In België worden onafhankelijke wetenschappers het meest vertrouwd en in Frankrijk NGO's. Nederland is relatief gezien positief over de nationale overheid als bron van informatie over kernafval.

Het NEA-rapport noemt klimaatverandering als een belangrijk thema bij het stimuleren van publieke interesse. Dit strookt met de bevindingen in de NIPO-enquête, waaruit de lagere CO₂-uitstoot voor kernenergie als een van de oorzaken voor de afnemende tegenstand naar voren kwam. In een onderzoek dat is gehouden in 1999, is de relatie tussen de publieke houding ten opzichte van kernenergie en de publieke inschatting van de bijdrage aan klimaatverandering van kernenergie op meer kwantitatieve wijze in beeld gebracht (Staats en Daamen, 2000). Hieruit bleek dat de correlatie daartussen 17 procent was in 1999. Dit betekent dat ongeveer een vijfde van de variatie in meningen over kernenergie verklaard wordt uit het feit dat de ondervraagde personen de bijdrage van kernenergie aan klimaatverandering anders inschatten. Deze correlatie is sterker dan die in datzelfde onderzoek werd gevonden voor opslag van kernafval en de houding tegenover kernenergie, namelijk een correlatie van 8 procent (Staats en Daamen, 2000).

9.5 Meningen over publieke opinies

Meningen over de mogelijke veranderingen in de publieke opinie door voorlichting, worden ook gegeven in de interviews die in dit onderzoek gehouden zijn:

- *“Waste is one of the main issues influencing public opinion of NE. Industry feels pressured to find an acceptable solution for high-level waste.”* (Peter Wilmer, NEA)
- *“Aandacht moet besteed worden aan meer gebalanceerde voorlichting. De politiek wil zich niet branden aan kernenergie en voorlichting wordt dus op een laag pitje (nul) gehouden. Mede hierdoor krijgt de consument voornamelijk voorlichting van de tegenstanders te horen.”* (Dick Vos, VROM)
- *“Informing the public about the various costs and benefits is a major problem. Because of the secrecy that surrounded the industry in the past, it is now not trusted in most Member States.”* (Derek Taylor, EU-DG Energy & Transport)
- *“De overheid moet niet meer zoals vroeger uitgaan van een positie waarin kernenergie vanzelfsprekend wordt geacht en men alleen door alles goed uit te leggen publieke acceptatie verwacht. Veel meer moet men gerechtvaardigde zorgen uit de samenleving vertalen in randvoorwaarden waaraan het gebruik van kernenergie moet voldoen, wil het in de toekomst nog kunnen worden toegepast.”* (Wim Turkenburg, Universiteit Utrecht)

Summary

This survey provides information on nuclear energy in the Netherlands, within the international context and given various new developments. The report also endeavours to accurately present the wide range of opinions on nuclear energy in the Netherlands anno 2003.

This survey of nuclear energy in the Netherlands was based on interviews and a literature study.

In interviews policymakers, researchers, environmentalists and people from the nuclear energy industry gave their opinions on:

- new developments in nuclear energy,
- (societal) opinions regarding nuclear energy,
- and their feelings as to the need for a new debate.

Various international policymakers were also involved.

The literature study covered many reports, documents and an extensive scan of information available on Internet. As many authoritative sources as possible have been used, also according to recommendations of the advisory committee guiding the project. The advisory committee included people from all the interest groups mentioned above. Together they represented a wide range of opinions on nuclear energy.

In agreement with the supervisory committee it was decided to focus on the most relevant subjects including safety, waste, proliferation and terrorism, climate change control, costs, decision-making and societal opinion.

The report contains an overview of relevant facts per sub-topic and a view on the various opinions associated with each sub-topic. Below the main conclusions are summarised. The text boxes highlight the main developments in the last two decades for each sub-topic.

Developments

Safety

Compared to twenty years ago the nuclear power station has become gradually safer. Research continues, however true breakthroughs in new reactor concepts which have been tested in practice and which are generally acknowledged as 'inherently safe' have not taken place.

- Various versions of 'third generation' nuclear power stations with passive safety systems based on 'engineered components', have been commissioned while others are under construction. This technology is based on the designs of existing nuclear power stations.
- The Pebble Bed reactor is considered to be a promising concept in terms of safety and profitability. This concept is referred to as '3+'. The construction of this type of reactor, which will be applied on a modular basis, is planned in South Africa. A similar reactor is being used in China.
- A fourth generation of nuclear power stations, of which the reactor core can never melt or explode thanks to basic physical principles (including gravity) is still in the research phase. The IAEA 'Inpro' project is in the phase of the creation of detailed criteria for this type of nuclear plant. The American 'Generation IV' project has highlighted six models as promising for further research.
- Other new reactor types that are being studied are Accelerator Driven Systems. For these systems too the possible use of thorium as nuclear fuel is being considered. Such an application is not expected in the short term.
- Nuclear fusion too is being studied. The decision as to the construction of a large research reactor is expected in 2004. Commercial input is still far removed. The EU does not expect commercial input until 2060.
- Policy is directed at internationalising safety standards. This is to be derived from the concept for the new European safety directive.

Waste

'Transmutation' is the technology that transforms long-lived radioactive material into short-lived radioactive material. The transmutation of nuclear waste is receiving great attention as a new development in waste processing. The techniques used are still under research. Technically it is already possible to process various waste products by transmutation though this pushes up nuclear energy costs. Even the successful application of transmutation techniques will not avoid the creation of residual waste, which will still require long-term storage. The allocation of final storage depots for residual waste is a current topic in discussions on nuclear energy. Such final depots for radioactive waste do not yet exist anywhere in the world. Countries' progress in this respect is strongly variable.

- Radioactive liquid and gaseous emissions in the nuclear cycle are restricted. However the effects of the accumulation of various radioactive substances in the atmosphere are not fully understood.
- The decision to reprocess nuclear waste or not varies by country and is a choice that has consequences for the quantities of waste for final storage, emissions in reprocessing and opportunities for the proliferation of nuclear weapon grade material.
- Transmutation of nuclear waste is a further development in reprocessing whereby the substances found in nuclear waste are separated and processed to reduce the waste's radioactive duration. Technically it is already possible to separate various waste products and to a certain extent reuse them; however such use will push up nuclear energy costs. Application of transmutation techniques will still call for long-term storage of highly radioactive residues.
- The European Union would like member states to allocate a final storage location for radioactive residues before 2018 based on a concept Directive; however whether the directive in its current version will be adopted as final is yet to be seen. The Netherlands is still relying on a temporary surface depot for a period of one hundred years. Discussions are also being held on whether an internationally shared storage location would be feasible.
- A final storage location for radioactive residues that is in use does not yet exist in the world. A number of countries are currently building underground storage depots, but progress varies widely per country.

Proliferation

When the Soviet Union broke up the dangers of proliferation of nuclear technology again received great attention. One controversial element here was the extent to which civil and military usage of this technology would be and could be separated.

- The non-proliferation treaty and supplementary safeguard stipulations are important institutional instruments to resist proliferation of nuclear weapons and nuclear technology. Of the countries that are not treaty signatories it is assumed that Israel has nuclear weapons; India and Pakistan definitely possess nuclear weapons. Both the United States and the IAEA would like to renew and accentuate the existing treaty.
- While some parties claim that civil and military use of nuclear technology must be separated, other parties detect a potentially, and extremely dangerous overlap.

Terrorism

Terrorism is a relatively new aspect of the nuclear scene. Since 11 September 2001 terrorist threats have been carefully studied. The conclusions as to the risks of attacks on nuclear installations are varied. Various studies suggest the risks are restricted, while other studies suggest substantial risks at specific points. Attacks using 'dirty bombs' are a significant safety risk.

- Terrorist dangers for nuclear installations received fresh attention after the attacks on the United States in 2001. According to various studies risks of aircraft attacks are small. Other studies, however, indicate considerable risks of possible attacks.
- According to one research study attacks on storage facilities of exhausted fuel rods in the United States present a major safety risk. According to others, another major risk lies hidden in the nuclear weapon stocks in the former Soviet Union.
- The production of 'dirty bombs' by terrorists using radioactive material derived from nuclear power stations but also hospitals and so on, is yet another safety risk. It is difficult to quantify this risk.

Climate change

Climate change is a new political theme in the nuclear energy debate compared to twenty years ago. Estimates as to the contribution of nuclear energy to climate change effects vary. Nuclear power stations can contribute to the reduction of CO₂ emissions; but with major expansion of current capacity other energy options will be needed.

- The possible contribution of nuclear power stations to lower CO₂ emissions is a new element in the political discussion in the nuclear energy debate. Available uranium stocks do not appear to be a restriction for over the next 50 to 100 years; and by using breeder reactors current stocks at current production levels would last for many thousands of years.
- Although intrinsically electricity production from nuclear energy does not produce CO₂, calculations are based on the idea that fossil fuels are necessary to create other components of the nuclear energy chain. Various studies comparing CO₂ emissions in the chain of a number of energy generating options arrive at a CO₂ discharge of nuclear energy that is a 'couple of percent' of that of a gas powered generating station. Other studies, however, suggest the value of 20% to 30%.
- According to one study, cutting cumulative emissions of CO₂ by 15% in the period 2000-2075 would require the current capacity of nuclear power stations to be multiplied by a factor of ten.

Nuclear energy costs

Various studies suggest that nuclear energy costs would have to drop considerably to make investment in new nuclear power stations attractive to investors in a liberalised energy market. On the other hand, new power stations are currently being built in a number of countries. Plans suggest that the number of nuclear power stations in Asia is expected to increase over coming years.

- Compared to 30 years ago, today more attention is being paid to investment costs and benefits regarding nuclear energy. Studies of this subject are surrounded with the greatest uncertainty: based on studies at the moment nuclear energy is experienced as generally being too expensive to compete with electricity generated from coal and gas. According to the IAEA investments costs would have to drop by a factor of 2 to 4. According to the MIT, in the current market situation in the United States the cost of electricity from future nuclear

power stations would be 2 to 3 dollar cents per kilowatt-hour above that of coal and gas power stations. In contrast to this a Finnish study – carried out on behalf of the investor who is building the new Finnish nuclear power station – calculates that in this situation the cost of electricity generated by the nuclear power station will be less than that generated by coal and gas power stations.

- Experts have different opinions as to the extent to which external costs of nuclear energy generation and those of other energy sources have been fully incorporated in current energy pricing. A recent extensive study on external costs (ExterneE) suggests that the complete internalisation of all external costs for various sources of energy would improve the market position of nuclear energy.
- The long term expectation of the IAEA is that nuclear energy will not be competitive with other energy sources to the year 2030, and that the share of nuclear energy in total world electricity production will decline. Increasing nuclear energy share is expected only in Asia.

Decision-making

The liberalisation of the energy market is a new development in nuclear energy. This development has shifted the initiative to construct new nuclear power stations from government guided utility companies to private investors. In various areas (proliferation, waste, guaranteed supply) the trend to internationalise decision-making processes is clearly visible, however national policy will continue to dominate nuclear energy decisions in general.

- The liberalised energy market has shifted the initiative to construct new nuclear power stations from government to private investors.
- The conditions for safe operation of nuclear energy of safety, waste and proliferation are being influenced increasingly at the supranational level (IAEA, EU).
- In the area of assured (fuel) supply a 2001 green paper suggests that the EU wishes to achieve greater harmonisation. The decision to build the new nuclear power station in Finland was taken partly to reduce dependence on Russian energy and in the French report on Energy guaranteed supply takes a key role.
- Currently the influence of national policy considerations is still dominant: whether nuclear energy is considered an option for the future varies by country. National government decisions vary from granting licenses for the construction of a new nuclear power station or intentions to do so (France, Finland), to the gradual phasing out of nuclear energy (Germany, Belgium and Sweden).

Society's opinion

A large majority of the Dutch population is still against the use of nuclear energy. The number of supporters appears nonetheless to be rising slightly.

- In the opinion of the public nuclear energy is still an unpopular source of energy. Nevertheless, society is becoming slightly more open to it.
- If the nuclear energy waste problem can be solved, according to some research this would clearly raise the level of public acceptance of nuclear energy.
- Contrary to the past, nuclear energy did not dominate public attention in 2003.
- Within the EU the Dutch are relatively unconcerned about nuclear waste management within their own country. There is a relatively high percentage of support for paid waste processing of nuclear waste from other countries within the Netherlands. However, this still should not take place *too* close to the interviewees' neighbourhood.
- One British investigation indicates that British politicians in that country tend to judge public opinion on nuclear energy more negatively, and especially overrate public knowledge in this area.
- European research suggests the Dutch, more than other Europeans, consider the government to be a reliable source of information.

The current discussion on nuclear energy in the Netherlands

The developments outlined in this report have changed both the conditions and content of the debate on nuclear energy in the Netherlands. There are new developments of substance in the 'traditional' areas of debate such as safety, waste and proliferation. And new subjects such as climate change, security of supply and terrorism have been added to this list of sensitive topics.

A significant change is that public government-guided utility companies are no longer the entities taking the initiative to build new power stations, but private investors are. The national government's authority to decide on nuclear energy is now shifting gradually to the supranational level. Nevertheless, the direction of the nuclear energy policy is still determined primarily at national level. Another new feature is the fact that today the nuclear debate is receiving less attention from the public than it used to.

Despite these new developments the positions of the various involved parties on nuclear energy have hardly changed compared to the past. The interviews included in this report clearly indicate that opinions about nuclear energy are still as equally divided in 2003 despite the new features and intrinsic arguments. The new developments and subjects of discussion, which do exist, seem to be used by these parties mainly to support their own mutual positions. So far they have not led to any breakthrough to the one side or the other.

Literatuur

Algemeen Dagblad (30 september 2003). 'Opslag van radioactief afval vandaag open'.

Andriesse (2000). *De republiek der kerngeleerden*.

Anet, Bernard (april 2002). *Assessing the Risk of Radiological Terrorism: How Real is the Threat?* Paper presented at the Fourth International Chemical and Biological Medical Treatment Symposium. Spiez, Switzerland.

AP, Associated Press (19 september 2001). *Global atomic agency confesses little can be done to safeguard nuclear plants*.

BBC News (24 mei 2002).
<http://news.bbc.co.uk/2/low/europe/2006191.stm>.

Belgische kabinet van de staatssecretaris voor energie en duurzame ontwikkeling (2003).
<http://www.olivierdeleuze.be/site/text/16012003NL.doc>.

Bijlsma *et al.* (1989). *Kernenergie en het kooldioxideprobleem*, Vakgroep Natuurwetenschap & Samenleving, Rijksuniversiteit Utrecht.

Boot P. (oktober 2002). Ministerie van Economische Zaken.

Central Research Institute of Electric Power Industry of Japan (1995).
<http://criepi.denken.or.jp/eng/PR/Nenpo/1996E/96seika46.html>.

Commissie Opslag Radioactief Afval (2001). *Terugneembare berging, een begaanbaar pad?* Den Haag.

Damveld, H. (8 november 2002) in *Technisch Weekblad*.

Department of Energy (december 2002). *A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems*. Washington.

Deutch, J., J. Moniz *et al.* (2003). *The Future of Nuclear Power*. Massachusetts Institute of Technology.

Europese Commissie (2003). *Setting out basic obligations and general principles on the safety of nuclear installations en On the management of spent nuclear fuel and radioactive waste*.
(http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/2003/com2003_0032en01.pdf).

ECN (2002). *Bedrijfseconomische beoordeling van twee CO₂-vrije opties voor elektriciteitsproductie voor de middellange termijn*. Petten.

ECN en IvM (2001). *The Role of Nuclear Energy in Establishing Sustainable Energy Paths*. ECN-C—01-109. Petten.

ECN (1998). *Mogelijkheden voor CO₂-reductie in 2020*. Petten.

EnergieNed (2003). *Investeren in betrouwbare en schone productie voor de Europese energiemarkt*. Position paper.

EPRI, Electric Power Research Institute (2002). *Deterring Terrorism – Aircraft Crash Impact Analyses Demonstrate Nuclear Power Plant's Structural Strength*. EPRI Study, Nuclear Energy Institute.
www.nei.org.

EPZ (1998). *De feiten over kernenergie en radioactief afval*. Vlissingen.

Eurobarometer 50.0 (1999). *Europeans and radioactive waste*.

Eurobarometer 56.2 (2002). *Europeans and radioactive waste*.

Eurobarometer 57.0 (2002). *Energy: issues options and technology*.

Europese Commissie (2003). *External Costs. Research results on socio-economic damages due to electricity and transport* (ExternE-project).

Europese Commissie, Green Paper (2001). *Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply*.
http://europa.eu.int/comm/energy_transport/livrevert/final/report_en.pdf.

Europees Parlement (1999). Statement on Climate Change: results of COP5 in Bonn, by Commissioner Wallström, European Parliament Plenary.
<http://europa.eu.int/comm/environment/climat/speech991215.htm>.

Finse ministerie van Handel en Industrie (24 mei 2002).
<http://rhino.digia.com/ktm/bulletin.nsf/headlinespubliceng/F285C5EFF6D8D83FC2256BC30038A525>.

Fischetti, M.A. (april 1987). 'Inherently Safe Reactors: they'd work if we'd let them'. In: *IEEE SPECTRUM*, pp. 28-33.

Gezondheidsraad: Commissie Stralingsrisico's (1991). *Stralingsrisico's. Evaluatie van wetenschappelijke gegevens over de gezondheidsrisico's van blootstelling aan ioniserende straling ten behoeve van normstelling*. Nr. 1991/22, Den Haag.

Green League of Finland (2002).
<http://www.vihrealiitto.fi/pr020524.shtml>.

Greenpeace (2001). Samenvatting ECN-rapport *De kleur van stroom: de milieukwaliteit van in Nederland geleverde elektriciteit*.
(http://www.greenpeace.org/nederland/reports/more-reports?start=5&archived=&campaign_id=4522).

Hageman, B. (CORA) (2001). *Terugneembare Berging, een begaanbaar pad?*

Hagen v.d. T.H.J.J. (augustus/september 2002). In: *Nieuwsbrief Stichting Kernvisie*.

Hagen v.d. T.H.J.J. (19 augustus 2002). In: *NRC Handelsblad*.

Harry, R.J.S. (1982). 'Splijstofbewaking'. In: C.D. Andriess en A. Heertje (red.). *Kernenergie in Beweging: Handboek bij vraagstukken over kernenergie*. Amsterdam: Keesing Boeken.

HSK, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (maart 2003). *Stellungnahme der HSK zur Sicherheit der schweizerischen Kernkraftwerke bei einem vorsätzlichen Flugzeugabsturz*. HSK-AN-4626. Würenlingen.

IAEA (2001). Analysis of Uranium Supply to 2050.

IAEA (26 februari – 2 maart 2001). *Nuclear Power for Sustainable Energy Development*. Background Paper for the Second Session of the Ad-Hoc Open-ended Intergovernmental Group of Experts on Energy and Sustainable Development.

IAEA (juni 2003). *Guidance for the evaluation of innovative nuclear reactors and fuel cycles*. Report of phase 1A of the INPRO-project. Vienna.

IEA (2001). Nuclear Power in the OECD.

IEA (2002). World Energy Outlook. Paris.

International Energy Outlook (2003_)
<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/nuclear.pdf>.

Intomart-onderzoek (juli 2002). *De houding ten aanzien van windparken op de Noordzee*. In opdracht van Greenpeace Nederland.

Knip, K. (15 februari 2003). 'Zwarte biljartballen in een veilige reactor'. In: *NRC Handelsblad*.

Koch, Frans H., International Energy Agency (IEA) (2000). *Hydropower-Internalised Costs and Externalised Benefits*. Implementing Agreement for Hydropower Technologies and Programmes. Ottawa, Canada.
<http://www.ieahydro.org/Environment/Hy-Envir.html>.

Kovan, D. (24 juli 2002). 'Acacia: A Smaller Solution'. In: *Nuclear News*.

Lake, J.A., Ralph G. Bennett and John F. Kotek (januari 2002). 'Next-Generation Nuclear Power'. In: *Scientific American*.

Le Figaro (4 juli 2002). <http://toulouse.azf.free.fr/articles/1188.html>.

Le Figaro (10 oktober 2003). 'La France se prépare à une relance du nucléaire'.

Maerli, M.B. (februari 2003). *Nuclear Terrorism: Threats, Challenges and Responses*. Oxford Research Group.
<http://www.atlanterhavskomiteen.no/publikasjoner/sp/2002/pdf/8-2002.pdf>.

Ministerie van Economische Zaken (1993/1994). *Dossier Kernenergie*.

Ministerie van Economische Zaken (2000). *Energie en Samenleving in 2050: Nederland in Wereldbeelden*.

Ministerie van Economische Zaken (2001). *Terugneembare berging: een begaanbaar pad?*

MIT, Massachusetts Institute of Technology (2003). *The Future of Nuclear Power*.

Mol (mei 2003). In: *Financieel Dagblad*.

Mols, B. (17 okt 2003). 'Radioactieve Recycling'. In: *De Ingenieur*, jrg. 115, nr 18, pp. 52-54.

National Energy Policy (mei 2001). Report of the National Energy Policy Development Group, Washington D.C.
<http://www.whitehouse.gov/energy/National-Energy-Policy.pdf>.

NEA (2001). *Trends in the nuclear fuel cycle, Facts and opinions*. Paris.

NEA (2001). *Nuclear Energy in a Sustainable Development Perspective*.

NEA (2002). *Society and nuclear energy: towards a better understanding*.

NIPO (maart 2003). *Oordeel over kernenergie in de lift* (samenvatting).

NRC (US National Research Council, Committee on Separations Technology and Transmutation Systems) (1996). 'Nuclear Wastes: Technologies for Separations and Transmutation'. In: *The National Academies Press*.

NRC, US Nuclear Regulatory Commission (oktober 2000). *Technical Study of Spent Fuel Pool Accident Risk at Decommissioning Nuclear Power Plants* (Report NUREG-1738). Washington D.C.

NRG (2002). Jaarverslag. Petten.

Nuclear Energy Agency (28 maart 2003). *Nuclear Energy Today*.

Nuclear Energy Institute (NEI) (mei 1999, april 2000, november 2000). *Public opinion*.

Nuclear Policy Research Institute (2003).
http://www.nuclearpolicy.org/Documents/EnergyActinFocus8_25_03.pdf.

OECD (oktober 1999, 2000) *Business as Usual and Nuclear Power*. Joint IEA/NEA Meeting. Paris, France. Pp. 14-15.

OECD (2001). *Uranium 2001: Resources, production et demande*.

OECD NEA (1999). *Geological Disposal of Radioactive Waste – review of developments in the last decade*.

Oosterbaan, M. et al. (2002). *Monitoring Publiek Gefinancierd Energieonderzoek in Nederland*. Ecorys, Rotterdam.

Ospar Commission (2000). *Decision 2000/1 on substantial reductions and elimination of discharges, emissions and losses of radioactive substances, with special emphasis on nuclear reprocessing*.

Paul Scherrer Institute, Switzerland. <http://gabe.web.psi.ch/lca.html>.

Persson M. (15 februari 2003 en 19 april 2003). In: *de Volkskrant*.

Rathenau Instituut (2002). *BMD Kernenergie: Politieke reactie op maatschappelijke impasse*. Interne publicatie.

Reuters (8 maart 2002). *Finland does not need more nuclear energy*.
<http://www.planetark.org/dailynewsstory.cfm/newsid/14939/news-Date/8-Mar-2002/story.htm>.

Reuters (17 november 2002). *Nuclear Power Unsustainable*.
<http://groups.yahoo.com/group/NucNews/message/1913>.

Rijk de P. (6 november 2002). In: *Staatscourant*.

Rothwell, G. en B. van der Zwaan (2002). *Is Light Water Reactor Technology Sustainable?* Siepr discussion paper, no 02-11.

Sep M. (mei 2003). *Kernenergie krijgt meer steun*, artikel 17.

Staats, H. en D. Daamen (2000). *Veronderstellingen, houdingen en beleidsvoorkeuren van de Nederlander betreffende kolen, kernenergie en andere manieren om in elektriciteit te voorzien*. Faculteit Sociale Wetenschappen. Leiden.

Storm van Leeuwen, J.W. en P. Smith (2002). *Can nuclear power provide energy for the future; would it solve the CO₂-emission problem?*
http://beheer.oprit.rug.nl/deenen/Nuclear_sustainability_rev.PDF.

The Business Link (2002).
<http://www.spainuscc.org/eng/publications/LinkSpr02/ldp.pdf>.

TNO (augustus 2001). *Milieu en Gezondheid 2001, Overzicht van risico's, doelen en beleid*. TNO-rapport PG/VGZ/2001.95. Leiden.

TNS NIPO, Remco Frerichs (2003). *Vertrouwen in de stroomvoorziening*.

Tokyo Electric Power Company (2000). *Carbon Analysis for the Life Cycle of Power Generation Systems*. In: *The E7 Observer*, N. 25 Special Issue.
<http://www.e7.org/PDFs/E7-Obs/E7-Obs-25.pdf>.

Turkenburg, W.C. (23-26 juni 2003). *Nuclear Energy and Sustainable Development*. Invited Paper to the International Conference on Innovative Technologies for Nuclear Fuel Cycles and Nuclear Power. IAEA, Vienna.

UNSCEAR (2000). *Unscear Report volume 1: sources of ionizing radiation*.

UNSCEAR (2000). *Unscear Report volume 2: effects of ionizing radiation*.

UNSCEAR (2001). *Unscear Report: hereditary effects of radiation*.

Uranium Information Centre (2003).
<http://www.uic.com.au/nip46.htm>.

Uranium Information Centre (2003). *The Economics of Nuclear Power*, Nuclear Issues Briefing Paper 8. Australia.

USA Today (17 april 2001).
<http://www.rmi.org/images/other/E-UsaTodayNuclearDebate.pdf>

VROM (1999). *Uitvoeringsnota klimaatbeleid*. Den Haag.

UNDP/UN-DESA/WEC World Energy Assessment (2001).

WIN France Annual Report (2003).
http://www.winus.org/Documents/WinGlobal2003CR_France.doc.

WISE (16 mei 2003). French energy debate: 'false' debate.
<http://www.antenna.nl/wise/587/5516.html>.

World Nuclear Association (april 2003).
<http://www.world-nuclear.org/info/inf76.htm>.

World Nuclear Association (WNA) (2003). Information papers on Advanced Reactors, Accelerator Driven Nuclear Energy, Generation IV Nuclear Reactors, Thorium, Nuclear Fusion Power, Waste Management, Processing of Nuclear Waste.

WWF (2003). *Position Statement Nuclear Power Gland*. Switzerland.

Zerriffi, H. en A. Makhijani (mei 2000). *Nuclear Alchemy Gamble: An Assessment of Transmutation as a Nuclear Waste Management Strategy*, prepared for the Institute for Energy and Environmental Research.
<http://www.ieer.org/reports/transm/summary.html>.

Zwaan, B. van der, (17-21 juli 2003). *Nuclear Materials and the Threat of Radiological Weapons*. Paper offered to the 53th Pugwash Conference. Halifax, Nova Scotia, Canada.

Zwaan, B. van der (2002). In: *Technological Forecasting & Social Change* 69, p. 287.

Zwaan, B. van der (red.) (1999). *Nuclear Energy: Promise or Peril?* World Scientific Publishing.

Overige geraadpleegde websites:

<http://www.iaea.org/worldatom/>
<http://www.greenpeace.nl>
http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/index_en.html
<http://www.eu-energy.com/fs-decommissioning-final.pdf>
http://www.ez.nl/default_bel.asp?pagina=energieonderzoek
<http://www.laka.org>
<http://www.oxfordresearchgroup.org.uk/publications/CDRs/CDR27.htm>
<http://www.nea.fr>
<http://www.iaea.org/worldatom/>
http://www.energy.gov/engine/content.do?BT_CODE=NUCLEAR
<http://www.iter.org/>
<http://www.kernenergie.nl/>
<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/funds.html> <http://www.nrg-nl.com/indexnl.html>
<http://iris55.iri.tudelft.nl/index.html>
<http://www.world-nuclear.org/>
<http://www.kernvisie.com/>
<http://www.euronuclear.org/welcome.htm>
<http://www.nrg-nl.com>
<http://www.laka.org>
<http://www.knaw.nl>
<http://www.neebedankt.nl>

Dankwoord

Dit rapport was niet tot stand gekomen zonder de medewerking en hulp van vele direct of indirect betrokkenen. In de eerste plaats willen we graag de adviescommissie van dit project bedanken voor haar waardevolle bijdragen en commentaar op eerdere versies van dit rapport. De adviescommissie bestond uit: Pieter Boot, Jos Bruggink, Tim van der Hagen, Anneke van Limborgh, Rianne Teule, Wim Turkenburg, André Versteegh en voorzitter Jan-Paul van Soest.

Daarnaast willen we Bob van der Zwaan, Benno Wiersma, Jan-Willem Storm van Leeuwen, Ronald Steur en Dancker Daamen bedanken voor hun aanvullende informatie die ze tijdens persoonlijke gesprekken hebben geleverd. Bob van der Zwaan en Ronald Steur hebben bovendien voor ons zeer waardevol commentaar geleverd op eerdere concepten van dit rapport. Tot slot willen we al degenen die we in de loop van dit project geïnterviewd hebben, bedanken voor hun bijdragen en hun zeer diverse en boeiende visies op het onderwerp kernenergie.

Bijlage 1

Interviews

Voor het in deze notitie beschreven verkennende onderzoek zijn de volgende personen geïnterviewd:

1	Jos Bongers	EPZ
2	Kees Daey Ouwens	TU Eindhoven
3	Paul te Riele	Urenco
4	Peer de Rijk	WISE
5	Ronald Steur	IAEA
6	Derek Taylor	EU DG E&T
7	Gert van Uitert	Ministerie van EZ
8	Dick Vos	Ministerie van VROM
9	Peter Wilmer	NEA
10	Sible Schöne	WNF
11	Tim van der Hagen	Technische Universiteit Delft
12	Wim Turkenburg	Universiteit Utrecht
13	Benno Wiersma	Sunergy

Deze interviews zijn hierna weergegeven.

Interview Jos Bongers, EPZ

(Interview 4 juli 2003, akkoord verslag 14 juli 2003)

Functie

Jos Bongers is directeur van N.V. EPZ in Borssele, waar naast de kerncentrale ook een kolencentrale (die deels op biomassa draait) en een gasturbine staan. Bij het gesprek is ook Monique Linger-de Bruijn aanwezig. Zij is hoofd Communicatie bij EPZ.

Nieuwe ontwikkelingen

Nieuwe elementen in de discussie rondom kernenergie zijn voorzieningszekerheid, recente ontwikkelingen op het gebied van afvalberging en klimaat. Het gaat daarbij niet zozeer om fundamenteel nieuwe argumenten, maar veel meer om een verschuiving in de intensiteit van argumenten vanwege de veranderende context. Die veranderingen maken ook een heroverweging van de argumenten van tijd tot tijd nuttig.

Wat betreft voorzieningszekerheid is er op het moment vooral een discussie over gas, en over de vraag of je, als je dit op grote schaal zou gaan importeren in de toekomst, niet te veel afhankelijk wordt van politiek mogelijk instabiele landen.

Voor afval gaat het momenteel vooral om de EU-conceptrichtlijn. EPZ staat hierbij achter de keuze van de Nederlandse regering voor bovengrondse opslag voor een termijn van honderd of honderden jaren. Hiervoor staat de Habog ter beschikking, die in het najaar geopend wordt. Als uiteindelijke oplossing voor het afval is het overigens nog de vraag of je afval wel in Nederland zou moeten opslaan of dat andere locaties in de Europese regio wellicht geschikter zijn voor lange-termijnopslag. Bij een discussie over dit onderwerp is het van belang om te kijken naar welke ontwikkelingen er feitelijk hebben plaatsgevonden. Je moet daarbij een onderscheid maken tussen een puur ethische discussie, en een feitelijke afweging van voor- en nadelen van kernenergie ten opzichte van andere opties.

Klimaat kun je vatten onder veranderende milieुरandvoorwaarden. Tegenover het rapport over CO₂-uitstoot binnen de kernenergiecyclus van Storm van Leeuwen kun je de reactie van Hagen plaatsen: binnen 60 tot 100 jaar zijn er geen problemen te verwachten rond uitputting van uraniumertsen. En als je gebruik zou maken van kweek van brandstof, dan gaat het hele verhaal van Storm van Leeuwen niet meer op. Bij uitputting van ertsen moet je bovendien meewegen dat uranium, in tegenstelling tot andere beschikbare energiebronnen, nauwelijks andere nuttige toepassingen heeft dan elektriciteitsopwekking.

In de discussie over milieुरandvoorwaarden blijven overigens verschuivingen optreden: NO_x en verzuring (SO₂) spelen op het moment ook (weer) een belangrijke rol, evenals de vergelijking van het ruimtegebruik van verschillende energieopties. Biomassa, als een van de alternatieven, heeft met name een groot ruimtegebruik. Dit moet je afwegen tegen de voor- en nadelen van kernenergie.

Ook terrorisme is geen fundamenteel nieuw argument. Er zijn in Borssele in het verleden nog extra veiligheidsmaatregelen genomen, maar risico's vallen nooit 100 procent uit te sluiten. De vraag is of het voor terroristen wel zo voor de hand ligt om een kerncentrale als doel te kiezen. Bovendien is het helemaal niet zo gemakkelijk om een kerncentrale met een vliegtuig bewust te raken.

Wat proliferatie betreft, moet je een onderscheid maken naar het civiele gebruik van kernenergie en kernwapens. Het materiaal voor een kerncentrale is niet geschikt voor het maken van kernwapens. De Noord-Koreaanse 'kerncentrale', waar grondstoffen voor kernwapens gemaakt zouden kunnen worden, is geen vermogenscentrale. Het omgekeerde is wel mogelijk: Borssele krijgt binnenkort militair uranium uit Rusland om dat voor energieopwekking te verstoken.

De maatschappelijke kosten van kernenergie zijn traditioneel altijd al goed zichtbaar geweest, recenter zijn ook de maatschappelijke kosten van andere opties goed bekeken. Kernenergie scoort daarbij goed ten

opzichte van alternatieven. Windenergie komt als beste uit de bus, kernenergie ligt op vergelijkbare hoogte.

Standpunt

EPZ is vóór een serieuze overweging op basis van feiten van de rol van kernenergie in een toekomstige energievoorziening.

De huidige ontwikkeling van de vierde-generatiekerncentrales biedt verschillende veelbelovende concepten die over 15 tot 25 jaar op de markt kunnen komen. In India en China worden er op dit moment kerncentrales gebouwd, in Frankrijk is men in debat over een mogelijke nieuwe kerncentrale. Iedereen in de branche volgt de ontwikkelingen rondom de Pebble Bed Reactor in Zuid-Afrika en de VS op de voet. Dergelijke modulaire, compacte, goed regelbare en heel veilige centrales zouden op termijn ook in Europa en Nederland op de markt kunnen komen. Er zijn meerdere concurrerende aanbieders die kerncentrales willen bouwen en er dient zich een grote vervangings- en uitbreidingsmarkt aan, want de vraag naar elektriciteit blijft groeien.

In Nederland zullen over 5 tot 10 jaar elektriciteitscentrales moeten worden vervangen en bijgebouwd. EPZ hoopt dat kernenergie bij dergelijke beslissingen als een van de opties wordt meegewogen. Overigens zonder op dit gebied druk te willen uitoefenen. Wel lijkt het EPZ verstandig om kernenergie als optie voor de toekomst open te houden.

Discussie

Je ziet dat het debat over kernenergie zich verplaatst van een discussie die puur gaat over kernenergie als op zichzelf staande optie, naar een discussie die gaat over de rol van verschillende mogelijke alternatieven voor (de weg naar) een duurzame energievoorziening in de toekomst. De EZ-wereldbeelden voor de lange-termijnenergievoorziening zijn daar een illustratie van.

Een debat daarover op dit moment is mogelijk en wellicht nuttig, maar niet direct noodzakelijk. EPZ gaat op ieder moment graag een open gesprek aan. Maar aan het eind van het decennium – als de ontwikkelingen rondom liberalisering van de energiemarkt, voorzieningszekerheid en Kyoto wat duidelijker vorm hebben gekregen – lijkt het vooral zinvol om het debat aan te gaan.

Als er nu een debat wordt georganiseerd, is het van belang om niet (alleen) dezelfde mensen als altijd, met een zeer uitgesproken positie, uit te nodigen. Een herhaling van de Brede Maatschappelijke Discussie van destijds heeft geen zin. De omstandigheden van nu zijn fundamenteel anders. Dit vraagt om een andere aanpak, een andere vorm.

Het is noodzakelijk om een debatvorm te kiezen die recht doet aan de samenleving op dit moment en die zo veel mogelijk vrij is van dogma-

tiek. Eventuele dogmatici zouden door de vorm van het debat gedwongen moeten worden om met elkaar in gesprek te gaan. De voorzitter zou daarom wellicht iemand moeten zijn die helemaal niet uit het vakgebied komt. Andere suggesties zijn het betrekken van sociologen, politici, ethici of bestuurskundigen. Het is ook mogelijk het debat te laten trekken door kunstenaars als Wim T. Schippers of Freek de Jonge. Het is ook zeker noodzakelijk om jongeren en vrouwen bij het debat te betrekken, een debat in driedelig grijs is minder zinvol. Denk ook aan andere onconventionele partijen, zoals de kerken in België, die zich recent hebben uitgesproken over kernenergie.

Verdieping

Er zijn geen technische of kennisbelemmeringen die een debat op dit moment in de weg staan.

Interview Kees Daey Ouwens, Technische Universiteit Eindhoven

(Interview 24 juni 2003, akkoord verslag 16 juli 2003)

Functie

Kees Daey Ouwens is hoogleraar Technologie voor Duurzame Ontwikkeling aan de TU Eindhoven, werkt verder voor ECN en Shell en is betrokken bij diverse adviescommissies op het gebied van duurzame energievoorziening. Eerder deed hij als vaste-stoffysicus onderzoek naar zonnecellen en raakte als zodanig betrokken bij de discussie over kernenergie en mogelijke alternatieven. Hij was als projectleider betrokken bij de Brede Maatschappelijke Discussie (BMD) over kernenergie begin jaren tachtig.

Ontwikkelingen

De belangrijkste maatschappelijke discussiepunten rondom kernenergie zijn sinds de jaren zeventig en tachtig niet veranderd, wel zijn de accenten telkens verlegd. De belangrijkste argumenten van destijds tegen kernenergie zijn nog steeds geldig en zelfs versterkt: er zijn alternatieven beschikbaar, de kans op ongelukken is nog steeds aanwezig en het afvalprobleem is nog steeds niet opgelost.

De voorspellingen van de anti-kernenergiebeweging van destijds zijn allemaal uitgekomen: de kans op ongelukken met kerncentrales werd in het beginstadium heel laag ingeschat. Toch zijn er in Three Mile Island en Tsjernobyl grote ongelukken gebeurd. Er is ook nog steeds geen definitieve oplossing voor opslag van kernafval. Zweden is weliswaar begonnen met ondergrondse opslag, maar overal elders is de opslag nog steeds bovengronds en tijdelijk. Ook wordt steeds duidelijker dat er voldoende alternatieven voor kernenergie zijn.

Proliferatie van kernsplijtingmateriaal is niet te voorkomen, ook niet door de IAEA. Terrorisme evenmin, maar zolang het nog niet gebeurd is, zal de mogelijkheid hiervan ontkend worden. Onlangs was in de krant te lezen dat in Rusland een nucleaire installatie was aangetroffen zonder personeel en dat in Tsjetsjenië handel in zwaar radioactief materiaal is ontstaan. De gevolgen van het terrorisme dat hierdoor mogelijk wordt, bijvoorbeeld met een vuile cesiumbom in een grote stad, zouden heel ernstig zijn.

Standpunt

Kernenergie is geen goede optie voor een duurzame energievoorziening. Kerncentrales zouden zo snel mogelijk moeten sluiten.

Sluiting van Borssele zou in Nederland geen enkel nadelig gevolg hebben voor de voorzieningszekerheid, maar sluiting van kerncentrales in heel Europa op korte termijn is niet mogelijk zonder consequenties voor die voorzieningszekerheid. WEC en Shell-scenario's houden overigens al wel rekening met een kernenergievrije wereld in 2050.

In Nederland zullen er de komende tien jaar waarschijnlijk geen nieuwe kerncentrales gebouwd worden. De geliberaliseerde energiemarkt maakt het ook onwaarschijnlijk dat er in de toekomst veel investeerders in kerncentrales zullen komen. Onder meer de vereiste hoge veiligheid als bescherming tegen terrorisme en de grote onzekerheden rondom kernenergie maken grote investeringen in kerncentrales onaanvaardbaar voor investeerders. In de VS is er al sinds 1979 geen aanbesteding meer geweest voor een nieuwe centrale.

De geliberaliseerde energiemarkt heeft ook gevolgen voor import van elektriciteit uit kernenergie. Deze is hierdoor lastiger tegen te houden, maar EU-regelgeving laat dit nog wel toe. Voorwaarde daarbij is dat eventuele regelgeving niet discriminerend is tussen het eigen land en andere EU-lidstaten.

De bijdrage van kernenergie aan het halen van de Kyoto-doelen is twijfelachtig op het moment dat er gebruikgemaakt zal moeten worden van uraniumarme ertsen. CO₂-beperking is ook op veel andere manieren te bereiken, bijvoorbeeld door een zuiniger gebruik van energie. Dat laatste zou veel ethischer zijn dan het gebruik van kernenergie.

Als je alle kosten toerekent, is kernenergie duurder dan steenkool.

Discussie

De discussie over kernenergie loopt nog steeds, maar is heel anders dan vroeger. Destijds werd kernenergie gezien als dé onontkoombare en veelbelovende optie voor de toekomst, ook al omdat volgens de verwachting toen de fossiele bronnen in het jaar 2000 op zouden zijn. De weerstand tegen kernenergie paste destijds ook in de tijdgeest van

het zich afzetten tegen het establishment. De milieudiscussie liep hier parallel aan. De PPR was bijvoorbeeld alleen al tegen kernenergie vanwege de grootschaligheid. Ook het verzet tegen een 'politiestaat', die nodig is voor de grootschalige inzet van kernenergie, speelde hierbij een rol.

Op dit moment is het voor voor- en tegenstanders van kernenergie duidelijk dat er keuzemogelijkheden bestaan. De discussie over kernenergie loopt nog wel, maar staat maatschappelijk niet meer op de voorgrond. Een nieuw debat is daarom maar beperkt zinvol. In ieder geval moet voorkomen worden dat de bekende standpunten door dezelfde mensen als vroeger worden herhaald. Wel is het nodig dat er deskundigen bij betrokken zijn, anders wordt de discussie te weinig onderbouwd.

Als er een nieuw debat plaats gaat vinden, zou dat moeten gaan over het functioneren van (energie)technologieën in de samenleving en de gevolgen van keuzes hierin voor kosten, milieu, beleid en sociale acceptatie. Maar de uitkomsten van een dergelijk maatschappelijk debat zijn voorspelbaar: als hoogste prioriteit zal hierin worden gekozen voor energiebesparing, vervolgens voor duurzame bronnen en schone fossiele bronnen (aardgas). Bovendien zal een 'nee' tegen kernenergie worden uitgesproken en een voorkeur voor decentrale energiebronnen.

Om een eventueel nieuw debat te laten aarden, is het belangrijk dat er een emotie aan gekoppeld kan worden, bijvoorbeeld door aan te sluiten bij actuele ontwikkelingen. Opties zijn Kyoto, de relatie van de energievoorziening met ontwikkelingslanden of voorzieningszekerheid. Werkgelegenheid is in Nederland op dit moment nog geen issue, maar in de toekomst zal dit wel het geval worden. Ook het terughalen van het radioactieve afval in Nederland dit najaar kan een actuele aanleiding zijn voor een debat.

Verdieping

Een kennisvraag rondom kernenergie die nog uitgezocht moet worden, is het energetisch rendement in de kernenergiecyclus bij uraniumertsen met lage concentraties. Ook de invloed van straling op DNA is interessant. Hierover is recent nieuw onderzoek gedaan. Voor een discussie zou in ieder geval een overzicht van de state of the art rondom alle aspecten van kernenergie gegeven moeten worden.

Interview Paul te Riele, Urenco

(Interview 17 juli 2003, akkoord verslag 31 juli 2003)

Functie

Paul te Riele is algemeen directeur van Urenco Nederland. Duitsland en Engeland zijn als andere landen betrokken bij het Urenco-consortium. Urenco heeft als hoofdactiviteit het verrijken van uranium met behulp van het ultracentrifugeproces. De daarvoor benodigde ultracentrifuges zijn door Urenco zelf ontworpen en worden in huis geproduceerd. Daarnaast produceert Urenco isotopen voor medische en industriële toepassingen en producten voor de luchtvaartindustrie.

Ontwikkelingen

Urenco is sterk aan het groeien op de competitieve markt voor verrijking van uranium. Levering van producten gebeurt wereldwijd, en een verdubbeling van het huidige marktaandeel in de komende jaren ligt binnen handbereik.

De belangrijkste concurrenten van Urenco zitten in de Verenigde Staten, Frankrijk en Rusland. Terwijl voor kernenergie in het algemeen geldt dat de groei met name plaatsvindt in het Verre Oosten en de EU en dat in de VS het marktaandeel constant is, geldt voor Urenco dat de grootste groei plaatsvindt in de VS. Reden voor de groei juist daar is dat het ultracentrifugeproces van Urenco het proces van de concurrentie daar aan het verdringen is. Dit komt omdat het ultracentrifugeproces goedkoper is dan de diffusietechnologie van de concurrentie, en Urenco inmiddels een goede naam heeft opgebouwd.

Standpunt

De wereldwijde vraag naar energie stijgt sterk, vooral in het Verre Oosten. Op den duur zal aan die vraag niet meer voldaan kunnen worden met fossiele brandstoffen. Als de vraag groter wordt, zal bovendien de prijs van fossiele brandstoffen toenemen, wat weer in het voordeel van kernenergie zal zijn. Daarbij komen de problemen met het voldoen aan de Kyoto-doelen, waarmee de meeste geïndustrialiseerde landen worstelen. Je kunt het je daarom niet veroorloven om kernenergie buiten het palet van mogelijkheden voor de toekomst te laten.

Kernenergie heeft het nadeel van een hoge begininvestering, waardoor investeerders in een geliberaliseerde energiemarkt in eerste instantie geneigd zullen zijn gas te kiezen als energiebron. Maar op termijn zal deze huidige trend overruled worden door het brandstofvraagstuk, waardoor een politieke keuze vóór kernenergie op termijn weer noodzakelijk zal worden.

In het Verre Oosten zie je een dergelijke keuze voor uitbreiding nu al. In de VS geeft Bush kernenergie weer een plaats. Europa is op dit moment

nog conservatief hierin, maar dat zal veranderen. Ook in Nederland denkt men genuanceerder over kernenergie dan vermoed. Informele meningen van politieke gesprekspartners van Te Riele wijken soms af van hun formele mening.

Technisch is het nu mogelijk om intrinsiek veilige kerncentrales te bouwen. Nieuwe centrales die nu gebouwd worden, zijn dat ook. Bestaande centrales zijn nog niet intrinsiek veilig, maar voldoen wel aan heel hoge veiligheidseisen. Gevaren schuilen hooguit in Oost-Europese centrales. Voor de veiligheid van deze centrales dragen we allemaal de verantwoording.

Voor beantwoording van de afvalvraag heb je een breder kader nodig. Eerst komt de energievraag, vervolgens de vraag wat je moet doen met de afvalstoffen. De hoeveelheid afval bij kernenergie is heel klein en door transmutatie is de periode dat het afval gevaarlijk blijft, te verminderen. Dat moet je afzetten tegen voor- en nadelen van andere energieopties. Het maakt daarbij niet uit of het afval bovengronds of ondergronds wordt opgeslagen. Van belang is met name de terugneembaarheid, zodat het afval als er door onderzoek nieuwe opties ter beschikking komen, weer verwerkt kan worden.

Met het oog op proliferatie en terrorisme is het een maatschappelijke taak om voorzichtig om te gaan met de technologie voor het verrijken van uranium, en met verrijkt uranium. Het voorkomen daarvan is uiteraard verreweg te prefereren boven ingrijpen als het toch plaatsvindt.

Discussie

Niemand durft op dit moment kernenergie op de agenda te zetten, daarvoor is het onderwerp te 'verpolitiekt'. Maar voor echte doorbraken in de kernenergie discussie heb je politieke wil nodig en leiders die stelling nemen.

Een nieuw debat is alleen zinvol als mensen hiervoor openstaan. Daarbij moet je niet met de belangenvertegenwoordigers gaan praten, maar juist met neutrale mensen. Die moeten wel goed zijn voorgelicht. De voor- en nadelen van kernenergie moeten in een eventueel debat afgezet worden tegen die van andere opties.

Verdieping

Te Riele ziet geen specifiek deelgebied rondom kernenergie waarover nadere kennis noodzakelijk is om een eventueel debat te kunnen voeren.

Interview Peer de Rijk, WISE

(Interview 26 juni 2003, akkoord verslag 18 juli 2003)

Functie

Peer de Rijk is campaigner/coördinator bij WISE (World Information Service on Energy). WISE is in 1978 opgericht om tegen het gebruik van kernenergie te lobbyen. Het is een internationaal netwerk met een relatief kleine omvang. De (hoofd)vestiging in Amsterdam bestaat uit 5 medewerkers.

Doel van de organisatie is de ondersteuning van lokale groepen bij de strijd tegen kernenergie. Wereldwijd zijn er zo'n 1.000 groepen actief. De ondersteuning bestaat uit twee hoofdcomponenten: het regelmatig uitbrengen van een blad over ontwikkelingen op het gebied van kernenergie en het internationaal bouwen/vergroten van het netwerk tussen de lokale groepen.

De laatste jaren was WISE vooral bezig met de situatie van kernenergie in het buitenland, maar sinds 2002 is WISE weer actief bezig met de situatie in Nederland. Aanleiding hiervan is dat de voor 2004 geplande sluiting van de centrale van Borssele officieel uitgesteld werd. Bovendien leefde er enkele jaren bij WISE het gevoel dat de grote milieubewegingen in Nederland niet meer zo veel aandacht besteedden aan het onderwerp kernenergie.

WISE richt zich alleen op kernenergie. Uitwerking van alternatieve scenario's, zoals de waterstofeconomie, is geen kerntaak van WISE.

Ontwikkelingen

In het verleden heeft WISE vooral het accent gelegd op gevaren van kernenergie en het gebrek aan ervaring met het omgaan met risico's. Daarbij hoorde ook de problematiek van de verwerking/verwijdering van het radioactieve afval.

In de laatste tien jaren werden er nauwelijks nieuwe kerncentrales gebouwd en men dacht bij WISE dat kernenergie wel uitgeschakeld was. De kernenergiesector heeft echter geleerd van tekortschietende PR-acties in het verleden en veel communicatieve vaardigheden opgedaan. Daardoor hebben ze de klimaatdiscussie zodanig kunnen gebruiken dat kernenergie weer onder de 'interessante energie opwekkingstechnieken' is komen te staan. WISE erkent dat kernenergie inderdaad per kWh elektriciteit relatief weinig CO₂ uitstoot, ten opzichte van fossiele energiedragers als kolen en olie, maar het is zeker geen 'CO₂-neutrale' opwekkingstechniek.

WISE richt zich tegenwoordig vooral op de kosten van kernenergie. Volgens WISE worden de kosten van kernenergie meestal op een oneerlijke manier gepresenteerd. Dit gebeurt om de volgende redenen:

- De kernenergiesector wordt vanaf het begin zwaar gesubsidieerd. De subsidies worden vrijwel altijd meegenomen in de kostenberekeningen, maar dit wordt niet expliciet vermeld. De kosten die worden gepresenteerd, zijn niet de werkelijke kosten, maar de effectieve kosten voor de industrie.
- Het verzekerde bedrag van kernenergiecentrales ligt ver onder de werkelijke schadekosten die worden gegenereerd in geval van een ongeluk. De schadekosten die boven dit verzekerde bedrag zouden uitkomen, moeten vervolgens door de Staat worden gedekt. De onzekerheden bij de inschatting van deze kosten verklaart de grote spreiding die in de literatuur over de kosten van kernenergie te vinden is.
- Er is geen algemeen aanvaarde methodiek voor het meenemen van externe kosten in analyses. De sociale kosten die gepaard gaan met bijvoorbeeld de eventuele verplaatsing van de lokale bevolking in nieuwe ontginningsgebieden of de milieukosten van de mijnbouw worden vrijwel nooit opgenomen in de totale kosten van kernenergie. Andere externe kosten worden soms wel, soms niet meegenomen, waardoor de spreiding in kostenschattingen nog weer groter wordt.
- Door de zeer lange termijn van opslag (duizenden jaren!) zijn de exacte kosten van opslag en vervolgens berging uitermate moeilijk scherp te bepalen. Naar verwachting zijn ze echter fors onderschat, onder meer omdat de termijn waarmee gerekend wordt, substantieel korter is dan de vervaltijd.
- Door een gebrek aan ervaring zijn de kosten voor de ontmanteling van kerncentrales niet goed bekend. Wereldwijd zijn er maar 3 tot 4 voorbeelden geweest van de daadwerkelijke ontmanteling van een commercieel opererende centrale met een substantieel vermogen en een productietijd van betekenis. De kosten hiervoor bleken elke keer veel hoger uit te komen dan berekend (in de orde van honderden keren hoger).

Behalve de kosten wordt bij WISE steeds benadrukt dat concrete plannen voor de toepassing van de allang beloofde veilige nieuwe technieken voor productie/opslag nog steeds niet klaar zijn, terwijl kerncentrales ondertussen wel draaien.

Standpunt

Standpunt van WISE is dat de opwekking van elektriciteit met kerncentrales zo snel mogelijk gestopt moet worden. Onder geen enkele voorwaarde is kernenergie aanvaardbaar. Daar worden de volgende argumenten voor naar voren gebracht:

- Al 30 jaar wordt door de kernenergiesector beweerd dat de reactoren steeds veiliger worden, dat nieuwe technieken beschikbaar zijn voor veilige opslag van radioactief afval en voor de berging daarvan. Van concrete uitvoering van deze nieuwe veilige technieken is echter al 30 jaar niets te zien, terwijl er wel heel veel aan onderzoek

wordt gedaan. Het probleem van de veilige opwekking en afvalbehandeling bij elektriciteitsproductie uit uranium blijkt dus niet oplosbaar te zijn. Daarom moet er nu een verstandig eind aan komen, zodat de inspanningen op nuttige, kansrijke technieken kunnen worden gericht.

- De redenering van de Nederlandse overheid dat, aangezien Nederland deze energie uit het buitenland importeert, het even goed binnenlands geproduceerd kan worden, is wat WISE betreft niet steekhoudend. In de vrije energiemarkt is er juist de mogelijkheid om ook bij import expliciet wel of niet voor kernenergie te kiezen.
- De werkelijke kosten van kernenergie worden nu langzamerhand in kaart gebracht. Het beeld ontstaat dat kernenergie een zeer kostbare techniek is, vergeleken met mogelijke alternatieven voor de opwekking van elektriciteit. Het valt daarom te verwachten dat in een werkelijk vrije markt, dat wil zeggen waarin geen enkele energiebron gesubsidieerd wordt, kernenergie niet zou overleven. Of liberalisering van de markt ook de beste manier is – wat betreft bijvoorbeeld milieu – om van kernenergie af te komen, laat WISE hierbij in het midden.

Discussie

Het is zeer teleurstellend dat er zo weinig vooruitgang is geboekt bij de erkenning van het feit dat er rond kernenergie een aantal toch min of meer objectief vast te stellen problemen zijn die niet opgelost zijn en ook niet opgelost lijken te worden. Het is ook teleurstellend dat je daarmee voortdurend oude stellingen betreft die weer verdedigd moeten worden.

Een discussie over kernenergie is mogelijk ('laat maar komen'), en natuurlijk is er het intrinsieke gevaar dat kernenergie dan weer bespreekbaar wordt als een van de mogelijke energieopties voor de toekomst. WISE ziet dat debat met vertrouwen tegemoet, op voorwaarde dat er sprake is van enigszins gelijke kansen op inbreng en participatie. WISE ziet het als haar maatschappelijke rol om te blijven wijzen op de gevaren van kernenergie en wil hierover geen compromissen sluiten. De rol van een debat zou moeten zijn meer helderheid te verschaffen (kennis te verspreiden) over kernenergie. Daarbij moet vooral aandacht worden besteed aan de kosten ervan.

Verdieping

Mocht er een debat over kernenergie komen, dan is het vooral van belang om te kijken naar de kosten hiervan ten opzichte van andere opties. Er is een algemeen erkende methodiek nodig om de maatschappelijke kosten van kernenergie te berekenen.

Interview Ronald Steur, IAEA

(Interview 8 juli 2003, akkoord verslag 11 juli 2003)

Functie

Ronald Steur is voor drie jaar vanuit het ministerie van EZ gedetacheerd bij de IAEA in Wenen. Hiervan heeft hij nu twee jaar voltooid. Steur is bij de IAEA betrokken bij INPRO (International Project for Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles). Hierin worden lange-termijnreizen voor de ontwikkeling en bijdrage van kernenergie aan een duurzame energievoorziening geformuleerd. Eerder was hij hoofd van de afdeling Kernenergie en Kolen bij EZ.

Ontwikkelingen

Opvallend aan de toegestuurde vragenlijst is dat deze erg op Nederland is georiënteerd, terwijl energiebeleid meer en meer een Europese aangelegenheid is. Individuele landen binnen de EU kunnen nog beslissen of ze kernenergie al dan niet binnen hun grenzen willen toelaten, maar verder zijn de Europese marktverhoudingen en de EU-regelgeving steeds meer bepalend.

Stagnatie in de groei van kernenergie wordt in Europa voornamelijk bepaald door onvoldoende concurrentievermogen van een investering in nieuwe nucleaire capaciteit. Pas in de tweede plaats door maatschappelijke weerstand. Indien de concurrentiepositie van kernenergie verandert en door investeerders in elektriciteitsproductie als een reële optie wordt gezien, is een discussie over kernenergie weer zinvol. Dan zullen ook politici er voor willen gaan. De maatschappelijke weerstand zal zich zeker ook dan manifesteren en nieuwe oplossingen voor afval en nieuwe veiligheidsconcepten zullen moeten worden gerealiseerd.

Er zijn voorlopig geen investeerders in de EU die nieuwe kerncentrales willen bouwen. Uitzondering is Finland, waar de papierindustrie de drijvende kracht is achter de nieuw te bouwen kerncentrale. In andere landen zijn er geen industriële vragers die aandringen op kernenergie. Nadeel van een kerncentrale in een geliberaliseerde markt is immers dat je de investeringen over een periode van dertig jaar moet afschrijven, terwijl dat bij een gascentrale maar een jaar of vijf is. In de huidige, zich sterk wijzigende marktverhoudingen, is er geen basis voor lange-termijninvesteringen. Dat geldt net zo goed voor de 'love baby' van de nucleaire gemeenschap, de Pebble Bed Reactor.

Op termijn kan kernenergie toch weer terugkomen als optie, met name door de toenemende energievraag. Een vraag die zich overigens meer dominant in ontwikkelingslanden zal manifesteren. Daarbij kan kernenergie ook de basis vormen voor een toekomstige waterstofeconomie. Als kernenergie weer in beeld komt, zal dat in twee rondes gaan. Allereerst is het noodzakelijk dat overheden verregaande CO₂-maatregelen willen treffen en hiervoor verschillende scenario's opstellen.

Kernenergie zal een van de opties in deze scenario's moeten zijn. Deze scenario's moeten in de maatschappij bediscussieerd worden, en op basis daarvan moeten keuzes gemaakt worden. Als kernenergie dan als optie uit de bus komt, moeten er vervolgens investeerders bereid zijn om te bouwen, en moeten er vragers zijn die de elektriciteit willen afnemen. Via de vergunningverlening kun je dan als overheid tot slot weer eisen stellen aan de performance van centrales.

Standpunt

Kernenergie is een optie voor de toekomst die nader ontwikkeld moet worden. De rol van Nederland daarin zal beperkt zijn. Binnen Europa is een consolidatie van onderzoekscapaciteit en industriële capaciteit gaande, waarin uiteindelijk een verdeling van activiteiten over Europa zal ontstaan. De bestaande Nederlandse capaciteit zal zich eventueel op een niche moeten richten of aansluiting moeten zoeken bij een groter geheel.

Rijke landen moeten daarbij een hightech-ontwikkeling als kernenergie voor hun rekening nemen. Mochten hieruit in de toekomst veelbelovende concepten voortkomen, zoals een schakelbare, zelfvoorzienende 'nucleaire batterij', dan moeten ook ontwikkelingslanden hiervan kunnen profiteren.

Discussie

Een nieuwe discussie over kernenergie in Nederland wordt met name actueel als er een vrager is die een dergelijke centrale wil gaan neerzetten. Dat is op dit moment niet het geval. Bovendien zullen politici hun vingers hieraan zeker niet willen branden als dat niet nodig is.

Een eventuele discussie zou het liefst op Europees niveau gevoerd moeten worden. Nederland zou de huidige initiatieven voor Europese regelgeving inzake veiligheid en afval bij kernenergie moeten steunen. De discussie moet niet uitsluitend gevoerd worden vanuit de 'Republiek der Kerngeleerden' (verwijzing naar een beschrijving van de geschiedenis van RCN/ECN 1962-1984 door C.D. Andriess). In het verleden, in de situatie van de publieke sector en onvoldoende concurrentie op de nationale markten, werd de elektriciteitsproductie, inclusief de nucleaire optie overwegend vanuit de technische aanbods-kant gestuurd.

Discussie zou in de volgende fasen moeten plaatsvinden:

- 1 Discussie over langere-termijnenergievoorziening aan de hand van scenario's. Gebeurt in feite nu al parallel aan de klimaatconferenties.
- 2 Maken van keuzes.
- 3 Implementeren van keuzes: in de situatie dat de nucleaire optie komt boven drijven, wordt het proces van vergunningverlening en voorwaarden van belang. Dan moet er een acceptabele oplossing voor afval en veiligheid zijn.

4 Transparantie bij operatie van kerncentrales, afval, transport, kosten et cetera.

Verdieping

Er is voldoende technische kennis aanwezig om een eventuele discussie over kernenergie te kunnen voeren. Het zou nuttig kunnen zijn als vooral in fase 1 van een eventuele discussie alternatieve energievoorzieningsconcepten op een gelijkwaardige wijze naast elkaar worden gezet, zodat een reële keuze mogelijk wordt. Internationale consequenties, bijvoorbeeld versnelde uitputting van de (goedkope) fossiele brandstoffen door rijke landen, zouden ook een rol moeten spelen bij de keuze. Het is daarbij duidelijk dat dit probleem niet binnen de Nederlandse omgeving kan worden opgelost.

Interview Derek Taylor, EC

(Interview 14 juli 2003, akkoord verslag 22 juli 2003)

Function

Derek Taylor is head of the unit 'Nuclear Energy, Waste Management and Transport' of directorate Nuclear Safety and Security (DG TREN). The unit deals with economic and social aspects of nuclear energy, as well as radioactive-waste management, decommission of nuclear facilities and transport of radioactive materials.

Developments

Major changes have taken place, firstly, in public opinion and, secondly, in the actual role of nuclear energy.

The view of the public was dramatically influenced by the Tsjernobyl accident, but is slowly becoming more accepting of nuclear energy again, as there have been no major accidents since then. At present, the major problem in the view of the public is probably the radioactive waste.

The actual role of NE has also changed. Already even before the accident in Harrisburg (1979) increasing costs of investment were making NE less attractive as an energy source. After the accident, even greater investments were needed due to increased safety regulations and as a result NE was becoming economically less attractive. At the same time, gas was becoming more economically viable. With shorter return times and lower up-front investment costs, gas was at least on a short-term basis more cost effective. At present, the situation is changing partly due concerns about the greenhouse effect and the Kyoto protocol. Also it turns out that existing nuclear plants have considerably longer lifetimes than had been expected, some by 50% longer. In fact, some plants in the USA have now been licensed to operate for up to 60 years – and this may even be extended further. Such plants are now produc-

ing some of the cheapest electricity available as their fuel and other operating costs are often less – even very significantly less – than fossil fuel plants.

Some new reactor (such as the 'Pebble Bed' reactor) are of a modular design. In other words they are smaller than most of the current generation of reactor. Because these units are quicker to build and their individual cost is much less than that of large reactor, the level of initial investment is less and can be recovered quicker. This more than offsets the benefits of scale that in recent years have been in favour of the larger plants. Being smaller in capacity than the present light water reactors, the new generation of plants can match more precisely the requirements of different grid systems. There is no need to build more capacity than is required at any one time. This is a great advantage in an open market. In addition, these reactor designs are intrinsically safer. All this makes nuclear energy an increasingly attractive option from the economic point of view.

Of course, apart from the above, security of supply plays a major role in the discussions. Well over 50% of European fossil fuels are imported, mostly from politically less usable regions. Even if uranium has to be imported as well – European sources are now too expensive – it comes from more a wide diversity of suppliers, including many in politically stable countries and a relatively small amount may last a long time. At present, about 35% of the EU electricity mix is nuclear energy.

Renewable energy is generally too expensive. The public indicates that they are not prepared to pay extra for energy from sustainable sources (from the Eurobarometer survey) and besides there is often opposition to some renewable energy sources – wind parks, for instance. Policy goals on renewable energy have rarely, if ever, been met, because no government is prepared to put in the very substantial necessary investments.

Hydrogen does have potential as an important energy source. This in fact may also impact of the future of NE, as nuclear may provide one of the best, if not the best way to produce hydrogen, without producing carbon dioxide.

Position on nuclear energy

In the medium to longer term there does not appear to be any serious alternative to NE, especially if Kyoto is taken seriously. Gas prices will start and, possibly even worse, fluctuate. Most renewable energy sources also suffer from high and/or fluctuating costs for producing electricity. Stable electricity prices can best be guaranteed by an important nuclear energy contribution to the supply mix. The question of being in favour or against nuclear energy is rather like being in favour or against the motor car. There are costs as well as benefits associated

with the use of a car. But people will continue to use them until a cleaner, safer – and cheaper – transport option becomes available. The situation is the same for nuclear energy. As soon as a cheaper, safer and cleaner alternative can be found – which also gives security of supply – then nuclear energy may no longer be required.

Radioactive waste is clearly an issue for the Public, but new EU Directives – that will require each Member State to have a well-defined programme for all its waste, including its disposal – should be an important step in addressing this issue. Some Dutch reservations about underground storage and, eventual disposal in salt deposits may be exaggerated. The rate of movement of such deposits is usually very slow, so the waste packages would not be expected to move any significant distances and they could, if it was decided that it was advantageous to do so, be recovered (retrieved). A lot of studies have been made of disposal in salt, especially in Germany and the USA. The first geological repository for long-lived waste is already operating in salt deposits in the USA.

The threats posed by terrorism to nuclear facilities have generally been exaggerated. Most plants are very robust and, the material in them well safeguard to avoid any risk of proliferation. As a result, it is close to impossible to cause any important release of the radioactive material or to remove such material for use in terrorist weapons. The material that has been separated during reprocessing is more attractive – and far easier to handle – than things like spent fuel elements but this is kept in very secure locations under very strict safeguards, so its diversion for illegal uses is not possible.

Discussion

A rational debate is urgently needed on the future role of nuclear energy. Informing the public about the various costs and benefits is a major problem. Because of the secrecy that surrounded the industry in the past, it is now not trusted in most Member States. The media have been mostly negative, although this is turning around, and politically the topic is considered too sensitive to be properly addressed. High-level waste is definitely an important problem, but finding sites for (underground) disposal has proved difficult in many areas, primarily because of public opposition and the ‘not in my back yard’ (NIMBY) syndrome.

Germany has a very site for a repository that has been well researched and developed. This could have been the first high-level waste repository in Europe. But then the German Environment Minister, Mr. Trittin, called it to a halt and required another review of the different options. The recently completed study again came out in favour of geological disposal for German waste, but the siting process must also be repeated. Yet, other forms of hazardous waste, even from abroad, are being dis-

posed of underground in Germany without any Public protest – or even apparent interest.

The total amount of radioactive waste produced in the EU each year is 40,000 m³, only around 500 m³ of this is high level waste. It should be remembered that while it is highly dangerous if not properly managed, the high-level radioactive waste does decay away over time – while other hazardous waste remain a threat for ever, and the quantities of radioactive waste are very much smaller (by several orders of magnitude).

Unfortunately, as long as politicians will not be prepared to take part in objective – rather than polarised – discussions, it will be very hard to have a rational debate.

Depth in background

All the necessary knowledge and information about the costs and benefits of the nuclear option is already available. Spreading it around is what is needed, but getting the public involved is hard, as they have a low level of interest in the subject. Only concrete plans – for new plants or siting disposal sites – tend to provoke responses and debates. This, of course, is also true for many new industrial complexes or waste disposal sites.

Interview Gert van Uitert, ministerie van Economische Zaken

(Interview 1 juli 2003, akkoord verslag 17 juli 2003)

Functie

Gert van Uitert is beleidsmedewerker bij de afdeling Energiestrategie en Verbruik. Een gedeelte van zijn werktijd besteedt hij, samen met enkele andere medewerkers van EZ, aan het onderwerp kernenergie. Hij vertegenwoordigt EZ op dit gebied onder meer in een adviescomité van de EU en in het Nuclear Development Comité van de Nuclear Energy Agency van de OECD.

Nieuwe ontwikkelingen

Er zijn op verschillende vlakken nieuwe ontwikkelingen. Onder meer worden de risico's van kernenergie steeds kleiner. De kosten om die risico's telkens meer te reduceren, nemen toe. Dat leidt ertoe dat de meer passief veilige kerncentrales in het voordeel zijn. Op termijn zullen er inherent veilige kerncentrales worden gebouwd. Deze zijn in ontwikkeling.

Ook op afvalgebied zie je veranderingen. Door afval weer in de reactor te brengen, kun je de hoeveelheid afval al verminderen. In België zijn er plannen voor de bouw van een soort reactor ofwel AD-systeem, waar-

mee het laatste restje afval onschadelijk kan worden gemaakt. Hoewel het afvalprobleem nog lang niet is opgelost, lijkt een oplossing binnen 20 tot 30 jaar wel in zicht. Het kernafval kan zonder problemen gedurende die tijd (en desnoods nog veel langer) worden opgeslagen. Van belang is dat er een redelijke zekerheid komt over het punt of, in hoeverre en tegen welke kosten het kernafvalprobleem op te lossen is. De oplossing van het probleem heeft echter geen haast.

De ontwikkelingen moet je bezien binnen de veranderende politieke context in de wereld, het gevoel dat de wereld kwetsbaarder wordt voor terreur en trends als liberalisering. De 'dash for gas' door liberalisering zal op termijn niet houdbaar blijken, want gas wordt op een gegeven moment schaars en zal daardoor duurder worden. Op dat moment is kernenergie een beschikbaar alternatief.

Standpunt

Het EZ-standpunt over kernenergie op dit moment wordt weergegeven in de Derde Energienota uit 1995: 'Een no-regretbeleid, gericht op in stand houden van nucleaire kennis, voor toezicht op, en later ontmanteling van bestaande centrales, voor het oplossen van de afvalproblematiek en doeltreffende reacties op eventuele ongelukken in het buitenland. Daarbij staat participatie in internationale onderzoeksprojecten centraal, zodat – mochten er in de toekomst in Nederland nieuwe kerncentrales worden gebouwd – Nederland een reële gesprekspartner is. Naar verwachting speelt kernfusie geen rol tot 2050.'

Er zijn wel verschillende voordelen van kernenergie, die je moet afwegen tegen de nadelen.

Volgens de World Energy Outlook zullen het energiegebruik en de CO₂-uitstoot tot 2030 sterk stijgen. Kernenergie is daarom noodzakelijk voor voorzieningszekerheid in de toekomst: Het is de enige technologie die veel energie kan produceren tegen relatief lage maatschappelijke kosten. Bovendien is kernenergie op ieder moment direct inzetbaar. Ook heeft kernenergie een positieve spin-off voor de Nederlandse economie. Het is een hightech-optie die bijdraagt aan technologische ontwikkeling in Nederland. Kernenergie heeft zeer nuttige medische toepassingen opgeleverd en ook is door kernenergie de risicoanalyse als wetenschap sterk ontwikkeld.

Alternatieven (met name gas) dragen het risico in zich dat ze met name uit politiek instabiele landen komen. Biomassa, als een ander alternatief, heeft het nadeel van een groot oppervlaktebeslag.

Opvallend is ook dat een land zonder kernenergie, zoals Denemarken, per hoofd van de bevolking de hoogste CO₂-uitstoot heeft, terwijl landen mét kernenergie, zoals Zweden en Frankrijk, een veel lagere uitstoot per hoofd van de bevolking hebben. Als in Europa de reductie

van de CO₂-uitstoot prioriteit krijgt, dan zal een keuze tussen CO₂ en radioactief afval onvermijdelijk zijn.

Discussie

Je zou in beeld moeten brengen welke risico's je maatschappelijk aanvaardbaar acht. Maar uit het verleden blijkt dat een dergelijke discussie over risico's niet aanslaat.

De weging van voor- en nadelen van kernenergie is verschillend voor voor- en tegenstanders van kernenergie. Je zou daarom een aantal onafhankelijke mensen bij elkaar moeten zetten, met de pers erbij, en hen laten inzoomen op bijvoorbeeld de drie grootste voor- en nadelen. Daarbij zou je ook de problemen moeten betrekken, die mogelijke alternatieven hebben.

Interview Dick Vos, ministerie van VROM/SNB

(Interview 8 juli 2003, akkoord verslag 11 juli 2003)

Functie

Dick Vos is coördinator nucleaire installaties bij de afdeling Stralings-, Nucleaire- en Bioveiligheid (SNB) van de directie SAS van VROM. De doelstelling van SNB is bescherming van de bevolking tegen mogelijke risico's. Sinds kort valt ook het beveiligen van voorraden en transporten van radioactieve stoffen onder VROM. Werk aan kernenergie is verdeeld tussen VROM en EZ op basis van 'protect' en 'promote'. Veiligheid voor arbeiders in installaties valt onder SZ.

Ontwikkelingen

Van oudsher zijn er drie grote onderwerpen waar de discussie over kernenergie om draait: veiligheid van installaties, proliferatie en afvalberging. Wat betreft het eerste zijn grote stappen voorwaarts gemaakt en dit onderwerp speelt nu dan ook minder een rol dan vroeger. Ook vanuit de milieubeweging wordt hier minder over gepraat. Zowel technisch als in de zin van 'veiligheidscultuur' is veel verbeterd in centrales. Bijvoorbeeld de Probabilistic Safety Analyses, toegepast op installaties en bedrijfsvoering, hebben hieraan bijgedragen. Een mogelijke zorg is dat bij verdergaande liberalisering op personeel en onderhoud, en dus op veiligheid, zal worden bespaard.

Over proliferatie lijken volgens Dick Vos minder zorgen te bestaan. Zoals gezegd valt dit probleem ('safeguards') pas sinds kort onder VROM. Daarnaast is er ook een sterk internationaal aspect. Daardoor is dit dus ook iets voor BuZa. Bij proliferatie wordt meestal gedacht aan het opgewerkte materiaal waarmee 'echte' atoombommen gemaakt kunnen worden. Maar een grotere dreiging vormen misschien juist wel andere radioactieve afvalstoffen waarmee 'vuile bommen' gemaakt kunnen worden, die weliswaar minder dodelijk zijn, maar waar toch

een grote psychologische dreiging van uit kan gaan. Beter toezicht op dit soort bronnen zou gewenst zijn. Met de passief veilige reactoren, waarvoor materiaal niet hoeft te worden opgewerkt, zal het probleem van proliferatie (echte atoomwapens) vanzelf minder worden.

Afvalberging is nog steeds hét grote punt, met name vanuit de milieubeweging. De vraag is of het kernafval in vergelijking met sommige andere afvalstromen wel zo erg is. Niet alleen gaat het om relatief weinig materiaal, óók is al van oudsher veel aandacht besteed aan het plannen en uitvoeren van nazorg. Partijen die afval afleveren bij de bergingslocatie, betalen vanaf het begin al voor mogelijke ondergrondse berging over ongeveer 100 jaar. In die tijd kan onderzoek gedaan worden naar de optimale bergingsmethode. De conceptrichtlijn van de EC maakt veel meer haast dan haalbaar is en de uiteindelijke richtlijn zal waarschijnlijk een stuk afgezwakt zijn. Nederland zou graag zien dat in deze richtlijn de mogelijkheid wordt opgehouden om afval buiten eigen grond op te slaan. Ten eerste kan het efficiënter zijn om met andere landen samen te opereren, ten tweede moet opslag wellicht in dunbevolkte regio's gebeuren en die zijn er niet in Nederland. Voor de zoutlagen die in NL geschikt zijn voor ondergrondse opslag, is overigens de in het NL-beleid geformuleerde terugneembaarheidseis ook moeilijker voor de lange termijn te realiseren (terugneembaarheid is nu overigens geen voorwaarde in de EC-richtlijn).

Nieuwe ontwikkeling in de afvalverwerking is 'transmutatie', waarbij het zwaarste afval wordt opgebroken in elementen met kortere halfwaardetijd. Voorlopig lijkt dit nog geen haalbare techniek.

Standpunt

Kernenergie heeft voordelen als energietechniek. Mits binnen strikte veiligheidsrandvoorwaarden is er geen probleem deze bron in te zetten. In het kader van de liberalisering moet meer aandacht besteed worden aan de gevolgen voor veiligheid. Niet alleen directe besparingen op personeel en onderhoud zouden gevolgen kunnen hebben, maar ook het feit dat de oudste centrales het goedkoopst en daardoor meest competitief zijn.

Daarnaast is ook meer toezicht op grotere radioactieve bronnen die als 'vuile bom' zouden kunnen worden gebruikt, wenselijk.

Terrorismegevaar valt mede onder SNB, maar informatie hierover is vertrouwelijk. Het gevaar ligt niet alleen in de vraag of de installaties bestand zijn tegen aanslagen en hoeveel doden een aanslag tot gevolg zou hebben. Een vliegtuig op een vol strand is in die zin even erg. Daarnaast trekt een centrale een aanslag wellicht ook eerder aan. Nieuwe installaties zijn hier in ieder geval op gebouwd (ook opslag, HABOG bij COVRA).

Discussie

In een eventueel nieuw debat zou over de risico's gediscussieerd moeten worden. Zijn de gevolgen van een eventuele ramp – kans is nooit nul – te groot voor Nederland? Moet Nederland dan kerncentrales elders (dunner bevolkt) stimuleren? Ook over afvalverwerking zou moeten worden gesproken, bijvoorbeeld over het al of niet opwerken van kernafval, waar nog andere aspecten meespelen (proliferatie). Moeten we kiezen voor passief veilige (bolletjes)reactoren waarvoor opwerken niet meer nodig is? Dit ook omdat de toepassingen voor opgewerkt afval in de praktijk minimaal zijn.

Andere belangrijke thema's zouden broeikaseffect, diversificatie en onafhankelijkheid kunnen zijn, maar dit is meer vanuit EZ.

Er moet aandacht worden besteed aan meer gebalanceerde voorlichting. De politiek wil zich niet branden aan kernenergie en voorlichting wordt dus op een laag pitje (nul) gehouden. Mede hierdoor krijgt de consument voornamelijk voorlichting van de tegenstanders te horen.

Verdieping

Een onderwerp rond kernenergie dat meer kennis behoeft, of ten minste meer verspreiding van kennis en een opener discussie, is de risicoanalyse en bijbehorende kosten-batenanalyse van maatregelen. Bijvoorbeeld naar aanleiding van de RIVM-studie 'Nuchter omgaan met risico's'. Op dit moment is stralingsbescherming wellicht buitenproportioneel duur. Er wordt veel geld aan besteed omdat niemand de discussie aan wil gaan, terwijl in andere sectoren goedkopere maatregelen die meer levens kunnen sparen, niet genomen worden.

Interview Peter Wilmer, NEA

(Interview 1 juli 2003, akkoord verslag 18 juli 2003)

Function

The NEA is an independent but integral part of the OECD. Since 1958 it has brought together countries that have an interest in nuclear energy. The member countries are not necessarily protagonists of nuclear energy. The agency deals mainly with technical issues relating to nuclear energy, but PW himself works in the division of Nuclear Development, where development is meant in a strategic and economic sense.

The NEA considers nuclear energy to be one of many options to meet the energy demands of society. Complex choices have to be made. The issues that are involved in discussions on nuclear energy are on the one-hand general energy issues and on the other specific nuclear issues.

Developments

Several developments have an effect on nuclear energy for Europe as a whole. They involve general energy-related issues as well as issues that are specific for nuclear energy itself.

General energy-related issues

Energy is at present freely available and affordable in EU. Gas and oil demand is rising and so is the number of member states, however, the indigenous supply of fossil fuels within EU is not large:

- *Dependency.* If fossil fuels are to remain the main source of energy, an increasing (too great) dependency on imports should be expected.
- *Security.* An expected growth in demand from developing countries, due to increasing populations and standards of living, will create more competition for EU on the international fossil fuel markets and thus a less secure interest.
- *Renewables.* Are a very attractive prospect but currently contribute only a very small fraction of energy supply and future capacity is uncertain. They are generally more expensive than nuclear energy and (some) are, by nature, intermittent sources.
- *Kyoto.* The targets set in the Kyoto Protocol will – in general – not be reached by energy efficiency measures alone. If the Protocol is going to be ratified, additional measures will be necessary. Calls for further reductions in greenhouse gas emissions are probable in the post Kyoto period i.e. after 2008/12.
- *Electricity Market Deregulation.* The market for gas has always been fairly open, but that for electricity is particularly complex and major changes can be expected.
- *Price stability.* Shortage of certain energy sources (water, a.o.) may cause price fluctuations; deployment of capital intensive technologies (such as nuclear and wind) or the diversification of sources would have a stabilising effect.

Security of supply issues and environmental concerns are the main arguments for expecting the continued use of nuclear energy in the near and medium-term electricity mix in the EU.

Specific nuclear-related issues

Tsjernobyl (1986) was an extremely serious accident, which led to operator practices being improved, standardized and reviewed internationally. The IAEA has developed an audit system of operations. However, there are still accidents and evasion of safety-related tests, which are well reported in the press.

Overall, the risks attaching to nuclear energy have to be understood and perceived in relation to those of other human activities and natural phenomena in order to make a judgement of their acceptability to society.

Other countries

It is useful to consider what other countries are doing. Japan and Korea, similar to EU countries in the sense of having high energy demand and little own supply, are heavily relying on nuclear energy. Some European countries are taking a similar approach e.g. France but others are rejecting the technology e.g. Germany and Belgium. The USA do have access to a reasonably large local (internal and Canada) supplies of fossil fuels but still support nuclear energy. They are actively looking at technical implementations; working with a 'BAT' for plants up to 2010 and internationally on a 'best available concept' for innovation beyond 2010 up to 2030 (Generation IV International Forum). They have also recently designated a dedicated nuclear waste site for the geological disposal of irradiated nuclear fuel.

If other countries, also outside Europe and USA, go ahead on nuclear energy, should we accept future reliance on their capabilities alone? This may again increase dependency on imports.

Know-how

Several countries want to 'keep their options open'. To keep options really open, skills and knowledge have to be kept up. Nuclear energy demands strong intellectual infrastructure and, thus, well-trained people. Currently, no new plants have been built anywhere in EU for many years. Lack of relevant experience might become a problem. On the other hand, existing plants operate significantly more efficiently (an improvement of 30% in the USA between 1990 and 2000) than previously and some have recently been licensed for a longer life time than originally planned (up to 60 years currently). Expertise in running the plants safely is sufficient at present.

Waste disposal

Waste disposal is contentious. Opponents of nuclear energy see it as an intractable problem. Experts express confidence about safe geological disposal and point to the amount of high-level radioactive nuclear waste being small and not overly difficult to store properly and safely for a century. The motivation of the EC to implement underground storage of nuclear waste should be addressed to Brussels. Waste is one of the main issues influencing public opinion of nuclear energy. Industry feels pressured to find an acceptable solution for high-level waste.

Geological disposal should be pursued in the light of the principles of sustainable development, taking into account all its societal, environmental and economical dimensions.

Terrorism and proliferation

The NEA is not an expert on these topics; terrorism is usually considered a 'national security' issue. However, nuclear power plants are inher-

ently robust structures. Recent research (Paul Scherrer Institute, Switzerland) has recently published a report substantiating this viewpoint. Proliferation is largely a political question; production of nuclear materials and dissemination of much of the technology is probably already advanced; countries or organisations that want to obtain material and expertise to develop nuclear weapons do so, with or without the existence of new nuclear energy plants.

Position on nuclear energy

The NEA considers nuclear energy as one of the options. It is a technical solution, to the problems of the security and adequacy of energy supplies and to the problem of greenhouse gas emissions. It may be interesting to reconsider this in terms of a cultural perspective. The USA are pursuing technical development of nuclear energy, in parallel with the market approach, as an element of its overall energy and environmental policies. However, the Kyoto protocol seeks to exclude nuclear technologies from its flexibility mechanisms. Is this a cultural perspective that should be investigated?

Discussion

To the extent that the Netherlands share the above-mentioned characteristics of expected European developments, as expected to be the case, a renewed debate on the use of nuclear energy may well be very appropriate.

Depth in background

Nuclear competencies are largely built on human knowledge and know-how. The latter are ageing and reducing as time moves on. It is not an urgent worry for today but it is an important issue for tomorrow. If we will need nuclear energy in the future, we will need to retain the infrastructure.

Interview Sible Schöne, WWF

(Interview 28 augustus 2003, akkoord 9 september 2003)

Functie

Sible Schöne is hoofd programma Klimaat van WWF Nederland.

Ontwikkelingen

De discussie rond kernenergie is eigenlijk niet zo veel veranderd in de laatste decennia. De drie hoofdproblemen zijn nog steeds:

- veiligheid: de ontwikkelingen op dit gebied zijn veel trager dan wordt voorgesteld;
- afval: afval dat langer dan 100 jaar gevaarlijk blijft, is niet acceptabel, want op langere termijn zijn de gevolgen simpelweg niet te overzien;

- proliferatie: dit punt zou vaker naar voren moeten komen als discussiepunt.

Daadwerkelijke liberalisering van de markt zou het einde van kernenergie betekenen, omdat investeringen niet rendabel zijn. Het echte probleem is dat de liberalisering samen gaat met zware subsidiëring van bestaande kerncentrales (bijvoorbeeld in Frankrijk), waardoor een bedrijf als EDF een van de grote winnaars van de liberalisering kan worden. De opvatting dat in een vrije markt een grotere kans zou bestaan op problemen rond proliferatie, wordt door Schöne niet gedeeld; dit zou door regelgeving moeten kunnen worden aangepakt.

WWF ziet klimaatverandering als een zeer ernstig probleem. Kernenergie zou een rol kunnen spelen in de elektriciteitssector, maar dat is precies de sector waarin ook andere alternatieven bestaan, zoals elektriciteitsbesparing. Kernenergie biedt geen oplossing voor andere sectoren zoals industrie, transport en ruimteverwarming. WWF legt de nadruk bij besparing en duurzaam, maar ziet als aanvullende optie voor de aanpak van het klimaatprobleem CO_2 -opslag in combinatie met aardgas.

Standpunt

In een 'position paper' (mei 2003) geeft het WWF aan dat kernenergie op termijn geheel uit de energiemix moet verdwijnen, om in 2080 tot een aandeel van 100 procent van 'new renewables' te komen. Het WWF ziet kernenergie niet als een mogelijke schone energiebron en wijst erop dat ook binnen de regels van het Kyoto-protocol voor DM en JI geen plaats is voor kernenergie. Kernenergie is geen duurzame energiebron, omdat er in de hele keten zeer toxische stoffen vrijkomen die duizenden jaren in de biosfeer zullen blijven. Bovendien ziet WWF dat er nog geen oplossing is voor het probleem van veilige opslag van afval.

Daarnaast blijven kerncentrales een risico vormen en is kernenergie ook economisch gezien niet in het voordeel. Investeringen kunnen beter naar projecten gaan, waarin de energie-efficiëntie wordt verbeterd of onderzoek wordt gedaan naar hernieuwbare bronnen, die veel lagere preventiekosten voor CO_2 -uitstoot kunnen geven. Investeringen in kerntechnologie leveren geen impuls tot energiebesparingen.

Verdere nadelen:

- geen decentralisatie van energieopwekking;
- beperkte (algemene) werkgelegenheid;
- gevaar gebruik voor militaire toepassingen;
- geen warmtelevering, alleen elektriciteit.

Hoewel kernenergie wellicht een lagere specifieke CO_2 -uitstoot heeft dan traditionele bronnen, is de totale milieu-impact hoger. Daarom is

inzet van kernenergie geen oplossing voor het klimaatprobleem. Op korte termijn is het echter realistisch om bestaande kerncentrales open te houden voor de duur van hun technische levensduur. In het document 'Power Switch' (april 2003) werkt het WWF met scenario's voor 2020, waarin nog kernenergie in de mix voorkomt.

Als de drie problemen – afval, veiligheid en proliferatie – zijn opgelost, is kernenergie voor WWF acceptabel. Daarvoor moet aan de hand van objectieve (milieu)criteria gedemonstreerd worden dat ze daadwerkelijk opgelost zijn. Zo zouden dan voor afval de halfwaardetijden van alle materialen zo moeten kunnen worden teruggebracht (bijvoorbeeld via transmutatie) dat het afval na 100 jaar niet meer gevaarlijk is.

Discussie en verdieping

WWF zou een kernenergie-debat op dit moment liever niet zien plaatsvinden. Er zijn tal van complexe onderwerpen die eerst aan bod zouden moeten komen. Het zou bijvoorbeeld veel wezenlijker zijn om een klimaatdebat te houden, ook in de zin van informatieverspreiding. Daarbij zou dan, indien van toepassing, ook over kernenergie gesproken kunnen worden, ter vergelijking met andere bronnen.

Oplossingen als CO₂-opslag moeten eerst grondig onderzocht, besproken en beoordeeld worden. Als dit geen mogelijkheid blijkt, kan kernenergie altijd nog ter tafel komen.

Interview Tim van der Hagen, Interfacultair Reactorinstituut, TU Delft

(Interview 16 december 2003, akkoord verslag 22 december)

Functie

Tim van der Hagen is hoogleraar reactorfysica aan het Interfaculty Reactor Institute (IRI), onderdeel van de TU Delft. Het onderzoek van de groep reactorfysica richt zich op innovatieve reactorconcepten, met name kokend-waterreactoren, gasgekoelde hoge-temperatuurreactoren en versnellergedreven reactoren.

Ontwikkelingen

Als je kijkt naar typen reactoren is een heel belangrijke ontwikkeling die op dit moment gaande is, het zoeken naar passieve mogelijkheden voor veiligheid bij het ontwerp van nieuwe reactoren. De vierde-generatiekerncentrales, waarnaar nu onderzoek wordt gedaan, moeten volledig 'passief' of 'inherent' veilig zijn. Beide termen worden vaak door elkaar gebruikt.

Een andere belangrijke ontwikkeling in de laatste decennia is een mentaliteitsverandering bij de kernenergie-industrie. Duurzaamheid en openheid zijn van groot belang geworden voor de industrie. Daarbij

hoort ook het erkennen van fouten die in het verleden gemaakt zijn. Vroeger dacht men in kernenergie een oplossing te hebben waarvan het nut alleen nog aan het publiek uitgelegd moest worden. Nu wordt kernenergie gezien als een bijdrage in de oplossing van een toekomstig, groot mondiaal probleem: de energievoorziening. Tegenwoordig is er niemand meer die zomaar voor kernenergie is.

Uitgangspunt voor de kernenergie-industrie nu is het maatschappelijke probleem om ook in de toekomst te voldoen aan de stijgende energievraag. Het is wenselijk om aan die vraag te voldoen op een manier die de mens en zijn leefomgeving respecteert. Dat kan alleen als kernenergie deel uitmaakt van de energiemix. De nadelen van kernenergie, zoals de productie van radioactief afval, dienen daarbij te worden afgewogen tegen een grondstofuitputting, energietekorten of een milieuverandering.

Als kernenergie een bijdrage zal leveren aan de energievoorziening op de lange termijn, dan moet dat wel op een zo goed mogelijke manier. Onder meer moet er, als er geen maatschappelijk draagvlak is voor langdurige opslag ondergronds, een oplossing gevonden worden voor het afval.

Zorgvuldigheid is een derde belangrijke ontwikkeling op het gebied van kernenergie. De fouten die in de jaren zeventig gemaakt zijn, zullen nu niet meer gemaakt worden.

Standpunt

Kernenergie is een technologie die in de toekomst een bijdrage kan leveren aan het voldoen aan de energievraag. Of kernenergie daarbij een duurzame technologie voor de lange termijn kan zijn, hangt af van de ontwikkelingen binnen de kernenergiewereld, maar ook van mogelijke doorbraken elders.

Nederland zal voorlopig niet voor kernenergie kiezen, tenzij er een grote black-out in de elektriciteitsvoorziening komt. De Nederlandse politiek is op het gebied van kernenergie vooral een volger. Met een relatief klein aandeel van 4 procent kernenergie (eigen productie) nemen we een uitzonderingspositie in. Op termijn is een politieke ommezwaai mogelijk.

Op Europees niveau is een gemeenschappelijk beleid wat betreft typen reactoren en afvalverwerking en -opslag nodig. Het is jammer dat het 'nuclear package' dat er op Europees niveau lag, er niet gekomen is, want dat was een goede stap voorwaarts geweest. Elders in de wereld zal met name Azië doorgaan met de verdere ontwikkeling van kernenergie. De westerse wereld zal die markt voorzien van reactoren.

Discussie

Een discussie over kernenergie is zinvol. Je moet op de hoogte blijven van ontwikkelingen, en openstaan voor elkaars argumenten. Het vergelijken van verschillende opties voor de energievoorziening is daarbij van groot belang.

Interview Wim Turkenburg, Natuurwetenschap en Samenleving, Universiteit Utrecht

(Interview 17 december 2003, akkoord verslag 5 februari 2004)

Functie

Wim Turkenburg is hoogleraar Natuurwetenschap en Samenleving aan de Universiteit Utrecht met als speciaal aandachtsgebied Energie en Milieu. Tevens is hij wetenschappelijk directeur van het Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling en Innovatie van de Universiteit Utrecht en van het Utrecht Centrum voor Energieonderzoek. Daarnaast is hij lid van de VROM Raad.

Nieuwe ontwikkelingen

Er hebben op het gebied van kernenergie zowel extern als intern belangrijke veranderingen plaatsgevonden. Extern is vooral de liberalisering van de energiesector van belang. Hierdoor is de structuur van de besluitvorming over kernenergie veranderd. Ondernemers zijn nu degenen die de beslissing voor de bouw van een nieuwe kerncentrale nemen. Bovendien is de concurrentiepositie van kernenergie hierdoor verslechterd. Als kernenergie in de toekomst een rol wil kunnen spelen, moeten de investeringskosten met ten minste een factor twee omlaag.

Een andere externe ontwikkeling is dat klimaatverandering een belangrijk politiek onderwerp is geworden. Echter, anders dan vroeger werd gedacht, kan fossiele brandstof gebruikt blijven worden als je de vrijkomende CO₂ afvangt, comprimeert en ondergronds opslaat. Dit lijkt een kansrijke optie. De vraag is dan in hoeverre kernenergie nodig is om een bijdrage te leveren aan het voorkomen van broeikasgasemissies.

Als je kijkt naar sector-interne ontwikkelingen, dan zie je dat er op dit moment wereldwijd weinig nieuwe kerncentrales worden gebouwd. Verwachting is dat het aantal fabrikanten nog zal teruglopen, want de winstmarges zijn heel klein. Ook zie je dat er bij bedrijven weinig onderzoek naar nieuwe concepten gedaan wordt. Vernieuwing in de sector gebeurt vooral door overheidsprogramma's. Hoewel de budgetten voor onderzoek en ontwikkeling de laatste jaren zijn gehalveerd, zie je dat kernenergieonderzoek wereldwijd (splijting en fusie) toch nog 40 tot 50 procent van de totale publieke onderzoeksmiddelen op het gebied van energie krijgt. In Nederland is dit aanzienlijk minder.

Er wordt op dit moment met de onderzoeksbudgetten vanuit de overheid vooral gezocht naar mogelijkheden om door technologische vernieuwing de publieke acceptatie van kernenergie te verbeteren. Veiliger centrales als de Pebble Bed Reactor en onderzoek naar mogelijkheden voor energieopwekking met versnellers zijn interessante ontwikkelingen op dit gebied.

Ook mogelijkheden voor de aanpak van kernafval door het uitbranden van transuranen, waarmee de radioactieve levensduur van het afval verkort kan worden tot zo'n 300 tot 600 jaar, vormen een belangrijk onderzoeksgebied op dit moment. Er zijn nog veel vragen over dat uitbranden. Onder andere over de mate waarin uitbranden mogelijk is, of alle producten dan een korte halfwaardetijd hebben, of je de veiligheidsproblemen niet vergroot door het afval hierdoor voor de korte termijn veel radioactiever te maken en over de kosten van uitbranden.

De verwachting is dat Borssele zolang blijft draaien als dat economisch verantwoord is en zolang men blijft voldoen aan alle geldende normen. Op korte termijn zullen er geen nieuwe centrales in Nederland gebouwd worden, omdat die te duur zijn en omdat dat een grote maatschappelijke weerstand zou oproepen. In Europa zal het aandeel kernenergie op termijn afnemen, tenzij kernenergie goedkoper wordt. Wereldwijd zal het aandeel kernenergie op korte termijn min of meer constant blijven of licht afnemen, maar wat er op lange termijn zal gebeuren, is nog volstrekt onduidelijk.

Standpunt

In het debat over kernenergie is het van belang na te denken over de criteria waaraan kernenergie moet voldoen om een bijdrage te kunnen leveren aan een duurzame energievoorziening. Wanneer die normen zijn opgesteld, is het aan de kernenergie-industrie om aan te tonen dat zij daaraan kan voldoen. Als er vervolgens aan die normen voldaan wordt, is er geen reden meer om kernenergie niet toe te passen.

Bij die normen zou een levensduur van 300 tot 600 jaar van het radioactieve kernafval voor mij acceptabel zijn. Reactoren moeten bovendien inherent veilig zijn. De huidige technieken voldoen hier nog niet aan, maar ik sluit niet uit dat het in de toekomst wel mogelijk zal zijn om hieraan te voldoen. De Pebble Bed Reactor, maar ook meer aandacht voor Thorium als brandstof, kunnen hieraan mogelijk een bijdrage leveren.

Het grootste probleem voor kernenergie in de toekomst ligt in proliferatie en terrorisme. Zeker als je bedenkt dat voor een serieuze bijdrage van kernenergie aan de oplossing van het klimaatprobleem een toename van het wereldwijd opgestelde vermogen met een factor tien nodig zou zijn. Daarnaast heeft het vraagstuk van publieke acceptatie aandacht nodig. De overheid moet niet meer zoals vroeger uitgaan

van een positie waarin de rol van kernenergie vanzelfsprekend wordt geacht en men alleen door alles goed uit te leggen publieke acceptatie verwacht. Veel meer moet men gerechtvaardigde zorgen uit de samenleving vertalen in randvoorwaarden waaraan het gebruik van kernenergie moet voldoen, wil het in de toekomst nog kunnen worden toegepast.

Discussie

In de discussie over kernenergie is het goed om meer zicht te hebben op nieuwe trends en de potenties hiervan. Vervolgens kan worden gekeken naar de eventuele nieuwe openingen die deze trends bieden. Daarvoor is het nodig om randvoorwaarden te formuleren waaronder kernenergie aanvaardbaar kan zijn. In eerste instantie zou vooral de milieubeweging dergelijke randvoorwaarden moeten formuleren.

Interview Benno Wiersma, directeur Sunergy

(Aanvullend interview met potentiële investeerder in kernenergie, 16 oktober 2003)

Sunergy houdt zich bezig met projectontwikkeling op verschillende terreinen, waaronder zonne- en kernenergie. Zonnecellen worden pas over een jaar of tien tot vijftien in beperkte mate commercieel interessant. Gezien de huidige bevolkingsgroei wereldwijd en de toename in de energievraag, verwacht ik echter dat er al binnen tien jaar een schaarste aan energie in Europa zal zijn. Kernenergie kan dan een oplossing bieden.

Op dit moment zijn wij bezig samen met NRG, IRI, Urenco en een aantal internationale financiële instellingen om een uitgewerkt plan voor de bouw van een kleine Pebble Bed Centrale te maken. In 2008 moet die 'roadmap' klaar zijn. Daarna kan er binnen negen maanden bouwtijd een centrale van rond de 10 MW neergezet worden, die vervolgens modulair uit te breiden is.

Als het gaat volgens de roadmap, zou ik VROM over een jaar of twee om een vergunning voor het neerzetten van een kleinschalige kerncentrale willen vragen. Maar ook zou ik me goed voor kunnen stellen dat we in China of India een centrale neerzetten.

Vragenlijst kernenergieproject

1 De organisatie (missie/doel/leden/product(en)/financiering/relatie met kernenergie) en functie gesprekspartner.

2 Sinds de kernenergie discussie in de jaren 70 en 80 (en BMD) is er het nodige veranderd. Wat zijn volgens u de belangrijkste ontwikkelingen die van invloed zijn op de ontwikkeling van kernenergie? Onder andere:

- liberalisering energiemarkt (onder andere wie investeert? ontmantelingsfondsen vs level playing field?);
- nieuwe passief veilige reactortypes;
- nieuwe oplossingen voor berging;
- proliferatie vs. huidige veiligheidssituatie;
- Kyoto-afspraken.

3 Wat is het standpunt van uw organisatie over kernenergie in het algemeen, en ten aanzien van:

- oplossingen voor het Nederlandse kernafval (onder andere opslag: conceptrichtlijn EU, CORA-rapport, opwerken: Ospar);
- het behouden van nationale kennis / onderzoek op het gebied van kernenergie (onder andere exportkennis);
- de import van kernstroom uit het buitenland;
- het sluiten dan wel openhouden van de kerncentrale Borssele;
- de wenselijkheid van nieuwe kerncentrales in Nederland;
- alternatieven voor kernenergie.

4 In hoeverre hebben de nieuwe ontwikkelingen rondom kernenergie invloed (gehad) op het standpunt van uw organisatie ten aanzien van kernenergie?

5 Wat zijn de belangrijkste argumenten die het standpunt van uw organisatie ten aanzien van kernenergie ondersteunen?

6 Wat is uw antwoord op argumenten van 'de andere kant', voor-/tegenstanders, namelijk:

Voor	Tegen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ bijdrage oplossing klimaatproblematiek ▪ bijdrage oplossing voor uitputting fossiele brandstoffen ▪ draagt bij aan voorzieningszekerheid ▪ nodig voor medische toepassingen ▪ is goedkoop (onder andere nieuwe vs. oude centrales, level playing field) ▪ anders 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ risico kernramp ▪ doelwit terrorisme ▪ proliferatie materiaal kernwapens ▪ nog geen oplossing voor kernafval ▪ anders

7 Welke punten zouden in een maatschappelijke of politieke discussie over kernenergie op dit moment naar uw mening in ieder geval aan de orde moeten komen?

8 Over welke zaken zou feitelijke informatie ter tafel moeten komen, omdat de feiten in de discussie te weinig tot hun recht komen?

9 Welke partijen (nationaal, internationaal) zijn in ieder geval van belang om te betrekken bij de kernenergie discussie?

Bijlage 2

Gebruikte afkortingen

ADS	Accelerator Driven System
AGR	Advanced Gas Cooled Reactor
BMD	Brede Maatschappelijke Discussie
BuZa	Ministerie van Buitenlandse Zaken
BWR	Boiling Water Reactor
CANDU	Canadian Deuterium Uraniumreactor
CDM	Clean Development Mechanism
CNNC	China National Nuclear Corporation
CORA	Commissie Opberging Radioactief Afval
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval
EDF	Electricite de France (Frans elektriciteitsbedrijf)
EPR	European Pressurised Water Reactor
EPRI	Electric Power Research Institute
EPZ	Energieproductiebedrijf Zeeland (de exploitant van de kerncentrale Borssele)
ESPOO	Verdrag over grensoverschrijdende milieu-effecten
EZ	Ministerie van Economische Zaken
FBR	Fast Breeder Reactor
GCR	Gas Cooled Reactor
TW(e)	Terawatt elektrisch vermogen (10^{12} Watt)
GW(e),	Gigawatt elektrisch vermogen (10^9 Watt)
MW(e)	Megawatt elektrisch vermogen (10^6 Watt)
HABOG	Hoogradioactief Afval Behandeling Gebouw
HLW	High Level Waste
HTGR	High Temperature Gas Cooled Reactor
INPRO	International Project for Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRI	Interfaculty Reactor Institute van de Universiteit Delft
IAEA	International Atomic Energy Agency
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor (nog te bouwen nieuwe kernfusiereactor)
JI	Joint Implementation
KFD	Kernfysische Dienst
KSA	Kernsplitsingsafval
kWh	Kilowattuur
LCA	Levenscyclusanalyse
LEU	Low Enriched Uranium
LLW	Low Level Waste
LUT	Lappeenranta University of Technology
LWR	Licht-water-reactor

MER	Milieu Effect Rapportage
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MLW	Medium Level Waste
MOX	Mixed Oxide
NEA	Nuclear Energy Agency
NGO	Non-Governmental Organisation
NIMBY	Not in my back yard
NPV	Non-Proliferatieverdrag
OESO	Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling
PBMR	Pebble Bed Modular Reactor
PKB	Planologische Kernbeslissing
PVO, TVO	Finse organisatie, aandeelhouder van het Finse energiebedrijf TVO dat een nieuwe kerncentrale gaat bouwen
PWR	Pressurised Water Reactor
RBMK	Graphite Moderated Reactor
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
SNB	Afdeling Straling, Nucleaire- en Bioveiligheid van het ministerie van VROM
SZW	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
UF6	Uraniumhexafluoride
UNDP	United Nations Development Programme
UN-DESA	United Nations Department of Economic and Social Affairs
VROM	Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
VVER	Russische variant van de Pressurised Water Reactor
WAKO	Wet aansprakelijkheid kernongevallen
WEA	World Energy Assessment
WEC	World Energy Council
WISE	World Information Service on Energy
Wm	Wet milieubeheer
WNA	World Nuclear Association
WWF	World Wildlife Fund (Wereldnatuurfonds)

Noten

- 1 Zie paragraaf 2.3: de kernenergiecyclus.
- 2 Natuurlijk uranium bestaat voor 0,7 procent uit het splijtbare U-235 en voor 99,3 procent uit het niet-splijtbare U-238.
- 3 Argentinië, Brazilië, Bulgarije, Canada, China, Duitsland, India, Zuid-Korea, Pakistan, Rusland, Spanje, Nederland, Zwitserland, Turkije en de Europese Commissie.
- 4 Argentinië, Brazilië, Canada, Zuid-Korea, Zwitserland, Frankrijk, Japan, Engeland, Zuid-Afrika.
- 5 Recent onderzoek geeft volgens Van der Hagen (*persoonlijke communicatie*, 2004) aan dat de veiligheid van Accelerator Driven Systems niet groter is dan die van andere huidige reactoren.
- 6 De samenstelling van het plutonium dat zit in splijstofstaven van een RMBK en een LWR, verschilt aanzienlijk. In een (civiele) Russische RMBK is het percentage Pu-239 geschikt voor kernwapens, aanzienlijk hoger dan dat voor een LWR (Turkenburg, *persoonlijke communicatie*).
- 7 Dit is omstreden. Om de bestaande meningsverschillen tussen verschillende partijen weer te geven, zou hier 'doorgaans' toegevoegd moeten worden.
- 8 Storm van Leeuwen en Smith geven aan dat hun studie zich onder meer onderscheidt van andere studies door stappen in de processen die in de toekomst plaatsvinden vollediger mee te nemen dan andere studies. Of dit inderdaad het geval is, kon in de context van het beperkte onderzoek in deze studie niet in detail worden onderzocht.
- 9 Privé-communicatie R. Ybema (ECN); het Optiedocument wordt in het najaar van 2004 verwacht.
- 10 Van drie door het CPB ontwikkelde scenario's (Global Competition, European Co-ordination, Divided Europe) voorspelt het GC-scenario de hoogste CO₂-uitstoot voor 2020.
- 11 Begin 2004 zijn de verdragen van Parijs en Brussel aangepast. De aansprakelijkheid van een exploitant loopt nu tot € 700 miljoen. Daarbovenop is de nationale overheid aansprakelijk tot een extra bedrag van € 500 miljoen, en mocht de schade nog groter zijn, dan zijn de verdragstaten gezamenlijk ook nog aansprakelijk voor een aanvullende € 300 miljoen (www.nea.fr/html/general/press/2004/2004-01.html).
- 12 België, Duitsland, Frankrijk, Engeland.
- 13 Detailuitwerking voor kerncentrales van het Structuurschema Elektriciteitsvoorziening.
- 14 In Nederlandse wetgeving opgenomen als artikel 7.38a-g van de Wet milieubeheer. ESPOO en MER zijn uitwerkingen van de Europese richtlijnen 97/11/EG en 2001/42/EG.

- 15 Een belangrijk aandeel van TVO is, via aandeelhouder PVO, in handen van grote Finse en Fins-Zweedse papierindustrieën.
- 16 Zie bijvoorbeeld www.fas.org/nuke/guide/china/contractor/cnnc.htm.
- 17 De daadwerkelijke vragen, antwoordcategorieën en antwoorden hadden we hierbij niet tot onze beschikking.
- 18 De antwoorden van de 1.131 ondervraagden zijn 'omgerekend' naar de Nederlandse bevolking.
- 19 De vraag of men vóór kernenergie is omdat het 'onuitputtelijk' is als bron, is – indien in deze vorm gesteld – misleidend, omdat de bron niet onuitputtelijk is. De antwoorden op een dergelijke vraag zouden dus niet betrouwbaar zijn (bron: interview Dancker Daamen).
- 20 Volledige lijst: ARBO, veiligheid chemische processen en transport, veiligheid kerncentrales, beheer en verwerking van radioactief afval, voedselveiligheid, veiligheid van raffinaderijen, veiligheid van olie- en gastransporten, verkeersongevallen, overig, 'weet niet'.
- 21 Deze vraag is, evenals enkele andere, in deze vorm waarschijnlijk enigszins sturend.
- 22 Valt onder OESO.

Adviescommissie

Ir. J.P. (Jan Paul) van Soest (voorzitter)

Directeur Advies voor Duurzaamheid en voorzitter Bezinningsgroep
Energie

Dr. P.A. (Pieter) Boot

Directeur Energie strategie en Verbruik, Ministerie van Economische
Zaken

Dr. J.J.C. (Jos) Bruggink

Unit manager Beleidsstudies, Energie Onderzoekscentrum Nederland
(ECN)

Prof. dr. ir. T.H.J.J. (Tim) van der Hagen

Interfacultair Reactor Instituut, Technische Universiteit Delft

Mr. A. (Anneke) van Limborgh

Hoofd afdeling Straling, Nucleaire en Bioveiligheid, Ministerie van
Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu

Dr. R. (Rianne) Teule

Greenpeace Nederland

Prof. dr. W.C. (Wim) Turkenburg

Vakgroep Natuurwetenschap & Samenleving, Faculteit Scheikunde,
Universiteit van Utrecht

Ir. A.M. (André) Versteegh

Directeur Nucleair Research & Consultancy Group in Petten

Over de auteurs

Olivier Bello is junior projectmedewerker bij CE en was betrokken bij verschillende projecten op het gebied van klimaat, materialen en afval. Hij is afgestudeerd als kernfysicus aan de Universiteit van Grenoble.

Marc Davidson is post-doc aan de Faculteit Wijsbegeerte van de Universiteit van Amsterdam. Eerder werkte hij als senior beleidsmedewerker bij CE aan projecten op het gebied van milieu en economie.

Kirsten van Loo is junior projectmedewerker bij CE. Zij werkte mee aan verschillende projecten op het gebied van energie.

Frans Rooijers is directeur van CE. Eerder was hij hoofd van de sectie energie en als projectleider verantwoordelijk voor een groot aantal projecten op het gebied van klimaat en energie.

Maartje Sevenster is projectmedewerker bij CE. Zij werkt aan projecten op het gebied van energie en gedrag, duurzaam ondernemen en materiaalketens. In 1997 promoveerde zij in de astrofysica aan de Universiteit van Leiden.

Stephan Slingerland is senior projectmedewerker bij CE. Hij werkt aan projecten op het gebied van energie, burger en milieu en beleidsvernieuwing. In 1999 promoveerde hij aan de Universiteit van Amsterdam op een onderzoek naar effecten van liberalisering van de elektriciteitssector op milieubeleid.