

Analyse, inform and activate

LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie

De Laka-bibliotheek

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

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

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

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

The Laka-library

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

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

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

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

Appreciate our work? Feel free to make a small [donation](#). Thank you.



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

Terug via de achterdeur

**Kernenergie als oplossing
voor klimaatverandering?**

Inhoud

1.	Inleiding	5
1.1	Opkomst en ondergang van een illusie	5
1.2	Klimaatverandering als reddingsboei voor kernenergie?	5
2.	Klimaatverandering en kernenergie	6
2.1	Klimaatverandering	6
2.2	Wat zijn de effecten van klimaatverandering?	6
2.3	Klimaatverdragen	7
2.4	Kernenergie en klimaatbeleid	7
3.	Kernenergie en broeikasgasemissies	7
3.1	De bijdrage van elektriciteit aan broeikasgasemissies	7
3.2	Broeikasgasemissies van kernenergieproductie	8
3.3	Hoeveel kerncentrales zouden nodig zijn?	8
3.4	Kernenergie en warmteproductie	9
3.5	Broeikasgasemissies in Frankrijk	10
4.	Uraniumreserves	10
4.1	Hoe groot zijn de uraniumreserves op aarde?	10
4.2	Snelle kweekreactors	10
5.	De economie van kernenergie	11
5.1	Is kernenergie economisch rendabel?	11
5.2	Beperking van broeikasgassen op economisch efficiënte wijze	11
6.	Andere mogelijke energiebronnen	12
6.1	Duurzaam is vooral efficiënt	12
6.2	Kunnen duurzame bronnen in onze huidige behoeften voorzien?	13
6.3	Kosten van duurzame alternatieven	
7.	Nog steeds niet opgelost...	14
7.1	Opslag radioactief afval	14
7.2	Veiligheid	15
7.3	Kernwapenproliferatie en terrorisme	16
7.4	Gezondheid	16
	Conclusies	17
	Appendix	19
	Bronnen	21

1. Inleiding

1.1 Opkomst en ondergang van een illusie

Kernenergie werd bij introductie halverwege de twintigste eeuw aangeprezen als een goedkope en onbeperkte energiebron die zou kunnen voorzien in de snel groeiende mondiale energie-behoefte. In 1954 beloofde Lewis Strauss, toenmalig hoofd van de US Atomic Energy Commission, dat kerncentrales elektriciteit zouden gaan leveren "te goedkoop om te bemeteren". Twintig jaar later, in 1974, voorspelde het International Atomic Energy Agency (IAEA) 4450 reactors van 1.000 Megawatt (MW) in het jaar 2000. Uranium zou snel schaars worden maar snelle kweekreactors zouden kernenergie tot een oneindige bron voor goedkope elektriciteit maken (WWF, 2000).

De huidige situatie is een verre echo van deze vroege voorspellingen. Er zijn momenteel wereldwijd 442 kerncentrales in bedrijf: minder dan 10% van het aantal dat het IAEA dertig jaar geleden voorspelde (Scheer, 2004). Deze centrales voorzien in ongeveer 16% van de wereldwijde elektriciteitsvraag (Slingerland et al, 2004), en slechts in 2,5% van de totale wereldwijde energievraag (WWF, 2000; Hodgson & Maignac, 2001). Eind 2002 was het aantal centrales in aanbouw slechts 32 (Slingerland et al, 2004). Een groot deel daarvan staat al meer dan 15 jaar officieel genoteerd als 'in aanbouw' en zal waarschijnlijk nooit worden afgebouwd. In de Verenigde Staten zijn al meer dan twintig jaar geen nieuwe kerncentrale besteld (ATOM's Amok, 2004).

1.2 Klimaatverandering als reddingsboei voor kernenergie?

De laatste jaren wordt steeds duidelijker dat onze planeet opwarmt door de uitstoot van broeikasgassen als gevolg van menselijke activiteiten. Ongeveer de helft van deze uitstoot komt voor rekening van de energiesector. Om ernstige klimaatrampen te voorkomen zullen we de uitstoot van broeikasgas drastisch moeten verminderen. De mondiale energievraag groeit echter nog steeds alarmerend snel. De *World Energy Outlook* schat dat het wereldwijde energieverbruik in 2030 met 67% zal zijn toegenomen ten opzichte van 2000 (IEA, 2002), en algemeen wordt aangenomen dat de wereldwijde energievraag omstreeks 2050 verdubbeld zal zijn (WNA, 2004a). Het is een van de grootste vraagstukken van onze eeuw hoe aan deze energievraag moet worden voldaan terwijl tegelijkertijd de broeikasgasemissies moeten worden teruggedrongen.

Volgens de kernenergie-industrie is de bouw van heel veel nieuwe kerncentrales de beste manier om broeikasgassen te verminderen. De argumentatie van de industrie wordt samengevat in de volgende uitspraak van de World Energy Council (WEC):

"Kernenergie is van fundamenteel belang voor de meeste WEC-leden omdat het de enige energievoorziening is met een ruim beschikbare en breed verkrijgbare bron (en een onuitputtelijke bron als kweekreactors gebruikt worden), bijna lokaal, die geen broeikasgas uitstoot en goede, of minstens redelijk goede financieel-economische aspecten kent. In feite is het zo dat als klimaatverandering doorzet, kernenergie de enige bestaande energietechnologie is die kolen op grote schaal kan vervangen."
(geciteerd in NEA, 2002)

Met deze argumenten is de nucleaire industrie een forse PR-campagne begonnen. Er worden artikelen geschreven en er verschijnen glossy folders om publiek en beleidsmakers ervan te overtuigen dat kernenergie het antwoord is op het klimaatprobleem. Door de tot op heden falende nucleaire industrie af te schilderen als redder van het milieu probeert men de branche weer nieuw leven in te blazen. De argumenten zijn echter gebaseerd op een aantal onjuiste uitgangspunten. Namelijk dat:

- er bij kernenergie geen broeikasgas vrijkomt
- er genoeg brandstof voorhanden is voor grootschalige elektriciteitsproductie met kernenergie
- kernenergie economisch rendabel is
- er geen levensvatbare alternatieven zijn
- er geen andere grote problemen aan kernenergie verbonden zijn
- de techniek van snelle kweekreactors uiteindelijk van de grond zal komen en als een soort perpetuum mobile voor oneindige brandstof zal zorgen.

In dit rapport worden deze aannames van commentaar voorzien en onderuit gehaald.

In deel 2 van dit rapport beschrijven we eerst de huidige kennis over klimaatverandering, de internationale verdragen om klimaatverandering te verminderen en de rol die de kern-energiesector hierin voor zichzelf ziet. Deel 3 onderzoekt in hoeverre kernenergie kan bijdragen aan de reductie van de uitstoot van broeikasgassen. In deel 4 wordt de stelling weerlegt dat er ruim voldoende brandstof is voor kernsplijting. In deel 5 wordt onderzocht of kernenergie economisch rendabel is. Het verhaal dat er geen alternatief is voor kernenergie wordt onder de loop genomen in deel 6, en deel 7 behandelt een aantal andere aan kernenergie gerelateerde problemen.

2. Klimaatverandering en kernenergie

2.1 Klimaatverandering

Klimaatverandering wordt wereldwijd gezien als het meest urgente mondiale milieuvraagstuk. In 2001 publiceerde het Intergovernmental Panel on Climate Change van de Verenigde Naties (IPCC) hierover zijn meest recente uitgebreide rapport. Het belangrijkste in dit rapport is het steeds overtuigender bewijs dat de huidige snelle opwarming van de aarde direct moet worden toegeschreven aan menselijke activiteit, voornamelijk aan de uitstoot van broeikasgassen bij verbranding van fossiele brandstoffen (olie, kolen en gas).

Broeikasgassen zijn natuurlijke gassen die een deel van de warmte van de zon vasthouden in de onderste atmosfeer, waardoor de aarde verwarmd wordt. Door dit proces is leven op aarde mogelijk: zonder deze gassen in de atmosfeer zou de gemiddelde wereldtemperatuur ongeveer 33° C lager zijn dan nu (Barry & Chorley, 1992). Door menselijke activiteiten neemt de hoeveelheid broeikasgas in de atmosfeer echter toe, waardoor teveel zonnewarmte wordt vastgehouden en de temperatuur mondiaal stijgt.

Daarnaast meldt het IPCC-rapport dat de opwarming van de aarde in de 20^{ste} eeuw waarschijnlijk ook de oorzaak is van de zeespiegelstijging die in deze periode werd vastgesteld (IPCC, 2001a). Door de opwarming van het zeewater neemt het watervolume toe, waardoor het waterpeil stijgt.

2.2 Wat zijn de effecten van klimaatverandering?

In de loop van de geschiedenis heeft de aarde grote schommelingen in gemiddelde temperaturen gekend. De huidige opwarming gaat echter zo snel als in miljoenen jaren niet is voorgekomen. Volgens de berekeningen van het IPCC zal de gemiddelde temperatuur van de aarde stijgen met 1.4 tot 5.8° C, en het zeeniveau met 9 tot 88 cm in 2100, in vergelijking met het niveau van 2000 (IPCC, 2001b). Hoewel zo'n temperatuurstijging van enkele graden niet erg alarmerend klinkt, moet bedacht worden dat het gemiddelde temperatuurverschil tussen de koudste periode van de laatste grote ijstijd en de huidige tijd niet groter is dan ongeveer 5° C (Houghton, 1994). Het probleem is dat ecosystemen en menselijke samenlevingen waarschijnlijk niet in staat zijn om zich zo snel aan zo'n mate van opwarming aan te passen.

Klimaatverandering heeft invloed op vele aspecten van het milieu en de samenleving, onder meer op de menselijke gezondheid, op ecosystemen, op landbouw en watervoorziening, op plaatselijke en mondiale economieën, op het zeespiegelniveau en op extreme weersomstandigheden. Hoewel er enkele positieve effecten verwacht worden (b.v. langer groeiseizoen in sommige gematigde klimaatzones, gunstig voor de landbouw) zullen de negatieve effecten de positieve effecten overheersen, zelfs bij een kleine temperatuurstoename. Hoe hoger de temperatuurstijging, hoe groter de negatieve effecten zullen zijn (IPCC, 2001b; Greenpeace, 2001).

In Europa worden sommige effecten al gevoeld. Een zeespiegelstijging van 0,8 tot 3,0 mm per jaar gedurende de laatste eeuw heeft invloed op waterbeheer en zoetwaterpeil. Toename van extreme weersomstandigheden (langdurige droogte, extreem hevige regen) in de afgelopen 30 jaar veroorzaakt steeds vaker economische schade (EEA, 2004a; VROM, 2004).

2.3 Klimaatverdragen

In 1992 werd de United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) aangenomen: het eerste belangrijke internationale verdrag over klimaatverandering. In het UNFCCC werd overeen gekomen dat de CO₂-concentraties in de atmosfeer gestabiliseerd moeten worden op een dusdanig niveau dat ernstige schade door klimaatverandering wordt voorkomen. Dit moet gebeuren op een termijn dat ecosystemen zich op natuurlijke manier kunnen aanpassen, de voedselproductie niet gehinderd wordt en economieën zich duurzaam kunnen ontwikkelen. Het ontbreken in de Conventie echter aan afdwingbare maatregelen en specifieke verplichtingen (NEA, 2002).

In die leemte werd voorzien met het Verdrag van Kyoto, aangenomen in 1997, dat voortbouwde op de toezeggingen die onder het UNFCCC waren gedaan. In dit Verdrag zijn concrete emissiedoelen vastgelegd voor de meeste ontwikkelde landen, die zich hiermee verplichten tot uitstootvermindering van de zes voornaamste broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O, HFK, PFK en SF₆) met tenminste 5,2% in de periode 2008-2012, in vergelijking met het niveau van 1990. Het Verdrag van Kyoto bevat drie flexibele mechanismen die ontwikkelde landen kunnen gebruiken om hun emissiedoelen te halen: het Clean Development Mechanisme (CDM), Joint Implementation (JI) en emissiehandel (NEA, 2002). Met deze mechanismen kunnen landen of bedrijven emissierechten 'kopen'. Bij de eerste twee mechanismen kan dat door (co-)financiering van emissiebesparende investeringen. Bij CDM wordt geïnvesteerd in landen zonder reductieverplichting (ontwikkelingslanden). Bij JI wordt geïnvesteerd in landen die ook een reductieverplichting hebben, maar veel emissieruimte (in de praktijk Oost-Europa en Rusland). Emissiehandel is een handelssysteem voor CO₂-emissies dat zich op dit moment beperkt tot de EU.

2.4 Kernenergie en klimaatbeleid

Klimaatverandering wordt door velen in de kernenergie-industrie gezien als een breekijzer om de kansen te keren (IEA, 1998). Ritch III (2002) beschreef kernenergie als *"onmisbaar uit milieuoogpunt"* terwijl Hodgson kernenergie beschrijft als *"verreweg de meest effectieve manier om CO₂ emissies te verminderen"* (Hodgson & Maignac, 2001, p.22). Zij gaan er daarbij van uit dat bij kernenergie geen emissie van broeikasgas plaatsvindt en dat het goedkoop is (NEA, 2001).

Kernenergie valt niet onder de drie flexibele mechanismen van het Verdrag van Kyoto. Door de nucleaire industrie wordt echter vooral CDM als potentiële kans gezien om met hulp van overheidsfinanciering de kernenergie-industrie uit te breiden in ontwikkelingslanden (GroenLinks, 2000). Tussen nu en het einde van de eerste verdragsperiode (2008-2012) zal de industrie flink lobbyen om kernenergie onderdeel te maken van de flexibele mechanismen in de tweede verdragsperiode (NEA, 2002). Sommige landen zien een tweede verdragsperiode nu al als kans om fondsen, die bedoeld zijn om klimaatverandering tegen te gaan, beschikbaar te maken voor kernenergie. Het Japanse Ministerie van Economie, Handel en Industrie (MITI) publiceerde in oktober 2004 een rapport over toekomstig klimaatbeleid met als aanbeveling om kernenergie open te stellen voor CDM-financiering (METI, 2004). In november 2004 riep het hoofd van het Klimaatveranderingsbureau van de Italiaanse overheid op om het gebruik van kernenergie in CDM te heroverwegen (Point Carbon, 2004).

In 2002 verklaarde de (toenmalige) EU Commissaris voor Onderzoek Phillippe Busquin dat kernenergie een grote bijdrage kon leveren bij het halen van de Kyotodoelen. In hetzelfde jaar betoogde de belangrijkste wetenschappelijk adviseur van de Britse regering, prof. D. King, met kracht dat Groot-Brittannië nieuwe kerncentrales moest bouwen en verklaarde het radioactief afvalprobleem tot een *"erfenis van het verleden"* (N-Base, 2002). Eerder dat jaar zei de Britse premier Tony Blair dat kernenergie in Groot-Brittannië zeker niet was uitgesloten in de strijd tegen klimaatverandering (WNA, 2004b). Door de groeiende zorg om klimaatverandering dreigt kernenergie op hoog niveau de wind weer mee te krijgen.

3. Kernenergie en broeikasgasemissies

3.1 Het aandeel van elektriciteitsproductie in broeikasgasemissies

Kernenergie zou de oplossing voor het klimaatprobleem zijn omdat het geen broeikasgas oplevert. Zelfs al was dit waar, dan nog zou het klimaatprobleem niet zijn opgelost als de hele wereld

overstapte op kernenergie. De reden daarvan is dat elektriciteitsproductie slechts één van de menselijke activiteiten is die leidt tot een toename van broeikasgas in de atmosfeer. Andere activiteiten waarbij broeikasgassen vrijkomen zijn onder meer transport, verwarming, landbouw, cementproductie en ontbossing. De CO₂ die vrijkomt door elektriciteitsproductie draagt wereldwijd uiteindelijk 9% bij aan de totale door mensen veroorzaakte emissies (IUC, 2201b).

3.2 Broeikasgasemissies van kernenergie

De kerncentrale die elektriciteit produceert stoot geen broeikasgas uit. Voor het totale productieproces van kernenergie (van mijnbouw, uraniumverrijking, het bouwen en ontmantelen van kerncentrales, tot de verwerking en opslag van radioactief afval) zijn echter grote hoeveelheden energie nodig, veel meer dan bij minder complexe productiemethodes van elektriciteit. Veel van deze energie komt uit fossiele brandstoffen, en dat leidt ertoe dat kernenergie een behoorlijke hoeveelheid indirecte broeikasgasemissies veroorzaakt.

Om deze emissies af te zetten tegen de emissies van andere vormen van elektriciteitsproductie moet een vergelijkende levenscyclusanalyse worden gemaakt van verschillende energiedragers. In zo'n levenscyclusanalyse worden de totale emissies van het productieproces opgeteld, en gedeeld door de totale hoeveelheid geproduceerde elektriciteit gedurende de productieve periode van een energiebron. Het resultaat toont de totale broeikasgasemissies per kilowattuur (kWh) elektriciteit.

In het verleden zijn verschillende van deze analyses uitgevoerd voor diverse energiedragers. Een van de meest complete analyses werd uitgevoerd door het Oeko Institut in Duitsland. Deze is gebaseerd op tien jaar onderzoek in het kader van de GEMIS (Global Emission Model for Integrated Systems) database. Onderstaande tabel toont een deel van de resultaten.

Opwekkingsmethode	Broeikasgasemissies (CO ₂ -eq. /kWh)
Wind	20
Waterkracht	33
Kernenergie	35
Gas	Ca. 400
Kolen	Ca. 1000

Tabel 1: Broeikasgasemissies per productiemethode van elektriciteit in Duitsland (Oeko Institut 1997)

Op basis hiervan kan worden vastgesteld dat bij kernenergie ongeveer evenveel broeikasgas vrijkomt als bij elektriciteit uit hernieuwbare bronnen, maar veel minder dan bij fossiele energiebronnen; 12 keer minder dan bij gascentrales en bijna 30 keer minder dan bij steenkoolcentrales. Een groot deel van deze uitstoot vindt plaats tijdens de uraniumwinning, tijdens transporten en bij het verrijkingproces, nodig om de uranium geschikt te maken voor gebruik in de elektriciteitscentrale. De aan ontmanteling gerelateerde uitstoot wordt hierbij waarschijnlijk nog aanzienlijk te laag geschat, omdat in de praktijk blijkt dat dit altijd meer is dan de theoretische aannames.

Diverse andere studies komen tot vergelijkbare emissiedata, waarbij de emissies van kernenergie uitkomen tussen de 30-60 g CO₂-eq.kWh (IAE, 1994 & CRIEPI, 1995). Een recentere studie door Storm van Leeuwen & Smith (2004) komt tot een veel kleiner verschil tussen kernenergie en elektriciteit uit gas. Op basis van hun berekeningen concluderen ze dat bij kernenergie maar drie keer minder broeikasgas vrijkomt dan bij elektriciteit uit moderne gasgestookte centrales. Hun bevindingen zijn er vooral op gebaseerd dat het percentage bruikbaar uranium in het erts dramatisch gaat zakken in de toekomst, en het dus veel meer energie gaat kosten om dezelfde hoeveelheid bruikbaar uranium te winnen. Het is het uraniumpercentage dat de emissies van de nucleaire industrie in hoge mate bepaald. De berekening in tabel 1 is gebaseerd op erts met een uraniumgehalte van 0,1% (Canadian Nuclear, 2002 in Slingerland et.al, 2004).

3.3 Hoeveel kerncentrales zouden nodig zijn?

Stel dat we de CO₂-uitstoot van de publieke energievoorziening (electriciteit en gecombineerde

warmte/elektriciteit) zouden willen verminderen door helemaal in te zetten op kernenergie, zou dat mogelijk zijn? En hoeveel centrales zouden er dan bijgebouwd moeten worden? Makhijani (2002) schat dat er voor een robuuste afname van mondiale CO₂-emissies 2000 grote nieuwe kerncentrales van elk 1000 Megawatt gebouwd zouden moeten worden.

Wij hebben berekend hoeveel nieuwe kerncentrales er in Nederland en in de EU-15 (EU voor de uitbreiding van 2004) nodig zouden zijn om een emissiereductie te bereiken volgens de doelstellingen van het Kyotoverdrag. Het Verdrag bepaald niet in welke sectoren emissies gereduceerd moeten worden, daarom hebben we bij de berekening de aanname gemaakt dat elke sector bijdraagt in verhouding tot zijn huidige aandeel in de totale emissies. Dat betekent dat we er in Nederland, waar de publieke energiesector verantwoordelijk is voor 24% van de totale CO₂-emissies, van zijn uitgegaan dat deze sector 24% van de reductieverplichting op zich neemt. Volgens dezelfde redenering nemen we aan dat in de EU-15, waar de publieke energiesector verantwoordelijk is voor 39% van de uitstoot, in de publieke energievoorziening een emissiereductie van 39% zou moeten plaatsvinden (EarthTrend, 2003).

Als we meenemen dat bij elektriciteitsopwekking met kernenergie sprake is van 35g CO₂-eq./kWh indirecte emissies zouden er in dat geval in Nederland 4 nieuwe middelgrote kerncentrales van 500 Megawatt moeten worden gebouwd, en 72 in de EU-15 (voor een toelichting op de berekeningen en aannames zie appendix 1). Dat moet dan gebeuren voor het einde van de Verdragsperiode 2008-2012. Afgezien van de hoge kosten die dit met zich meebrengt is het niet erg waarschijnlijk dat dit technisch mogelijk is, gezien het feit dat in de afgelopen 20 jaar slechts 15 nieuwe kerncentrales aangesloten zijn op het net (WISE, 2003). Bovendien zou bij een zo groot aantal centrales de werelduraniumvoorraad snel uitgeput zijn (zie deel 4). En welke Nederlandse gemeente zou een kerncentrale in zijn industriegebied willen?

3.4 Kernenergie en warmte

De maatschappij heeft niet alleen energie nodig in de vorm van elektriciteit, maar ook in de vorm van warmte. Het energiegebruik van een gemiddeld Frans huishouden bijvoorbeeld bestaat voor tweederde uit verwarming en voor eenderde uit elektriciteit (WWF, 2000). Bij het gebruik van fossiele brandstoffen voor elektriciteitsproductie is warmte een bijproduct van het proces. Vroeger ging deze warmte-energie verloren, waardoor de efficiëntie van fossiele brandstofcentrales gering was. In de afgelopen decennia is echter grote vooruitgang geboekt met warmtekrachtkoppeling (WKK) waarbij het grootste deel van deze 'restwarmte' wordt opgevangen en gebruikt in industrie of stadsverwarming. De efficiëntie van dergelijke centrales kan oplopen tot 90%, daar waar traditionele centrales komen tot 35-55% (Field, 2000; WWF, 2000).

Hoe efficiënt is een kerncentrale in vergelijking tot een moderne, gasgestookte WKK-centrale? Het Öko Instituut heeft voor verschillende energiesystemen de totale broeikasgasemissies berekend voor de productie van 1 Kilowattuur (kWh) elektriciteit en 2 kWh warmte. Een gasgestookte warmtekrachtcentrale produceert over het algemeen ongeveer eenderde elektriciteit en tweederde warmte. Alle emissies komen in dit geval dus uit de warmtekrachtcentrale. Bij een kerncentrale zou de warmte uit een andere bron moeten komen. De Öko studie koos hier voor een oliegestookt centraal verwarmingssysteem. (Voor olie werd gekozen omdat de emissies van olie in dit geval precies tussen die van kolen en gas in zitten.) De emissies zijn dan die van 1 kWh elektriciteitsproductie uit de kerncentrale plus die van 2 kWh warmteproductie uit het oliegestookt verwarmingssysteem. Uit deze vergelijking blijkt dat de totale emissies van de warmtekrachtcentrale ongeveer gelijk zijn aan die van de kernenergie samen met de olieverwarming. Als we dus oude fossiele brandstofcentrales zouden vervangen door nieuwe efficiënte warmtekrachtcentrales zou, bij een zelfde opbrengst aan elektriciteit en warmte, de hoeveelheid broeikasgasemissies hetzelfde zijn als bij een systeem van elektriciteit uit kernenergie en warmte uit fossiele brandstof.

Er bestaan een aantal nucleaire warmtekrachtcentrales, onder meer in Rusland, Slowakije, Zwitserland en Canada (Federation of Electric Power Companies of Japan, 2000). Dit zijn echter uitzonderingen. Hoewel nucleaire warmtekrachtkoppeling technisch mogelijk is, is hiermee veel minder ervaring dan met warmtekrachtkoppeling bij fossiele centrales. Belangrijke reden daarvoor is dat kerncentrales vaak ver buiten stedelijke gebieden worden gebouwd. Bij het transport van warmte van een centrale naar gebruikers in de stad zou veel warmte verloren gaan.

3.5 Broeikasgasemissies in Frankrijk

Frankrijk betreft 75% van zijn elektriciteit uit kerncentrales. De nucleaire industrie noemt Frankrijk dan ook graag als lichtend voorbeeld van de zegeningen van kernenergie. Toch bleef de Franse uitstoot van broeikasgassen in 2000 stijgen, voornamelijk omdat de energieconsumptie in andere sectoren, onder meer transport, volstrekt uit de hand liep. De uitwerking van verschillende toekomstscenario's voor de energiesector door het Commissariat General du Plan van de Franse regering vertoont geen duidelijke relatie tussen CO₂-emissies en kernenergie. Het scenario met de laagste emissies was niet dat met het grootste gebruik van kernenergie, maar dat waarin de groei van de vraag werd geminimaliseerd (Boisson, 1998; Charpin et al., 2000).

4 Uraniumvoorraden

Net als bij fossiele brandstof is de mogelijke inzet van uranium als brandstof voor energieproductie beperkt, want ook uranium is een eindige grondstof. En hoewel de kernenergie-industrie ons steeds voorhoudt dat uranium een *"plentyful commodity"* is (Ritch III, 2002), geven de cijfers duidelijk een ander beeld.

4.1 Hoe groot zijn de mondiale uraniumreserves?

Volgens de meest recente gegevens van het Nuclear Energy Agency (NEA) en het International Atomic Energy Agency (IAEA) over mondiale uraniumvoorraden is de totale voorraad winbaar uranium op aarde 3.537.000 ton; dit is de som van de goed toegankelijke voorraden plus de geschatte extra voorraden die winbaar zijn voor minder dan \$ 80/kg (NEA & IAEA, 2004). Uitgaande van het huidige uraniumgebruik, dat 67.000 ton per jaar bedraagt, zou er voldoende uranium beschikbaar zijn voor ongeveer 50 jaar (WISE, 2003; NEA & IAEA, 2004; WNA, 2004a). De totale uraniumvoorraad is uiteraard veel groter. NEA en IAEA schatten het totaal van alle reserves op 14.4 miljoen ton. Maar deze reserves zijn niet alleen heel moeilijk winbaar en daardoor niet economisch rendabel, het percentage bruikbaar uranium in het erts is ook veel te laag om te gebruiken voor elektriciteitsproductie. Grote delen van de huidige aangetoonde voorraden zijn al marginaal. Dat geldt voor mijnen in Namibië, Zuid Afrika, Kazachstan, en voor de Olympic Dam mijn in Australië.

Voorstanders van kernenergie wijzen op de grote voorraden uranium die te vinden zijn in onconventionele bronnen. Uranium wordt bijvoorbeeld gevonden in oceanwater. Het betreft dan echter concentraties van 0,0000002% (Storm van Leeuwen & Smith, 2004). De kosten om dit uranium vrij te maken voor energieproductie zijn enorm. Bovendien zou de winning en verrijking van dit uranium meer energie vereisen dan ermee geproduceerd kan worden.

Als we zouden besluiten om alle elektriciteitscentrales op fossiele brandstoffen te vervangen door kerncentrales dan zou er genoeg rendabel winbare uranium als brandstof beschikbaar zijn voor ongeveer 3 tot 4 jaar (O'Rourke, 2004; Storm van Leeuwen & Smith, 2004). Zelfs als we het huidige gebruik van kernenergie in de wereld zouden verdubbelen, zou de uraniumvoorraad slechts toereikend zijn voor 25 jaar. Alle minimale voordelen van kernenergie voor het klimaat zijn dus erg tijdelijk.

4.2 Snelle kweekreactors

De nucleaire industrie heeft jarenlang verkondigd dat snelle kweekreactoren het probleem van eindige brandstof zullen gaan oplossen. Snelle kweekreactoren wekken energie op met gebruikmaking van plutonium uit verbruikte kernbrandstof. Plutonium is een van de meest giftige stoffen die de mens kent, het komt niet voor in de natuur en kan alleen kunstmatig verkregen worden. Door het gebruiken en 'kweken' van plutonium zou een gesloten cyclus bereikt kunnen worden en zou men dus niet meer afhankelijk zijn van eindige uraniumvoorraden. Ondanks decennia van hoge investeringen en onderzoek zijn snelle kweekreactoren een technische en economische mislukking gebleken. Kweekreactoren in Groot-Brittannië en de Franse Super Phoenix zijn stilgelegd wegens veiligheidsproblemen, en de Monju snelle kweekreactor in Japan is in 1995 definitief gesloten na een ernstig ongeluk (FOE, 1998). Op dit moment zijn er nergens ter wereld commerciële kweekreactors operationeel, en de hoop op succesvolle verdere ontwikkeling van kweekreactors is snel aan het vervliegen.

5. Economische aspecten van kernenergie

Dit deel behandelt twee belangrijke vragen: Is kernenergie financieel rendabel, en kan kernenergie op een economisch efficiënte manier bijdragen aan de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen?

5.1 Is kernenergie economisch rendabel?

In de jaren '70 van de vorige eeuw was kernenergie voor de consument maar half zo duur als energie uit kolencentrales. In 1990 kostte kernenergie twee keer zoveel als energie uit kolencentrales (Slingerland et.al, 2004). Tegenwoordig worden de kosten van kernenergie geschat op 0,05-0,07 Euro/kWh. Gemiddeld is kernenergie twee tot vier keer zo duur als elektriciteit opgewekt uit fossiele brandstof.

Een vergelijking met enkele moderne hernieuwbare energiebronnen geeft een gemengd beeld: kernenergie is bijvoorbeeld duurder dan wind, ongeveer even duur als waterkracht en biogasbijstook, en goedkoper dan zonne-energie (Öko Instituut, 1997). En terwijl de kosten van kernenergie steeds meer in de consumentenprijs worden doorberekend vindt een scherpe daling plaats van de kosten van hernieuwbare energiebronnen, omdat het relatief nieuwe technieken zijn en er veel voortgang wordt geboekt in kostenreductie en efficiëntieverbetering. De kosten voor kernenergie daarentegen zullen voorlopig blijven stijgen. Dit komt gedeeltelijk omdat kernenergie in het verleden zwaar gesubsidieerd is, waardoor sommige kosten niet in de prijs zijn opgenomen, maar door de overheid, en dus door de belastingbetaler, zijn opgebracht. Wij betalen allen mee aan de kosten van kernenergie. Voorbeelden hiervan zijn:

Ontmanteling: tot nu toe zijn nog maar weinig kerncentrales ontmanteld, maar de komende jaren zullen veel centrales het einde van hun levenscyclus bereiken en gesloten worden. Ervaringen in de VS en elders laten zien dat dit een uitzonderlijk dure operatie is. Bij de ontmanteling van de Yankee Rowe kerncentrale in Massachusetts (VS) bijvoorbeeld waren de kosten voor ontmanteling geschat op \$ 120 miljoen, maar werden ze uiteindelijk \$ 450 miljoen. De kosten voor ontmanteling van alle kerncentrales in de VS kan oplopen tot 33 miljard Euro (GAO, 2003). De kosten zijn zo hoog omdat een groot deel van de centrale radioactief is en met hulp van robots moet worden afgebroken. Bovendien moet het radioactieve puin beveiligd worden afgevoerd en opgeslagen.

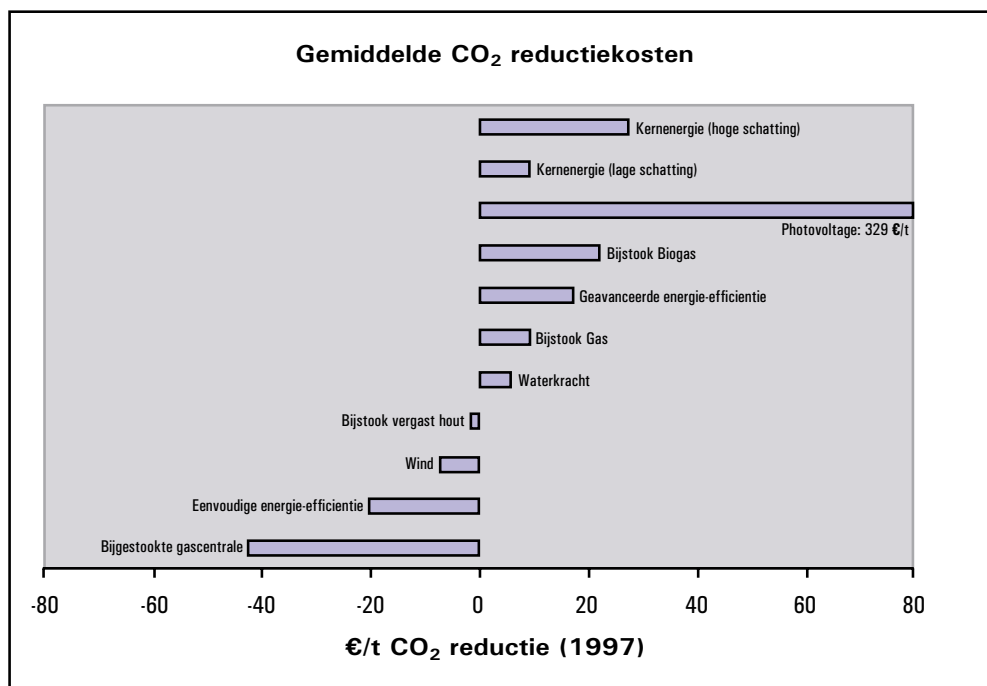
Aansprakelijkheid: De Price-Anderson Act in de VS beperkt de aansprakelijkheid van de nucleaire industrie in geval van ongelukken tot \$ 9.1 miljard. Dat is minder dan 2% van de \$ 560 miljard schade die een ernstig nucleair ongeluk kan veroorzaken, volgens een Amerikaans overheids-onderzoek naar aanleiding van het ongeluk in Three Mile Island in 1979. De overige 98% van de schade komt voor rekening van de overheid. Als de nucleaire industrie zelf de financiële verantwoordelijkheid voor potentiële ongelukken zou moeten dragen zouden de verzekeringskosten enorm zijn, waardoor de prijs van kernenergie veel hoger zou uitvallen (Mechtenberg-Berrigan, 2003). In de *Parijse Conventie betreffende Aansprakelijkheid van Derden* is de maximale economische aansprakelijkheid vastgelegd voor nucleaire ondernemers in 15 Europese landen. Hoewel de maximale ondernemersaansprakelijkheid in 2004 naar boven toe is bijgesteld tot 700 miljoen Euro (NEA, 2004) is dit slechts een fractie van de schadekosten die een serieuze kernramp zou veroorzaken.

Het bewijs dat kernenergie economisch niet levensvatbaar is wordt geleverd door de markt zelf. Sinds de liberalisering en privatisering van de energiemarkt in Groot-Brittannië zijn de totale kosten van kernenergie veel zichtbaarder geworden. Bedrijven zijn er niet happig op om in deze energiebron te investeren, omdat ze in een vrije energiemarkt niet kan overleven zonder overheidssubsidies (FOE, 1998). Zelfs in Frankrijk, waar kernenergie goed is voor 75% van de totale elektriciteitsproductie, wordt toegegeven dat het gebruik van kernenergie veel duurder is dan elektriciteit van moderne, efficiënte energiecentrales op fossiele brandstof (Makhijani, 2002).

5.2 Beperking van broeikasgasemissies op economisch efficiënte wijze

Met het oog op klimaatverandering is het van belang om de kosten te vergelijken van verschillende kansen voor emissiereductie, bijvoorbeeld van het gebruik van diverse energiebronnen, verschillende niveaus van eindverbruikersefficiëntie, etc. Deze kosten worden gewoonlijk aangeduid als de CO₂-reductiekosten. Dit zijn de kosten voor de vermindering van een gegeven hoeveelheid (b.v.

1 ton) CO₂-emissie in verhouding tot een gegeven referentiebron, meestal kolen.
Het Öko Institut heeft verschillende reductiekosten per ton CO₂-reductie berekend in verhouding



tot de emissies van een kolencentrale in Duitsland. Figuur 1 laat dit zien.

Figuur 1: CO₂-reductiekosten voor verschillende elektriciteitsopwekkers (gebaseerd op Öko Institut, 1997)

De figuur laat zien dat CO₂-reductie bij gebruik van een bijgestookte gascentrale, wind, bijsmaak met vergast hout en eenvoudige energie-efficiëntie goedkoper is dan bij een kolencentrale. Bij kernenergie is het duurder, ongeveer in dezelfde orde van grootte als waterkracht, bijsmaak van gas, geavanceerde energie-efficiëntie en bijsmaak van biogas.

Er zijn dus veel andere energiebronnen beschikbaar die economisch rendabeler zijn dan kernenergie, per verminderde eenheid CO₂.

6 Andere mogelijke energiebronnen

Niet alleen is kernenergie duur en is de levensduur ervan beperkt door de beperkte uraniumvoorraad, ook vindt bij het productieproces van kernenergie veel indirecte uitstoot van broeikasgas plaats. Daarnaast komt 9% van de totale jaarlijkse uitstoot van broeikasgas voor rekening van elektriciteitsproductie. De overige uitstoot kan dus niet met kernenergie worden opgelost. Er moeten methoden gevonden worden om de uitstoot van de totale energiesector te verminderen. In dit deel geven we een kort overzicht van enkele alternatieven voor een economisch en ecologisch duurzame manier waarop de wereld in zijn energiebehoeften kan voorzien.

6.1 Duurzaam is vooral efficiënt

Er zijn honderden manieren om de uitstoot van broeikasgas in de energiesector te verminderen. Enkele voorbeelden worden hier opgesomd maar deze lijst is zeker niet uitputtend:

- Hernieuwbare bronnen (wind, zon, aardwarmte, waterkracht, getijdenkracht, biomassa enz.);
- Schoner gebruik van fossiele brandstof;
- Belastingverhoging op CO₂-uitstoot;
- CO₂ afvangen (opslag van CO₂ uit energiecentrales)
- Grotere energie-efficiëntie

Uit veel studies blijkt dat de meest effectieve manier om emissies te verminderen het terugbrengen van de energievraag is (Marignac & Schneider, 2001). Er kan bijvoorbeeld al veel gewonnen worden door efficiëntere consumentenapparatuur te ontwikkelen en door slimmere verwarming, koeling en isolatie van gebouwen. Het terugdringen van de energievraag lijkt voor de hand te liggen, maar wordt bij beleidsontwikkeling helaas vaak vergeten. Vooral in de grootste energiever-slinder ter wereld, de Verenigde Staten, is het geen onderwerp van beleid. De opvattingen van de huidige Amerikaanse regering worden duidelijk verwoord in het volgende citaat van vice-president Dick Cheney:

"Zuinig omgaan met energie is misschien een goede persoonlijke eigenschap, maar het is geen goed uitgangspunt voor een degelijk, veelomvattende energiebeleid."
(Geciteerd in Cunningham et.al, 2003 p.496)

Intussen is China hard op weg om de Verenigde Staten in 2025 voorbij te streven (met 21%) als de grootste veroorzaker van broeikasgassen (WWF, 2004). Hoewel China van plan is zijn nucleaire sector flink uit te breiden, is het een illusie om te denken dat dit het land er van zal weerhouden om op grote schaal kolen te gaan gebruiken. China heeft namelijk grote goedkope kolen- en gasreserves. De enige manier om de uitstoot van China binnen de perken te houden is het afremmen van de snelgroeïende vraag (Schneider & Froggatt, 2004) door efficiënter energiegebruik en door meer te investeren in hernieuwbare energiebronnen, zoals zon en wind.

6.2 Kunnen duurzame bronnen in onze huidige behoeften voorzien?

De totale energiebehoefte van onze huidige samenleving is minder dan 0,1 % van de energie die we jaarlijks van de zon ontvangen. Hoewel we deze zonne-energie nu nog slechts op beperkte schaal kunnen opvangen, geeft dit een indicatie van het enorme potentieel van hernieuwbare energiebronnen. De ontwikkelingskansen voor hernieuwbare energie zullen sterk groeien als hiervoor een positief economisch klimaat wordt geschapen en overheden ambitieuze maar haalbare doelen stellen. In sommige landen, zoals Duitsland, hebben wetenschappers berekeningen uitgevoerd die uitkomen op een aandeel van duurzame energie van 46% in 2050 (Johansson et.al, 2004).

Hernieuwbare energiebronnen hebben vele voordelen. Ze stoten niet alleen veel minder broeikasgassen uit, ze kunnen ook zorgen voor een meer gevarieerd aanbod op de energiemarkt. Daarmee kunnen ze de afhankelijkheid van slechts enkele bronnen verminderen waardoor de voorzieningszekerheid groter wordt. Ze kunnen zorgen voor een duurzame energievoorziening voor de lange termijn. Bovendien kunnen ze door hun kleinschalige toepassingsmogelijkheden gebruikt worden op het platteland van ontwikkelingslanden waar aansluiting op gas- en elektriciteitsnetwerken ontbreekt.

Kijken we naar het emissiereductiepotentieel in Nederland dan laat een studie van het Energie Centrum Nederland (ECN, 1998) zien dat de CO₂-emissies in 2020 met 41% kunnen zijn teruggebracht in verhouding tot het niveau van 2000, door meer gebruik van hernieuwbare bronnen, een grotere efficiëntie, en zonder kernenergie.

Op middellange termijn is het mogelijk om met bestaande technologieën (dat wil zeggen nog afgezien van te verwachten technologieontwikkeling in de toekomst) in de totale mondiale energiebehoefte te voorzien middels hernieuwbare bronnen. Dit scenario is berekend in drie verschillende studies, door de Union of Concerned Scientists USA (1978), het International Institute for Applied Systems Analysis for Europe (1981) en de Enquetecommissie van de Deutsche Bundestag (2002). Hoewel geen van deze studies ooit serieus weerlegd is, zijn ze allemaal zo goed als genegeerd door de gevestigde wetenschap (Scheer, 2004).

De technologie is dus beschikbaar om in onze energiebehoefte te voorzien middels hernieuwbare bronnen, en om daarmee forse emissiereductie te bereiken. Dat deze nieuwe energiesystemen niet volledig zijn ingevoerd komt door de hoge kosten die hiermee gemoeid zouden zijn. Ook hierop valt echter veel af te dingen.

6.3 Kosten van duurzame alternatieven

Hoewel vaak wordt beweerd dat alternatieve energiebronnen en energiebesparingstechnieken economisch niet haalbaar zouden zijn toont de meerderheid van de studies het tegendeel. In 1997 verscheen een rapport van het Amerikaanse Departement of Energy (DOE) waarin werd vastgesteld dat de CO₂-emissies in de Verenigde Staten in 2010 zonder extra kosten konden worden teruggebracht tot het niveau van 1990, door efficiënter met energie om te gaan en de vraag terug te brengen (FOE 1998). In datzelfde jaar bevestigde een rapport van de World Energy Council (WEC) dat efficiënter omgaan met energie de snelste, effectiefste en financieel meest gunstige manier is om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen (WWF, 2000).

De kosten van hernieuwbare energie dalen snel: in de afgelopen tien jaar zijn de kosten per kWh van elektriciteit van windturbines gedaald met 50%, en uit zonnecellen met 30% (NEA, 2001). In deel 5 is getoond dat de kosten van duurzame energie naar verwachting nog verder zullen dalen als onderzoek naar en ervaring met deze technieken zich uitbreiden.

Het belangwekkendste in het kader van dit rapport is dat de kosten van hernieuwbare energie dalen, terwijl de kosten van kernenergie stijgen. Schattingen laten zien dat de nucleaire industrie tot op heden rond de 1000 miljard Euro aan staatssteun heeft ontvangen, vergeleken met slechts 50 miljard Euro voor de duurzame energiesector (Scheer, 2004). Als dergelijke grote investeringen zouden zijn gedaan in de ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen, dan zou de totale productie van hernieuwbare energie tegenwoordig zeer aanzienlijk zijn. Dat kernenergie ondanks deze enorme investeringen op zijn retour is maakt eens te meer duidelijk dat het hoog tijd is om de investeringen om te buigen naar duurzame en milieuvriendelijke energiebronnen.

7. Nog steeds niet opgelost...

We hebben gezien dat kernenergie slechts een beperkte rol kan spelen bij het terugdringen van broeikasgasemissies, en dat de voorraden uranium eindig zijn. Bovendien is kernenergie erg duur, terwijl er veel alternatieven beschikbaar zijn die de CO₂-emissies van energie veel effectiever kunnen verminderen, voor een oneindige periode en tegen veel lagere kosten. Er wordt echter wel betoogd dat klimaatverandering zo urgent is, dat we elk beschikbare middel in moeten zetten om broeikasgasemissies terug te brengen, ongeacht de kosten.

Aan kernenergie kleven echter zo veel andere ernstige nadelen, dat eventuele kleine en tijdelijke voordelen daarbij in het niet vallen. Deze problemen spelen al vanaf het begin van de toepassing van kernenergie, en zijn nog steeds niet opgelost. De kans dat ze op afzienbare termijn opgelost zullen worden is onwaarschijnlijk. In dit deel lichten we de vier belangrijkste toe: de opslag van radioactief afval, de veiligheid, kernwapenproliferatie en terrorisme, en gezondheid.

7.1 Opslag van radioactief afval

Een van de ernstigste en hardnekkigste problemen van kernenergie is dat niemand weet wat we moeten doen met het radioactieve afval. Voorstanders van kernenergie beweren dat radioactief afval niet zo'n belangrijk probleem is omdat de hoeveelheid ervan beperkt is. Dit mag waar zijn in vergelijking met kolengestookte energiecentrales, toch wordt er een aanzienlijke hoeveelheid afval gecreëerd gedurende het nucleaire productieproces. De productie van 1000 ton uraniumbrandstof levert 100.000 ton ertsresten op en 3,5 miljoen liter ernstig vervuild slib (Cunningham et.al, 2003). Bij een uraniumgehalte van 0,1% blijft 99,9% van het materiaal over, dus de hoeveelheid slib die achterblijft is ongeveer even groot als de hoeveelheid gedolven erts. Deze slib bevat bovendien nog 85% van de oorspronkelijke radioactiviteit van de erts, omdat langlevende bestanddelen als thorium-230 en radium-226 niet worden gebruikt. Daarnaast bevat het zware metalen en bestanddelen als arsenicum, en bovendien de chemische middelen die zijn gebruikt bij het delvingsproces.

Toch is het volume niet het grootste probleem van kernafval. Het grootste probleem is dat hoog-radioactief afval tot 240.000 jaar radioactief en gevaarlijk blijft (Greenpeace, 2004). Na een halve eeuw onderzoek is er nog steeds geen bevredigende oplossing gevonden voor dit probleem. De

meest genoemde oplossing is de bouw van ondergrondse bunkers voor lange-termijnopslag. In 1987 kondigde het Amerikaanse Department of Energy plannen aan voor de bouw van dergelijke bunkers in de Yucca Mountains in Nevada. Hier zou hoogradioactief afval diep onder de grond moeten worden opgeslagen, waar grondwater en aardbevingen hopelijk geen invloed hebben (Cunningham et.al, 2003). Het is echter onmogelijk met zekerheid te zeggen of een gebied op een termijn van honderdduizenden jaren droog en geologisch stabiel zal blijven.

Naast het probleem van onvoorspelbare natuurlijke ontwikkeling zijn de kosten van bewaking en onderhoud over zo'n gigantische tijdsperiode onvoorstelbaar. Nog honderden generaties na ons zullen moeten betalen voor enkele tientallen jaren elektriciteitsproductie voor onze generatie. Er is veel protest tegen de voorgenomen opslag in Yucca Mountain en het is heel goed mogelijk dat de plannen nooit worden uitgevoerd. Doordat elders in de wereld soortgelijke problemen spelen, heeft nog geen land ter wereld op dit moment een eindopslag in gebruik genomen.

De afgelopen tientallen jaren hebben onderzoekers gezocht naar technieken om de radioactiviteit van kernafval te verminderen, het z.g. transmutatieonderzoek. Deze onderzoeken zijn vaak optimistisch gepresenteerd als de toekomstige oplossing voor het afvalprobleem, maar er is geen enkele garantie dat ze succes zullen hebben. De kosten ervan zijn intussen gigantisch. Kernafval bevat heel veel verschillende soorten radioactieve isotopen, die allemaal van elkaar gescheiden moeten worden om vervolgens elk afzonderlijk bewerkt te worden. Daarbij wordt getracht de halveringstijd van de radioactiviteit te verminderen, dat is de tijd die nodig is om de radioactiviteit met de helft terug te brengen. Bij lang niet alle isotopen is dit mogelijk, en lang niet alle isotopen zijn te scheiden. Er zijn nieuwe verwerkingstechnieken nodig en nieuwe opwerkingsfabrieken. Op dit moment is alleen scheiding van uranium en plutonium door opwerking een in praktijk toegepaste techniek. Deze technieken kunnen alleen worden toegepast bij nieuwe snelle kweekreactoren en andere nieuwe types kerncentrales, die hiervoor allemaal gebouwd zouden moeten worden. Dat zal tientallen jaren en miljarden euro's vergen. Deze technieken zijn niet geschikt voor het huidige kernafval (WISE, 1998). Ze voorstellen als een oplossing voor het afvalprobleem is dan ook absoluut misleiding.

Andere oplossingen die worden genoemd voor radioactief afval zijn onder meer opslag in diepe oceaanroggen, afval de ruimte in schieten, en afval opslaan bij kernreactoren totdat een andere bestemming gevonden is. Vooral dit laatste wordt nu op grote schaal toegepast.

7.2 Veiligheid

Volgens de nucleaire industrie hebben kerncentrales een *"uitmuntende staat van dienst"* op veiligheidsgebied (WNA, 2004a) en een *"onberispelijk veiligheidsbeleid"* (Ritch III, 2002). Maar de geschiedenis kent veel voorbeelden van kernrampen en bijna-kernrampen. Bijvoorbeeld in Windscale (Groot-Brittannië, 1957), Thelyabinsk-40 (USSR 1957/8), Brown's Ferry (Alabama, VS, 1975), Three Miles Island (Pennsylvania, VS, 1979) en Tjernobyl (Oekraïne, 1986). Weliswaar is er sindsdien veel vooruitgang geboekt op veiligheidsgebied, maar kerncentrales zijn nog steeds niet inherent veilig en problemen komen veelvuldig voor. Kleine ongelukjes vinden bijna wekelijks plaats, maar ook grotere ongelukken zijn niet uitgesloten.

Een natriumlek in de Monju snelle kweekreactor in Japan was in 1995 aanleiding tot onmiddellijke sluiting en hernieuwde zorg over de veiligheid in de nucleaire industrie. Recenter, in 2002, werd op het nippertje een ramp vermeden in de Davis-Besse centrale in de Amerikaanse staat Ohio. Het staal van de reactordeksel bleek poreus te zijn en de centrale was nog maar enkele stappen verwijderd van een rampzalige meltdown. In de jaren voorafgaande aan dit incident was deze centrale bij elke controle in goede staat bevonden (Mechtenberg-Berrigan, 2003). In de zomer van 2003 leidde een hittegolf in Frankrijk tot zo hevige koelingsproblemen, dat de nucleaire ingenieurs de regering mededeelden de veiligheid van de 58 Franse kerncentrales niet langer te kunnen garanderen (Duval Smith, 2003). Het is goed mogelijk dat kerncentrales nog onveiliger zullen worden als het aantal hittegolven tengevolge van klimaatverandering zal toenemen.

Naast de mogelijkheid van technische fouten blijft altijd het risico bestaan van menselijke fouten. Dat risico neemt nog toe nu de nucleaire industrie door privatisering en liberalisering van de elektriciteitsmarkt gedwongen wordt tot kostenbesparing. Bij kernenergie is dat extra moeilijk, omdat het hoge vaste kosten heeft: de bouwkosten maken zo'n 75% van de totale kosten uit (bij gascentrales is dat bijvoorbeeld 25%). Alle besparingen moeten dus komen uit de 25% variabele

kosten van de elektriciteitsprijs, met name via efficiëntieverbetering en personele inkrimping (Greenpeace & WISE 2001). In de Verenigde Staten is aanzienlijk bezuinigd op personeelskosten, de afgelopen acht jaar is het personeelsbestand ingekrompen met zo'n 26 000 werknemers. Dit bezuinigen op personeel geeft in sommige gevallen aanleiding tot zorg over de veiligheid van het productieproces.

7.3 Kernwapenproliferatie en terrorisme

Een bijproduct van de meeste kerncentrales is plutonium-239, de grondstof voor kernwapens. Er bestaat een internationaal Non-proliferatieverdrag dat de verspreiding van kernwapens moet beperken, maar een groot aantal kernwapenstaten, onder meer India, Pakistan en Israël, zijn geen lid van dit Verdrag. Hoewel de meeste landen zeggen dat ze opwekking van kernenergie en het militair gebruik van plutonium strikt gescheiden houden kan niet worden uitgesloten dat plutonium in wapens wordt gebruikt. Volgens het VN-klimaatpanel IPCC zouden bij een grootschalige toepassing van kernenergie om klimaatverandering te voorkomen de veiligheidsrisico's "enorm" zijn. Binnen de kaders van het Non-proliferatieverdrag is het volkomen legaal om alle benodigde technologie en materiaal te verzamelen en dan uit het Verdrag te stappen vlak voor de daadwerkelijk kernwapenproductie begint.

Een probleem dat de laatste jaren verontrustend actueel is geworden is dat kerncentrales en andere nucleaire installaties een potentieel doelwit zijn van een terroristische aanval. Sinds de aanvallen op New York is in diverse studies vastgesteld dat nucleaire installaties terrorismegevoelig zijn. (Coeytaux & Marignac, 2003; Oxford Research Group, 2003) Bovendien kan radioactief materiaal door terroristen gebruikt worden om er 'vuile bommen' van te maken

7.4 Gezondheid

De gezondheidsrisico's in geval van een kernramp zijn bekend. Blootstelling aan radioactieve straling na een ongeluk leidt tot een toegenomen kans op genetische afwijkingen, kanker en leukemie. In de regio rond Tjernobyl bijvoorbeeld is het aantal kinderen met schildklierkanker sinds de ramp in 1986 verhonderdvoudigd (UN-IHA, 2004).

Er kleven ook veiligheidsrisico's aan de dagelijkse gang van zaken in een kerncentrale. Werknemers van kerncentrales worden blootgesteld aan lage doses radioactiviteit. Uit een onderzoek van de Universiteit van Californië in de Californische DOE/Rocketdyne kerncentrale blijkt dat werknemers 6 tot 8 keer meer risico lopen aan radioactiviteit te worden blootgesteld dan werd aangenomen (Mechtenberg-Berrigan, 2003) Daarbij moet bedacht worden dat er geen veilige limiet is; elke hoeveelheid straling kan ernstige gezondheidsschade veroorzaken.

Conclusies

In het kader van de internationale onderhandelingen over mondiaal klimaatbeleid probeert de nucleaire industrie de laatste jaren om kernenergie af te schilderen als effectief middel om het klimaatprobleem op te lossen. Ten onrechte. Kernenergie is niet effectief, niet economisch rendabel, het is geen hernieuwbare bron en het veroorzaakt problemen waar de mensheid niet mee om kan gaan.

1 - Een beetje minder emissie is niet genoeg.

Bij onderzoek van de keten van elektriciteitsproductie door kernenergie blijkt wel degelijk -indirect- CO₂ vrij te komen. Veel minder dan bij kolen en olie, maar niet veel minder dan bij gas. En veel meer dan bij elektriciteitsproductie uit werkelijk hernieuwbare energiebronnen, zoals zonne-energie en windenergie. De emissiefactor van kernenergie zal toenemen, voornamelijk omdat in de toekomst steeds meer uraniummarte ertsvoorraden moeten worden aangesproken, waarbij steeds meer energie nodig is om een bruikbare hoeveelheid uranium te winnen.

2 - Elektriciteit is maar een klein deel van het klimaatprobleem.

Slechts 9% van de broeikasgasemissies wordt veroorzaakt door elektriciteitsproductie, en alleen elektriciteitsproductie is mogelijk met kernenergie. Om het broeikasprobleem echt op te lossen, zo blijkt telkens weer uit onderzoeken, moet naar de vraagkant van energie gekeken worden. Er moet minder energie verspilld worden. Bovendien moeten duurzame bronnen verder ontwikkeld worden.

3 - Je kunt het geld maar een keer uitgeven.

De kosten van kernenergie zijn enorm, al is dat in de prijs ervan maar deels terug te vinden, omdat veel kosten worden afgewenteld op de overheid. Als de nucleaire sector zelf de kosten zou moeten dragen van een reële ongevallenverzekering en de ontmanteling van kerncentrales zou kernenergie een hele dure energiebron worden. En terwijl kernenergie steeds duurder wordt dalen de kosten van duurzame energie. Als we moeten kiezen waarin we investeren, dan kan de overheid beter meer middelen vrijmaken voor het stimuleren van de ontwikkeling van duurzame energie en voor energiebesparing.

4 - Kernenergie is niet hernieuwbaar en oneindig.

De uraniumvoorraden zijn beperkt en dit brandstofprobleem kan niet worden opgelost met snelle kweekreactoren, omdat deze techniek na decennia van onderzoek nog steeds technisch en economisch onhaalbaar is. Bovendien is plutonium, de brandstofbasis van kweekreactors, een uiterst giftige en gevaarlijke stof. En plutonium is de grondstof voor kernwapens.

5 - Jaren van mislukken geven geen garanties voor de toekomst

Er is nog steeds geen enkel zicht op een oplossing voor het levensgevaarlijke radioactieve afval, waarvan niet het volume, maar vooral de mate van (zeer langdurige) gevaarlijkheid het probleem is. De voorstanders van kernenergie wijzen steeds op de onderzoeken die worden uitgevoerd naar o.a. het verminderen van de halveringstijd van dit afval, maar dat deze onderzoeken ooit succes zullen hebben wordt steeds twijfelachtiger. Bovendien kunnen ze alleen soelaas bieden voor nieuw afval en niet voor het huidige afval. Pogingen om veilige eindberging te vinden voor dit afval hebben tot nu toe steeds gefaald.

6 - Het kan allemaal best anders.

Kernenergie is een inefficiënte en gevaarlijke manier om klimaatverandering tegen te gaan. Hierbij komen nog de problemen rond radioactief afval, de veiligheidsrisico's, de gezondheidsrisico's voor werknemers in kerncentrales, en het risico van kernwapenproliferatie en terrorisme. Bovendien zijn er genoeg andere mogelijkheden. We hebben voldoende technische kennis om op grote schaal duurzame energie in te voeren en minder energie te verspillen, waar het aan ontbreekt is politieke wil om in deze vormen van klimaatbescherming te investeren. Maar we zullen wel moeten, en snel ook, voordat klimaatverandering onomkeerbaar wordt.

Appendix 1: Aantal nieuwe kerncentrales dat nodig is voor het halen van de Kyotodoelen in de publieke energievoorziening in Nederland en de EU-15

	Eenheid	Nederland	EU-15	Bronnen
Huidige jaarlijkse CO ₂ Emissies in alle sectoren (2002 data)	g	1.75x10 ¹⁴	3.22x10 ¹⁵	EEA (2004)
Lukpunt CO ₂ Emissies in alle sectoren (ijkjaar 1990)	g	1.59x10 ¹⁴	3.23x10 ¹⁵	EEA (2004)
Doelstellingen Verdrag van Kyoto voor CO ₂ emissie in alle sectoren*	g	1.50x10 ¹⁴	2.97x10 ¹⁵	EEA (2004)
Verschil tussen doelstellingen en emissies voor alle sectoren (huidige emissies - doel emissies)	g/jr	2.56x10 ¹³	2.46x10 ¹⁴	
Huidige CO ₂ Emissies van Elektriciteitssector (gebaseerd op huidige brandstofmix)	g/kWh	451	378	WRI (2004) & MIT (2003)
Indirecte CO ₂ Emissies van Kernenergieproductie	g/kWh	35	35	Öko (1997)
Emissiereducties per kWh met kernenergie (Huidige brandstofmix - indirecte nucleaire emissies)	g/kWh	416	343	
Bijdrage van publieke energievoorziening aan totale CO ₂ emissies	%	24	39	EarthTrends (2003)
Kernenergie nodig voor totale CO ₂ reductiedoel van Verdrag van Kyoto (Verschil tussen doelstelling / emissiereductie per kWh van kernenergie)	kWh/jaar	6,16x10 ¹⁰	7,25x10 ¹¹	
Kernenergie nodig voor reductie van CO ₂ Emissies van publieke energievoorziening volgens het Verdrag van Kyoto (i.e. 24% van het totaal in Nederland en 39% van het totaal in de EU-15)	kWh/jaar	1,49x10 ¹⁰	1,88x10 ¹¹	
Aantal benodigde 500 Megawatt centrales	units	4	72	

* NL doelstelling: 6% minder emissies in 2008-12 dan in 1990. EU-15 doelstelling: 8% minder emissies in 2008-12 dan in 1990.

Aannames

Om het aantal benodigde kerncentrales te kunnen schatten zijn een aantal aannames gedaan. Ten eerste is aangenomen dat tussen nu en 2012 de emissies per kWh en het totale elektriciteitsgebruik constant blijven als niet wordt overgestapt op kernenergie (i.e. er is aangenomen dat het publieke elektriciteitsgebruik zal stijgen noch dalen, en dat geen andere emissiereductietechnieken worden ingevoerd). De huidige emissiegegevens zijn om reden van beschikbaarheid gebaseerd op 2002. Ten tweede hebben we aangenomen dat elk in de nieuwe kerncentrale opgewekte kWh elektriciteit een kWh elektriciteit uit een andere bron vervangt, uitgaande van pro-rata reducties volgens de huidige brandstofmix. Ten derde hebben we aangenomen dat elke nieuwe centrale draait op een capaciteit van 89.6%, dat is de gemiddelde huidige productiecapaciteit van kerncentrales in de Verenigde Staten (NEI, 2004). Vanwege deze aannames de berekening van het benodigd aantal nieuwe centrales als een indicatie worden opgevat.

Bronnen

Atom's Amok (2004) <http://binky.thinkquest.nl/~ll120/power.php?show=12>, cited 05 September 2004.

Boisson, P. (1998) Energie 2010-2020 - Rapport plénier. Paris: Commissariat Général du Plan.

Charpin, J.M., Dessus, B. & Pellat, R. (2000) Economic Forecast Study of the Nuclear Power Option. Paris: Commissariat Général du Plan.

CRIEPI (1995) Comparison of CO2 Emission Factors between Process Analysis and I/O Analysis. Working document prepared for IAEA, Tokyo.

Cunningham, W.P., Cunningham, M.A. & Saigo, B.W. (2003) Environmental Science. A Global Concern. New York: McGraw Hill.

Duval Smith, A. (2003) Over-heated Nukes Fail the Climate Change Test, The Saskatchewan Environmental Society Newsletter, Sept/Oct 2003, p.6.

EarthTrends (2003) EarthTrends Country Profiles. Climate and Atmosphere. Netherlands, http://earthtrends.wri.org/pdf_library/country_profiles/Cli_cou_528.pdf, cited 30 January 2005.

ECN (1998) Mogelijkheden voor CO2-reductie in 2020. Petten, The Netherlands: ECN.

EEA (2004a) Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment. EEA report nr. 2/2004.

EEA (2004b) Annual European community greenhouse gas inventory 1990-2002 and inventory report 2004. Submission to the UNFCCC Secretariat. EEA technical report.

Exportinfo (2004), cited 18 January 2005.

Federation of Electric Power Companies of Japan (2000) Comments on the World Wide Fund for Nature's Report, "Climate Change and Nuclear Power"
http://www.japannuclear.com/files/Comments_20on_20the_20World_20Wide_20Fund_20for_20Nature_20Report_20_282000_29.pdf, cited 16 November 2004.

Field, S. (2000) Nuclear Power is No Answer to Global Warming, On the Watch, The New England Coalition on Nuclear Pollution Newsletter, 2000/3, pp.3-6.

FOE (1998) Nuclear power is no solution to climate change: exploring the myths, The Safe Energy Bulletin, 115, Climate Change Briefing.

GAO (2003) Nuclear Regulation: NRC Needs More Effective Analysis to Ensure Accumulation of Funds to Decommission Nuclear Power Plants GAO-04-32
<http://www.gao.gov/docdb/lite/details.php?rptno=GAO-04-32>

Greenpeace (2001) Dangerous Interference with the Climate System: Implications of the IPCC Third Assessment Report for Article 2 of the Climate Convention. Greenpeace Briefing Paper, Sixth Session (Part 2) of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 16-27 July 2001, Bonn, Germany. Amsterdam: Greenpeace International.

Greenpeace (2004) Kernenergie - kernwapens,
www.greenpeace.nl/campaigns/intro?campaign_id=4537#B2, cited 22 October 2004.

Greenpeace & WISE (2001) World nuclear industry status report. Amsterdam, WISE.

Groenlinks (2000) Schone Schijn. Hoe clean is kernenergie. Utrecht, The Netherlands: Stichting Groenlinks in de Europese Unie).

Hodgson, P. & Maignac, Y. (2001) Is Nuclear Power a Viable Solution to Climate Change? Debate, The Ecologist, 31(7), 20-23.

Houghton, J.T. (1994) Global Warming: The Complete Briefing. Oxford: Lion.

IAEA (2000) Nuclear Power for Greenhouse Gas Mitigation. Vienna: IAEA.

IEA (1994) Energy and the Environment, Transport Systems Responses in the OECD - Greenhouse Gas Emissions and Road Transport Technology. Paris: IEA.

IEA (1998) Nuclear Power. Sustainability, Climate Change and Competition. Paris: IEA-OECD.

IEA (2002) World Energy Outlook. Paris: IEA.

IPCC (2001a) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Technical Summary. Geneva: IPCC.

IPCC (2001b) Climate Change 2001: The Impacts, Adaptation & Vulnerability. Technical Summary. Geneva: IPCC.

Johansson et.al (2004) The Potentials of Renewable Energy. Thematic Background Paper. International Conference for Renewable Energies, Bonn.

Kidd, S. (1998) Uranium Resources, Sustainability and Environment. 17th WEC Congress Papers, Houston, USA, 13-18 September 1998, http://worldenergy.org/wec-geis/publications/default/tech_papers/17th_congress/3_2_12.asp#Heading8, cited 22 October 2004.

Makhijani, A. (2002) Nuclear Power: No Answer to Global Climate Change, Nukewatch Pathfinder, Autumn 2002, p.6.

Marignac, Y. & Schneider, M. (2001) Towards a World Energy Efficiency Link (WEEL), in Pink, A. (Ed.) Sustainable Development International. London: ICG Publishing.

Mechtenberg-Berrigan, M. (2003) Deadly Deceit: Debunking the Myths of Nuclear Power, Nukewatch Pathfinder, Spring 2004, pp.4-5.

MIT (2003) The Future of Nuclear Power. An Interdisciplinary MIT Study. Glossary and Appendices. Cambridge, USA: MIT, cited 18 January 2005.

METI (2004) Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan CDM in the Post-Kyoto Regime http://www.meti.go.jp/english/policy/c_main_environment.html#2

N-Base (2002) 'Nuclear Needed', N-Base Briefing, 316, 9 March 2002.

NEA (2001) Activities on Climate Technology: Inventory for Nuclear Generation. <http://www.nea.fr/html/ndd/climate/acting.html>, cited 12 October 2004.

NEA (2002) Nuclear Energy and the Kyoto Protocol. Paris: OECD.

NEA (2004) Revised Nuclear Third Party Liability Conventions improve victims' rights to compensation. Press communiqué, <http://www.nea.fr/html/general/press/2004/2004-01.html>, cited 13 February 2004.

NEA & IAEA (2004) Uranium 2003: Resources, Production and Demand. Paris: OECD.

NEI (2004) US Capacity Factors by Fuel Type, cited 18 January 2005.

Öko-Institute (1997) Comparing Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Costs of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective. Paper presented at the CNIC Conference on Nuclear Energy and Greenhouse-Gas Emissions, Tokyo, November, 1997. http://www.oeko.de/service/gemis/files/info/nuke_co2_en.pdf, cited 12 October 2004.

Oxford Research Group (2003) Nuclear Terrorism in Britain: Risks and Realities. Current Decisions Reports no.27.

Point Carbon (2004) Italy calls for use of nuclear to fight global climate change. www.pointcarbon.com 29.11.04

O'Rourke, B. (2004) As Global Warming Accelerates, Is It Time For Nuclear Power To Come In From The Cold? <http://truthnews.com/world/2004070151.htm>, cited 22 October 2004.

Ritch III, J. (2002) Nuclear Energy at a Moment of Truth. Six Reasons Behind the Case for Nuclear Power, IAEA Bulletin, 44(2), pp. 30-37.

Scheer, H. (2004) Nuclear Energy Belongs in the Technology Museum. WRCE Update September 19 2004, http://www.world-council-for-renewable-energy.org/downloads/WCRE_Update_190904.pdf, cited 22 October 2004.

Schneider & Froggatt (2004) World Nuclear Industry Status Report 2004, Brussels: Greens/EFA Group in the European Parliament.

Slingerland, S., Bello, Q., Davidson, M., Loo, van, K., Rooijers, F. & Sevenster, M. (2004) Het nucleaire landschap. Verkenning van feiten en meningen over kernenergie. Working document 94. The Hague: Rathenau Institute.

Storm van Leeuwen, J.W. & Smith, P. (2004) Can nuclear power provide energy for the future: would it solve the CO2 emission problem? http://beheer.oprit.rug.nl/deenen/Nuclear_sustainability_rev3.doc, cited 12 October 2004.

Turkenburg, W.C. (2000) Renewable energy technologies, in UNDP (Ed.) World Energy Assessment. Energy and the Challenge of Sustainability. New York: UNDP.

UIC (2001a) Life cycle CO2 emissions, UIC Newsletter, 5 October 2001, p.2.

UIC (2001b) Sustainable Energy - Uranium, Electricity and Greenhouse, <http://www.uic.com.au/ueg.htm>, cited 12 October 2004.

UN-IHA (2004) 896 Press release, 26 April 2004.

VROM (2004) Dutch Climate Policy. <http://www.vrom.nl/international>, cited 06 September 2004.

WISE (1998) Partitioning and transmutation: a hype. In: WISE News Communiqué 503. 4 December 1998.

WISE (2003) Kernenergie als oplossing voor het klimaatprobleem? Amsterdam: WISE.

COEYTAUX & MARIGNAC (2003) The Unbearable Risk - Proliferation, Terrorist Threats and the Plutonium Industry WISE-Paris (2003).

WNA (2004a) The environment needs nuclear. http://www.world-nuclear.org/pdf/The_Environment_Needs_Nuclear.pdf, cited 12 October 2004.

WNA (2004b) Prime Minister Tony Blair indicated that the government was reconsidering the possible construction of new nuclear power reactors, WNA News Briefing, 04.28, p.2.

WNA (2004c) Supply of Uranium, <http://www.world-nuclear.org/info/inf75.htm>, cited 22 October 2004.

WRI (2004) Indirect CO2 Emissions from Use of Electricity, cited 18 January 2005.

WWF(2000) Climate Change and Nuclear Policy. Gland, Switzerland: WWF.

WWF (2004) WWF China's climate and energy program,
<http://www.wwfchina.org/english/loca.php?loca=205>, cited 24 Januari 2005.