

Ook daarom geen kernenergie in 18 argumenten

Herman Damveld, zelfstandig onderzoeker en publicist te Groningen

Februari 2014 – www.co2ntramine.nl

Voorwoord

Drie jaar geleden heb ik een overzicht gegeven van belangrijke argumenten rond kernenergie. Een reden daarvoor was het – intussen geschrapte - plan om een nieuwe kerncentrale in Zeeland te bouwen. Nu drie jaar later de aardgaswinning uit het Groningen-veld heftiger aardbevingen veroorzaakt, leidt dit tot veel discussie, actie¹ en tot de roep om andere energiebronnen te gebruiken². Het verleden heeft me geleerd dat dan vanzelf kernenergie weer op de agenda komt. Daarom heb ik nu een herziene versie van mijn eerdere overzicht gemaakt.

Inleiding

De afgelopen jaren lazen we regelmatig dat kernenergie de toekomst heeft. De opleving van kernenergie is echter een illusie, een wensdroom van voorstanders van kernenergie. Het ongeluk met de Japanse kerncentrale bij Fukushima op 11 maart 2011^{3 4} prikte deze wensdroom definitief door en betekent eerder een neer- dan een opgang van kernenergie. Kernenergie kent verschillende problemen, zoals de opslag van het radioactief afval⁵, de risico's van uraniumwinning^{6 7}, de beperkte voorraad uranium⁸, de onveiligheid van kerncentrales met ongelukken als in Tsjernobyl in 1986^{9 10 11 12}, de hoge bouwkosten¹³ en de beperkte productiecapaciteit van de kernindustrie.¹⁴ Kernenergie is niet broeikasgasvrij¹⁵. Ook deelde Nikolaus von Bomhard, directeur van Munich Re, één van de grootste verzekeraars ter wereld, op 20 maart 2011 mee dat kernenergie een niet te verzekeren risico is¹⁶. Meer specifiek zijn er in Europa verschillende reactoren die geen tweede veiligheidsomhulling hebben en daarmee vatbaarder zijn voor aanslagen: vier in Hongarije, vier in Slowakije en vier in Tsjechië. In Roemenië staan twee en in Slovenië één kerncentrale in een aardbevingsgevoelig gebied.¹⁷

In dit artikel zullen we 18 argumenten over kernenergie verder uitwerken.

SAMENVATTING

Beperkte rol kernenergie

1. Kernenergie heeft maar een klein aandeel in de energievoorziening. In Nederland gaat het om 2 procent en wereldwijd om 4,6 procent van de gebruikte energie.
2. We horen vaak dat we hypocriet zijn omdat we geen kerncentrales willen, maar wel kernstroom uit Frankrijk importeren. Maar Nederland exporteert veel meer energie in de vorm van aardgas dan we importeren in de vorm van atoomstroom.
3. Kerncentrales moeten altijd op volle toeren draaien. Ze kunnen niet snel terug geregeld worden als er veel duurzame energie opgewekt wordt. Investeren in kernenergie gaat ten koste van investeren in duurzame energie. Kernenergie verdringt op deze manier duurzame elektriciteit.
4. Er worden in Nederland veel gascentrales bijgebouwd. Over zeven jaar is er een overschot aan elektriciteitscentrales. Een kerncentrale die dan in bedrijf zou komen, kan de stroom waarschijnlijk niet kwijt in Nederland.

5. De industriële capaciteit en de beschikbaarheid van personeel zullen een belemmering vormen voor de bouw van nieuwe kerncentrales, zelfs al zouden bedrijven veel nieuwe kerncentrales willen bouwen.
6. De voorraad uranium is beperkt en ook daardoor is kernenergie geen oplossing voor het broeikaseffect. Als de verwachting van het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) te Wenen voor kernenergie in het jaar 2000 zou zijn uitgekomen, zouden de bewezen en geschatte voorraden uranium nu al op zijn.
7. Niet alle uranium komt uit politiek stabiele gebieden, zoals we vaak horen beweren. Nederland haalt uranium voor de kerncentrale Borssele uit Kazachstan. Daar heerst een dictatuur en dat lijkt ons geen politiek stabiel land.

Geen oplossing kernafval

8. De Europese Unie wil dat er binnen vier jaar een plan komt voor opslag van kernafval. Daardoor komt de opslag van kernafval in de Noordelijke zoutkoepels weer in beeld. De Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) is eigendom van de staat en verantwoordelijk voor de opslag van kernafval in Nederland. De COVRA wil opslag in de ondergrond vanaf 2130 en vraagt zich niet af of het verantwoord is om door te gaan met kernenergie. Maar het enige verstandige besluit is geen kernafval te maken, zolang er geen oplossing voor het kernafvalprobleem is.
9. In Nederland horen we regelmatig dat het kernafvalprobleem in het buitenland wel is opgelost. Maar dat blijkt niet zo te zijn. Nergens ter wereld is een ondergrondse opslagplaats voor warmte-producerend hoogradioactief afval in bedrijf.
10. De veiligheid van de opslag valt niet te bewijzen. Er worden rekenmodellen gebruikt om de veiligheid op lange termijn uit te rekenen. Maar dergelijke rekenmodellen zijn onbetrouwbaar. De uitkomsten hangen af van het gebruikte model en van de persoonlijke inzichten van de makers van het model, terwijl fundamentele kennis veelal ontbreekt.
11. Regelmatig benadrukken voorstanders van kernenergie dat het maar om kleine hoeveelheden radioactief afval gaat. Maar bij het ongeluk in Tsjernobyl in 1986 kwam slechts 50 kilo van de radioactieve stoffen cesium, strontium en plutonium vrij. Toch betekent die vijftig kilo dat er omvangrijke gebieden 300 jaar onbewoonbaar zijn. Een kleine hoeveelheid kernafval kan dus grote gevolgen hebben en is geen argument om net te doen of dit afval een te verwaarlozen probleem is.
12. De ervaring met opslag van kernafval in zoutkoepels is dramatisch slecht. De Duitse overheid gaat 126.000 vaten radioactief afval opgraven uit de zoutkoepel te Asse in de deelstaat Nedersaksen. De opslag in Asse was in 1976 een belangrijke reden voor de Nederlandse overheid om te kiezen voor opslag in zoutkoepels. Achteraf gezien zat de Nederlandse regering er dus behoorlijk naast.
13. Al vanaf de jaren 70 doen voorstanders van kernenergie het voorkomen of de techniek van verkorting van de gevaarperiode van kernafval (ook wel 'levensduurverkorting' genoemd) al bestaat of binnenkort verkrijgbaar zal zijn. Maar niets is minder waar. En als deze technologie ooit toepasbaar wordt, gaat die niet op voor het kernafval van de kerncentrale Borssele, dus voor het probleem dat er nu al is.

Onveilige kerncentrales

14. In de kerncentrale Borssele zijn 421 bedrijfsstoringen geweest. Dat de noodstroomvoorziening en de diesellaggregaten niet werkten, kwam niet alleen in Fukushima, maar ook in Borssele voor.
15. Kerncentrales blijven een risico. In Finland en Frankrijk wordt nu de European Pressurized Water Reactor (EPR) gebouwd, hét voorbeeld voor een moderne kerncentrale. Bij

een ernstig ongeval met de EPR moet echter een gebied van 5600 vierkante kilometer geëvacueerd worden.

16. Wie de kleine lettertjes van de schadeverzekering bestudeert, leest dat schade door kernenergie niet gedekt wordt. Dit is niet toevallig. De verzekeringsmaatschappijen weigeren namelijk de schade te dekken die mensen kunnen oplopen door een ongeluk met een kerncentrale. Blijkbaar vinden ze kernenergie een te groot risico en te onveilig.

Dure kerncentrales

17. Kerncentrales zijn duurder dan gedacht. In de Verenigde Staten zouden zonder subsidies van de overheid de meeste van de 100 kerncentrales die de VS telt, niet gebouwd zijn; de nieuwe kerncentrales in aanbouw krijgen overheidssubsidie. Finland bouwt de EPR-kerncentrale Olkiluoto-3. De bouwer, het Franse bedrijf Areva, heeft de centrale voor 3 miljard verkocht. Maar Areva leidt er een verlies op van minstens 3 miljard euro, omdat de bouw 8,5 miljard euro kost.

Kerncentrale op thorium en kernfusie geen oplossing

18. Het duurt nog lange tijd (als het al ooit gebeurt) voordat zowel de thorium- als de kernfusiereactor op de markt te koop zijn en – zo Nederland dat zou willen – een alternatief kunnen zijn voor aardgas. Maar er zijn nu alternatieven beschikbaar als zonne- en windenergie en die moeten we benutten in plaats van jaren te wachten op thoriumcentrales of kernfusiereactoren. Daarom bespreken we deze verder niet.

DE ARGUMENTEN TOEGELICHT

1. Kernenergie 2 procent energiegebruik

Kernenergie zorgt nu wereldwijd voor 11,3 procent van het elektriciteitsgebruik, dat is 4,6 procent van het totale energiegebruik¹⁸. Er zijn nu niet veel meer kerncentrales dan 25 jaar geleden. Eind 1988 waren er wereldwijd 429 kerncentrales in bedrijf, in januari 1998 waren het er 428; het aantal kerncentrales nam toe tot 444 in 2002 om daarna af te nemen naar 440 in mei 2011^{19 20 21 22 23}. In Duitsland werden in juni 2011 acht kerncentrales stilgelegd^{24 25}. Eind 2013 waren 435 kerncentrales in bedrijf²⁶.

De hoeveelheid in Nederland geproduceerde kernenergie kwam in 2010 uit op 1,1 procent van het energieverbruik. Deze hoeveelheid is al jaren stabiel, er zijn de afgelopen decennia immers geen kerncentrales bijgekomen. Daarnaast wordt elektriciteit ingevoerd, onder andere uit Frankrijk, die voor een deel van kernenergie afkomstig is. Inclusief deze invoer blijft het aandeel kernenergie in het energieverbruik van Nederland kleiner dan 2 procent.²⁷

2. Meer gasexport dan kernenergie-import

We horen vaak dat we hypocriet zijn, omdat we geen kerncentrales willen, maar wel kernstroom uit Frankrijk en gas uit Rusland importeren.

Daarbij wordt vergeten dat Nederland veel gas exporteert, jaarlijks zo'n 33 miljard kubieke meter²⁸. Stel dat van dat gas elektriciteit gemaakt wordt. Een rekensom leert dat we er 60 miljard kilowattuur stroom van kunnen maken. Daar staat tegenover dat de import van stroom in 2012 ongeveer 32 miljard kWh was (bij een export van 15 miljard kWh)²⁹. Met het aardgas dat we exporteren kunnen we dus 3,5 keer zoveel stroom maken als we netto importeren.

3. Kernenergie verdringt duurzame stroom

Op 1 oktober 2008 verscheen een rapport van het Regieorgaan EnergieTransitie³⁰, dat het kabinet ondersteunt bij haar streven naar een duurzame energiehuishouding. “Als het kabinet haar doelstelling op het gebied van duurzame energie wil waarmaken, is het aan te raden nu de weg vrij te maken voor een flexibel elektriciteitssysteem op basis van gasgestookte elektriciteitscentrales.” Dat staat in de ‘Transitiestrategie elektriciteit en warmte’ van het Regieorgaan. Duurzame stroom uit zon en wind wisselt per dag, afhankelijk van hoe hard het waait en of de zon schijnt. Het is nodig dat de elektriciteitsvoorziening daarop inspeelt. Kolen- en kerncentrales moeten altijd op volle toeren draaien. Ze kunnen niet snel terug geregeld worden als er veel duurzame energie opgewekt wordt.

Kerncentrales en duurzame energie concurreren vooral met elkaar als het gaat om investeringen. Als je een kerncentrale bouwt is het niet zo’n goed idee om daar duurzame bronnen tegenover te zetten omdat je dan met het terugschakel-probleem komt te zitten. Bij een gascentrale is dat niet aan de orde, die kan makkelijk terugschakelen en wordt daardoor niet direct onrendabel. Gascentrales bijten in die zin investeringen in duurzame energie niet, want ze gaan prima samen. “Kolen- of kerncentrales, ze passen ons alle twee niet”, concludeerde Harry Droog, die in het Regieorgaan een belangrijke functie had, in Technisch Weekblad van 25 oktober 2008.

4. Kerncentrale kan stroom niet kwijt

Er zijn veel plannen voor de bouw van nieuwe gas- en kolencentrales. Netbeheerder Tennet heeft in 2010, 2011 en 2013 aangegeven dat er nu een overschot aan centrales is in Nederland.^{31 32 33} In de woorden van Tennet is er “vanaf 2009 sprake van een vermogenssurplus”³⁴ en een “Groeiend exportpotentieel voor de Nederlandse elektriciteitsmarkt”³⁵.

We kunnen aan de hand van de gegevens van Tennet van 11 augustus 2011 uitrekenen dat er ook een overschot zal zijn als we ervan uitgaan dat de kolencentrales niet in bedrijf komen: in 2018 is er dan nog een overschot van 2600 Megawatt. Of, zoals Tennet het in 2011 omschreef: “Ervan uitgaande dat er volgens producenten nauwelijks decommissioning (stopzetting, H.D.) van productievermogen zal plaatsvinden, betekent dit dat Nederland op termijn een exporteur van elektriciteit wordt of dat veel productie-eenheden niet in bedrijf zullen zijn.”³⁶ Omdat de vraag naar elektriciteit gedaald is door de economische crisis, ging Tennet er in 2013 vanuit dat het overschot in 2020 zo’n 11.700 Megawatt bedraagt zodat er “ruimte is om ouder productievermogen te amoveren, dan wel dat dit vermogen kan worden gebruikt voor export zonder dat de leveringszekerheid in Nederland in gevaar komt”³⁷. Kortom, als er rond die tijd ook nog een kerncentrale van 1000 tot 1600 Megawatt bij zou komen, is het maar de vraag of die kerncentrale de stroom in Nederland kwijt kan.

5. Beperkte productiecapaciteit kerncentrales

Het Nucleair Energie Agentschap (NEA) heeft de Technology Roadmap Nuclear Energy uitgebracht³⁸. Eén van de hoofdauteurs van dit rapport, Martin Taylor, zegt hierover: “Het is een ambitieus plan. We kunnen in het algemeen stellen dat de wereldwijde productiecapaciteit om kerncentrales te bouwen tussen nu en het jaar 2020 zal moeten verdubbelen om de doelen in ons rapport te halen.”

Taylor wijst erop dat “in de jaren 90 en ook de afgelopen tien jaar een aantal ondernemingen de nucleaire business min of meer heeft verlaten. Andere ondernemingen hebben hun capaciteit ingekrompen. Tegelijk steeg de gemiddelde leeftijd van het gekwalificeerde personeel. Velen zijn met pensioen gegaan of beginnen daar binnenkort aan. We concluderen daarom in onze roadmap dat beperking in de industriële capaciteit en in de beschikbaarheid van personeel een belemmering zal vormen voor de bouw van het aantal nieuwe kerncentrales. Dat geldt in ieder geval voor de komende jaren.”

Taylor verwijst naar het rapport, waarin staat dat de productie van de meeste reactorcomponenten binnen een paar jaar kan toenemen. Maar het wordt lastig voor de grootste componenten zoals het reactorvat. Japan Steel Works is nu de enige fabriek die reactorvaten uit één stuk kan gieten. Het duurt zeker vijf jaar om zo'n fabriek te bouwen en er zijn maar weinig firma's die over de benodigde technologie en financiering beschikken, concluderen de auteurs van de roadmap³⁹. In Engeland was er een plan om een fabriek voor reactorvaten te bouwen. De Engelse regering heeft medio juni 2010 echter besloten om daar geen lening aan te verstrekken, zodat de bouw niet doorgaat⁴⁰.

6. Broeikasewffect en uranium

Kernenergie draagt ook bij aan het broeikasewffect. Het gaat hier om CO₂ dat vrijkomt bij winning en bewerking van uraniumerts, bij de bouw van de kerncentrale, het transport van kernbrandstof, de afbraak van de centrale, etc.. Bij al deze werkzaamheden zijn machines nodig die benzine of diesel gebruiken en zo CO₂-uitstoot veroorzaken. Dit heet de indirecte CO₂-uitstoot.

Op het ogenblik worden uraniumertsen gewonnen met gemiddeld zo'n 0,1 procent uranium; in 1000 kilo gesteente zit dan een kilo uranium. In deze situatie is de indirecte CO₂-uitstoot van een kerncentrale 10 tot 50 procent van de totale CO₂-uitstoot van een gas-gestookte centrale en 15 procent tot 85 procent van een warmtekracht-installatie op aardgas⁴¹, blijkt uit de schaarse beschikbare openbare gegevens.^{42 43}

Er is echter slechts een beperkte hoeveelheid van dit erts met 0,1 procent uranium. Wanneer vanwege het broeikasewffect meer kerncentrales gebouwd worden, zal men over tien tot vijftien jaar moeten overgaan op ertsen met een lager gehalte aan uranium. Dan moet veel meer gesteente afgegraven en verwerkt worden voor eenzelfde hoeveelheid uranium. Daardoor stijgt de indirecte CO₂-uitstoot. Bij een ertsgehalte van 0,02 procent is de indirecte CO₂-uitstoot door een kerncentrale gemiddeld 60 procent van die van een gascentrale. Bij nog armere ertsen van 0,01 procent is een kerncentrale verantwoordelijk voor meer CO₂-emissie dan wanneer dezelfde hoeveelheid elektriciteit verkregen zou zijn door meteen fossiele brandstoffen te verbranden.^{44 45 46}

70 keer Borssele

In 1976 schatte het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) dat in het jaar 2000 wereldwijd kerncentrales een vermogen van 2.300.000 Megawatt (MW) zouden hebben⁴⁷. Voor Nederland was die schatting ook heel groot: in 1972 ging de Kernenergienota van Minister van Economische Zaken Langman ervan uit dat er in Nederland in het jaar 2000 maar liefst 35.000 MW geïnstalleerd kernenergievermogen zou staan.⁴⁸ Dit is 70 keer het vermogen van de kerncentrale Borssele van 500 MW.

Als die IAEA-verwachting was uitgekomen, zou er vanaf 2000 jaarlijks 430.000 ton uranium nodig zijn geweest als brandstof voor die kerncentrales. Dat zou echter wel betekend hebben dat de bewezen en redelijk zekere geschatte voorraad uranium in het jaar 2000 al op zou zijn geweest.⁴⁹

Uranium snel op

Dat de uraniumvoorraad beperkt is, zien we ook op de volgende manier. Alle kerncentrales wereldwijd gebruiken nu jaarlijks bijna 70.000 ton uranium. Volgens een rapport uit 2012 van het NEA,⁵⁰ een instituut dat vóór kernenergie is, zijn de bewezen en geschatte voorraden (op grond van redelijk betrouwbare gegevens) samen 7,1 miljoen ton. Daarnaast schat NEA de niet-ontdekte en speculatieve voorraden uranium op 10,5 miljoen ton. Hoelang die bewezen voorraad van 7,1 miljoen ton uranium meegaat is natuurlijk afhankelijk van de vraag. Bij het huidige gebruik van uranium is de voorraad over 100 jaar op (100 maal huidig jaarlijks

verbruik van 70.000 ton), maar als de vraag stijgt zijn we natuurlijk sneller door de voorraad heen. Dat kunnen we zien aan de hand van het volgende, uiteraard niet realistische, rekenvoorbeeld. Stel dat alle landen het voorbeeld van Frankrijk zouden volgen en besluiten dat kernenergie in 2030 zo'n 70 procent van alle elektriciteit moet leveren. Kernenergie zorgt in dit voorbeeld voor 27 procent van het wereldwijde energiegebruik, de rest komt uit fossiele brandstoffen en duurzame energie. We kunnen dan bij benadering uitrekenen dat tot eind 2030 zo'n 6 miljoen ton uranium nodig is.⁵¹ Dat is bijna de totale bewezen en geschatte voorraad van 7,1 miljoen ton. In plaats van over 100 jaar is in dit voorbeeld de bewezen en geschatte voorraad uranium al over 23 jaar (in 2037) op en is men dan afhankelijk van onzekere speculatieve voorraden. Als er wereldwijd veel kerncentrales gebouwd worden om bijvoorbeeld het broeikas effect te bestrijden (wat ook verder noch de beste, noch de meest kosten-effectieve methode is⁵²), stuiten we al over enkele decennia op uraniumtekorten. Overigens is volgens het Weense Internationale Atoom Energie Agentschap (IAEA) kernenergie in 2050 goed voor hooguit 2,2 tot 5,6 procent van de energievoorziening in de wereld, nu is dat 4,5 procent.⁵³

Meer Fukushima's

Stel dat we aan de problemen met kernenergie voorbijgaan, net doen of het ongeluk bij Fukushima niet is gebeurd en het Nucleair Energie Agentschap (NEA) te Parijs volgen. Het NEA heeft een scenario bedacht voor een forse toename van het aantal kerncentrales⁵⁴. Dat vergt op korte termijn een onwaarschijnlijke toename van de productiecapaciteit en van gekwalificeerd personeel. Tot 2050 moet elke twee weken begonnen worden met de bouw van een nieuwe kerncentrale. Het aandeel kernenergie in de totale energievoorziening neemt dan toe van 6 procent nu naar 15 procent in 2050. De rol van kernenergie blijft dus hoe dan ook beperkt.

Echter, hoe meer kerncentrales, hoe groter de kans op een kernsmelting. De kans dat er tot het jaar 2050 weer een kernsmelting plaatsvindt met ernstige gevolgen voor de omgeving is 40 procent, kunnen we uitrekenen op basis van de vooronderstellingen van de kernindustrie^{55 56}. En dat zal opnieuw een tegenslag voor de kernenergie betekenen. Dat er dus vanaf nu elke twee weken begonnen zal worden met de bouw van een kerncentrale is zeer onwaarschijnlijk. Daarmee is de nucleaire wederopstanding een illusie.

7. Politiek instabiel uranium

Komt alle uranium uit politiek stabiele gebieden, zoals we vaak horen beweren? Nederland haalt uranium voor de kerncentrale Borssele uit Kazachstan⁵⁷, een land dat zorgt voor 21 procent van de wereldwijde productie van uranium⁵⁸. Daar heerst een dictatuur en dat lijkt ons geen politiek stabiel land.

Uranium wordt ook in Afrika gedolven. WISE deed onderzoek naar de gevolgen van uraniummijnbouw in Zuid-Afrika, Namibië en de Centraal-Afrikaanse Republiek. Fleur Scheele, onderzoeker bij WISE en auteur van het rapport: "De sociale en milieuproblemen rond deze Afrikaanse uraniummijnen zijn zo ernstig dat je je niet voor kunt stellen dat een energiebedrijf daar haar grondstoffen vandaan wil halen".⁵⁹

8. Europese Unie voor zoutkoepels....

De Europese Raad van ministers heeft op 19 juli 2011 een richtlijn over opslag van kernafval vastgesteld. Die heeft kracht van wet en daardoor komt de opslag van kernafval in de Noordelijke zoutkoepels weer in beeld. Die richtlijn is opgesteld door de Europese Commissie en besproken in het Europees Parlement.⁶⁰

Voor 2015 moeten er nationale programma's komen waarin staat:

- welke doelen men wil bereiken;

- welke de belangrijke mijlpalen en tijdsaders zijn;
- om hoeveel kernafval het gaat;
- welke plannen en technische oplossingen er zijn voor het kernafval vanaf de productie van kernafval in de kerncentrale tot en met de eindopslag;
- de plannen voor de opslag als de opslagplaats gesloten is, inclusief de tijd dat de opslagplaats gecontroleerd moet worden;
- de middelen om de kennis van de opslagplaats te bewaren tot in lengte van dagen;
- onderzoek, ontwikkeling en demonstratie-activiteiten die nodig zijn om de gekozen oplossing voor het kernafval daadwerkelijk tot stand te brengen;
- overzicht van de kosten van de opslag en van de financiering van die kosten.^{61 62}

....*maar Nederland na 2130*

De Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) bij Vlissingen is verantwoordelijk voor de opslag van alle soorten kernafval in Nederland. De COVRA is een NV waarvan alle aandelen sinds 2002 in handen zijn van de Staat⁶³. Op 5 juli begon de COVRA met het OnderzoeksProgramma Eindberging Radioactief Afval (OPERA)⁶⁴: “Naar de huidige stand van de wetenschap en techniek is alleen geologische berging van hoogradioactief afval een veilige oplossing, die verzekert dat het afval ook op de lange termijn buiten de levensruimte (biosfeer) van de mens blijft.” En: “De besluitvorming over een eindbergingsfaciliteit voor het Nederlandse radioactieve afval is een proces met een zeer lange tijdshorizon (volgens het huidige beleid tenminste 100 jaar) dat stapsgewijs zal worden uitgevoerd.”... “Internationale ervaringen leren dat dit een proces is van tenminste 20 - 25 jaar. De uiteindelijke bouw van de faciliteiten zal naar verwachting nog eens 5 – 10 jaar in beslag nemen. Dit betekent dat een eindberging in Nederland niet voor 2130 in bedrijf zal zijn.”⁶⁵

De COVRA vraagt zich dus niet af of het verantwoord is om door te gaan met kernenergie. De stilzwijgende vooronderstelling is dat we het probleem rustig kunnen doorschuiven naar de toekomst, wellicht om de weerstand van de bevolking te ontlopen. Maar rond 2130 moet alle energie uit duurzame bronnen komen en is er geen kernenergie meer. Of er dan nog kennis over kernafval aanwezig is, is zeer de vraag.

De regering gaf de bevolking de mogelijkheid om tot 21 november 2013 te reageren op het zogeheten startdocument voor het ‘Nationaal Programma voor berging van radioactief afval’. Een aantal organisaties heeft als reactie 10 argumenten naar voren gebracht waarom het startdocument als zodanig ongeschikt is. Ze hebben voorgesteld dat de regering het startdocument intrekt en een nieuw begin maakt door eerst vast te stellen hoe een zinvolle discussie vormgegeven zou kunnen worden.⁶⁶

9. Nergens opslag hoogradioactief afval

De kerncentrale Borssele maakt kernafval dat zeker een miljoen jaar gevaarlijk blijft⁶⁷. In Nederland horen we regelmatig dat het kernafvalprobleem in het buitenland wel is opgelost. Maar dat blijkt niet zo te zijn. Nergens ter wereld is een ondergrondse opslagplaats voor warmte-producerend hoogradioactief afval in bedrijf.

Tabel 1:

Vroegste tijdstip eindopslag hoogradioactief afval

Land	verwachting in 1989 ⁶⁸	verwachting in 1996 ⁶⁹	verwachting in 2014 ⁷⁰
Nederland	2000	??	2130
België	2030	2035	2070/80

Duitsland	2005/10	2010	2041/45
Groot-Brittannië	??	2030	2075
Zweden	2020	2020	2023/25
Finland	2020	2020	2020/25
Frankrijk	2010	2020	2025
Zwitserland	2025	2020	2040/45
Canada	2015/25	2025	2035
U.S.A.	2010	2013	2048

Als deze verwachting zou uitkomen, zou Finland het eerste land met een eindopslag zijn. In mei 1999 vroeg Posiva Oy, die twee kerncentrales exploiteert in Finland, een vergunning aan voor opslag bij Olkiluoto in de gemeente Eurajoki. Maar er zijn twijfels bij de veiligheid van deze opslag.

De Zweedse geoloog Nils-Axel Mörner zegt hierover: “Posiva Oy vindt het voldoende dat vaten met kernafval op 50 tot 100 meter van breukzones opgeslagen worden, maar het zou vijf tot tien kilometer moeten zijn. Olkiluoto zit verticaal en horizontaal vol met dergelijke breuken. Daarom ben ik er niet van overtuigd dat de opslag daar veilig is.”⁷¹

10. Veiligheid opslag niet te bewijzen

Met rekenmodellen probeert men na te bootsen hoe het opgeborgen kernafval zich in de periode van de komende honderdduizenden jaren in de ondergrond zal verplaatsen. Deze periode noemt men ook wel de simulatieperiode.

De rekenmodellen voor de veiligheid op lange termijn zijn onbetrouwbaar. De door de overheid ingestelde commissie voor opberging van kernafval (OPLA), stelde in het eindrapport van 1993⁷² dat berekeningen over de risico's van de ondergrondse opslag van kernafval op lange termijn onbetrouwbaar zijn: de resultaten van modelberekeningen hangen af van het gebruikte model en van de persoonlijke inzichten van de makers van het model, terwijl fundamentele kennis veelal ontbreekt. De OPLA ging in haar eindrapport ook in op de vraag wanneer bewezen is dat een model klopt, ofwel ‘gevalideerd’ is en komt tot de conclusie dat dit alleen bereikt kan worden door vergelijking van de modelvoorspellingen met veldwaarnemingen: "Dit proces zal gedurende een lange periode moeten plaatsvinden (bijvoorbeeld 30-50 procent van de simulatieperiode) voordat het model als gevalideerd beschouwd kan worden. Dit is echter wel een 'ideaal validatieproces'. In de praktijk, en zeker in het kader van veiligheidsanalysestudies waar de geohydrologische modellen gebruikt worden om voorspellingen te doen voor periodes van een tiental duizenden jaren, kan dit type validatie niet uitgevoerd worden."⁷³ Men zou dus duizenden jaren onderzoek moeten doen voordat men een uitspraak over de betrouwbaarheid van de modellen kan doen. Aan deze conclusies is sindsdien in feite niets veranderd: berekeningen over de veiligheid van opslag van kernafval blijven onbetrouwbaar.^{74 75 76 77 78}

11. Kleine hoeveelheid, langdurig gevaar

Regelmatig benadrukken voorstanders van kernenergie dat het maar om kleine hoeveelheden radioactief afval gaat. Maar bij kernafval gaat het niet alleen om het volume, maar vooral om het gevaar van zelfs een minieme hoeveelheid radioactiviteit. Dat kan duidelijk gemaakt worden aan de hand van het volgende. Door het ongeluk in april 1986 met de kerncentrale te Tsjernobyl werd een groot deel van Europa besmet. Een berekening aan de hand van rapporten van het Nucleaire Energie Agentschap⁷⁹ laat zien dat er slechts 50 kilo langdurig

gevaarlijke stoffen als cesium, strontium en plutonium verspreid werd. Toch betekent die vijftig kilo dat er omvangrijke gebieden in Wit-Rusland, Rusland en de Oekraïne langdurig besmet zijn. Een kleine hoeveelheid kernafval kan dus grote gevolgen hebben en is geen argument om net te doen of dit afval een te verwaarlozen probleem is.

In de discussie wordt overigens vaak verzwegen dat er in het buitenland veel afval vrijkomt vanwege de Nederlandse kerncentrales. Dit geldt speciaal voor het radioactief afval afkomstig van de uraniumwinning: alleen al voor de kerncentrale Borssele gaat het om ongeveer 11.000 ton ertsafval per jaar. Het ertsafval bestaat uit een mengsel van zouten, zuren, zware metalen, fijn gemalen gesteente en radioactieve stoffen zoals radon, radium en thorium. Daarom is het radioactief afval.⁸⁰

12. Duitse zoutkoepels lekken

In de Duitse zoutkoepels te Asse en Morsleben liggen vaten met radioactief afval. Beide zoutkoepels hebben te kampen met grondwater dat naar binnen stroomt. De vaten uit Asse worden weer opgegraven, die in Morsleben blijven erin omdat de zoutkoepel wordt afgesloten^{81 82}. We bespreken hier de gang van zaken bij Asse.

De Duitse overheid heeft een vergunning afgegeven voor het opgraven van 126.300 vaten radioactief afval uit de zoutkoepel te Asse in de deelstaat Nedersaksen. Dit is een primeur. Het terughalen van vaten met kernafval is nog nergens ter wereld gebeurd.

In de Duitse deelstaat Nedersaksen ligt de zoutkoepel Asse, waarin tot 1978 zo'n 125.000 vaten laag- en 1300 vaten middelradioactief afval zijn opgeslagen. Het laagradioactief afval ligt in twaalf opslagruimtes op 725 tot 750 meter diepte, het middelradioactief afval in één opslagruimte op 511 meter diepte.⁸³

Rond 1970 was het de bedoeling dat er ook hoogradioactief afval in zou komen. Dit Duitse plan was een belangrijke reden voor de Nederlandse overheid om te kiezen voor opslag in zoutkoepels. Het liep echter anders. Hoogradioactief afval is er nooit opgeslagen. In Asse is op 700 meter diepte het radioactieve cesium-137 vastgesteld. In 2008 werd bekend dat dit cesium al vanaf begin jaren 90 vrijkomt.⁸⁴ Er stroomt namelijk dagelijks 12.000 liter water de zoutkoepel in. Het gevormde pekkel heeft de vaten aangetast, waardoor er radioactiviteit uit de vaten lekt. Begin jaren 70 werd beweerd dat de opslag in Asse duizenden jaren veilig zou zijn.^{85 86} Nu blijkt er al na 40 jaar radioactiviteit te lekken.^{87 88}

Opgraven 126.300 vaten kernafval

Het Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) laat op 3 september 2009 weten dat het onduidelijk is hoelang het duurt voordat de schachten onder water komen te staan⁸⁹ en dat daarom alle vaten voor 2020 opgegraven moeten worden.^{90 91 92} Dit kost volgens de vorige Duitse milieuminister Norbert Röttgen (CDU) 3,7 miljard euro⁹³, waar nog eens 200 miljoen euro bijkomt voor de berging van middelactief afval⁹⁴.

Op 31 mei 2011 bracht het BfS een aflevering van het blad "Asse Einblicke"⁹⁵ uit. Daarin stelden de milieuminister van de Duitse regering en de ministerpresident van de deelstaat Nedersaksen, dat er een vergunning is verleend aan BfS voor het terughalen van het kernafval.^{96 97}

Om de vaten weer naar boven te halen wordt een nieuwe schacht aangelegd. Daardoor kan het terughalen veiliger en sneller uitgevoerd worden. De bestaande schacht is voor het terughalen niet geschikt vanwege de geringe capaciteit.⁹⁸

De opgegraven vaten worden tijdelijk bovengronds opgeslagen in een gebouw, maar er is nog geen besluit genomen over waar dat opslaggebouw moet komen. Daarna moeten de vaten ergens definitief opgeslagen worden. Maar de eindbestemming is ook in 2014 nog onbekend.^{99 100 101 102 103}

Ook al is er nog veel onduidelijk, alle betrokkenen zijn ervan overtuigd dat ze met iets unieks bezig zijn. Het terughalen van vaten met kernafval is immers nog nergens ter wereld gebeurd.¹⁰⁴

Zoutlaag met radioactief afval Verenigde Staten

In de Verenigde Staten zal geen radioactief afval van kerncentrales in zoutkoepels worden opgeborgen¹⁰⁵, maar wel is er een eindberging in een zoutlaag, die andere kenmerken heeft dan een zoutkoepel. In een mijn bij Carlsbad in New Mexico gaat het om een deel van het radioactieve afval van de productie van kernwapens¹⁰⁶; afval van kerncentrales is uitgesloten. De zoutmijn heeft de naam WIPP (Waste Pilot Isolation Plant) gekregen. De berging zou aanvankelijk beginnen in 1988, maar vanwege twijfels aan de veiligheid^{107 108 109} en omdat er water in de mijn lekte, werd het maart 1999^{110 111}. Op 26 januari 2014 was er 90.729 kubieke meter afval opgeslagen van de maximaal toegestane hoeveelheid van 175.570 kubieke meter.
^{112 113}

13. Verkorting gevaarperiode kernafval illusie

In een kerncentrale ontstaan door het kernsplijttingsproces veel verschillende radioactieve stoffen. Sommige verliezen na korte tijd hun radioactiviteit, maar bij andere duurt dat honderdduizenden jaren. Deze langlevende stoffen zijn bepalend voor het risico op lange termijn. Als het nu mogelijk zou zijn de langlevende radioactieve stoffen om te zetten in kortlevende, zou het kernafval nog maar bijvoorbeeld 700 tot 1500 jaar gevaarlijk blijven. Dan zou dus ergens tussen het jaar 2710 en 3510 onze zorg voor het kernafval kunnen ophouden.

Al vanaf de jaren 70 doen voorstanders van kernenergie het voorkomen of de techniek van verkorting van de gevaarperiode van kernafval (ook wel 'levensduurverkorting' genoemd) al bestaat of binnenkort verkrijgbaar zal zijn.^{114 115} De werkelijkheid is echter geheel anders. Volgens het hoofd van de afdeling Nucleaire Ontwikkeling van het Nucleair Energie Agentschap (NEA) te Parijs in april 2009¹¹⁶ duurt het "nog minstens dertig jaar voor de technologie voor de verkorting van de gevaarperiode van het kernafval op enige schaal praktisch toegepast kan worden. Voor het zover is, moet nog veel onderzoek gebeuren." We zijn dan op z'n vroegst in 2040. Het proces zelf, de daadwerkelijke verkorting van de gevaarperiode, vergt minstens 40 jaar. In het gunstigste geval zijn we dan in het jaar 2080.

Snelle kweekreactoren nodig

Deze omzetting kan met name in snelle kweekreactoren, een type reactor zoals gepland was in Kalkar. Die kweekreactor is in de jaren 90 na een investering van enkele miljarden euro's omgebouwd tot pretpark¹¹⁷, omdat het kweekproces onrijp en te duur was. We krijgen dan de absurde situatie dat er ergens een Kalkar-centrale gebouwd moet worden om de langlevende radioactieve stoffen van de kerncentrales Borssele en Dodewaard te behandelen. Verkorting van de levensduur van kernafval gaat dus gepaard met de bouw van nieuwe kerncentrales. Behalve al deze problemen die eerst nog maar eens opgelost moeten worden, gaat deze technologie sowieso niet op voor al het tot nu toe geproduceerde hoogradioactieve kernafval van de kerncentrales Borssele en Dodewaard, omdat het, na opwerking, in glas is ingesmolten. Toenmalig minister Verhagen omschreef dit op 11 mei 2011 als volgt in een brief aan de Tweede Kamer: "Daarnaast is het zo dat het al bestaande en bij de COVRA opgeslagen hoogradioactieve verglaasde afval niet meer voor levensduurverkorting in aanmerking komt. Voor dit afval zal eindberging noodzakelijk blijven."¹¹⁸

Kortom, deze technologie geeft geen oplossing voor het probleem dat er nu al is.

Snelle kweekreactoren zijn er wereldwijd overigens nauwelijks. In Frankrijk was de Phenix met een vermogen van 250 Megawatt van 1973 tot 2010 in bedrijf en de Superphenix (1200

Megawatt) van 1986 tot eind 1999. De Japanse snelle kweekreactor Monju (250 Megawatt) heeft in 1995 een paar maanden gedraaid en stopt nu definitief. De Russische BN-600 (Beloyarsk-eenheid 3; 600 Megawatt, begon in 1980) is daarmee de enige kweekreactor in bedrijf wereldwijd, maar daar komt later dit jaar BN-800 (Beloyarsk-eenheid 4; 800 Megawatt) bij.^{119 120}

14. Kerncentrale Borssele: 421 bedrijfsstoringen

De overheid brengt vanaf 1980 jaarlijkse overzichten uit van storingen en ongevallen in de kerncentrales. Uit de overzichten blijkt dat zich tot eind 2013 in de kerncentrale Borssele 421 bedrijfsstoringen hebben voorgedaan. Daarbij vielen regelmatig belangrijke veiligheidsvoorzieningen uit. In 1981, 1984, 1986, 1987, 1989, 2006, 2010, 2011 en 2013 zijn er problemen geweest met de noodstroomvoorziening en de dieselaggregaten. Dat de noodstroomvoorziening en de dieselaggregaten niet werken, kwam dus niet alleen in Fukushima, maar ook in Borssele voor.¹²¹

Gelukkig is het tot nu toe niet echt fout gegaan in Borssele, maar een aantal keren zijn stappen op weg naar een ernstig ongeluk gezet. In antwoord op Kamervragen stelde de toenmalige minister Verhagen hierover op 19 april 2011 dat Borssele “geen bijzonder gevaar” liep bij deze storingen. Maar in feite erkent de minister dat er terdege gevaar is geweest, want: in 1986 is de noodstroomvoorziening aangepast; in 1991 is een extra voorziening aangelegd die ervoor zorgt dat de kerncentrale na afschakeling gedurende 45 minuten zonder externe voeding of noodstroom nog vervalwarmte kan afvoeren; in 1997 zijn er dieselgeneratoren vervangen; ook wordt er in de noodprocedures sinds 2006 rekening mee gehouden dat de stroomtoevoer van buitenaf langere tijd niet beschikbaar is.^{122 123 124}

Al deze maatregelen zouden niet nodig geweest zijn, als de hier genoemde storingen niet ernstig waren geweest.

15. Kerncentrales blijven een risico

De Nederlandse regering stelde in 2008 in het Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III) dat bij een ernstig ongeval binnen een straal van vijf kilometer met een snelle evacuatie rekening gehouden moet worden. Dit in tegenstelling tot SEV II waar een afstand van 20 kilometer genoemd werd voor evacuatie. Maar omdat de moderne kerncentrales veiliger zijn dan kerncentrales als bijvoorbeeld die te Borssele, noemt de regering nu vijf kilometer.

Het is de vraag of die nieuwe kerncentrales daadwerkelijk veiliger zijn. Dit laten we zien aan de hand van de European Pressurizedwater Reactor (EPR), die hét voorbeeld moet zijn van de nieuwe generatie kerncentrales. Over de EPR heeft het onderzoeksbureau Large and Associates in maart 2007 een rapport uitgebracht¹²⁵. Daarin staat dat bij een ernstig ongeval een gebied van 5600 vierkante kilometer geëvacueerd zou moeten worden. De ontwerper van de EPR, Areva, laat het bij een te evacueren gebied van 123 vierkante kilometer, omdat Areva ervan uitgaat dat allerlei – niet eerder toegepaste en daarom in de praktijk onbewezen – technische maatregelen perfect zullen werken. Ook sluit Areva veel ernstige ongelukken die mogelijk zijn, van tevoren uit. In deze beperkte visie van Areva komen we uit op een afstand van meer dan vijf kilometer van de centrale dat geëvacueerd moet worden. Large and Associates komen uit op een te evacueren gebied tot op tientallen kilometers van de kerncentrale.

Vragen bij veiligheid ontwerp

Daar komen nog principiële problemen in het ontwerp bij. Areva wil kerncentrales bouwen in de VS. De Amerikaanse overheidscommissie voor Nucleaire Regelgeving (NRC) heeft vragen

bij het ontwerp van de EPR, bleek op 26 juli 2010. Het gaat vooral om het goed functioneren van de veiligheidssystemen. Ook moeten de veiligheidssystemen onafhankelijk van elkaar werken. En dat is nu niet het geval. Daarom wil Areva veranderingen aanbrengen in deze systemen, zodat ze minder ingewikkeld worden en onafhankelijk van elkaar.¹²⁶ In maart 2011 zou Areva hiervoor concrete voorstellen doen^{127 128}, maar of dat gebeurd is, is onbekend. En of die veranderingen nog toegepast kunnen worden in de kerncentrales die Areva nu al bouwt in Finland en Frankrijk, is onduidelijk. Al met al is de EPR in grote economische en technische problemen gekomen¹²⁹.

Ook bleek in juli 2011 dat de EPR minder noodstroomvoorzieningen heeft dan de Konvooykerncentrale, de Duitse centrale waar de EPR op heeft voortgebouwd. Een voorbeeld: het ontwerp van de EPR gaat ervan uit dat na een ongeluk altijd binnen 24 uur de stroomvoorziening hersteld is. Maar bij Fukushima duurde dat 11 dagen.¹³⁰

Er zijn ook vragen bij de veiligheid van de Amerikaanse reactor AP 1000 van Westinghouse. Bij een ongeval kan 1000 keer meer radioactiviteit vrijkomen dan toegestaan is, zei Arnold Gundersen, chief engineer at Fairewinds Associates op 10 januari 2011 bij de publicatie van een rapport over de AP 1000.¹³¹

Met de nieuwe kerncentrales wordt een groot ongeluk dus niet uitgesloten, kunnen we concluderen. Daarmee blijft kernenergie een groot risico.

16. Kernenergie een onverzekerbaar risico

De verzekeringsmaatschappijen weigeren de schade te dekken die mensen kunnen oplopen door een ongeluk met een kerncentrale. Blijkbaar vinden ze kernenergie een te groot risico en te onveilig.

Wie de kleine lettertjes van de schadeverzekering bestudeert, komt ook een paragraaf tegen over schade die niet gedekt wordt. Behalve oorlog wordt ook schade "veroorzaakt door of samenhangend met atoomkernreacties" niet gedekt. Deze uitsluiting is niet toevallig. Er is namelijk een afspraak tussen de verzekeringsmaatschappijen dat zij niemand individueel zullen verzekeren tegen de risico's van kernenergie.¹³²

Om schade door kernenergie vergoed te krijgen, moet je je wenden tot de eigenaren van de kerninstallaties. Maar bij grote ongelukken zul je daar bot vangen. De exploitanten van kerninstallaties hoeven zich maar beperkt te verzekeren tegen de schade die anderen ervan ondervinden. Dat is geregeld in internationale verdragen.

De wettelijke aansprakelijkheid van de exploitanten van kerncentrales is beperkt bij de Verdragen van Parijs (1960) en Brussel (1963). Deze verdragen liggen ten grondslag aan de Nederlandse Wet Aansprakelijkheid Kernongevallen (WAKO).

Waarom is de aansprakelijkheid beperkt? In het gemeenschappelijk commentaar bij het Verdrag van Parijs lezen we: "In de eerste plaats omdat volgens het geldende recht de exploitanten van kerninstallaties onbeperkt aansprakelijk zouden zijn, terwijl het duidelijk is dat onbeperkte financiële dekking onmogelijk kan worden verkregen." Ook lezen we: "De zeer zware financiële lasten, die het gevolg zouden kunnen zijn van onbeperkte aansprakelijkheid, zouden de ontwikkeling van de kernindustrie ernstig in gevaar kunnen brengen." In maart 2003 stelde Juhani Santaholma van de Finse Energie-industrie Commissie dat onbeperkte aansprakelijkheid zal leiden tot het faillissement van de exploitant van de kerncentrale, wanneer zich een ongeluk voordoet. Hij zei dit vanwege de plannen om in Finland een nieuwe kerncentrale te bouwen.¹³³

De wet aansprakelijkheid kernongevallen beschermt dus vooral de kernindustrie. De kernindustrie is voor de Europese Commissie en de Nederlandse regering een belangrijker waarde dan de bevolking en het milieu.

Beperkte dekking

Nederland heeft in 1989 de wet aansprakelijkheid kernongevallen herzien. De maximale aansprakelijkheid voor de exploitant van een nucleaire installatie bedroeg toen 400 miljoen gulden (zo'n 180 miljoen euro) en de staat zorgt voor een aanvullende dekking tot 2 miljard gulden (ruim 900 miljoen euro). Dat bedrag voor de exploitant is later opgehoogd naar 340 miljoen¹³⁴.

In het nieuwste voorstel tot wijziging van de WAKO van juli 2007 is het schadebedrag waarvoor de exploitant van een kerncentrale zich maximaal moet verzekeren opgehoogd van 340 miljoen tot 750 miljoen euro. Het bedrag van de schade die boven deze 750 miljoen uitgaat (en dat de staat zal betalen) is verhoogd naar 3,2 miljard euro per kerncentrale. Uit de Memorie van Toelichting blijkt dat het ministerie van Financiën een reservering van ruim 14 miljard euro op de balans heeft staan voor de zeven installaties die onder WAKO vallen. In de Memorie wordt bij artikel 18 opgemerkt "dat hiermee uitdrukkelijk niet bedoeld is de indruk te wekken dat met het gekozen bedrag (3,2 miljard per installatie, H.D.) alle financiële gevolgen van een ernstig kernongeval kunnen worden vergoed. Een dergelijke schade zal immers vele malen groter kunnen zijn."¹³⁵ Op 31 augustus 2012 is het maximum door de exploitant te vergoeden bedrag verhoogd naar 1,2 miljard euro. De rest komt nog steeds voor rekening van de overheid.¹³⁶

Ter vergelijking. De schade van het ongeluk te Tsjernobyl in 1986 is zeker 300 miljard dollar¹³⁷ (210 miljard euro, afhankelijk van de gebruikte wisselkoers). Analisten van Bank of America Merrill Lynch hebben op 31 maart 2011 een voorlopige berekening gepubliceerd van de schade van het ongeluk met de kerncentrales te Fukushima: 133 miljard dollar¹³⁸ (94 miljard euro). In 2012 werd een bedrag genoemd van 186 miljard euro¹³⁹. Een ongeluk met een nieuw te bouwen kerncentrale in Nederland waarbij een tiende vrijkomt van de radioactieve stoffen die bij het Tsjernobyl-ongeluk zijn geloosd, geeft volgens de Nederlandse regering een schade van 17 tot 30 miljard gulden¹⁴⁰ (7,2 tot 13,6 miljard euro). Hieruit volgt dat een groot deel van de schade niet gedekt is.

Maar als kerncentrales veilig zijn, zoals de voorstanders van kernenergie graag zeggen, waarom moet de aansprakelijkheid dan beperkt worden? Dus óf de kerncentrales zijn veilig en de aansprakelijkheid is onbeperkt, óf ze zijn onveilig en dan moeten we die kerncentrales niet bouwen.

17. Kernenergie is duur

Met kernenergie is iets merkwaardigs aan de hand. Bij veel producten (radio, tv, computer) zien we dat de prijs naar beneden gaat in de loop van de tijd. Bij kernenergie is dat niet het geval. Sinds 1970 zijn de investeringskosten per kilowatt kernenergie-vermogen in de Verenigde Staten met een factor vijf en in Frankrijk met een factor drie gestegen¹⁴¹. Kernenergie wordt dus niet goedkoper, maar juist duurder. Enkele voorbeelden.

In Nederland is de bouw van een tweede kerncentrale bij Borssele geschrapt. Interim-directeur Frank Verhagen van het energiebedrijf Delta stelde op 12 april 2012: "De in januari 2012 in de ijskast gezette plannen voor Borssele 2 komen er waarschijnlijk de komende jaren niet meer uit. De Nederlandse energiemarkt kampt met flinke overcapaciteit. En die neemt nog toe. Een miljardeninvestering als een kerncentrale is dus niet verantwoord, zeker niet voor een relatief klein bedrijf als Delta."^{142 143}

In de *Verenigde Staten* was het plan dat er in het jaar 2000 zo'n 1200 kerncentrales in bedrijf zouden zijn. Maar het zijn er nu 104. De Union of Concerned Scientists (UCS) heeft in februari 2011 het rapport "Nuclear Power: Still Not Viable Without Subsidies" uitgebracht. Daarin staat

dat de overheid al 50 jaar lang allerlei omvangrijke subsidies verstrekt aan de kernindustrie. “Zonder die subsidies zouden de meeste van die 104 kerncentrales niet gebouwd zijn.”¹⁴⁴

De regering Obama heeft herhaaldelijk een miljardensteun voor de bouw van kerncentrales aangekondigd¹⁴⁵. Volgens Ellen Vancko, manager van het Nuclear Energy and Climate Change Project van UCS, is dit geldverspilling. Dat blijkt ook uit het rapport “Updated Capital Cost Estimates for Electricity Generation Plants,” van november 2010. Dit rapport is gemaakt in opdracht van de Amerikaanse overheidsinstantie Energy Information Agency (EIA). In dit rapport staat dat de bouwkosten van kerncentrales alleen al in het jaar 2010 met 37 procent gestegen zijn, die van gascentrales gelijk zijn gebleven en van zonne-energie met 25 procent gedaald zijn¹⁴⁶.

In 2007 vroegen de energiebedrijven Constellation Energy en het Franse EDF een vergunning aan voor de kerncentrale Calvert Cliffs-3. Dat was het eerste bouwplan in de VS in 30 jaar. Calvert Cliffs-3 werd het vlaggenschip voor de nucleaire renaissance in de VS genoemd. In oktober 2010 stapte Constellation Energy uit de bouw van de kerncentrale Calvert Cliffs-3, waardoor EDF als enige partner overbleef.¹⁴⁷ EDF heeft begin maart 2011 de staat Maryland om financiële steun gevraagd, omdat de bouw van Calvert Cliffs-3 op dit moment niet winstgevend (“unprofitable”) is¹⁴⁸.

Op 15 augustus 2011 noemde John Rowe, directeur van Exelon, de vooruitzichten voor de bouw van nieuwe kerncentrales om economische redenen “miserabel slecht”. De komende tien tot twintig jaar is kernenergie volgens Rowe duurder dan elektriciteit uit gas. Exelon heeft in de VS 17 kerncentrales in bedrijf en is daarmee de grootste producent van kernstroom.¹⁴⁹ Van de 31 geplande nieuwe kerncentrales waarvan in 2009 sprake was, worden er nu vier gebouwd met subsidie van de overheid.¹⁵⁰

De bouw in *Finland* van de EPR-kerncentrale (European Pressurizedwater Reactor) van 1600 Megawatt, Olkiluoto-3, begon in 2005 en zou 3,2 miljard euro kosten. De centrale had in 2009 in bedrijf moeten komen, maar dat wordt nu 2016. Of dat lukt is de vraag, omdat de stoomgeneratoren pas eind januari 2011 geplaatst waren¹⁵¹. De bouwer, het Franse Areva, leidt er een verlies op van minimaal 3 miljard euro, terwijl de centrale 8,5 miljard euro kost¹⁵². De reactorbouwer Areva vindt dat Finland de oorzaak is van de vertragingen. Daarom heeft Areva recentelijk een claim ingediend van 2,7 miljard euro tegen de toekomstige eigenaar van de centrale, het Finse elektriciteitsbedrijf TVO. Omgekeerd eist TVO 1,8 miljard van Areva omdat onderdelen te laat zijn afgeleverd.¹⁵³

Frankrijk bouwt een EPR centrale bij Flamanville, die volgens de aanvankelijke plannen in 2012 in bedrijf zou komen. In juli 2010 bleek echter dat het 2014 wordt¹⁵⁴ en dat de kosten stijgen van 3,3 naar 5 miljard euro^{155 156}.

Op 21 juli 2011 herzag de exploitant Electricité de France (EDF) de organisatie voor de bouw van de centrale. Er zijn twee niet met name genoemde ongelukken geweest, waardoor de bouw in 2011 langere tijd heeft stilgelegen. De bouwkosten stegen naar 6 miljard euro.^{157 158} Eind december 2012 gingen de kosten met nog eens 2 miljard euro omhoog naar 8 miljard euro¹⁵⁹. De verwachting van EDF is dat de kerncentrale in 2016 in bedrijf komt.¹⁶⁰

De regering van *Groot-Brittannië* heeft in 2008 plannen aangekondigd voor de bouw van zo'n tien kerncentrales. Charles Hendry, de minister van Energie en Klimaat van de huidige Conservatieve-Liberale regering heeft op 13 juli 2010 laten weten geen overheidssubsidie voor kernenergie beschikbaar te stellen¹⁶¹. Daarop stelden de Duitse bedrijven RWE en E.On dat ze voor de geplande bouw van kerncentrales in Engeland wel subsidie nodig hebben¹⁶². Op 6 juli 2011 stelde Peter Atherton, hoofd van de afdeling van Citigroup die investeringen in

elektriciteit beoordeelt, dat de marktpartijen niet zullen investeren in kernenergie in Groot-Brittannië, tenzij de regering een aanzienlijk deel van het investeringsrisico wil dragen: “Zoals het nu is, is investeren in kerncentrales geen optie. De kapitaalkosten zijn gewoon te hoog om je een aanvaardbare elektriciteitsprijs te geven.”¹⁶³

Daarop ging de regering in onderhandeling met het Franse elektriciteitsbedrijf EDF. In oktober 2013 leidde dit tot een garantieregeling voor de elektriciteit uit de nieuw te bouwen kerncentrale Hinkley Point C (twee EPR-centrales van elk 1600 Megawatt), die per stuk 8 miljard pond (9,7 miljard euro) kosten¹⁶⁴ en daarmee duurder zijn dan de EPR-kerncentrales in aanbouw in Finland en Frankrijk. EDF krijgt gedurende 35 jaar de garantie voor een bepaald minimumbedrag voor de elektriciteit die de kerncentrale levert. De Europese Commissie onderzoekt of hierbij sprake is van oneerlijke subsidie en heeft daarover een voor Engeland kritisch rapport geschreven, namelijk dat er waarschijnlijk sprake is van ongeoorloofde staatssteun.^{165 166 167 168 169}

18. Andere kernenergiecentrales: thorium en kernfusie

Thorium

Met enige regelmaat komt er een pleidooi om over te stappen op kerncentrales die draaien op thorium in plaats van uranium¹⁷⁰. De bewering is dat thorium overvloedig aanwezig is en hele goedkope elektriciteit levert.

De afgelopen 50 jaar is er in verschillende landen onderzoek geweest naar kerncentrales op basis van thorium en zijn er verschillende proefcentrales een aantal jaren in bedrijf geweest¹⁷¹. In 1980 stelde het IAEA dat kort na het jaar 2000 een thoriumcentrale op de markt te koop zou zijn¹⁷². Dat is echter niet het geval. Nog steeds is er veel onderzoek en ontwikkeling nodig en het is onduidelijk of en wanneer een thoriumcentrale te koop is¹⁷³.

Kernfusie

Kernfusie is een proces waarbij door samensmelting van lichte atomen, bij een temperatuur van 100 miljoen graden waarbij de atomen een plasma vormen, een zwaarder atoom ontstaat. Dat geeft energie die omgezet moet worden in elektriciteit. Geen enkel materiaal is bestand tegen deze hoge temperatuur. Het hete plasma moet derhalve van de stoffelijke wanden worden afgehouden. Dit kan met magnetische velden in een ringvormige buis met daaromheen nog extra magneetspoelen. Dit opsluitsysteem heet Tokamak, een ontwerp van de Sovjet-Unie. Tok is het Russische woord voor stroom.

Nadat een aantal landen proeven had genomen, besloten ze samen te werken in de ITER, de Internationale Thermonucleaire Experimentele Reactor. Dit is wereldwijd de enige kernfusiereactor in aanbouw in het Franse Cadarache. In de ITER nemen deel: de Europese Unie, China, India, Japan, Zuid-Korea, de Russische Federatie en de Verenigde Staten. Het eerste beton is in december 2013 gestort. Vanaf 2020 beginnen de experimenten met waterstof. De realistische proeven met deuterium en tritium beginnen vanaf 2026. ITER moet aantonen dat het mogelijk is om op industriële schaal fusie-energie op te wekken: een vermogen van 500 Megawatt, een kwartier achter elkaar. Er wordt echter geen elektriciteit opgewekt. De opvolger van ITER, DEMO, zal een prototype elektriciteitscentrale van 1000 Megawatt worden die, als alles voorspoedig verloopt, over 20 jaar elektriciteit aan het net kan leveren.¹⁷⁴ Pas daarna is er een fusiereactor te koop op de markt.

Conclusie

Het duurt nog lange tijd (als het al ooit gebeurt) voordat zowel de thorium- als de kernfusiereactor op de markt te koop zijn en – zo Nederland dat zou willen – een alternatief

kunnen zijn voor aardgas. Maar er zijn nu alternatieven beschikbaar als zonne- en windenergie en die moeten we benutten in plaats van jaren te wachten op thoriumcentrales of kernfusiereactoren. Daarom bespreken we deze verder niet.

¹ <http://www.co2ntramine.nl/ministerie-economische-zaken-vertelt-niet-de-waarheid-over-de-gaswinning/>, 17 januari 2014; <http://www.co2ntramine.nl/leren-leven-met-aardbevingen/>, 27 januari 2014.

² <http://www.nrc.nl/nieuws/2014/01/25/samsom-we-hebben-nu-een-alternatief-voor-aardgas-nodig/>, 25 januari 2014.

³ Voor een gedetailleerde bespreking zie: <http://www.nirs.org/reactorwatch/accidents/Fukushimafactsheet.pdf> ; http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_Fukushima_nuclear_accidents.

⁴ <http://www.enerwebwatch.eu/webwatch.php?page=EarthQuake>

⁵ <http://groengroningen.nl/images/Kernenergie/kainbew.pdf>, februari 2011.

⁶ http://somo.nl/publications-en/Publication_3629/view?set_language=en, 1 maart 2011.

⁷ "Uranium Mining Issues: 2010 review", in: Nuclear Monitor, 21 januari 2011, No 722, p 2 – 8.

⁸ <http://groengroningen.nl/images/Kernenergie/kainbew.pdf>, februari 2011.

⁹ Zienswijze van 24 juni 2008 van de gezamenlijke Milieufederaties over Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening.

¹⁰ The news remained discreetly buried in the depths of the site of the French Nuclear Safety Authority (ASN): Following recent studies, EDF has just "discovered" a disturbing "anomaly" standard on 34 of its reactors. In all reactors of 900 MW in case of major leakage from the primary circuit, the water injection safety circuit may be unable to prevent the meltdown of the reactor core, Press Release / Sortir du nucléaire / Our press release from 11/02/2011.

¹¹ Voor een gedetailleerde bespreking zie: "Chernobyl; Chronology of a Disaster", in: Nuclear Monitor, maart 2011, No. 724, p 1 -18.

¹² <http://www.climatesceptics.org/ines-level/table>

¹³ WISE/NIRS, Nuclear Monitor, 28 augustus 2008, 25 september 2008, 17 september 2009 en 11 december 2009.

¹⁴ Mycle Schneider et. al., "The World Nuclear Industry Status Report 2009", Commissioned by German Federal Ministry of Environment, Nature Conservation and Reactor Safety, Paris, August 2009.

¹⁵ <http://www.tegenstroom.nl/node/958>

¹⁶ http://oekonews.at/index.php?mdoc_id=1057207, 20 maart 2011.

¹⁷ Nearly half Europe's nuclear reactors of particular concern, Greenpeace briefing - 21 maart 2011.

¹⁸ http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/rds1-33_web.pdf, Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2050`, 2013 Edition

¹⁹ IAEA, "Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2005", Reference Data Series No. 1, juli 1989 Edition.

²⁰ Eind 1988 waren er wereldwijd 429 kerncentrales in bedrijf en 105 in aanbouw. Tussen 1987 en eind 1997 zijn wereldwijd 18 nieuwe kerncentrales in bedrijf gekomen. Het aantal kerncentrales bedroeg eind 1994 432, met een vermogen van 340 Gigawatt (GW; 1 GW=1000Megawatt (MW); 1 MW=1000 kiloWatt), eind 1995 437 (en 343 GW) eind 1996 442 (met 350 GW). In januari 1998 waren er 428 kerncentrales met een vermogen van 344 GW in bedrijf (en 30 kerncentrales in aanbouw). In januari 2010 ging het om 436 kerncentrales met een vermogen van 372 GW.

²¹ http://www.world-nuclear-news.org/NN_Two_up_two_down_0401101.html, 4 januari 2010.

²² <http://www.iaea.org/programmes/a2/>

²³ <http://www.iaea.org/programmes/a2/>

²⁴ (http://www.nzz.ch/nachrichten/politik/international/atomdebatte_bundestag_1.11117362.html

²⁵ http://www.welt.de/print/welt_kompakt/print_politik/article13520650/Atomausstieg-nimmt-letzte-Huerde.html, 1 augustus 2011.

²⁶ <http://www.world-nuclear-news.org/NP-Steady-state-for-nuclear-in-2013-0701147.html>, 7 januari 2014.

- ²⁷ <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/publicaties/artikelen/archief/2011/2011-3367-wm.htm>, 6 april 2011.
- ²⁸ <http://www.co2ntramine.nl/wp-content/uploads/2013/05/Basiskennis-aardgas-mei-2013-co2ntramine-Herman-Damveld.pdf>, 28 mei 2013.
- ²⁹ <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/industrie-energie/publicaties/artikelen/archief/2013/2013-3868-wm.htm>, 18 juli 2013.
- ³⁰ <http://www.energietransitie.nl/publicaties/brochure-naar-een-duurzame-elektriciteitsvoorziening-zonnestroom>, 1 oktober 2008.
- ³¹ http://www.tennet.org/images/0403-35%20KCD%20man.samenvatting_100714def_tcm41-19221.pdf, 15 juli 2010;
http://www.tennet.org/tennet/publicaties/technische_publicaties/kwaliteit_capaciteitsplan/50_Capaciteitsplan_2010-2016.aspx, 15 juli 2010.
- ³² http://www.tennet.org/tennet/nieuws/rapport_monitoring_leveringszekerheid_2010_2026.aspx, 11 augustus 2011; http://www.tennet.org/images/099%20Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2010-2026_FINAL_tcm41-20212.PDF.
- ³³ http://www.tennet.eu/nl/fileadmin/downloads/News/Rapport_Monitoring_2012-2028.pdf, juni 2013.
- ³⁴ http://www.tennet.org/images/099%20Rapport_Monitoring_Leveringszekerheid_2010-2026_FINAL_tcm41-20212.PDF, p 6.
- ³⁵ “Groeidend exportpotentieel voor Nederlandse elektriciteitsmarkt”, persbericht Tennet, 11 augustus 2011; http://www.tennet.org/tennet/nieuws/rapport_monitoring_leveringszekerheid_2010_2026.aspx.
- ³⁶ http://www.tennet.org/images/0403-35%20KCD%20man.samenvatting_100714def_tcm41-19221.pdf, p 8.
- ³⁷ http://www.tennet.eu/nl/fileadmin/downloads/News/Rapport_Monitoring_2012-2028.pdf, p 17.
- ³⁸ NEA, Technology Roadmap Nuclear Energy, Paris, http://www.iea.org/papers/2010/nuclear_roadmap.pdf, 16 June 2010.
- ³⁹ NEA, Technology Roadmap Nuclear Energy, Paris, http://www.iea.org/papers/2010/nuclear_roadmap.pdf, 16 June 2010, p. 20.
- ⁴⁰ <http://www.guardian.co.uk/politics/2010/jul/22/lobbying-axeing-sheffield-forgemasters-loan>, 22 juli 2010.
- ⁴¹ 13% van het huidige opgestelde vermogen aan centrales in Nederland zijn warmte-kraftcentrales, zie: http://www.tennet.org/images/0403-35%20KCD%20man.samenvatting_100714def_tcm41-19221.pdf, p 5.
- ⁴² Mudd, G M & Diesendorf, M, 2008, Sustainability of Uranium Mining : Towards Quantifying Resources and Eco-Efficiency. Environmental Science & Technology, 42 (7), pp 2624-2630, april 2008; bij een gascentrale gaat het om 448 gram CO₂ per kWh (zie ook ref. 69 en 70), gegevens uit uraniummijnen in Z-Afrika en Australië leren dat het om 47 tot 260 gram CO₂ per kWh gaat.
- ⁴³ Benjamin K. Sovacool concludeert uit een analyse uit 2008 van 103 rapporten over indirecte CO₂-emissies van kerncentrales, dat de uitstoot nu 66 gram CO₂ per kWh is: http://www.nirs.org/climate/background/sovacool_nuclear_ghg.pdf.
- ⁴⁴ Jan Willem Storm van Leeuwen, Energy from Uranium, Oxford Research Group, juli 2006, http://www.oxfordresearchgroup.org.uk/publications/briefing_papers/energy_security_and_uranium_reserves_secure_energy_factsheet_4.
- ⁴⁵ <http://www.peopleplanetprofit.be/beelden/oko-instituut.pdf>, maart 2007.
- ⁴⁶ Tabel totale (directe en indirecte) CO₂-uitstoot per kilowattuur (gram/kWh)
- | brandstof | uitstoot |
|---------------------|------------|
| aardgas | 448 |
| steenkool | 924 |
| kolenvergassing | 800 |
| warmte kracht (gas) | 300 |
| uranium | 62 tot 230 |
- Uit: Ir. Wouter Biesiot, "Kernenergie: Een Beoordeling van de Risico's van Nieuw te Bouwen en Bestaande Installaties", uitgave Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde van de Rijksuniversiteit Groningen, maart 1992.
- ⁴⁷ Herman Damveld et. al. “Atoomafval in beweging”, uitgave Milieufederatie Groningen, 1982, p 7.
- ⁴⁸ Nota inzake het kernenergiebeleid, Tweede kamer zitting 1971-1972. 11 761 nr 2.
- ⁴⁹ In 1967 was de vraag naar uranium 6000 ton per jaar. Alle kerncentrales wereldwijd gebruiken vanaf 2000 jaarlijks bijna 70.000 ton uranium. We kunnen dan uitrekenen dat tot nu toe 2 miljoen ton uranium gebruikt is (zie ook Nuclear Energy Agency, "Uranium 2007: Resources, Production and Demand", Parijs, 3 juni 2008, p 74). Bij een gebruik van 430.000 ton uranium in het jaar 2000, zou er vanaf 1967 tot 2000 zo'n 6,6 miljoen ton

uranium nodig zijn geweest. Vanaf het jaar 2000 tot heden nog eens 4,7 miljoen ton uranium. In totaal dus 11,3 miljoen ton uranium.

⁵⁰ Nuclear Energy Agency, "Uranium 2011: Resources, Production and Demand", Parijs, 2012.

⁵¹ Volgens het IAEA was het totale energiegebruik in 2007, uitgedrukt in ExaJoule (EJ) 510 EJ, waarvan kernenergie 5,9%, dat is 30EJ. Voor 2030 verwacht het IAEA een wereldwijd energiegebruik van 826EJ, waarvan 39% elektriciteit ofwel 322EJ. Stel kernenergie zorgt voor 70% van het elektriciteitsgebruik in 2030, overeenkomend met 225EJ. Kernenergie gaat dan van 30EJ naar 225EJ, dat is 7,5 keer zoveel. Er is dan ook 7,5 zoveel uranium nodig in 2030, dwz. 525.000 ton in dat jaar. Bij benadering is gemiddeld tussen nu en 2030 jaarlijks zo'n 300.000 ton uranium nodig. Over 20 jaar is dat 6 miljoen ton.

⁵² Zie onder meer WISE/NIRS; Nuclear Monitor 699, 11 December 2009.

⁵³ http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/assets/rds1-33_web.pdf, Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2050, 2013 Edition, tabel 5.

⁵⁴ NEA, Technology Roadmap Nuclear Energy, Paris, http://www.iea.org/papers/2010/nuclear_roadmap.pdf, 16 June 2010.

⁵⁵ Volgens de NEA-roadmap neemt het aantal kerncentrales toe van 440 in 2010 naar 1200 in het jaar 2050. Bij benadering kunnen we dan uitrekenen dat er gemiddeld 820 kerncentrales in die 40 jaar in bedrijf zijn. Als de kans op een ernstig ongeluk eens in de miljoen jaar is, komt dat neer op een kans van bijna 4% op een ernstig ongeluk tot 2050. Omdat volgens een IAEA-rapport uit 2012 de kans 10 keer zo groot is als voor 2011 werd aangenomen, komen we op een kans van bijna 40%.

⁵⁶ http://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:44011505, oktober 2012.

⁵⁷ Tweede Kamer, vergaderjaar 2006-2007, stuk 30.000, nr. 42, 25 oktober 2006.

⁵⁸ <http://www.world-nuclear-news.org/ENF-Kazakhstan-tops-uranium-league-2701147.html>, 27 januari 2014.

⁵⁹ www.antenna.nl/wise/uranium.pdf, 23 juli 2011.

⁶⁰ <http://www.europarl.europa.eu/nl/pressroom/content/20110622IPR22334/html/Radioactief-afval-export-naar-landen-buiten-de-EU-moet-verboden-worden-zegt-EP>, 23 juni 2011.

⁶¹ COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, Brussels, 28 June 2011, Interinstitutional File: 2010/0306 (NLE) 11428/1/11 REV 1 COR 1; COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, Brussels, 15 June 2011, Interinstitutional File: 2010/0306 (NLE), 11428/11, ATO 64, ENV 519.

⁶² www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/trans/123937.pdf;

<http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/11/st12/st12142.en11.pdf>.

⁶³ <http://www.covra.nl/over-covra/organisatie>.

⁶⁴ <http://www.covra.nl/nieuws/2011/07/start-onderzoeksprogramma-eindberging-radioactief-afval-opera>, 5 juli 2011.

⁶⁵ OPERA-PG-COV002 Meerjarenplan Opera, 5 juli 2011.

⁶⁶ <http://www.co2ntramine.nl/wp-content/uploads/2013/10/Kernafval-2013-beheersopties-zienswijze-Damveld-co2ntramine.pdf>, 27 oktober 2013.

⁶⁷ Onder meer Zwitserland en Duitsland gaan ervan uit dat een veilige opslagperiode van 1 miljoen jaar gegarandeerd moet zijn; zie Nagra, Medienmitteilung, 6 november 2008 en http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/endfassung_sicherheitsanforderungen_bf.pdf, juli 2009.

⁶⁸ Stewart Kemp (ed), "Management of Radioactive Waste. The Issues for Local Authorities", Proceedings of the conference organized by the National Steering Committee, Nuclear Free Local Authorities, and held in Manchester on 12 February 1991, Thomas Telford, Londen, 1991, p. 42.

⁶⁹ Nuclear Energy Agency, "Radioactive Waste Management in Perspective", Parijs, juni 1996.

⁷⁰ <http://www.energiestiftung.ch/files/downloads/energiethemen-atomenergie-atommuell-atommuell-kampagne/2012-nuclear-waste-web.pdf>, mei 2012.

Herman Damveld en Dirk Bannink, "Management of spent fuel and radioactive waste. State of affair, a worldwide overview", <http://www.co2ntramine.nl/wp-content/uploads/2012/06/Management-of-spent-fuel-and-radioactive-waste-2012.pdf>, mei 2012;

<http://energy.gov/sites/prod/files/Strategy%20for%20the%20Management%20and%20Disposal%20of%20Used%20Nuclear%20Fuel%20and%20High%20Level%20Radioactive%20Waste.pdf>, 11 januari 2013.

<http://www.zeit.de/wirtschaft/2013-04/neusuche-gorleben-endlager-atommuell>, 9 april 2013; wetstekst:

<http://www.ndr.de/regional/niedersachsen/endlager199.pdf>.

[http://www.polsoz.fu-](http://www.polsoz.fu-berlin.de/polwiss/forschung/systeme/ffu/veranstaltungen/termine/downloads/13_salzburg/Auffermann-Salzburg-2013-oV.pdf)

[berlin.de/polwiss/forschung/systeme/ffu/veranstaltungen/termine/downloads/13_salzburg/Auffermann-Salzburg-2013-oV.pdf](http://www.polsoz.fu-berlin.de/polwiss/forschung/systeme/ffu/veranstaltungen/termine/downloads/13_salzburg/Auffermann-Salzburg-2013-oV.pdf), Onkalo: Recent policies on the disposal of nuclear waste in Finland Burkhard Auffermann, Finland Futures Research Centre, "Climate Policy Strategies and Energy Transition", session on "Nuclear Waste Governance in Comparison", Schloss Leopoldskron, Salzburg, August 26, 2013.

<http://www.suedkurier.de/nachrichten/baden-wuerttemberg/themensk/Die-Standortfrage-bleibt-vorerst-offen;art417921,6638398>, 24 januari 2014.

-
- ⁷¹ <http://www.mainpost.de/ueberregional/politik/zeitgeschehen/Endlager-in-Bergstollen-statt-unter-der-Erde:art16698,6002773>, 25 februari 2011.
- ⁷² Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ⁷³ Commissie Opberging te Land (OPLA), Eindrapport aanvullend Onderzoek van Fase 1, (1993). Bijlage 'Samenvattingen van de deelstudies', 6A: RIVM, "Validatie van modellen en internationale samenwerking", 1993, pp. 4 en 5.
- ⁷⁴ Christa Garms-Babke, 'Die Unvereinbarkeit nicht-rückholbarer Endlagerung radioaktiver Abfälle mit dem Grundgesetz', Frankfurt, 2002.
- ⁷⁵ Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ⁷⁶ http://www.sp.nl/onderzoek/normen_waarden_radioactiefafval.pdf, 2003.
- ⁷⁷ Commissie Opberging te Land (OPLA), Eindrapport aanvullend Onderzoek van Fase 1, (1993). Bijlage 'Samenvattingen van de deelstudies', 6A: RIVM, "Validatie van modellen en internationale samenwerking", 1993, pp. 4 en 5.
- ⁷⁸ http://www.cowam.com/IMG/pdf_cowam2_WP4.pdf, Long term governance WP4 Long term governance for radioactive waste Management, december 2006.
- ⁷⁹ NEA, "Chernobyl Ten Years On. Radiological and Health Impact", Parijs, 1996, p 29.
NEA, "Sarcophagus Safety '94. The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4", Proceedings of an International Symposium Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14-18 maart 1994, p 46.
- ⁸⁰ Herman Damveld, "Touwtrekken om kernafval", Groningen, juni 2001, p 10.
- ⁸¹ http://www.bfs.de/de/bfs/presse/aktuell_press/stabilisierung_morsleben.html, 11 mei 2011.
- ⁸² Bundesamt für Strahlenschutz, persbericht 27 augustus 2009;
http://www.bfs.de/de/endlager/endlager_morsleben/service/mediathek/stillegung_morsleben_text;
http://www.bfs.de/de/bfs/presse/aktuell_press/eram_2010.html, 26 april 2012.
- ⁸³ Asse Einblicke, nr. 13, mei 2011, p 2.
- ⁸⁴ Süddeutsche Zeitung, 25 juni 2008. BMU, persbericht 2 september 2008.
- ⁸⁵ Bündnis90 Die Grünen, "Asse-Chronik – Vom Umgang mit Atommüll in Niedersachsen", Hannover juni 2009.
- ⁸⁶ Kühn, K.; Klarr, K.; Borchert, H. (01.11.1967): Studie über die bisherigen Laugenzuflüsse auf den Asse-Schächten und die Gefahr eines Wasser- oder Laugeneinbruchs in das Grubengebäude des Schachtes II. Herausgegeben von GSF - Gesellschaft für Strahlenforschung mbH München und Institut für Tief Lagerung Clausthal-Zellerfeld.
- ⁸⁷ <http://www.heute.de/ZDFheute/inhalt/15/0,3672,7621807,00.html>.
- ⁸⁸ TV-programma "Hartaberfair", Erste Deutsche Fernsehen, 18 augustus 2009.
- ⁸⁹ Pressemitteilung des Bundesamtes für Strahlenschutz, 3. September 2009, 29/09.
- ⁹⁰ "Merkel sichert Sanierung von Asse zu", <http://www.mdr.de/nachrichten/6657769.html>.
- ⁹¹ "BfS stellt Ergebnis des Optionenvergleichs zur Schließung der Asse vor", Pressemitteilung 01/10, 15. Januar 2010: "Die Rückholung der Abfälle aus der Schachanlage Asse II ist nach jetzigem Kenntnisstand die beste Variante beim weiteren Umgang mit den dort eingelagerten radioaktiven Abfällen. ... Ergebnis des Vergleichs ist, dass auf Basis des heutigen Wissenstands die vollständige Rückholung der Abfälle aus der Asse anzustreben ist."
- ⁹² <http://www.contratom.de/news/rssanzeige.php?newsid=20658>, 16 januari 2010.
- ⁹³ http://www.fr-online.de/top_news/2243215_Milliardengrab-Asse.html, 29 januari 2010.
- ⁹⁴ <http://umwelt-panorama.de/news.php?id=1332>, 6 februari 2010.
- ⁹⁵ Asse Einblicke, nr. 13, mei 2011, p 1; http://www.endlager-asse.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/2011/0528_asse_einblicke.html, mei 2011.
- ⁹⁶ Asse Einblicke, nr. 13, mei 2011, p 1.
- ⁹⁷ Asse Einblicke, nr. 13, mei 2011, p 2.
- ⁹⁸ Asse Einblicke, nr. 13, mei 2011, p 2.
- ⁹⁹ Asse Einblicke, nr. 13, mei 2011, p 2.
- ¹⁰⁰ <http://www.energiestiftung.ch/files/downloads/energiethemen-atomenergie-atommuell-atommuell-kampagne/2012-nuclear-waste-web.pdf>, mei 2012.
- ¹⁰¹ <http://www.landtag-niedersachsen.de/untersuchungsausschuesse/>, 8 november 2012.
- ¹⁰² <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2012/12/2012-12-5-asse-gesetz.html>, 6 december 2012.
- ¹⁰³ http://www.asse.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/2013/1209_faq_zwischenlager.html, 9 december 2013.; http://www.asse.bund.de/SharedDocs/Termine/DE/2014/20140213_fachtagung_rueckholung.html, januari 2014.
- ¹⁰⁴ Asse Einblicke, nr. 13, mei 2011, p 1.

- ¹⁰⁵ US. Nuclear Regulatory Commission, Waste Confidence Decision Update, 9 oktober 2008; <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2008-10-09/pdf/E8-23381.pdf>.
- ¹⁰⁶ http://www.wipp.energy.gov/fctshts/Why_WIPP.pdf, 5 februari 2007.
- ¹⁰⁷ Ronnie D. Lipschutz, Radioactive Waste, Politics, Technology and Risk, Union of concerned Scientists, 1980, p. 144-154.
- ¹⁰⁸ http://www.sric.org/nuclear/docs/SRIC%20Statement012711_tables.pdf, 27 januari 2011: ` Although the WIPP experience began almost 40 years ago, there are significant unanswered questions about whether this well-studied, well-funded geologic disposal site will succeed in its mission.`
- ¹⁰⁹ "WIPP — Why It's Still Unsafe", http://www.sric.org/workbook/features/V22_4.php, 1997.
- ¹¹⁰ Luther. J. Carter, Waste Management; Current Controversies over the Waste Isolation Pilot Plant; in: Environment, Vol. 31, no. 7, september 1989, p 5, 40 en 41.
- ¹¹¹ <http://www.wipp.energy.gov/fctshts/Chronology.pdf>.
- ¹¹² http://www.wipp.energy.gov/fctshts/RH_TRU.pdf, 5 februari 2007.
- ¹¹³ <http://www.wipp.energy.gov/shipments.htm>, 26 januari 2014.
- ¹¹⁴ "Advies inzake een programma inzake het beheer en de opslag van radioactieve afvalstoffen", Advies van het Economisch en Sociaal Comité der EG.; Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen nr. C. 263, 17 november 1975, p 52.
- ¹¹⁵ Europese Commissie, "Proceedings of the Workshop on Partitioning and Transmutation of Minor Actinides", Karlsruhe, 16-18 oktober 1989, p V.
- ¹¹⁶ Stan Gordelier, hoofd Nucleaire Ontwikkeling, Nuclear Energy Agency, in: Technisch Weekblad, 25 april 2009, pagina 5.
- ¹¹⁷ Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991, Aanhangsel nr 545, antwoorden Minister EZ, Andriessen op vragen Feenstra en Zijlstra, 1 mei 1991.
- ¹¹⁸ <http://www.rijksoverheid.nl/ministeries/eleni/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2011/05/11/beantwoording-resterende-vragen-eerste-termijn-ao-kernenergie.html>, 11 mei 2011, p 11.
- ¹¹⁹ <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Fast-Neutron-Reactors/> ; <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Beloyarsk-4-criticality-soon-3012131.html>, 30 december 2013.
- ¹²⁰ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Fuel-loading-begins-at-fast-reactor-0302147.html>, 3 februari 2014.
- ¹²¹ http://www.onjo.nl/Item.2569.0.html?no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=41568, 25 maart 2011.
- ¹²² <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2011/04/19/antwoord-op-vragen-over-het-bericht-dat-de-kerncentrale-van-borssele-meermaals-ontsnapt-zou-zijn-aan-een-ramp.html>, 19 april 2011.
- ¹²³ <http://www.co2ntramine.nl/421-bedrijfsstoringen-kerncentrale-borssele/>, 3 november 2013.
- ¹²⁴ http://www.ilent.nl/onderwerpen/leefomgeving/nucleair_en_straling/nucleair/nucleaire_installaties/ongewone_gebeurtenissen_2013/.
- ¹²⁵ Large and Associates, ASSESSMENTS OF THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES OF RELEASES FROM EXISTING AND PROPOSED EPR/PWR NUCLEAR POWER PLANTS IN FRANCE, maart 2007.
- ¹²⁶ World Nuclear News, http://www.world-nuclear-news.org/RS-EPR_design_NRC_not_happy_yet-2607107.html, 26 July 2010.
- ¹²⁷ <http://www.platts.com/RSSFeedDetailedNews.aspx?xmlpath=RSSFeed/HeadlineNews/Nuclear/6252295.xml>, 3 augustus 2010.
- ¹²⁸ <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/news/2010/10-130.html>.
- ¹²⁹ "The EPR in Crisis", in: Nuclear Monitor, 12 november 2010, No 719/720, p 1 tot 17.
- ¹³⁰ <http://bit.ly/js3tkI>, 25 juli 2011; http://www.lemonde.fr/planete/article/2011/07/25/greenpeace-souligne-les-failles-de-l-epr-en-cas-de-panne-electrique_1552664_3244.html <http://www.google.com/hostednews/afp/article/ALeqM5iKtqI4gVBDGsNee5trqyFYIqTS3A?docId=CNG.b2e3023bd6a92351deec0abbe585f880.531>.
- ¹³¹ http://www.ncwarn.org/?p=2729&utm_source=BenchmarkEmail&utm_campaign=Merger_reactor_flaw&utm_medium=email; http://www.fairewinds.com/sites/default/files/Fairewinds_AP1000_Supplemental_Report_12-21-2010.pdf, 10 januari 2011.
- ¹³² G.E. van Maanen, Pleidooi voor verbetering van de rechtspositie van slachtoffers van kernongevallen", lezing op het NVMP-symposium 'Wat leert Tsjernobyl ons?' op 13 september 1986 in Amsterdam, in verkorte versie afgedrukt in: Nederlands Juristenblad, 29 november 1986, pp. 1342-1345. De citaten in dit artikel komen uit deze lezing.
- ¹³³ Nucleonics Week, 13 maart 2003, p. 11.

-
- ¹³⁴ <http://ikregeer.nl/documenten/ah-tk-20102011-2307>, 18 mei 2011;
<http://www.verzekeraars.nl/UserFiles/Image/Jaarverslag%20ATP%202009%20Bureau.pdf>.
- ¹³⁵ Tweede Kamer, Vergaderjaar 2006-2007, Kamerstuk 31119, Wijziging van de Wet aansprakelijkheid kernongevallen ter uitvoering van het Protocol van 12 februari 2004 houdende wijziging van het Verdrag van 29 juli 1960 inzake wettelijke aansprakelijkheid op het gebied van de kernenergie en ter uitvoering van het Protocol van 12 februari 2004 houdende wijziging van Verdrag van 31 januari 1963 tot aanvulling van het Verdrag van 29 juli 1960 inzake wettelijke aansprakelijkheid op het gebied van de kernenergie, nr. 3, MEMORIE VAN TOELICHTING.
- ¹³⁶ www.laka.org/nieuws/2012/09-aansprakelijkheid.pdf
- ¹³⁷ Herman Damveld. "Tsjernobyl, 10 jaar later", Greenpeace Chernobyl Papers No. 4, maart 1996.
- ¹³⁸ <http://www.reuters.com/article/2011/03/31/us-tepco-compensation-idUSTRE72U06920110331>, 31 maart 2011.
- ¹³⁹ www.greenpeace.org/belgium/Global/.../NL%20liability_briefing_eloj.d...
- ¹⁴⁰ Stuurgroep Project Herbezinning Kernenergie, SPH-06-13 Hoofdrapport, Economische schade van een ongeval met een kerncentrale.
- ¹⁴¹ Antony Frogatt et al., Mythos Atomkraft, Heinrich Böll Stiftung, 2010, pp 38-42.
- ¹⁴² <http://fd.nl/ondernemen/509856-1204/delta-bereidt-zich-voor-op-jarenlange-somberheid-op-nederlandse-energiemarkt?visited=true>, 12 april 2012.
- ¹⁴³ <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/kernenergie/plannen-voor-nieuwe-kerncentrales>,
<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/kernenergie/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2012/01/30/beantwoording-kamervragen-over-vergunningprocedure-nieuwe-kerncentrale-borssele.html>, 30 januari 2013.
- ¹⁴⁴ http://www.ucsusa.org/nuclear_power/nuclear_power_and_global_warming/nuclear-power-subsidies-report.html, 23 februari 2011.
- ¹⁴⁵ World Nuclear News, 26 januari 2011.
- ¹⁴⁶ http://www.powermag.com/nuclear/The-U-S-Power-Industry-2011-The-Sequel_3293_p4.html,
http://www.powermag.com/nuclear/The-U-S-Power-Industry-2011-The-Sequel_3293_p3.html, 1 januari 2011.
- ¹⁴⁷ Nuclear Monitor, 29 oktober 2010, No 718, p 1 en 2.
- ¹⁴⁸ http://www.energycentral.com/functional/news/news_detail.cfm?did=19038375, 2 maart 2011.
- ¹⁴⁹ http://www.world-nuclear-news.org/NN_Economics_hinder_US_new_build_1608111.html?utm_source=World+Nuclear+News&utm_campaign=01158fb788-WNN_Daily_16_August_2011_16_2011&utm_medium=email, 16 augustus 2011.
- ¹⁵⁰ www.guardian.co.uk/environment/2013/jul/11/nuclear-renaissance-power-myth-us, 11 juli 2013.
- ¹⁵¹ Technisch Weekblad, 12 februari 2011, p 1.
- ¹⁵² <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/Finland/>.
- ¹⁵³ <http://www.world-nuclear-news.org/C-Suppliers-raise-Olkiluoto-3-damages-claim-3110134.html>, 31 oktober 2013.
- ¹⁵⁴ <http://www.bloomberg.com/news/2010-07-06/edf-s-epr-reactor-at-flamanville-is-delayed-by-24-months-le-figaro-says.html>.
- ¹⁵⁵ <http://de.news.yahoo.com/2/20100729/tts-gewerkschaften-rechnen-mit-kostenexp-c1b2fc3.html>, 29 juli 2010.
- ¹⁵⁶ http://press.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Presse/Communiqués/EDF/2010/cp_20100730_va.pdf, 30 juli 2010.
- ¹⁵⁷ http://www.world-nuclear-news.org/NN_New_approach_puts_back_Flamanville_3_2107111.html?utm_source=World+Nuclear+News&utm_campaign=12dc598b56-WNN_Daily_21_July_2011_21_2011&utm_medium=email,
- ¹⁵⁸ <http://press.edf.com/press-releases/all-press-releases/2011/edf-will-start-selling-the-first-kwh-produced-by-the-epr-at-flamanville-in-2016-85322.html&return=42873>.
- ¹⁵⁹ http://www.world-nuclear-news.org/NN-Flamanville_costs_up_2_billion_Euros-0412127.html, 4 december 2012.
- ¹⁶⁰ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Vessel-installed-at-French-EPR-2701144.html>, 27 januari 2014.
- ¹⁶¹ Charles Hendry, New Nuclear Power Stations- Westminster Hall UK Parliamentary debate, 13 July 2010, column 232WH.
- ¹⁶² <http://www.taz.de/1/zukunft/umwelt/artikel/1/nicht-ohne-staatliche-hilfen/>, 20 juli 2010.
- ¹⁶³ <http://www.reuters.com/article/2011/07/06/us-nuclear-citigroup-idUSTRE76548820110706>, 6 juli 2011.
- ¹⁶⁴ <http://www.bbc.co.uk/news/business-24604218>, 21 oktober 2013.
- ¹⁶⁵ <http://www.theguardian.com/business/2013/dec/18/hinkley-point-c-nuclear-subsidy-european-commission>, 18 december 2013.

-
- ¹⁶⁶ http://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases/251157/251157_1507977_35_2.pdf, 18 december 2013.
- ¹⁶⁷ <http://www.greenpeace.org/eu-unit/en/News/2014/EU-investigation-calls-Hinkley-nuclear-deal-into-question/>, 31 januari 2014.
- ¹⁶⁸ <http://www.thetimes.co.uk/tto/business/industries/utilities/article3992127.ece>, 1 februari 2014.
- ¹⁶⁹ <http://www.world-nuclear-news.org/NP-Europe-lists-concerns-over-Hinkley-deal-0302144.html>, 3 februari 2014.
- ¹⁷⁰ <http://www.volkskrant.nl/vk/nl/2664/Nieuws/article/detail/3373762/2013/01/08/Azie-werkt-aan-energiewonder-van-thorium.dhtml>, 8 januari 2013.
- ¹⁷¹ <http://www.laka.org/info/publicaties/2008-thorium.pdf>.
- ¹⁷² International Nuclear Fuel Cycle Evaluation, Working Group 8: Advanced Fuel Cycle and Reactor Concepts, Wenen, 1980, p. 38, <http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull222/22204883033.pdf>.
- ¹⁷³ <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Thorium/>, 16 november 2013.
- ¹⁷⁴ <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Nuclear-Fusion-Power/>, december 2013.