

Wetenswaardigheden kernenergie, kernafval en energie

Herman Damveld
zelfstandig onderzoeker en publicist
Groningen
4 juli 2024

Over mezelf.

Ik woon in de stad Groningen en publiceer vanaf 1976 over kernenergie, de plannen voor ondergrondse opslag van kernafval en de aardgaswinning met de bijbehorende aardbevingen. Ik heb hierover verschillende boeken en rapporten geschreven, evenals zo'n 1600 artikelen.

Enkele voorbeelden:

'Kernenergie, verlichting of conflict', uitgave van de Milieufederatie Groningen, 1984.

'Tsjernobyl, 10 jaar later', uitgave van Greenpeace, 1996.

'Kernafval en kernethiek', onderzoek in opdracht van de Commissie Opberging Radioactief Afval, januari 2000.

'Kernafval in zout. Plannen 40 jaar oud', uitgave Stichting Laka Amsterdam, juni 2016.

'Gaswinning Groningen, een bewogen geschiedenis', uitgeverij Profiel, februari 2020.

Dossier vijftig jaar kerncentrale Borssele, 7 oktober 2023.¹

Plannen opslag kernafval in Zeeland en Noord-Nederland, een overzicht van 1960 tot 2023.²

Opmerking over de bronvermeldingen. Onder meer de overheidsdocumenten worden op een voor ons onbekend moment verplaatst naar een archief en krijgen dan een andere naam, die moeilijk terug te vinden is. Daardoor kan het zijn dat sommige links niet meer werken. We hebben ons best gedaan om de juiste bronvermeldingen en links op te sporen. Als u echter een link tegenkomt die niet werkt, neem dan contact met ons op en dan gaan we ermee aan de slag. Wanneer u zelf de juiste link ontdekt heeft, stellen wij het zeer op prijs als u dat aan ons zou willen doorgeven.

Verantwoording

Als het gaat om kernenergie is er al tientallen jaren onenigheid over feiten en wat feiten voor betekenis hebben. Daardoor was er vaak geen sprake van welk debat dan ook. Het valt me de afgelopen maanden steeds vaker op dat over kernenergie nauwelijks een gesprek mogelijk lijkt zonder in persoonlijke aantijgingen te vervallen.

Het fundamentele belang van de energievoorziening nu en in de toekomst vraagt naar mijn mening juist om een eerlijk en zinvol debat, ook over kernenergie.

Daar hoop ik door middel van dit rapport een bijdrage aan te kunnen leveren.

Ik heb hier aangegeven wat volgens mij belangrijke en relevante wetenswaardigheden zijn. Voor de helderheid heb ik alles zo duidelijk mogelijk geformuleerd. Het kan zijn dat deze helderheid weerstand oproept. Dat is absoluut niet mijn intentie. De onderwerpen die ik bespreek staan allemaal ter discussie. Als er onjuistheden of onvolledigheden in staan, ben ik graag bereid om in gezamenlijk overleg de tekst te herzien met als doel te komen tot een rapport waarover zoveel mogelijk overeenstemming bestaat wat betreft de feiten. Een rapport waarin ook duidelijk wordt waar de verschillende oordelen over de feiten op gebaseerd zijn en wat de achterliggende uitgangspunten en waarden zijn.

Hierna volgt een voorlopige inhoudsopgave. De titels van de paragrafen, de inhoud ervan en het aantal zullen worden aangepast aan de hand van reacties.

In deze betekenis gaat het hier om een aanzet om te komen tot een zo breed mogelijk gedragen rapport, dat een zinvolle rol kan vervullen bij de meningsvorming van zoveel mogelijk mensen.

Inhoudsopgave

Enkele hoofdpunten samengevat	5
1. Borssele 50 jaar, 5.600 kilo plutonium, 470 steringen en rampenplannen	
2. Nieuwe, kleinere kerncentrales (SMR)	
3. Vestigingsplaatsen grote kerncentrales, waarborgingsbeleid, subsidie per huishouden	
4. Kernenergie geen goede oplossing voor het broeikas-effect	
5. Kernenergie 2% totale wereldwijde energiegebruik	
6. Tijdelijke en permanente opslag van kernafval	
7. Hoofdlijnenakkoord PVV, VVD, NSC en BBB: 14 miljard euro voor kernenergie	
Hoofdstuk 1.....	10
Nieuwe, kleinere kerncentrales (SMR)	
Hoofdstuk 2	20
Kernenergie geen goede oplossing voor het broeikas-effect	
Hoofdstuk 3.....	23
Opslag kernafval, bovengronds, zoutkoepels, kleilagen	
Hoofdstuk 4.....	28
Wetenswaardigheden over kernenergie	
1. Kernenergie goed voor 1 tot 1,5% energiegebruik Nederland	
2. Bouwplannen kerncentrales 1972-2023	
3. Vestigingsplaatsen kerncentrales en waarborgingsbeleid	
4. Kerncentrales doen het niet 7 dagen per week, 24 uur per dag	
5. Kernenergie een onverzekerbaar risico	
6. Voorbereiding op kernongeval blijft noodzakelijk	
7. Gebied rond Fukushima en Tsjernobyl langdurig onbewoonbaar	
8. Kernenergie bouwplannen, kosten en subsidie	
8.1 Overzicht	
8.2 De Engelse subsidie voor Hinkley Point C	
8.3 De Engelse subsidie voor Sizewell C	
8.4 Bouw Franse kerncentrale Flamanville-3 liep 11 jaar vertraging op	
8.5 Bouw Finse kerncentrale Olkiluoto-3 liep 13 jaar vertraging op	
8.6 Conclusie bouwkosten West-Europese kerncentrales	
8.7 Kleinere reactoren (SMR) kosten veel	
8.8 Goedkope Franse elektriciteit?	
8.9 China: verschuiving van kern- naar zon- en windenergie	
8.10 Amerikaanse reactorbouwer Westinghouse financieel gered	
8.11 Kerncentrales Zuid-Korea, veilig en goedkoop?	
8.12 Subsidie nodig voor Nederlandse kerncentrales	
8.13 De Nederlandse subsidie voor Borssele-2 en -3	
8.14 Gaan Groninger huishoudens 110 euro per maand subsidie betalen?	
8.15 De 5 tot 14 miljard euro subsidie van de regering	
9. Kerncentrales op thorium niet te koop	
10. Voorraad uranium snel op bij veel kerncentrales; ook fossiel is eindig	
11. Kernenergie heeft veel ruimte nodig	
11.1 Algemeen	
11.2 Te weinig ruimte voor nieuwe kerncentrales bij Borssele	

12. Kernfusie, al 40 jaar een toekomstbelofte	
13. Kernenergie voor als de zon niet schijnt en de wind niet waait?	
14. Kernenergie en doden door milieuvervuiling?	
15. Waarom wind- en zonne-energie kernenergie te duur en overbodig maken	
16. Eemshaven: kernenergie of knooppunt waterstofeconomie?	
17. Koelwater en klimaatverandering	
Hoofdstuk 5.....	55
Wetenswaardigheden over radioactief afval	
1. Wat is radioactief afval?	
2. Kernafval 1 miljoen jaar gevaarlijk, probleem niet opgelost	
3. Honderd jaar bovengronds vanaf 1984, is dat tot 2130, en de zeespiegelstijging dan?	
4. Kernafval in soorten en maten	
4.1 Nederland: 1.100 kubieke meter radioactief afval per jaar	
4.2 Wat is opwerken?	
4.3 De kerncentrale Borssele en de verliesgevende handel in plutonium	
4.4 Onzekere toekomst opwerking	
4.5 Om hoeveel kernafval gaat het?	
4.6 Deel radioactief afval blijft in buitenland	
4.7 Kleine hoeveelheid, langdurig gevaar	
4.8 Met thoriumkerncentrale kernafval opeten?	
5. Explosief zout	
6. Vesting bovengronds	
7. Veiligheid opslag niet te bewijzen	
8. Ontstaan zoutlagen, zoutkoepels en zoutkussens	
9. Waarom zoutkoepels terecht afvallen	
10. Verkorting gevaarperiode kernafval via kweekreactoren en opwerking onbewezen	
11. Te weinig geld opzijelegd	
12. Kernafval en kernethiek	
13. Nergens eindberging hoogradioactief afval in bedrijf	
14. Berging hoogradioactief afval in diepe boorgaten bij Petten, Almelo of ook Borsele?	
15. Waarschuwen voor gevaar opslag kernafval	
16. Denemarken als goed voorbeeld	
17. Kernafval of waterstof in zoutkoepels?	
18. Kernafval als batterij voor horloges of voor verwarming?	
19. Zeggenschap plaatselijke bevolking bij opslag kernafval in zoutkoepels?	
20. Kernafval 300 jaar bovengronds?	
21. Rapport uit 1973 over keuze zoutkoepels openbaar in 2024	
Hoofdstuk 6.....	86
Wetenswaardigheden over energie en energiegebruik	
1. Wat is energie?	
2. Wat kunnen we met energie doen?	
3. Waarvoor wordt energie gebruikt?	
4. Energiegebruik internet	
5. Energiebronnen voor het huishouden	
6. Het massale energiegebruik: een uitleg	
7. Zon als belangrijkste energiebron	
Eindnoten.....	98

Enkele hoofdpunten samengevat

Bij kernenergie zijn veel thema's van belang waarvan we er hier vijf bespreken: de kerncentrale Borssele, de bouw van zowel kleinere als grote kerncentrales in Groningen, het broeikas-effect en de opslag van kernafval. Andere thema's komen verderop in dit rapport aan de orde.

1. Kerncentrale Borssele 50 jaar, 5.600 kilo plutonium, 470 storingen en rampenplannen

1. Vanaf 4 juli 1973 leverde de kerncentrale Borssele stroom aan het koppelnet en de officiële start was op 25 oktober 1973.^{3 4} Op 25 oktober 2023 was de kerncentrale 50 jaar in bedrijf.^{5 6} De oorspronkelijk voorziene bedrijfsduur was echter veertig jaar.⁷ De kerncentrale was in 2023 goed voor 1,4% van het totale Nederlandse energiegebruik en zowel in 2021, 2022 als in 2023 voor 3% van de elektriciteitsproductie.^{8 9 10 11}

2. Er zijn plannen om de kerncentrale ook na 2033 in bedrijf te houden.¹² Maar hoe reëel is een bedrijfsduur van meer dan 60 jaar? In juni 2024 waren volgens het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) wereldwijd drie kerncentrales 55 jaar oud en is geen enkele kerncentrale ouder.¹³ Er zijn dan ook geen voorbeelden van kerncentrales die meer dan 60 jaar in bedrijf zijn.

3. De Commissie voor de milieueffectrapportage (Commissie m.e.r.) bracht op 12 oktober 2023 een advies uit over de levensduurverlenging van de kerncentrale Borssele. De Commissie constateerde dat “technische onderzoeksresultaten die de levensduurverlenging zouden kunnen onderbouwen op korte termijn niet beschikbaar kunnen zijn. EPZ heeft aangegeven dat het uitvoeren hiervan meerdere jaren in beslag neemt én dat dit onderzoek nog niet is opgestart.”¹⁴ Hierdoor is het “zelfs op hoofdlijnen niet mogelijk te onderbouwen dat de kerncentrale veilig langer open kan blijven.”¹⁵

4. In de kerncentrale Borssele hebben zich in totaal 470 bedrijfsstoringen voorgedaan. Daarbij vielen op gezette tijden belangrijke veiligheidsvoorzieningen uit, maar gelukkig is er geen ernstig ongeluk gebeurd.^{16 17 18 19}

5. De overheden gaan uit van een mogelijke ramp met de kerncentrale. Daarvoor is een rampenplan gemaakt.²⁰ Volgens het rampenplan is de trein “een uitermate geschikt middel om snel grote bevolkingsgroepen te evacueren,” maar doet zich het probleem voor dat “de te evacueren personen eerst naar het station Goes moeten worden vervoerd.” Maar als kernenergie veilig zou zijn, dan zijn rampenplannen niet nodig.

6. Het bedrijfsafval van de kerncentrale Borssele bestaat jaarlijks uit 32-33 m³.²¹ Elk jaar ontstaat volgens de regering bij Borssele gemiddeld een hoeveelheid van ca. 4 m³ aan bestraalde splijtstofelementen. Na opwerking ontstaat hieruit ca. 3 m³ hoogradioactief kernsplijttingsafval en naar schatting 11 m³ overig radioactief afval.^{22 23} Het gaat hier om volumes zonder de verpakking in vaten. In werkelijkheid gaat het daarom om grotere volumes.

7. De kerncentrale Borssele is goed voor 5.600 kilo plutonium. In deze kerncentrale ontstaat immers bij de splijting van uranium naast warmte onder meer plutonium. EPZ, de exploitant van Borssele, heeft 2.800 kilo plutonium verkocht met een verlies van 41 miljoen euro. Tot het jaar 2034 ontstaat nog eens 2.800 kilo plutonium. Hiervoor is een speciaal en kostbaar contract tot 2034 met de Franse opwerkingsfabriek Orano afgesloten, zodat het plutonium niet in Nederland opgeslagen hoeft te worden. Zo is voorkomen dat Nederland 5.600 kilo plutonium moet opslaan.²⁴

8. Volgens de laatste stand van zaken kost de ontmanteling van de kerncentrale Borssele 636 miljoen euro en zit er 325 miljoen euro in het ontmantelingsfonds, terwijl dit eind 2021 nog 351 miljoen euro was.^{25 26} Immers, door de splijting van uranium worden zowel het reactorvat

als de omhulling van de kerncentrale radioactief. Daarom kan een kerncentrale niet afgebroken worden zoals andere bedrijfsgebouwen.²⁷

Op 5 juni 2024 bleek dat de Zeeuwse aandeelhouders (de provincie Zeeland en Zeeuwse gemeenten) het eigendom van de kerncentrale wil overdragen aan de overheid. Als Borssele om welke reden dan ook eerder dan 2033 zou moeten sluiten, kan Zeeland de kosten van de ontmanteling niet betalen. Als de regering Borssele niet wil overnemen, moet de centrale volgens Gedeputeerde Staten Zeeland in 2033 dicht.²⁸

2. Nieuwe, kleinere kerncentrales (SMR)

1. Vanaf 1970 tot 2020 zijn de investeringskosten voor kernenergie per kilowatt in de Verenigde Staten met een factor 5 en in Frankrijk met een factor 3 gestegen; de investeringskosten voor zonne- en windenergie zijn daarentegen gedaald.^{29 30 31 32} Nieuwe kerncentrales worden dan ook niet gebouwd zonder financiële steun van de regering.³³

2. Sinds een paar jaar wordt daarom de bouw van kleinere kerncentrales met een vermogen van 30 tot 470 megawatt (MW) naar voren geschoven. Ze heten Small Modular Reactor (SMR). In rapporten van het Nucleair Energie Agentschap (NEA) in Parijs worden 50 ontwerpen genoemd, waarvan sommige kort voor het jaar 2030 te koop zouden zijn en andere later.^{34 35} Of dat zal lukken is zeer de vraag, blijkt uit studies die in 2023 verschenen zijn van zowel Gregory Jaczko, die van 2005 tot 2012 namens de Amerikaanse regering voorzitter was van de Commissie voor Toezicht op Kernenergie (NRC), als van Allison Macfarlane die van 2012 tot 2014 voorzitter was van de NRC.^{36 37}

3. Tot nu toe is wereldwijd nog geen kerncentrale van dit type in aanbouw. Of, zoals demissionair minister Jetten van Klimaat en Energie op 22 maart 2024 stelde: “Er zijn in de westerse wereld nog geen SMR’s gerealiseerd en het is onzeker wanneer en tegen welke kosten SMR’s zouden kunnen worden gerealiseerd in Nederland.” Volgens hem “lijkt een eventuele realisatie van SMR’s tegen 2040 in Nederland mogelijk. Ook wil hij “nut en noodzaak van SMR’s in kaart brengen” en helderheid scheppen over “de noodzakelijke randvoorwaarden” voor de bouw van SMR’s.”³⁸ Hij herhaalde dit op 10 juni en 21 juli 2024.³⁹
⁴⁰ Hoe veilig de kerncentrale is en wat er met het kernafval moet gebeuren, zal ook pas blijken tijdens de vergunningverlening.

4. Ed Lyman, Directeur van de afdeling Nucleaire Veiligheid van de Amerikaanse organisatie van bezorgde wetenschappers, de Union of Concerned Scientists, publiceerde op 30 april 2024 een analyse over de SMR’s.⁴¹ Hij vergeleek de SMR’s met bestaande kerncentrales. Zijn conclusies zijn:

- a. elektriciteit uit SMR’s kost meer dan stroom uit grote kerncentrales;
- b. SMR’s zijn niet veiliger dan bestaande kerncentrales;
- c. SMR’s leveren, net als andere centrales, niet 100% van de tijd elektriciteit;
- d. SMR’s maken het probleem van de opslag van kernafval niet kleiner;
- e. SMR’s gebruiken de kernbrandstof uranium niet efficiënter dan bestaande kerncentrales.

5. In Limburg was Loek Radix, directeur van het industriecomplex Chemelot in Sittard-Geleen een pleitbezorger van een SMR. “Uitsluiten is geen optie,” zei hij op 13 april 2023, “dan zitten we met een probleem.”⁴² Maar op 22 maart 2024 stond in een brief van GS Limburg over de bouw van kerncentrales in deze provincie: “Chemelot constateert dat vanwege de onderlinge risico’s van chemische installaties, gecombineerd met de veiligheidseisen rondom een SMR de locatie Chemelot ongewenst is.”⁴³

3. Vestigingsplaatsen grote kerncentrales, waarborgingsbeleid, subsidie per huishouden

De regering wil grote kerncentrales laten bouwen op de locaties Borssele of Maasvlakte.

Deze vestigingsplaatsen worden al vanaf 1977 geschikt gehouden via het waarborgingsbeleid. Op 29 februari 2024 bleek echter dat het stroomnet ruimte heeft voor maximaal één nieuwe kerncentrale bij Borssele.⁴⁴

In 1977 noemde de regering twaalf locaties voor nieuwe kerncentrales, waarvan vijf in Zeeland: Eemshaven, Urk, Ketelmeer, Flevo, Markerwaard, Wieringermeer, Maasvlakte, St. Philipsland, Tholen, Ossenisse, Bath/Hoedekenskerke en Borssele.⁴⁵ Dat veroorzaakte veel rumoer en leidde begin jaren tachtig tot de Brede Maatschappelijke Discussie over kernenergie. Resultaat: de meerderheid van de bevolking wilde geen nieuwe kerncentrales. Toch begon in januari 1985 de Planologische Kernbeslissing (PKB) Vestigingsplaatsen voor kerncentrales.⁴⁶ In januari 1986 volgde het regeringsbesluit, de PKB Vestigingsplaatsen voor kerncentrales deel d.^{47 48} Hierin lezen we: “Gewaarborgd moet worden dat bovenbedoelde locaties ook later nog zoveel mogelijk voldoen aan de belangrijkste criteria van de selectie van de vestigingsplaatsen. (...) In het gebied van 0 tot 5 kilometer rond een (geplande) kerncentrale is het beleid gericht op het handhaven van gunstige lage bevolkingsdichtheden en op het vermijden van de vestiging van voorzieningen die tot aanwezigheid van grote aantallen moeilijk te verplaatsen mensen kunnen leiden. (...) In een gebied van 5 tot 20 kilometer rond een (geplande) kerncentrale is een ontwikkeling volgens de ruimtelijke doelstellingen voor dat gebied in beginsel toegestaan. Dit beleid wordt gevoerd door toetsing van streek-, structuur- en bestemmingsplannen voor het betreffende gebied” (PKB, deel d, pagina 8). Ook zijn explosiegevaarlijke inrichtingen binnen 3 kilometer verboden. Dit alles betekent dat toekomstige, “nu nog niet bekende ontwikkelingen met betrekking tot woningbouw, bevolking, recreatie, voorzieningen en/of industriële bedrijvigheid, enige praktische consequenties zullen ondervinden van het waarborgingsbeleid.” (PKB, deel d, p 64)

Door het ongeluk met de kerncentrale in Tsjernobyl in april 1986 gingen de plannen voor nieuwe kerncentrales echter langdurig de ijskast in.

Op 10 augustus 2009 verscheen het Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III) onder verantwoordelijkheid van de ministers Van der Hoeven (CDA) en Cramer (PvdA). In het SEV III ging het ook om het “waarborgingsbeleid kernenergie,” waarin vijf locaties waren opgenomen voor een mogelijke kerncentrale: Moerdijk, Westelijke Noordoostpolderdijk, Maasvlakte, Eemshaven en Borssele.⁴⁹ Volgens de regering kon alleen op de Maasvlakte een kerncentrale aangelegd en gebouwd worden “zonder risico’s voor significante gevolgen” voor de omgeving. Bij de andere locaties (Eemshaven, Westelijke Noordoostpolderdijk, Borssele en Moerdijk) waren kleinere kansen op ongelukken met grote gevolgen.

Na inspraak kwam de regering in 2010 tot een beslissing. Vanwege de bovengenoemde zone van vijf kilometer, viel Moerdijk af omdat er te veel mensen woonden; de Westelijke Noordoostpolderdijk viel af omdat bij een ernstig ongeluk “de strategische drinkwatervoorraad in het IJsselmeer radioactief kan worden verontreinigd.” Bleven over: Eemshaven, Maasvlakte en Borssele.⁵⁰

Uit een op 8 november 2021 gepubliceerd onderzoek van SmartPort naar kernenergie op de Maasvlakte volgde dat “kernenergie moeilijk ruimtelijk inpasbaar (is) op basis van de beschikbare ruimte en in combinatie met de ontwikkelingen in de Rotterdamse havenregio. (...) Het is dus niet logisch om juist daar een kerncentrale neer te zetten.”⁵¹ Daaruit zou volgen dat alleen Borssele overblijft, maar - zo bepaalde de regering - in de “procedures wordt Rotterdam meegenomen als alternatieve locatie.”⁵²

De Tweede Kamer nam op 10 maart 2021 met 95 tegen 54 stemmen een SP-motie aan om de Eemshaven van de lijst te schrappen; VVD, CDA en SGP waren tegen.⁵³ Op 11 november 2023 stelde minister Jetten: “Hans Vijlbrief is bezig dat vast te leggen in de wet. Daar kan dan

dus geen grootschalige kerncentrale komen. Groningen is genoeg wingewest geweest.”^{54 55} Op 23 februari 2024 kondigde de regering aan deze locatie definitief van de lijst te halen.⁵⁶ Provinciale Staten Groningen besloot op 5 juni 2024 bouw van een kerncentrale niet alleen in de Eemshaven maar in heel Groningen uit te sluiten.⁵⁷

Op 1 februari 2024 schreef demissionair minister Jetten aan de Tweede Kamer dat intensief overleg met betrokken gemeenten en provincies in Zeeland en Zuid-Holland gevoerd zou worden.⁵⁸ Op 19 februari 2024 begon de procedure voor de bouw van de twee kerncentrales waar inspraak over was tot 4 april 2024.⁵⁹

Het waarborgingsbeleid kwam erop neer dat de regering wilde voorkomen dat vooral binnen een straal van vijf kilometer nieuwe fabrieken met veel werknemers of grote wooncomplexen (bijvoorbeeld seniorenflats) of recreatiegebieden werden aangelegd. En dit beleid is nog steeds van kracht.”⁶⁰

Ruimte voor hooguit één kerncentrale in Zeeland

Zijn twee nieuwe kerncentrales bij Borssele dan wel op de Maasvlakte inpasbaar in het hoogspanningsnet, zonder knelpunten te veroorzaken? Daarover publiceerde Netbeheerder TenneT op 29 februari 2024 een rapport, gemaakt in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. De belangrijkste conclusie is: “Slechts in één situatie lijkt inpassing van 1.600 Megawatt productievermogen nieuwe kernenergie nét inpasbaar in het hoogspanningsnet. Het gaat dan om de locatie Borssele.” Maar dan moet wel aan een aantal voorwaarden zijn voldaan. Overigens, 1.600 Megawatt is het vermogen van een Franse EPR-kerncentrale. Op de Maasvlakte is per definitie geen ruimte voor een of twee kerncentrales: dit “leidt tot lokale knelpunten in het hoogspanningsnet,” stelde TenneT.⁶¹

Subsidie per huishouden

In Groot-Brittannië bouwt het Franse elektriciteitsbedrijf EDF de kerncentrale Hinkley Point C, twee zogeheten EPR-kerncentrales van elk 1600 Megawatt. Ook zijn er plannen voor de bouw van Sizewell C, een kopie van Hinkley Point C.⁶² Deze kerncentrales zijn een voorbeeld voor de plannen om bij Borssele twee nieuwe kerncentrales te bouwen.

Het Zeeuwse elektriciteitsbedrijf EPZ neemt ook de Engelse manier van financieren van de bouw van Sizewell C over. De consumenten (de Zeeuwen of alle Nederlanders?) betalen dan maandelijks via hun elektriciteitsrekening vanaf het begin van de bouw een extra bedrag. Bij Sizewell C gaat het volgens de Engelse regering om een maandelijks bedrag van omgerekend 32,5 miljoen euro per maand, dat is 1,15 euro per maand per huishouden.⁶³ Voor Nederland zou dit neerkomen op 4 euro per huishouden per maand.⁶⁴ Als uitsluitend de Zeeuwse huishoudens dat zouden moeten betalen, gaat het om 180 euro per huishouden per maand.⁶⁵ Voor Zuid-Holland gaat het om 19 euro per huishouden per maand en voor de provincie Groningen om 110 euro per huishouden per maand.^{66 67}

Toegepast op Borssele betekent deze manier van financieren dat EPZ minder hoeft te lenen. Daardoor dalen de financieringskosten. Het lijkt dan dat kernenergie goedkoop is, maar dat is schijn.

4. Kernenergie geen goede oplossing voor het broeikaseffect

Volgens Rob Jetten, demissionair minister van Klimaat en Energie, is bij kernenergie bijna geen uitstoot van het broeikasgas CO₂. Dat is echter onjuist, want er is CO₂-uitstoot door o.a. de bouw van een kerncentrale, de winning van de brandstof uranium en de ontmanteling van de centrale. Men noemt dit de indirecte CO₂-uitstoot, die bij kernenergie zo’n tien keer hoger is dan bij windenergie.^{68 69 70 71 72 73 74 75 76}

5. Kernenergie 2% totale wereldwijde energiegebruik

Kernenergie zorgt volgens gegevens van het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) voor 9,2% van het wereldwijde elektriciteitsgebruik. Dat komt overeen met 2% van het totale energiegebruik (elektriciteit is 20,1% van het totale energiegebruik).⁷⁷

6. Tijdelijke en permanente opslag van kernafval

1. De regering wil al vanaf 1976 opslag van kernafval in de noordelijke zoutkoepels realiseren (Ternaard in Friesland; Pieterburen, Bourtange en Onstwedde in de provincie Groningen; Schoonloo, Gasselte-Drouwen, Hooghalen en Anloo in Drenthe).^{78 79 80} Daarnaast worden kleilagen genoemd vlak onder Schiermonnikoog, de zuidelijke helft van Friesland, Gelderland, Brabant, Limburg, de Noordoostpolder en Noord-Holland.^{81 82 83 84 85}

2. Kerncentrales produceren radioactief afval dat een miljoen jaar gevaarlijk blijft.⁸⁶ Is het ethisch verantwoord om eerst kernafval te maken en pas later te zoeken naar een veilige opberging?^{87 88} De regering gaat voorbij aan deze vraag.

3. De bovengrondse opslag van radioactief afval is gevestigd in Zeeland bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA). Daarbij gaat het volgens de regering om een opslag voor honderd jaar.⁸⁹ De vraag blijft hoe een veilige opslag de resterende 999.900 jaar gewaarborgd wordt. De COVRA is buitendijks en moet op termijn rekening houden met de toenemende kans op overstromingen vanwege de klimaatverandering.⁹⁰ Komt de COVRA onder water te staan?

4. De Duitse zoutkoepel Asse in de deelstaat Nedersaksen was hét voorbeeld voor Nederland om ook kernafval in zoutkoepels op te slaan.^{91 92} In de zoutkoepel Asse stroomt echter jaarlijks 4,4 miljoen liter water naar binnen.⁹³ In de zoutkoepel Asse stroomt echter jaarlijks 4,4 miljoen liter water naar binnen.⁹⁴ De voorbereiding voor het opgraven vanaf 2033 van de vaten in Asse kost de belastingbetaler 4,7 miljard euro; daar komt nog een onbekend bedrag voor het opgraven zelf bij.⁹⁵ In 2021 verklaarde de Duitse overheid na veertig jaar onderzoek (kosten 1,6 miljard euro) de zoutkoepel Gorleben ongeschikt, waarop in augustus 2023 besloten werd de al aangelegde mijn op te vullen met 400.000 ton zout.^{96 97 98 99} De Amerikaanse overheid schrapte in 1985 na 28 jaar onderzoek alle zoutkoepels van de lijst.¹⁰⁰ ¹⁰¹ De ervaringen met opslag in buitenlandse zoutkoepels geven niet bepaald vertrouwen in de Nederlandse plannen voor opslag in zoutkoepels.

5. De Commissie voor de milieueffectrapportage spoorde de regering op 31 januari 2024 aan duidelijker te zijn over de besluitvorming rond kernenergie en radioactief afval en stelde dat onder meer de volgende vragen beantwoord moeten worden door de regering: “Op grond van welke (milieu)argumenten is elektriciteitsproductie uit kernenergie, nuttig of noodzakelijk? Ga hierbij in het bijzonder in op de daaraan verbonden toename van de hoeveelheid radioactief afval en hoe dit zich verhoudt tot het principe om de hoeveelheid radioactief afval te minimaliseren. Ga ook in op de rol van kernenergie in de energiemix en afhankelijkheden van het buitenland (bijvoorbeeld voor uranium, MOX-brandstof en -opwerking).”^{102 103}

7. Hoofdlijnenakkoord PVV, VVD, NSC en BBB: 14 miljard euro voor kernenergie

Op pagina 14 van het op 16 mei 2024 vastgestelde Hoofdlijnenakkoord van de nieuwe regering staat over kernenergie: “De kerncentrale in Borssele blijft open; de bouw van twee kerncentrales wordt doorgezet. Daarnaast komen er twee extra kerncentrales, waarbij ook de mogelijkheden voor meerdere kleine centrales worden betrokken. Een goede ruimtelijke inpassing van de centrales is cruciaal, ook voor het draagvlak. De overheid draagt met publiek-private samenwerking en kennisontwikkeling bij aan de bouw.”¹⁰⁴ Er is “14 miljard euro beschikbaar voor een rijksbijdrage bij de bouw van vier kerncentrales tot en met 2035.”¹⁰⁵

Het woord “kernafval” komt niet voor in dit akkoord.

Hoofdstuk 1

Nieuwe, kleinere kerncentrales (SMR)

Voorwoord

Rob Jetten (D66), demissionair minister van Klimaat en Energie, stelde op 11 november 2023 over nieuwe kerncentrales die vaak omschreven worden als ‘kleine kerncentrales’: “Vanuit het rijk gaan we met zeven provincies kijken of en zo ja waar zulke kleine centrales kunnen komen. (...) Limburg en Brabant zijn koplopers in die discussie.”

Over de afmetingen van die kleine kerncentrales hebben volgens Jetten “veel mensen er een romantisch beeld bij.” Dat is onterecht, want de bedrijven die een dergelijke kerncentrale beloven, “bouwen gewoon het formaat van Borssele.”¹⁰⁶ De Duitse overheidsinstantie voor de Veiligheid van de opslag van kernafval (Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung, BASE) wees in een op 5 december 2023 verschenen rapport bovendien op een groot aantal onbeantwoorde vragen. In dit rapport werden de ontwerpen van 136 kleinere kerncentrales geanalyseerd met als conclusie dat ze weliswaar vaak gebaseerd zijn op al bestaande, oude technische concepten, maar tevens een groot aantal nieuwe uitdagingen met zich meebrengen wat betreft risico’s en economische levensvatbaarheid.¹⁰⁷ In een op 15 oktober 2023 verschenen analyse in het vakblad Science Direct concluderen de auteurs na een analyse van 19 SMR-ontwerpen dat geen enkele SMR kan concurreren met bestaande duurzame technologieën, ook als rekening gehouden wordt met de infrastructuurkosten van duurzame energie.¹⁰⁸

Tot voor kort voldeden slechts vier ontwerpen aan genoemd uitgangspunt van Rob Jetten; die van het Britse bedrijf Rolls-Royce en van de Amerikaanse bedrijven NuScale, Westinghouse en General Electric-Hitachi. Op 8 november 2023 besloot NuScale ermee te stoppen.^{109 110} Het Franse elektriciteitsbedrijf EDF heeft op 1 juni 2024 besloten om te stoppen met de plannen voor de zogeheten Nuward-kerncentrale (twee reactoren van elk 170 MW). EDF deelde mee verder te gaan met uitsluitend de bestaande technologie van lichtwater-reactoren en af te stappen van innovaties.^{111 112} Rory O’Neill, directeur overheidszaken van Westinghouse Electric Company UK, stelde op 13 december 2023 dat de AP300 de enige SMR ter wereld is die bewezen technologie toepast, terwijl andere SMR’s gebaseerd zijn op onbewezen ontwerpen. Daarom kan de AP300 rond 2035 in bedrijf komen, maar is het volgens hem onduidelijk of dat tijdpad ook voor andere ontwerpen geldt.¹¹³ In Nederland wordt de AP300 overigens niet genoemd, maar staan juist de ontwerpen van Rolls-Royce en General Electric in de belangstelling. Hieronder volgt daarom een overzicht van deze twee reactoren.

Negen provincies

De provincies Gelderland, Utrecht, Noord-Holland, Zuid-Holland, Zeeland, Noord-Brabant en Limburg schuiven in hun onlangs vastgestelde coalitieakkoord de bouw van kerncentrales met een vermogen van 30 tot 470 Megawatt (MW) naar voren als oplossing voor de energieproblemen.^{114 115} Verschillende politieke partijen in Friesland en Drenthe zijn het hiermee eens.^{116 117} Deze kerncentrales worden Small Modular Reactor (SMR) genoemd, dit in tegenstelling tot de kerncentrales van 1.000 tot 1.650 MW die nu in aanbouw zijn. Het lijkt veelal alsof de term SMR doelt op één type kerncentrales, terwijl het in werkelijkheid over tientallen mogelijke typen gaat. Het is onduidelijk wanneer een besluit tot de bouw van een SMR in Nederland genomen kan worden, terwijl het ook ongewis is hoeveel kernafval een SMR jaarlijks produceert.

Small Modular Reactor (SMR), wat en waarom?

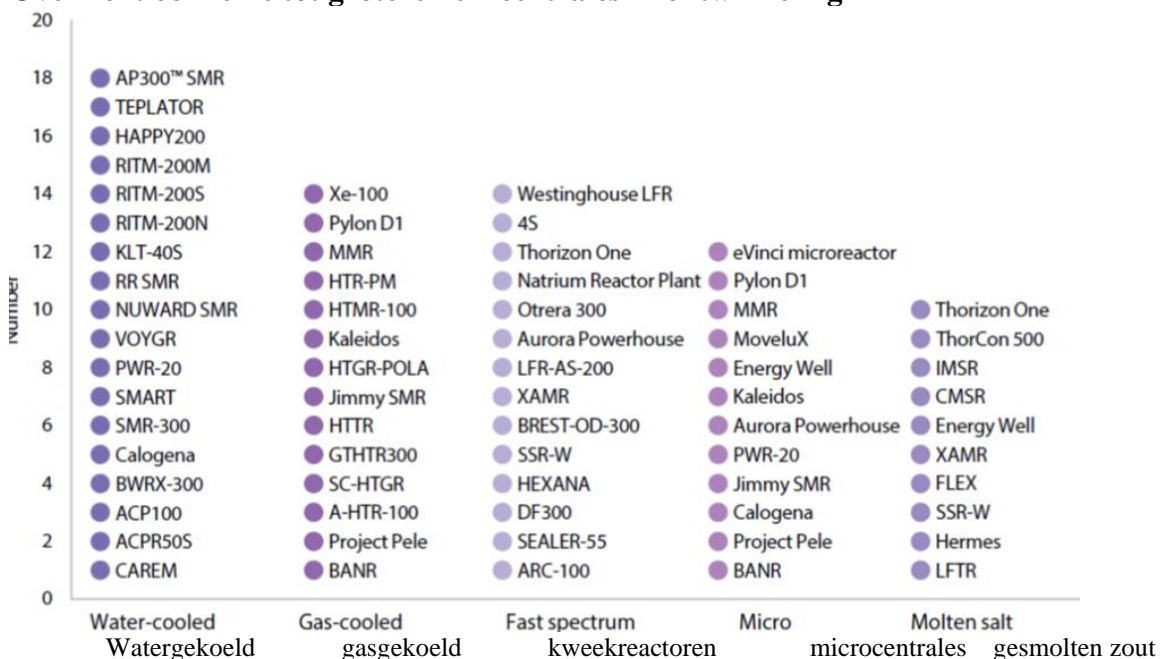
Een kernreactor wordt klein genoemd, wanneer het elektrisch vermogen kleiner is dan 500 MW maar groter dan 50 MW. Bij een vermogen van 20-50 MW spreken we over een mini- of micro-SMR.¹¹⁸ Ter vergelijking: de kernreactor in Borssele is 485 MW.¹¹⁹ Een voorbeeld van een kleine reactor die elektriciteit produceerde, is de 58 MW kerncentrale die van 1969 tot 1997 in Dodewaard draaide.¹²⁰ Bij de ontwikkeling van nieuwe kleine reactoren is de inzet om ze modulair en fabrieksmatig te bouwen. Dan is het een SMR: Small Modular Reactor. ‘Small’ verwijst naar het elektrisch vermogen van de centrale, maar zegt niets over de grootte ervan.

De fabrieksmatige aanpak (‘Modular’) betekent dat men hoopt de kosten beter te kunnen beheersen. Ter plekke kunnen dan een paar kerncentrales naast elkaar komen te staan. Ook hoopt men dat de gevolgen van een groot ongeluk met een kleinere kerncentrale minder erg en verstrekkend zullen zijn dan bij de huidige kerncentrales. Na een ernstig ongeluk met de kerncentrale Borssele moet een gebied tot op 10 kilometer afstand geëvacueerd worden. Bij een SMR zou het gebied kleiner zijn. Het bewijs hiervoor moet echter nog geleverd worden.

SMR als verzamelnaam voor 23 tot 68 mogelijke kerncentrales

Het International Atomic Energy Agency (IAEA) in Wenen gaf in 2020 een overzicht van 60 mogelijke SMR’s met een vermogen tussen 30 en 300 Megawatt (MW).¹²¹ Wat betreft het vermogen zijn ze vergelijkbaar met kerncentrales die tussen 1960 en 1975 gebouwd werden, staat in een in december 2021 verschenen rapport van het Oostenrijkse Forum Wissenschaft & Umwelt. Daarna werden de kerncentrales steeds groter, omdat men op die manier schaalvoordelen zou behalen en de kostprijs per kWh zou dalen. De ervaring heeft sindsdien geleerd dat de kostprijs van elektriciteit uit kerncentrales niet gedaald is en daarom wordt nu op SMR’s met een kleiner vermogen teruggegrepen.¹²²

Figuur 1.1
Overzicht 68 kleine tot grotere kerncentrales in ontwikkeling



Bron: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition, 28 februari 2024.

Toelichting: in deze figuur wordt de PWR 20 genoemd, een drukwaterreactor met een elektrisch vermogen van 20 Megawatt naar een ontwerp van Last Energy. Het thermisch vermogen is 60 MW. Twee derde van de energie komt derhalve in het koelwater terecht. Volgens het NEA wordt nog nergens een vergunning voor deze kerncentrale aangevraagd. Last Energy is lid van de Alliantie Limburg.¹²³

Ook gaat het regelmatig over kerncentrales die thorium als brandstof gebruiken. Een betere benaming voor de

thoriumreactor is echter de gesmoltenzout-reactor. Dit vanwege het feit dat de brandstof opgelost zit in een zout. Dit type kerncentrales is in ontwikkeling.

Medewerkers van de Chinese Academie van Wetenschappen werken al jaren aan een gesmoltenzout-reactor via een prototype met een vermogen van 2 MW, gevolgd door een 10 MW experimentele reactor die in 2025 in bedrijf moet komen. Commerciële toepassing duurt dan nog minstens tot 2040, stelden ze begin december 2017.¹²⁴ Het prototype was in september 2021 klaar, zodat het proefdraaien kon beginnen.¹²⁵ Het Nucleair Energie Agentschap in Parijs concludeerde in een op 24 februari 2021 verschenen rapport dat de technologie voor een brandstofketen met thorium niet op industriële schaal ontwikkeld was. Ook is kernenergie op basis van thorium ingewikkelder dan op basis van uranium.¹²⁶

In maart en juli 2023, evenals op 28 februari 2024, verschenen rapporten van het Nucleair Energie Agentschap (NEA) in Parijs met een overzicht van 23 resp. 27 en 68 SMR's met een vermogen van 30 tot 470 MW, die wereldwijd in ontwikkeling zijn. Sommige daarvan zouden kort voor het jaar 2030 te koop zijn en andere later (zie figuur 1.1).^{127 128 129} Of dat zal lukken is zeer de vraag, blijkt uit een op 14 maart 2023 verschenen rapport van prof. Steve Thomas van de Greenwich University in Engeland. Thomas komt tot zijn conclusie na een analyse van zeven SMR-ontwerpen die mogelijk in Engeland gebouwd zouden kunnen worden, zoals het ontwerp van Rolls-Royce.¹³⁰

Uit een op 2 juni 2023 gepubliceerd rapport van Gregory Jaczko, die van 2005 tot 2012 voorzitter was van de Amerikaanse Commissie voor Nucleaire Regelgeving (U.S. Nuclear Regulatory Commission), blijkt dat de Amerikaanse regering van 2012 tot 2016 zo'n 450 miljoen dollar subsidie heeft gegeven voor de ontwikkeling van SMR's. Behalve het ontwerp van de zogeheten NuScale reactor heeft dit niets opgeleverd.¹³¹ Dat werd op 21 juli 2023 bevestigd door Allison Macfarlane, van 2012 tot 2014 voorzitter van de Amerikaanse Commissie voor Nucleaire Regelgeving. Macfarlane gaf aan dat nog geen enkele SMR te koop is, laat staan dat er een vergunning voor is afgegeven.¹³²

Twee concepten voor in de race: Rolls-Royce en General Electric-Hitachi

Uit diverse overzichtsartikelen blijkt dat drie concepten vaak genoemd worden: de Rolls-Royce reactor, de NuScale reactor en de General Electric-Hitachi BWRX-300. Het gaat hier om kerncentrales die water gebruiken voor de koeling. Ze heten lichtwaterreactoren ter onderscheiding van bijvoorbeeld Canadese kerncentrales die gebruik maken van een zwaardere waterstofverbinding. Lichtwaterreactor is een verzamelbegrip voor zowel een drukwaterreactor (pressurized water reactor, PWR) als een kokendwaterreactor (boiling water reactor, BWR).

Tot voor kort was de **NuScale** reactor een kandidaat, een drukwaterreactor met een vermogen van ca. 77 MW. Het was de bedoeling dat hiervan 4, 6, 8, 10 of 12 eenheden bij elkaar in 'een bak water' in de kerncentrale worden geplaatst. De centrale zou hierdoor een vermogen van 308 tot 924 MW krijgen. De ontwikkeling van deze reactor begon in 2003.¹³³ In januari 2023 bleek dat de reactor 53% duurder stroom zou leveren.¹³⁴ Toch kende het Amerikaanse ministerie 1,4 miljard dollar subsidie toe.¹³⁵ De bouwaanvraag voor een eerste centrale in Idaho (USA) zou naar verwachting begin 2024 ingediend en medio 2026 goedgekeurd worden.¹³⁶ Op 8 november 2023 besloten NuScale en de betreffende energiebedrijven in Utah om technische en economische redenen echter te stoppen met de bouwplannen.^{137 138}

Rolls-Royce is de producent van reactoren voor de Engelse kernonderzeeërs. Deze kernreactoren bouwt en onderhoudt Rolls-Royce al tientallen jaren. Het bedrijf besloot een aantal jaren geleden een zogeheten kleine modulaire drukwaterreactor te ontwikkelen en heeft daarvoor een aparte firma opgericht: Rolls-Royce SMR Ltd.¹³⁹ De Engelse regering besloot op 9 november 2021 een subsidie van omgerekend 246 miljoen euro te verstrekken voor de ontwikkeling van een kerncentrale met een vermogen van 470 Megawatt (MW); de

kerncentrale Borssele is 480 MW. Het ontwerp moest na vijf jaar rijp zijn voor een bouwvergunning, was het plan. Deze eerste kleinere kerncentrale zou omgerekend 2,4 miljard euro kosten.¹⁴⁰ Dat is 5.100 euro per kilowatt. Alastair Evans, woordvoerder van Rolls-Royce, stelde op 25 november 2021 in het vakblad NewScientist dat de eerste kerncentrale die in 2031 in bedrijf zou kunnen komen, omgerekend 2,6 miljard euro zou kosten en dat zou naar 2,1 miljard euro dalen bij serieproductie.¹⁴¹

In maart 2022 heeft de Engelse regering het algemene ontwerp van deze kerncentrale aanvaard en daarmee kon de gedetailleerde aanvraag voor een bouwvergunning beginnen.¹⁴² In april 2022 noemde de Engelse regering het subsidiebedrag van 240 miljoen euro nogmaals en stelde dat kernenergie in het jaar 2050 zeker drie keer zoveel stroom moet leveren als nu.¹⁴³ Centrales als die van Rolls-Royce werden daarbij nadrukkelijk genoemd. De eerste centrales zouden in Wales of in Cumbria in noordwest Engeland moeten verrijzen op vestigingsplaatsen die al vergund waren voor kerncentrales. In maart 2023 bleek dat Rolls-Royce verwachtte dat de eerste reactor begin jaren 2030 in bedrijf zou kunnen komen.¹⁴⁴ Rolls-Royce SMR Ltd. gaf in februari 2017 al aan dat een binnenlandse markt van 14 kerncentrales niet voldoende is en dat bestellingen uit het buitenland nodig zijn om op den duur financieel uit te kunnen.¹⁴⁵ Vandaar het zoeken naar verkoop aan bijvoorbeeld Nederland.

Fabrieksmatige bouw

Rolls-Royce wil een groot deel van de kerncentrale in een fabriek klaarmaken. In juli 2022 werd bekend dat er een paar mogelijke locaties zijn voor een dergelijke fabriek. De bouw zal echter pas beginnen als er een vergunning is voor een reeks kerncentrales.¹⁴⁶ Dan komen we meer te weten over de veiligheid en de kosten. In afwachting van de noodzakelijke extra subsidie zette Rolls-Royce op 24 februari 2023 de ontwikkeling van de kerncentrale op een lager pitje wegens financiële problemen en tegenvallende orders.¹⁴⁷

Tien Rolls-Royce-kerncentrales in Nederland?

Het Nederlandse bedrijf ULC-Energy heeft in augustus 2022 gekozen voor een kerncentrale naar een ontwerp van het Engelse Rolls-Royce. Dirk Rabelink, de directeur van ULC-Energy, stelde op 6 oktober 2022 dat wat hem betreft tien van deze kerncentrales in Nederland gebouwd worden.¹⁴⁸ Op 8 november 2023 ondertekenden BAM Infra Nederland, ULC-Energy en Rolls-Royce SMR een intentieverklaring voor de bouw van een SMR.¹⁴⁹ Financiële details over de samenwerking en een tijdpad werden niet genoemd.¹⁵⁰ Het gaat hier om een kerncentrale met een vergelijkbaar vermogen als Borssele in Zeeland. Het gaat derhalve niet om mini-kerncentrales en het is eveneens onbekend waar ze gebouwd zouden kunnen worden

De BWRX-kerncentrale van General Electric

De BWRX is een kokendwaterreactor en maakt gebruik van kenmerken van negen eerdere ontwerpen van General Electric en Hitachi, zoals in Dodewaard. Zie tabel 1.1 en figuur 1.2 en 1.3. Wereldwijd zijn er zo'n honderd kokendwaterreactoren gebouwd.¹⁵¹

GE-Hitachi Nuclear Energy heeft contacten gelegd of overeenkomsten gesloten voor de bouw van een BWRX in Canada, Tsjechië, Polen, Groot-Brittannië, de Verenigde Staten en Zweden. De planning is dat de kerncentrale over 10 tot 13 jaar in bedrijf komt.^{152 153}

Een voorbeeld. In december 2021 heeft het Canadese bedrijf Ontario Power Generation (OPG) besloten bij Darlington een BWRX te gaan bouwen. OPG hoopte snel een bouwvergunning te krijgen, zodat de kerncentrale in 2028 in bedrijf zou kunnen komen.¹⁵⁴ De bouwkosten werden begroot op 3.333 \$/kW (3.000 euro/kW) en deze kosten zouden bij serieproductie kunnen dalen naar 2.250 \$/kW (2.000 euro/kW).¹⁵⁵ In februari 2024 verwachtte OPG dat de overheid eind 2024 zal bepalen of er een bouw- en bedrijfsvergunning afgegeven

zou kunnen worden. Daarna kan OPG definitief tot de bouw besluiten.¹⁵⁶

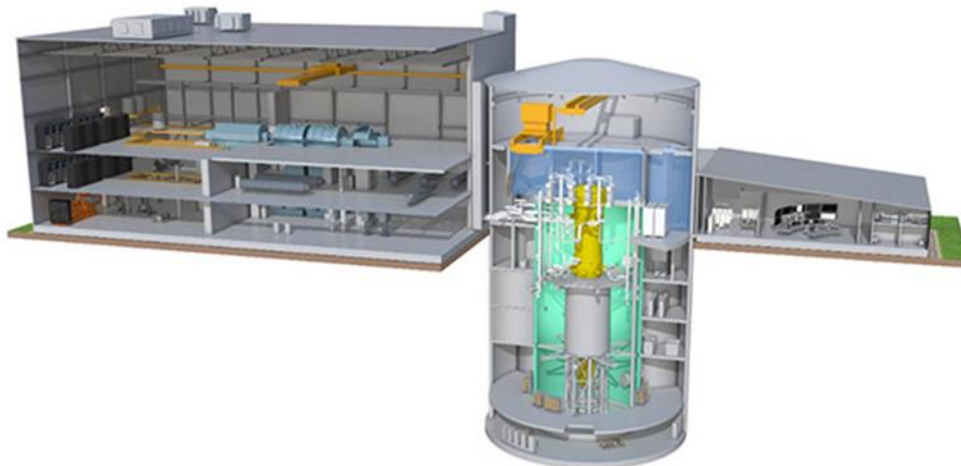
De omhulling van de BWRX-300 is een verticale cilinder met een doorsnede van 17,5 meter; de reactor is 38 meter hoog en omvat het reactordrukvat en verschillende componenten. Voor de bouw is een gebied van bijna 14 hectare nodig (figuur 1.4).¹⁵⁷

Tabel 1.1

Kerncentrales GE en Hitachi vanaf 1960

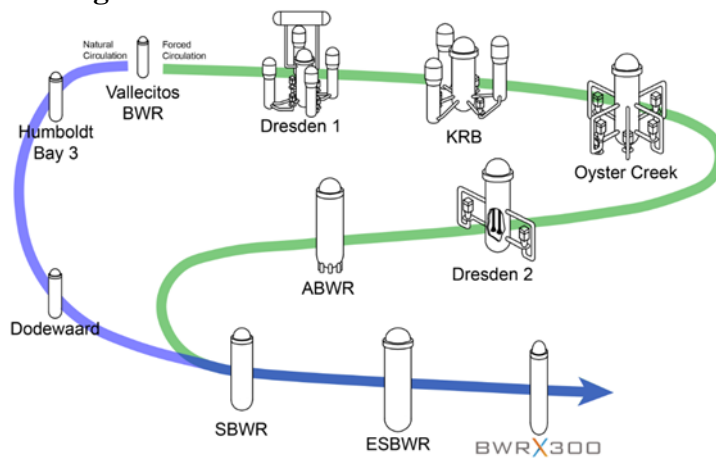
TYPE	BEGIN BEDRIJF
BWR/1	1960
BWR/2	1969
BWR/3	1971
BWR/4	1972
BWR/5	1978
BWR/6	1981
ABWR	1996
SBWR	
ESBWR	
BWRX-300	

Figuur 1.2
Doorsnede BWRX



Bron: <https://nuclear.gepower.com/bwrx-300>

Figuur 1.3
Ontwikkeling kokend-water-kerncentrales vanaf 1960



Bron: [https://nuclear.gewater.com/content/dam/gewater-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwrx-300/005N9751-RevE-BWRX-300-General-Description-\(002\).pdf](https://nuclear.gewater.com/content/dam/gewater-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwrx-300/005N9751-RevE-BWRX-300-General-Description-(002).pdf), augustus 2023.

Figuur 1.4
Benodigde ruimte BWRX



Bron: [https://nuclear.gewater.com/content/dam/gewater-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwrx-300/005N9751-RevE-BWRX-300-General-Description-\(002\).pdf](https://nuclear.gewater.com/content/dam/gewater-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwrx-300/005N9751-RevE-BWRX-300-General-Description-(002).pdf), augustus 2023.

Op 3 november 2023 hield Aaldrik Haijer, directeur van Water & Energy Solutions in Groningen, tijdens een VVD-bijeenkomst een pleidooi voor deze kerncentrale: “We hebben de afgelopen vijf jaar een veertigtal studies gedaan met een man of tachtig; en dat deden we in volledige beslotenheid. (...) We hebben 20 locaties in Nederland die interessant zijn om kerncentrales te bouwen. Eind van dit jaar kiezen we daar drie van en begin volgend jaar maken we bekend wat de eerste locatie is waar we gaan bouwen.” Hij zei er “nu niet mee te koop te lopen,” maar “ermee naar buiten te komen als we begin volgend jaar de eerste locatie hebben.” Een voorwaarde daarbij is volgens hem instemming van het bestuur op zowel plaatselijk als regionaal niveau.¹⁵⁸

De **koeling** van de BWRX gaat via zowel lucht als water. Dit koelsysteem wordt in de literatuur omschreven als droge koeling, wat het idee kan geven dat geen koelwater nodig is. Om dit uiteen te zetten maak ik gebruik van gegevens van de World Nuclear Association en van het Öko Instituut.^{159 160}

In een kerncentrale met zogeheten droge koeling wordt de warmte van de kernsplijting zowel via lucht als via water afgevoerd. Het warme water gaat door metalen buizen die in contact staan met de lucht. In vergelijking met uitsluitend waterkoeling duurt het langer, voordat deze buizen eenzelfde hoeveelheid warmte hebben afgegeven. Het Amerikaanse ministerie van Energie (DOE) publiceerde in 2009 een studie met als conclusie dat dit systeem via de lucht drie tot vier keer zo duur is als via uitsluitend koelwater.

Verschillende SMR-ontwerpen maken toch gebruik van vooral luchtkoeling, zodat deze kerncentrales ook gebouwd kunnen worden op plekken waar minder koelwater is. Het intussen ingetrokken ontwerp van NuScale was gebaseerd op luchtkoeling, waardoor 90%

minder koelwater nodig zou zijn. De elektriciteitsproductie zou dan ongeveer 6% lager zijn dan met uitsluitend waterkoeling.

Bij de BWRX is dus ook koelwater nodig, al gebeurt dat niet via een hoge koeltoren. Aan de linkerkant van figuur 1.4 staat weliswaar ‘cooling towers’, maar dat zijn ongeveer twintig lage torentjes naast elkaar.

De Poolse regering heeft op 8 december 2023 ingestemd met het een plan om op zeven locaties BWRX-kerncentrales te bouwen.^{161 162} Dit op voorstel van de investeringsmaatschappij ORLEN Synthos Green Energy.¹⁶³ Daarom heb ik Mariusz Ilnicki, de woordvoerder van deze maatschappij, gevraagd of deze locaties allemaal aan water staan. Hij antwoordde op 12 december 2023 dat Włocławek, Stawy Monowskie en Tarnobrzeg-Stalowa Wola dicht bij een rivier staan en de andere vier niet. Maar dat is op zich geen probleem, schreef hij, omdat een BWRX geen aanzienlijke hoeveelheid koelwater nodig heeft. De uiteindelijke beslissing over de koelmethode moet echter nog gemaakt worden en daarvoor worden de verschillende voor- en nadelen nader bestudeerd.¹⁶⁴

De kerncentrale Dodewaard als voorbeeld

Zoals in figuur 1.3 aangegeven, is de kerncentrale Dodewaard een voorloper van de BWRX. Een overzicht.

De kerncentrale Dodewaard met een elektrisch vermogen van 54 Megawatt (MW) kwam in maart 1969 in bedrijf en ging in 1997 dicht.^{165 166} Op 17 september 1959 benoemde de SEP (Samenwerkende Elektriciteits Productiebedrijven) de Commissie Kernenergiecentrale. Die kwam op 29 april 1960 met een rapport waarin gepleit werd voor de bouw van een Suspensiereactor (door de KEMA) en van nog een kerncentrale. In mei 1960 stemde de SEP hiermee in. Dit resulteerde in aanbiedingen. Op 1 juni 1961 liet de Commissie Kernenergiecentrale echter weten dat de keuze was gevallen op een kokendwaterreactor van de Amerikaanse reactorleverancier General Electric. De bouw zou 90 miljoen gulden kosten. Het ministerie van Economische Zaken stelde een ontwikkelingsbijdrage van 15 miljoen gulden ter beschikking. Euratom nam voor 8,1 miljoen gulden deel.¹⁶⁷

Op 11 december noemde de heer Sassen, de Nederlandse vertegenwoordiger bij Euratom, tijdens een persconferentie per ongeluk de naam Dodewaard. Zo werd de locatiekeuze bekend en - blijkens krantenberichten uit die tijd - enthousiast begroet door de bevolking en het gemeentebestuur.¹⁶⁸

Op 23 september 1964 werd begonnen met het bouwrijp maken van het terrein in Dodewaard. Dit leverde een aantal bezwaarschriften op, omdat op dat moment nog geen hinderwetvergunning was afgegeven. Die kwam, samen met de bouwvergunning, in 1965. Op 25 februari 1965 startte het heiwerk. De centrale leverde op 26 oktober 1968 de eerste stroom aan het koppelnet en werd op 26 maart 1969 door koningin Juliana in gebruik gesteld.¹⁶⁹

De SEP had “opzettelijk besloten tot een relatief kleine centrale, omdat men voor alles wilde dat er bedrijfservaring werd opgedaan, gepaard aan eigen onderzoek,” waarin “alle eigenschappen van een grote commerciële kerncentrale terug te vinden zouden zijn,” staat in het boek “Dodewaard doorgelicht” en daarom werd “van meet af aan gekozen voor een opzet waarbij een economische elektriciteitsopwekking door de centrale zelf geen rol speelde.”¹⁷⁰

Met Dodewaard moest de elektriciteitswereld de commerciële opwekking van kernenergie leren. De kerncentrale sloot op 26 maart 1997.¹⁷¹

Volgens de planning moeten de huidige eigenaren Vattenfall, Engie, Uniper en EPZ geld reserveren opdat de kerncentrale vanaf 2045 afgebroken kan worden. Ze hebben in 2016 aangegeven dat de kosten voor de ontmanteling 189,7 miljoen euro zouden zijn. Volgens de ministeries van Financiën en van Infrastructuur en Waterstaat kost de ontmanteling echter meer. De eigenaren van Dodewaard waren het hier niet mee eens en gingen in beroep bij de Raad van State. Op 3 november 2021 heeft de Raad van State de ministers gelijk gegeven.¹⁷²

De ontmanteling kost meer dan 190 miljoen euro. De eigenaren van Dodewaard zouden een nieuwe berekening maken.¹⁷³ In mei 2023 bleek uit een brief van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat dat de ontmanteling 243 tot 334 miljoen euro zal kosten. De eigenaren van Dodewaard zouden dat niet kunnen betalen, liet de minister weten. Daarom gaat de overheid de ontmanteling van de kerncentrale Dodewaard betalen.¹⁷⁴

Economisch en technisch haalbaar?

Alle nieuwe kernenergieprojecten zijn economisch en technisch niet haalbaar en ook niet zinvol. Dat blijkt uit een op 7 maart 2023 verschenen analyse van onderzoekers van het Duitse Instituut voor Economisch Onderzoek (DIW). “Kernenergie was, is en blijft technologisch riskant en onrendabel. Ook zogenaamd innovatieve reactorconcepten als de SMR’s, die in werkelijkheid hun oorsprong hebben in de begindagen van kernenergie in de jaren 1950/60, veranderen dit niet,” stelde Christian von Hirschhausen, onderzoeksdirecteur van de afdeling Energie, Transport en Milieu van het DIW. Daarom kan kernenergie geen kosteneffectieve en tijdige bijdrage leveren aan de energievoorziening.¹⁷⁵

In een op 27 juni 2023 verschenen studie in opdracht van het DIW analyseerden de auteurs vijftien SMR-projecten waarvan voldoende gegevens beschikbaar waren. Elektriciteit van deze SMR’s zal duurder zijn dan stroom van de huidige zonnepanelen, windmolens of gascentrales.¹⁷⁶

Bouwbesluit in Nederland voor 2033?

Volgens Wim Turkenburg, emeritus hoogleraar Wetenschap, Technologie en Maatschappij aan de Universiteit Utrecht, zullen de eerste SMR’s in de westerse wereld naar verwachting pas rond 2030 in bedrijf komen. Waarschijnlijk in Noord-Amerika en het Verenigd Koninkrijk: “Pas daarna komen ze mondiaal op de markt. In ons land zullen commercieel en marktconform opererende partijen de resultaten van deze SMR’s willen afwachten, voordat ze besluiten een bepaalde SMR te bouwen. Zo’n besluit valt daarom in ons land, zonder financiële steun van de overheid, niet voor 2033 te verwachten.”¹⁷⁷

Het nucleaire onderzoeksinstituut NRG in Petten bracht op 17 mei 2023 een rapport uit met eenzelfde conclusie, maar dan in wolliger, technische bewoordingen. Het rapport ging over de bouwtijd van een SMR die al ergens in bedrijf is, dat heet nummer N (NOAK, de n^{de} van een type): er is “een minimale doorlooptijd van circa 7 jaar voor het traject van vergunningverlening en bouw van een NOAK SMR (Nth of a kind),” mits “de technologie voldoende bewezen/volwassen is om te beoordelen in een vergunningsproces en de nodige voorzieningen in toereikende mate beschikbaar zijn, zoals financiering, toeleveringsketen, expertise en capaciteit. Een leverancier met voldoende kennis, ervaring en capaciteit in de toeleveringsketen is essentieel.”¹⁷⁸

De regering van Groot-Brittannië koos op 2 oktober 2023 zes bedrijven uit die mee mogen dingen naar orders voor de bouw van vier verschillende SMR’s. In de lente van 2024 zal de regering een keuze bekend maken. De SMR’s komen naar verwachting rond het jaar 2035 in bedrijf.^{179 180}

Veiligheid

Als maatstaf voor de veiligheid van een SMR wordt gebruik gemaakt van een kansberekening, de zogeheten probabilistische veiligheidsanalyse (PSA). Dit is de kans op een beschadiging van de kern van de reactor of op lozingen van radioactieve stoffen naar de omgeving. Het wordt meestal uitgedrukt in kans per jaar. Uit een rapport van het Duitse Öko-Institut volgt dat de uitkomsten “met de nodige voorzichtigheid worden gebruikt, omdat ze sterk afhankelijk kunnen zijn van de gebruikte methoden en gegevens. Ook moet de rekenmethode nog verder worden ontwikkeld of aangepast voor SMR-concepten. (...) De in

getallen uitgedrukte resultaten van de PSA worden altijd sterk beïnvloed door vooral de analyse van het aantal mogelijke ongevallen waarmee rekening wordt gehouden. Het aantal mogelijke ongevallen bij SMR's kan aanzienlijk verschillen van dat met de huidige lichtwaterreactoren." Er is een kans van 1 op de 10 miljoen per jaar op een beschadiging van de kern van de reactor en van 1 op de 100 miljoen per jaar op een ongeluk waarbij een grote hoeveelheid radioactiviteit vrijkomt.¹⁸¹ Daarbij moeten we altijd bedenken dat een groot ongeluk ook morgen kan plaatsvinden.

Hoeveel kernafval per kilowattuur en de opslag?

Onderzoekers van Stanford University concludeerden in mei 2022 in het tijdschrift PNAS dat SMR's wat betreft volume mogelijk 2 tot 30 keer zoveel radioactief afval produceren, afhankelijk van het type SMR. Deze conclusie is gebaseerd op een analyse van drie SMR's: de oorspronkelijke NuScale iPWR (ruim 2 x zoveel kernafval), de natrium-gekoelde Toshiba 4S reactor (5 x zoveel kernafval), en de Terrestrial Energy IMSR (30 x zoveel kernafval).¹⁸²

Het Amerikaanse Department of Energy daarentegen stelde in november 2022 dat "de afvalkenmerken van de onderzochte SMR's zowel enkele overeenkomsten met de huidige lichtwaterreactor vertonen als enkele potentieel significante verschillen, zowel positief als negatief".¹⁸³ Om hoeveel kernafval per SMR het gaat, zal nog moeten blijken.

Anders dan vaak wordt beweerd bieden SMR's geen simpele oplossing voor de opslag van kernafval, is de conclusie van een op 11 januari 2024 verschenen analyse van het Duitse Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE): "Integendeel, de eindberging wordt complexer, terwijl de noodzaak van definitieve opslag van kernafval blijft bestaan."¹⁸⁴

De Amerikaanse National Academies of Sciences heeft in 2023 een zeer uitgebreid rapport uitgebracht over zo ongeveer alle aspecten van de opslag van radioactief afval van nieuwe kerncentrales zoals de SMR's. Volgens dat rapport is "de belangrijkste conclusie dat geavanceerde reactoren en de bijbehorende splijststofcycli geologische opslagplaatsen voor sommige radioactieve afvalstoffen niet overbodig maken, dat ook geavanceerde reactoren de definitieve verwijdering van radioactieve splijtingsproducten nodig zullen hebben."¹⁸⁵

Bovendien moeten voor elke geavanceerde reactor ook de veiligheidsrisico's en het mogelijke misbruik van de kernmaterialen worden bestudeerd en opgelost.¹⁸⁶ Op 9 februari 2024 verscheen een rapport van de Engelse Committee on Radioactive Waste Management (CoRWM), een commissie die onafhankelijk advies over kernafval geeft aan de regering. Een belangrijke conclusie van dit rapport is dat de ontwerpers van nieuwe, kleinere kerncentrales te weinig aandacht besteden aan de opslag van kernafval en dat dit echt veel beter moet.¹⁸⁷

Verrijkt uranium, Rusland en meer kernafval

Een ander onopgelost probleem bij de SMR's is de productie van de brandstof. De meeste SMR's hebben namelijk uranium nodig met een hogere verrijkingsgraad dan de bestaande kerncentrales zoals Borssele. Dit soort uranium heet 'high-assay low enriched uranium fuel', afgekort HALEU. Terwijl het bij Borssele gaat om ongeveer 5% verrijkt uranium hebben SMR's tussen 10 en 19,99% verrijkt uranium nodig.¹⁸⁸ Dat is net onder het niveau van 20%. Vanaf 20% heet het 'hoogverrijkt uranium', dat geschikt is voor kernbommen. Momenteel zijn er geen verrijkingsbedrijven buiten Rusland die HALEU kunnen produceren.¹⁸⁹ De Amerikaanse nucleaire industrie waarschuwde recentelijk dan ook dat de start van sommige SMR-ontwerpen met jaren kan worden vertraagd vanwege het ontbreken van HALEU.¹⁹⁰ HALEU-brandstof is nodig om de kleinere omvang van de reactorkern te compenseren. Dit betekent onder andere dat er meer radioactief afval ontstaat. De SMR's lossen de problemen van de verwerking van kernafval niet op, staat in een rapport van de Amerikaanse National Academies of Sciences, dat in 2023 verschenen is.¹⁹¹ Aanvullend stelde Allison Macfarlane

op 21 juli 2023 dat sommige reactorontwerpen aanzienlijk meer hoogradioactief afval per kilowattuur zullen produceren dan de huidige lichtwaterreactoren. Andere ontwerpen maken kernafval dat niet zonder meer geschikt is voor definitieve ondergrondse opslag. Macfarlane merkte op dat deze problemen betrekkelijk weinig aandacht krijgen, maar waarschijnlijk wel zullen bijdragen aan het uiteindelijke prijskaartje van de nieuwe technologie.¹⁹²

Hoofdstuk 2

Kernenergie geen goede oplossing voor het broeikaseffect

Rob Jetten, demissionair minister voor Klimaat en Energie en lijsttrekker van D66, wil kerncentrales “om klimaatverandering een halt toe te roepen.”¹⁹³ De VVD pleit volgens het conceptverkiezingsprogramma voor “tenminste vier grote kerncentrales en de bouw van meerdere kleine kerncentrales met als doel te “zorgen voor een elektriciteitssector zonder CO₂-uitstoot in 2035.”¹⁹⁴ Op 7 juli 2023 noemde de eigenaar van de kerncentrale Borssele, de Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ), “kernenergie een klimaatneutrale oplossing.”¹⁹⁵ Echter, er is CO₂-uitstoot door o.a. de bouw van een kerncentrale, de winning van de brandstof uranium en de ontmanteling van de centrale. Men noemt dit de indirecte CO₂-uitstoot, die bij kernenergie zo’n tien keer hoger is dan bij windenergie. Is de levenslange CO₂-uitstoot laag genoeg om kernenergie ‘klimaatneutraal’ te kunnen noemen?

Thema al 47 jaar oud

De discussie over kernenergie en het broeikaseffect is niet nieuw. Het was een van de onderwerpen in het boek ‘Uraan of kolen: een kernbeslissing’ van de Stichting Maatschappij en Onderneming uit 1976.¹⁹⁶ In het tijdschrift “Bulletin of the Atomic Scientists” van februari 1978 stond een analyse van tien pagina’s over de opwarming van de aarde.¹⁹⁷ Vanaf de jaren tachtig, zoals bijvoorbeeld tijdens de Brede Maatschappelijke Discussie over het energiebeleid, tot het jaar 2000 speelde dit thema echter een zeer ondergeschikte rol. De afgelopen 47 jaar ging het met pieken en dalen over kernenergie en het broeikaseffect.

De CO₂-reis van het uranium voor Borssele

Om inzichtelijk te maken dat ook bij kernenergie CO₂ vrijkomt, nemen we de kerncentrale Borssele als voorbeeld. Het uranium voor deze kerncentrale wordt in mijnen in Kazachstan gedolven.¹⁹⁸ Ter plekke wordt in een chemische fabriek het bruikbare deel uranium uit het erts gehaald. Vervolgens gaat het per vrachtwagen naar een haven en per schip naar Frankrijk of Engeland om daar per vrachtwagen naar een fabriek te worden gebracht, waar het gasvormig gemaakt wordt. Met een vrachtwagen, een schip en vervolgens weer een vrachtwagen gaat het naar de verrijkingsfabriek van Urenco in Almelo. Het verrijkt uranium gaat per vrachtwagen naar Frankrijk waar het weer omgezet wordt in een vaste stof, het poedervormige verrijkt uranium.

Dit poeder wordt in Duitsland tot tabletten verwerkt in een splijtstofstavenfabriek. Daarna bereiken de splijtstofstaven per vrachtwagen of trein de kerncentrale Borssele.

Als de splijtstofstaven uitgewerkt zijn, worden ze per trein of vrachtwagen naar een opwerkingsfabriek in Frankrijk vervoerd. Een opwerkingsfabriek is een chemische fabriek, waar het in de kerncentrale ontstane plutonium en het niet gebruikte uranium uit de brandstofelementen worden gehaald. De restproducten van de opwerking zijn radioactief afval, zoals het hoogradioactieve, warmte-afgevend en giftige kernsplijttingsafval. Alle stoffen die vrijkomen bij de opwerking - inclusief plutonium en uranium - zijn eigendom van de kerncentrale en worden - uitgezonderd plutonium en uranium - per trein of vrachtwagen teruggestuurd voor bovengrondse opslag bij de COVRA, dicht bij de kerncentrale Borssele. Uiteindelijk zal al het radioactieve afval ook nog vervoerd moeten worden naar een definitieve berging in zout of klei.^{199 200} Tot zover dit voorbeeld.

Voor alle kerncentrales geldt dat bij genoemde werkzaamheden en transporten machines en motoren nodig zijn die benzine of diesel gebruiken en zo CO₂-uitstoot veroorzaken, net als de bouw en het bedrijf van een kerncentrale. In tabel 2.1 staan de resultaten van de berekeningen.

Is kernenergie duurzaam?

Kernenergie wordt duurzaam genoemd, omdat men veronderstelt dat het broeikasgas CO₂ niet of nauwelijks vrijkomt bij kernenergie. Zo stelde de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli) op 7 september 2022: “Over de klimaatimpact van kernenergie bestaat in de wetenschap brede overeenstemming: er is sprake van slechts beperkte CO₂-uitstoot, ook wanneer we kijken naar de gehele levenscyclus van een kernreactor. Qua CO₂-uitstoot is kernenergie vergelijkbaar met windenergie. Vergeleken met zonne-energie presteert kernenergie beter.”²⁰¹

De Raad baseert deze conclusie, die we hier bestrijden, op rapporten van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en van de Europese Economische Commissie van de Verenigde Naties (UNECE).^{202 203} Andere rapporten komen er niet in voor, terwijl die er wel zijn. Laatstgenoemde rapporten hebben we gebruikt in dit artikel en voor het samenstellen van tabel 2.1. Conclusie: er is een niet te verwaarlozen CO₂-uitstoot door o.a. de bouw van een kerncentrale, de winning van de brandstof uranium en de ontmanteling van de centrale. Men noemt dit de indirecte CO₂-uitstoot.

IPCC nucleair ondergeschikt aan IAEA

Het IPCC valt onder de Verenigde Naties (VN), net als het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA). Volgens een overeenkomst van 28 mei 1959 is het IAEA, dat de bevordering van kernenergie als doel heeft, maatgevend. Andere VN-organisaties moeten zich daaraan conformeren en mogen daarom geen andere visie op kernenergie hebben dan die van het IAEA.²⁰⁴

Lage CO₂-uitstoot kernenergie doorgelicht

De studies over de CO₂-uitstoot noemen voor fossiele brandstoffen allemaal vrijwel hetzelfde getal. Bij kernenergie zijn er grote verschillen. Vanwege de grote complexiteit van de kernenergiecyclus is het lastig om heel nauwkeurig de werkelijke CO₂-uitstoot van kernenergie uit te rekenen. Het resultaat is ongeveer als volgt.

In een tabel bij het in 2014 verschenen klimaatrapport van de Verenigde Naties (IPCC) werd een uitstoot van CO₂ genoemd van bijna 4 tot 110 gram CO₂ per kilowattuur (kWh), met als gemiddelde 12 gram CO₂ per kWh.^{205 206} Dit gemiddelde wordt sindsdien vaak genoemd. Voor de onderbouwing werd verwezen naar studies van Lenzen en van Warner en Heath.²⁰⁷ Lenzen concludeerde dat het ging om gemiddeld 65 gram CO₂ per kWh.²⁰⁸ Warner en Heath noemden 12-110 gram CO₂ per kWh.²⁰⁹

In een artikel in *The Ecologist* wordt de conclusie van Warner en Heath tot in de details nader onderzocht.^{210 211} Waarom de conclusie dat 12 gram CO₂ per kWh juist zou zijn, wordt volgens de auteurs van dit artikel niet navolgbaar uiteengezet. Daar komt nog bij dat Warner en Heath zelf wezen op de onvolledigheid van rapporten waarvan ze voor hun studie gebruik maakten.

Huidige CO₂-uitstoot kernenergie

Wel nauwkeurig en navolgbaar beargumenteerd zijn andere studies. In rapporten van onder meer de energie-analist Jan Willem Storm van Leeuwen die in juni 2020 en juli 2023 verschenen zijn, berekende hij 139-190 gram CO₂ per kilowattuur (kWh).^{212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223} Op 2 juni 2023 noemde Mark Z. Jacobson, Professor of Civil and Environmental Engineering en directeur van het Atmosphere/Energy Program van de Stanford University, 78-178 gram CO₂ per kilowattuur.²²⁴

Toekomstige CO₂-uitstoot kernenergie

Op dit ogenblik worden uraniumertsen gewonnen met gemiddeld zo'n 0,1% uranium: in 1000 kilo gesteente zit een kilo uranium. Er is echter slechts een beperkte hoeveelheid erts met een

gehalte van 0,1% uranium. Wanneer - bijvoorbeeld vanwege het broeikas effect - 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% is de indirecte CO₂-uitstoot door een kerncentrale 300 gram CO₂ per kWh. Bij nog armere ertsen van 0,01% is een kerncentrale verantwoordelijk voor meer CO₂-emissie dan wanneer dezelfde hoeveelheid elektriciteit verkregen zou zijn door aardgas direct te verbranden.^{225 226 227}

Met behulp van onder meer deze studies is tabel 2.1 samengesteld.

Tabel 2.1

Totale (directe en indirecte) CO₂-uitstoot in gram per kilowattuur^{228 229 230 231 232 233 234 235 236 237}

Brandstof	Uitstoot
Aardgas	490
Aardgas met afvang CO ₂	78
Olie	740
Steenkool	820
Steenkool met afvang CO ₂	110
Uranium ertsgehalte 0,1%	78-190
Uranium ertsgehalte 0,02%	300
Zon	15-55
Wind	10-12

Conclusie

Door diverse deskundigen en bestuurders wordt ervan uitgegaan dat kernenergie niet alleen veilig genoeg, maar ook voldoende klimaatneutraal zou zijn als (aanzienlijke) energiebron voor de toekomst van Nederland. Deze opvatting berust op een te smalle kennisbasis en een zekere mate van politiek wensdenken. Bovenstaand overzicht laat zien dat er een aanzienlijke CO₂-uitstoot is door o.a. de bouw van een kerncentrale, de winning van de brandstof uranium en de ontmanteling van de centrale. Deze indirecte CO₂-uitstoot is bij kernenergie zo'n tien keer hoger dan bij windenergie. De stelling van EPZ, de eigenaar van de kerncentrale Borssele, dat kernenergie een klimaatneutrale oplossing zou zijn, is dan ook onjuist.

Hoofdstuk 3

Opslag kernafval, bovengronds, zoutkoepels, kleilagen

1. In 1973, ruim vijftig jaar geleden, maakte de Rijks Geologische Dienst (RGD) een rapport over de zoutkoepels die geschikt zouden kunnen zijn voor de opslag van kernafval. Dat rapport is echter nooit gepubliceerd, alleen leden van de Tweede Kamer mochten het inzien.²³⁸ Anno 2023 wil de regering de kerncentrale Borssele langer in bedrijf houden en twee nieuwe kerncentrales laten bouwen, zonder dat er een oplossing is voor het kernafval. Op 3 oktober 2023 begon de inspraak over het Nationaal Programma Radioactief Afval (NPRO), georganiseerd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Daarin staat dat gekozen is “voor een bovengronds opslag van radioactief afval gedurende ten minste 100 jaar bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA).” Daarna wordt het kernafval in de diepe ondergrond opgeborgen. De minister noemt dit een “geologische eindberging” die rond het jaar 2130 kan beginnen.²³⁹ Al met al is het probleem dan 150 jaar vooruit geschoven. Op 11 januari 2024 nam de gemeenteraad van Borsele een besluit over de voorwaarden voor een vergunning voor de bouw van nieuwe kerncentrales.²⁴⁰ Een van deze voorwaarden is dat er een concreet plan zijn moet voor de eindberging van radioactief afval: “Die eindberging moet in 2050 in gebruik zijn.”²⁴¹ ²⁴² Dat is 26 jaar na nu, een tijdschema dat nergens ter wereld wordt gehaald, want daarbij gaat het om minimaal 35 jaar.²⁴³ Indien de regering deze voorwaarde overneemt, staat opslag in de noordelijke zoutkoepels weer hoog op de agenda.

2. Op 30 mei 2023 maakte de regering bekend dat er een routekaart gaat komen voor de eindberging (definitieve opslag) van kernafval.²⁴⁴ ²⁴⁵ Daarbij valt op dat de regering het heeft over eindberging, maar dat de woorden ‘zoutkoepel’ of ‘kleilaag’ niet worden genoemd. Die leemte vullen we hier aan.

3. De regering heeft het over een routekaart naar de definitieve opslag van kernafval in het jaar 2130, echter zonder aan te geven wat daarmee precies bedoeld wordt. Naar onze mening heeft een routekaart alleen maar zin als je weet wat de eindbestemming is, anders is zo’n kaart nutteloos. Ook het vervoermiddel ernaartoe is van belang. Het maakt immers uit of je met de trein of met de auto gaat. Hoe de regering de routekaart ziet, blijft echter vaag omdat het vervoermiddel en de mogelijke eindbestemming niet worden genoemd.

4. De regering wil al vanaf 1976 opslag van kernafval in de noordelijke zoutkoepels realiseren (Ternaard in Friesland; Pieterburen, Bourtange en Onstwedde in de provincie Groningen; Schoonloo, Gasselte-Drouwen, Hooghalen en Anloo in Drenthe).²⁴⁶ ²⁴⁷ ²⁴⁸ Ook komen zoutkussens en zoutlagen in de provincies Overijssel en Gelderland in aanmerking.²⁴⁹ Daarnaast komen in verschillende delen van Nederland mogelijk geschikte kleilagen voor, die op ten minste 500 meter diepte liggen en minstens 100 meter dik zijn. Genoemd worden kleilagen vlak onder Schiermonnikoog, de zuidelijke helft van Friesland, Gelderland, Noord-Brabant, Limburg, de Noordoostpolder en Noord-Holland.²⁵⁰ ²⁵¹ ²⁵² ²⁵³ ²⁵⁴ Zie figuur 3.1, 3.2 en 3.3. Een besluit is echter nooit genomen, het bleef bij de aankondiging van plannen en een herhaling van zetten.

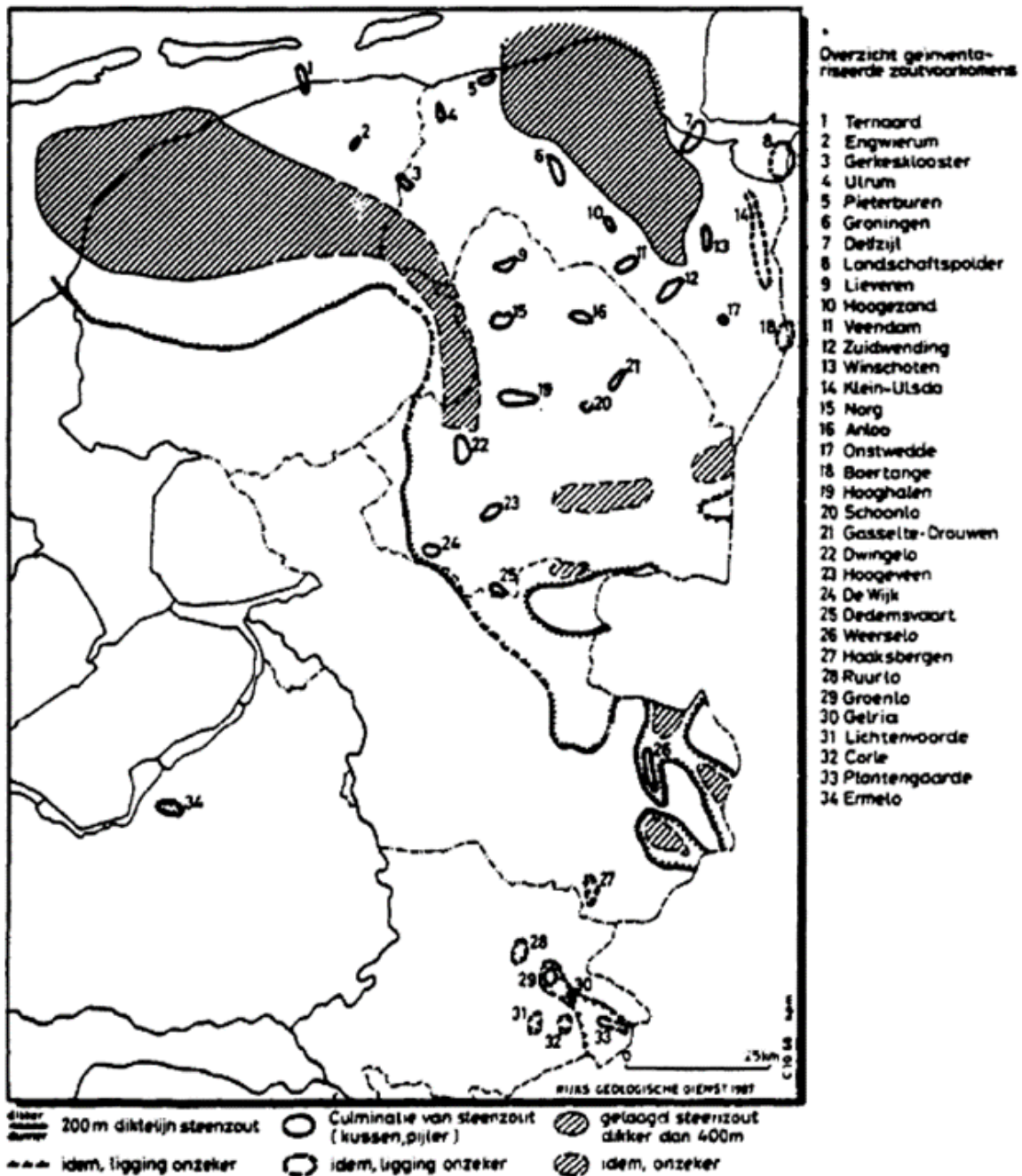
Daarnaast heeft Limburg te maken met de Peelrandbreuk. Dat is een geologische breuklijn van Roermond in Limburg naar Oss in Noord-Brabant. Deze breuklijn scheidt de hoger gelegen Peelhorst van de langzaam naar beneden zakkende Roerdalslenk. De gemiddelde verticale beweging langs de breuk is ongeveer 5 cm per duizend jaar. Langs de breuk komen nog aardbevingen voor, zoals in Roermond in 1992 en bij Uden in 1932.²⁵⁵

5. Kerncentrales draaien op uranium. Dit uranium wordt gewonnen uit erts en ondergaat daarna verschillende bewerkingen met als resultaat de brandstofelementen voor de

kerncentrale. Bij elk van deze stappen ontstaat radioactief afval. De gebruikte brandstofelementen bevatten echter radioactief afval dat een miljoen jaar gevaarlijk blijft.²⁵⁶
²⁵⁷ Is het ethisch verantwoord om eerst kernafval te maken en pas later te zoeken naar een veilige opberging?²⁵⁸ ²⁵⁹ De regering gaat voorbij aan deze vraag.

6. De bovengrondse opslag van radioactief afval is gevestigd in Zeeland bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA). Daarbij gaat het volgens de COVRA om een opslag voor honderd jaar.²⁶⁰ De vraag blijft hoe een veilige opslag de resterende 999.900 jaar gewaarborgd wordt.

Figuur 3.1
Zout dikker dan 200 meter



Bron: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/19/047/19047134.pdf>, Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek inzake geologische opberging van radioactief afval in Nederland, Tweede Tussenrapport over Fase 1 (januari 1986-januari 1987), 1987, pagina 56.

7. De COVRA bevindt zich buitendijks en moet in de komende 100 jaar ook volgens de Commissie voor de milieueffectrapportage rekening houden met de toenemende kans op overstromingen vanwege de klimaatverandering.²⁶¹ Komt de COVRA onder water te staan?

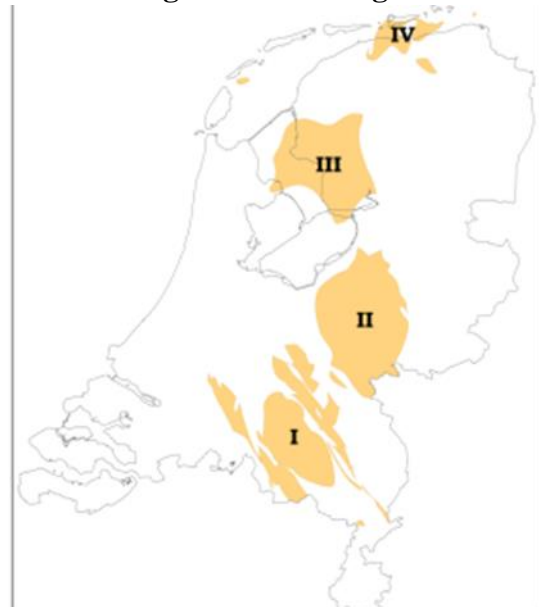
Figuur 3.2

Zoutkoepels Noord-Nederland



Figuur 3.3

Vier meest geschikte kleilagen in Nederland



Bron: <https://www.greenpeace.org/static/planet4-netherlands-stateless/2018/06/TASurveyrapport.pdf>, 17 januari 2011.

8. De Duitse zoutkoepel Asse in de deelstaat Nedersaksen was hét voorbeeld voor Nederland om ook kernafval in zoutkoepels op te slaan.^{262 263} In de zoutkoepel Asse stroomt echter

jaarlijks 4,4 miljoen liter water naar binnen.²⁶⁴ Het kost de belastingbetaler 5 miljard euro om de vaten in Asse weer op te graven.^{265 266} Op 17 september 2021 heeft de Duitse overheid na veertig jaar onderzoek (kosten 1,6 miljard euro) de zoutkoepel Gorleben ongeschikt verklaard.^{267 268} In Denemarken werden indertijd zes zoutkoepels onderzocht voor de opslag van kernafval. Ze bleken allemaal ongeschikt. Het Deense parlement bepaalde vervolgens in mei 1985 geen kerncentrales te zullen bouwen en is bij dit standpunt gebleven.²⁶⁹ Al in 1957 zei de Amerikaanse Academie van Wetenschappen dat het kernafval het beste in zout opgeborgen zou kunnen worden.²⁷⁰ De Atoom Energie Commissie ontwikkelde plannen in die richting. In 1963 werd begonnen met proefboringen in zout bij Lyons in de staat Kansas. Dat leverde ongunstige resultaten op.²⁷¹ Daarop ging men op andere plaatsen in zout boren.²⁷² Vervolgens ontwikkelde de overheid een nieuw beleid. Het Amerikaanse ministerie van Energie plaatste in 1984 zout lager op de lijst. In 1985 werden zoutkoepels zelfs helemaal geschrapt, en bleef alleen nog een zoutlaag over bij Deaf Smith in de staat Texas.²⁷³ Op 22 december 1987 besloot het Congres ook deze zoutlaag te schrappen.²⁷⁴ De ervaringen met opslag in buitenlandse zoutkoepels geven niet bepaald vertrouwen in de Nederlandse plannen.

9. De veiligheid van de opslag is 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 echter onbetrouwbaar. De door de overheid ingestelde commissie voor opberging van kernafval (OPLA) stelde in het eindrapport van 1993 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.²⁷⁵ De OPLA ging in haar eindrapport ook in op de vraag wanneer bewezen is dat een model klopt, ofwel 'gevalideerd' is en kwam 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% 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."²⁷⁶ Men zou duizenden jaren onderzoek moeten doen, voordat men een uitspraak over de betrouwbaarheid van de modellen kan doen. Aan deze conclusies is sindsdien niets veranderd: berekeningen over de veiligheid van opslag van kernafval blijven onbetrouwbaar.^{277 278 279 280 281} Dat bleek ook op een bijeenkomst van Duitse geologen op 12 oktober 2018: Daar werd onder meer aangetoond dat de uitkomsten van rekenmodellen niet zozeer van de gebruikte software voor die modellen afhangen als wel van degene die rekent met die modellen.²⁸²

10. Kleine hoeveelheden kernafval geven 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 hele kleine hoeveelheid radioactiviteit. Dit kan duidelijk gemaakt worden door het volgende voorbeeld. Bij het ongeluk in april 1986 met de kerncentrale in Tsjernobyl werd een groot deel van Europa besmet. Een berekening aan de hand van rapporten van het Nucleair Energie Agentschap (NEA) in Parijs laat zien dat in totaal slechts 50 kilo van de langdurig gevaarlijke stoffen cesium en strontium neerkwam buiten het terrein van de kerncentrale.²⁸³ Toch betekent die 50 kilo dat omvangrijke gebieden in Wit-Rusland, Rusland en Oekraïne

langdurig besmet zijn. Een kleine hoeveelheid kernafval kan dus grote gevolgen hebben en is geen argument om te doen alsof dit afval een te verwaarlozen probleem is.

Dat blijkt ook uit het gebruik van radioactieve stoffen in ziekenhuizen. Bij de bestraling van kankerpatiënten wordt de straling gebruikt om kankercellen te doden. Hier wordt de dodelijke werking van straling gebruikt om heel gericht ‘foute’ cellen uit te schakelen.²⁸⁴ Voor een behandeling is slechts een minieme hoeveelheid van een radioactieve stof nodig, kunnen we uitrekenen met behulp van gegevens van het RIVM.²⁸⁵ Neem bijvoorbeeld lutetium voor de behandeling van prostaatkanker. We kunnen uitrekenen dat voor deze behandeling 9 microgram lutetium nodig is. Een microgram is een miljoenste gram.

Voor onderzoek is pakweg nog eens een factor 1.000 minder nodig dan voor behandeling. Om een indruk te geven: de benodigde hoeveelheid technetium voor een onderzoek bedraagt ongeveer 11,5 nanogram. Een nanogram is een miljardste gram.

Dat benadrukt nog eens dat een uiterst kleine hoeveelheid van een radioactieve stof grote gevolgen kan hebben.

11. Jaarlijks wordt in Nederland ongeveer 1.100 kubieke meter (m³) radioactief afval geproduceerd.²⁸⁶ Naast het afval van de kerncentrale Borssele hebben we te maken met verarmd uranium en radioactief afval van de Hoge Flux Reactor in Petten, laboratoria, onderzoeksinstellingen, industrie en ziekenhuizen.

12. Bij de COVRA stonden op 1 januari 2023 zo'n 57.400 vaten laag- en middelradioactief afval en 4.700 containers met verarmd uranium opgeslagen, evenals 508 vaten met hoogradioactief afval.^{287 288 289 290 291 292 293 294}

Het bedrijfsafval van de kerncentrale Borssele bestaat jaarlijks uit 32-33 m³.²⁹⁵ Elk jaar ontstaat volgens de regering bij Borssele gemiddeld een hoeveelheid van ca. 4 m³ aan bestraalde splijtstofelementen. Na opwerking ontstaat hieruit ca. 3 m³ hoogradioactief kernsplijttingsafval en naar schatting 11 m³ overig radioactief afval.^{296 297} Het gaat hier om volumes zonder de verpakking in vaten. In werkelijkheid gaat het daarom om grotere volumes.

13. De kerncentrale Borssele is goed voor 5.600 kilo plutonium. In deze kerncentrale ontstaat immers bij de splijting van uranium naast warmte onder meer plutonium. EPZ, de exploitant van Borssele, heeft 2.800 kilo plutonium verkocht met een verlies van 41 miljoen euro. Tot het jaar 2034 ontstaat nog eens 2.800 kilo plutonium. Hiervoor is een speciaal en kostbaar contract tot 2034 met de Franse opwerkingsfabriek Orano afgesloten, zodat het plutonium niet in Nederland opgeslagen hoeft te worden. Zo is voorkomen dat Nederland 5.600 kilo plutonium moet opslaan.²⁹⁸

Hoofdstuk 4

Wetenswaardigheden kernenergie

1 Kernenergie goed voor 1 tot 1,5% energiegebruik Nederland

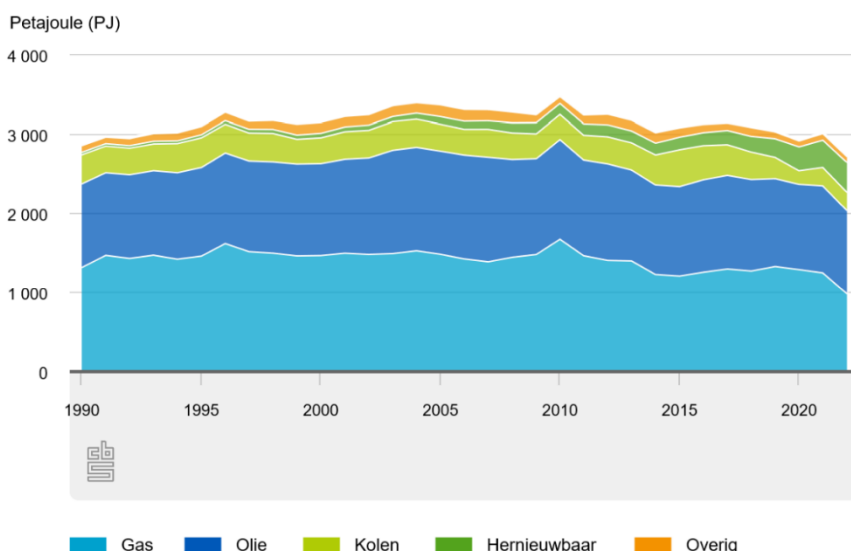
In 2022 werd in Nederland 10% minder energie gebruikt dan in 2021. In totaal ging het om 2.732 PJ (petajoule) energie, het laagste niveau sinds 1990. Dat kwam vooral door de daling met 21% van het gebruik van aardgas vanwege de hoge energieprijzen. Dit schreef het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) op 5 juli 2023 (zie figuur 4.1).²⁹⁹

Het totale energiegebruik is gedaald, maar de kerncentrale Borssele leverde ongeveer evenveel elektriciteit als de jaren daarvoor, namelijk 40 PJ. Daardoor steeg het aandeel kernenergie in het totale energiegebruik van 1 naar 1,5% (zie tabel 4.1). De tabel kan de indruk geven dat er meer kernstroom gemaakt is, maar dat is onjuist. Uit tabel 4.2 blijkt dat de kerncentrale Borssele goed is voor 3% van het Nederlandse elektriciteitsgebruik.

Het energiegebruik wordt uitgedrukt in Joule, dat is een algemene maat. 1 kilowattuur elektriciteit komt overeen met 3,6 miljoen joule. Aardgas uit Groningen heeft een energie-inhoud van 35,17 miljoen joule per kubieke meter.³⁰⁰ 1 petajoule is 1.000.000.000.000.000 joule, een 1 met 15 nullen.

Figuur 4.1

Energieverbruik Nederland, naar energiedrager



Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/27/laagste-energieverbruik-in-nederland-sinds-1990>, 5 juli 2023.

Tabel 4.1

Energiegebruik Nederland 1980 en 2017 t/m 2023 in percentages ^{301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312}

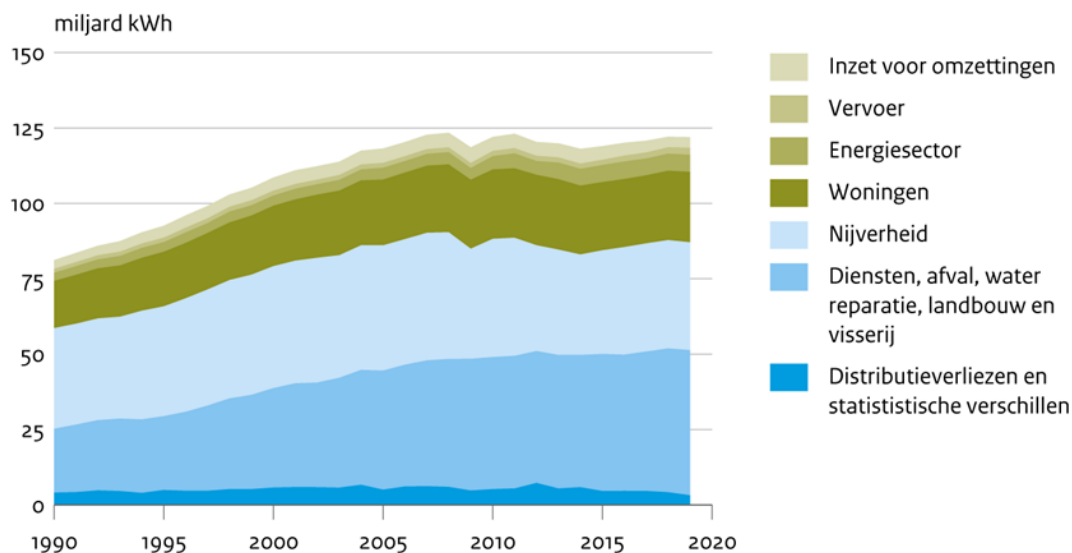
jaar	1980	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
aardgas	46,4	41	42	45	45	43	36	35,2
olie	46,5	38	38	36	36,5	36,5	39	41
kolen	5,7	12	11	8,6	6,5	8	8,5	6,5
kernenergie	1,4	1	1	1	1,1	1,2	1,5	1,4
zon en wind	0	1,4	1,6	1,8	4	4,3	7,7	10,4
biomassa	0	4,0	4	5,5	5,4	5	6,2	4,1
overige	0	2,6	2,4	2,1	1,5	2	1,1	1,4

Noot: overige betekent energie uit afval, waterkracht, bodemwarmte en invoer elektriciteit; energie = elektriciteit (ca. 20%) + warmte (gebouwen en industrie: ca. 40%) + transportbrandstof (ca. 40%).

Tabel 4.2**Elektriciteitsproductie Nederland 2000, 2010, 2020, 2021, 2022 en 2023; percentages per bron**^{313 314 315 316 317}

jaar	2000	2010	2020	2021	2022	2023
aardgas	58,2	62,3	58,7	47	40	38
kolen	26	18,5	6,2	14	14	8
kernenergie	4,3	3,4	3,3	3	3	3
zon en wind	0,9	3,5	19,5	25	33	43
biomassa	2,2	6,0	7,2	8	7	6
overige fossiel	5,0	3,6	3,1	2,5	2,5	1
overige	3,4	2,7	2,0	0,5	0,5	1

Kernenergie wordt al vele jaren naar voren geschoven als antwoord op de stijging van het elektriciteitsgebruik. Daarom geven we hier een overzicht van de ontwikkeling van het Nederlandse elektriciteitsgebruik. Tussen 1950 en 2013 steeg het elektriciteitsverbruik van ruim 7 miljard kilowattuur (kWh) naar 119 miljard kWh. Dat is gemiddeld 4,5% per jaar. Van 1950-1976 steeg het elektriciteitsverbruik gemiddeld met 8,2% per jaar, de economie groeide in die periode met gemiddeld 4,6% per jaar. Na 1976 groeide het elektriciteitsverbruik gemiddeld genomen mee met de economie. In de periode 1977-2013 groeiden zowel het elektriciteitsverbruik als de economie met gemiddeld ongeveer 2% per jaar.³¹⁸ Sindsdien is het elektriciteitsgebruik ongeveer gelijk gebleven. Zie figuur 4.2.

Figuur 4.2**Elektriciteitsgebruik Nederland 1990-2020**

Bron: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0020-aanbod-en-verbruik-van-elektriciteit>, 3 mei 2021.

Netbeheerder TenneT bracht op 12 januari 2022 een rapport uit over de elektriciteitsvoorziening tot het jaar 2030. Volgens dit rapport zal het elektriciteitsgebruik tot 2025 ongeveer gelijk blijven. Vanaf 2025 neemt het verbruik toe. Afhankelijk van de toename van de inzet van warmtepompen, elektrisch vervoer en datacenters gaat het om 132 tot 180 miljard kWh in 2030.³¹⁹

De laatste jaren wordt kernenergie genoemd als oplossing voor het probleem van de ‘Dunkelflaute.’ Wat te doen bij een periode dat de zon niet schijnt, de wind niet waait en de Nederlandse gascentrales gesloten zijn? Een benadering.

Uit een publicatie in Duurzaam Nieuws van 15 januari 2022 blijkt dat het om een periode van maximaal 8 dagen gaat.³²⁰ In de winter is de huidige elektriciteitsvraag zo'n half miljard kWh per dag. Dit komt overeen met de dagelijkse elektriciteitsproductie van 50 Borssele-kerncentrales. Die reactoren zou men dan even snel aan moeten kunnen zetten, om ze de rest van het jaar stil te laten staan. Dat is uiteraard niet haalbaar, maar we noemen het hier om duidelijk te maken waar het om gaat.

2. Bouwplannen kerncentrales 1972-2023

Hier bespreken we in het kort de plannen voor de bouw van kerncentrales.

De kerncentrale Dodewaard met een elektrisch vermogen van 58 Megawatt (MW) kwam in maart 1969 in bedrijf.³²¹ De kerncentrale Borssele (485 MW) volgde in oktober 1973.^{322 323}

Deze kerncentrales mochten in bedrijf komen zonder dat er een eindoplossing was voor het radioactieve afval.

In die tijd waren er omvangrijke bouwplannen (zie tabel 4.3). Op 30 maart 1972 verscheen de Nota inzake het kernenergiebeleid van de toenmalige minister van Economische Zaken, Langman.³²⁴ Volgens het regeringsbeleid zouden in het jaar 2000 kerncentrales met in totaal een vermogen van 35.000 MW in bedrijf kunnen zijn.

Tabel 4.3
Gepland aantal kerncentrales

Jaar	Aantal
1972	30 ³²⁵
1974	8 ³²⁶
1977	3 ³²⁷
1986	3 ³²⁸
2021	2 ³²⁹

In 1974 verscheen de Energienota van de minister van Economische Zaken, Lubbers. Hij vond dat er 8.000 MW kernvermogen moest komen, maar vanwege de maatschappelijke weerstand schroefde hij dat terug tot 3.000 MW; de kerncentrales zouden rond 1985 in bedrijf moeten komen. Dit noemde Lubbers de gematigde uitbouw van kernenergie, passend bij het streven om “de noodzakelijke politieke vertrouwensbasis te vergroten.”^{330 331}

De bouwplannen zijn niet gerealiseerd. De kerncentrale Dodewaard ging in 1997 dicht.³³² In maart 2013 besloot de huidige regering dat de kerncentrale Borssele tot en met 2033 in bedrijf mag blijven.³³³

Minister Wiebes van Economische Zaken en Klimaat (EZK) schreef op 25 januari 2019 dat marktpartijen al sinds tientallen jaren een vergunning voor de bouw van een kerncentrale konden aanvragen, maar dat niet hadden gedaan.³³⁴ De energiebedrijven Vattenfall, Eneco, RWE, Uniper en Engie gaan niet investeren in kernenergie in Nederland, lieten ze het Financieel Dagblad en het Algemeen Dagblad weten.^{335 336} Blijkbaar waren er geen marktpartijen die zonder subsidie wilden investeren. Daarom kondigde de VVD op 23 september 2020 aan de bouw van kerncentrales te willen subsidiëren.^{337 338} Minister Wiebes schreef op 22 september 2020 aan de Tweede Kamer te zullen onderzoeken “welke publieke ondersteuning nodig is,” opdat energiebedrijven kerncentrales zouden willen bouwen.³³⁹ Op 7 juli 2021 publiceerde het ministerie van Economische Zaken en Klimaat de door het consultancybureau KPMG gemaakte Marktconsultatie kernenergie. Daarin stond dat niet met name genoemde marktpartijen interesse hadden om een kerncentrale in Nederland te bouwen. Maar dan moest wel aan 42 vooral financiële voorwaarden voldaan zijn: “de substantiële financieringsomvang, substantiële risico’s en doorlooptijd maakt dat de betrokkenheid van de

overheid onvermijdelijk lijkt. Dit kan dan onder meer door het verstrekken van garanties door de overheid om met name financieringsrisico's acceptabel te laten zijn.”³⁴⁰

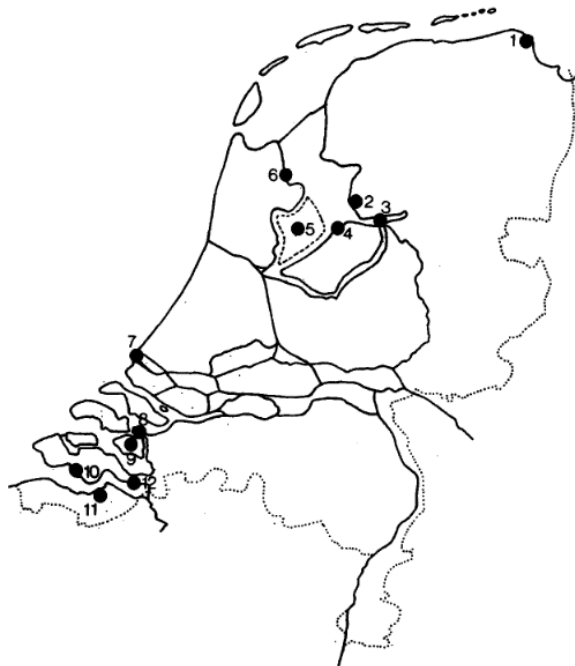
De huidige regering wil twee nieuwe kerncentrales laten bouwen bij Borssele in Zeeland en houdt de Maasvlakte achter de hand als locatie, mocht het in Zeeland toch niet lukken. Eind 2024 moet duidelijk zijn wie de kerncentrales mag gaan bouwen en waar.^{341 342 343}

3. Vestigingsplaatsen kerncentrales en waarborgingsbeleid

De regering wil twee grote kerncentrales laten bouwen op de locaties Borssele of Maasvlakte. Deze vestigingsplaatsen worden al vanaf 1977 geschikt gehouden via het waarborgingsbeleid. Op 29 februari 2024 bleek echter dat het stroomnet ruimte heeft voor maximaal één nieuwe kerncentrale bij Borssele en voor geen enkele op de Maasvlakte.³⁴⁴

In 1977 noemde de regering twaalf locaties voor nieuwe kerncentrales, waarvan vijf in Zeeland: Eemshaven, Urk, Ketelmeer, Flevo, Markerwaard, Wieringermeer, Maasvlakte, St. Philipsland, Tholen, Ossenisse, Bath/Hoedekenskerke en Borssele (zie figuur 4.3).³⁴⁵ Dat veroorzaakte veel rumoer en leidde begin jaren tachtig tot de Brede Maatschappelijke Discussie over kernenergie. Resultaat: de meerderheid van de bevolking wilde geen nieuwe kerncentrales. De regering zag dat anders en besloot in januari 1985 tot de start van de Planologische Kernbeslissing (PKB) Vestigingsplaatsen voor kerncentrales.³⁴⁶

Figuur 4.3
Mogelijke vestigingsplaatsen kerncentrales



- | | |
|-----------------|------------------------|
| 1 Eems | 7 Maasvlakte |
| 2 Urk | 8 St. Philipsland |
| 3 Ketelmeer | 9 Tholen |
| 4 Flevo | 10 Borssele |
| 5 Markerwaard | 11 Ossenisse |
| 6 Wieringermeer | 12 Bath/Hoedekenskerke |

Bron: <https://www.laka.org/docu/boeken/pdf/1-01-0-23-06.pdf#page=2>

In januari 1986 volgde het regeringsbesluit, de PKB Vestigingsplaatsen voor kerncentrales, deel d.^{347 348} Hierin lezen we: “Gewaarborgd moet worden dat bovenbedoelde locaties ook later nog zoveel mogelijk voldoen aan de belangrijkste criteria van de selectie van de

vestigingsplaatsen. (...) In het gebied van 0 tot 5 kilometer rond een (geplande) kerncentrale is het beleid gericht op het handhaven van gunstige lage bevolkingsdichtheden en op het vermijden van de vestiging van voorzieningen die tot aanwezigheid van grote aantallen moeilijk te verplaatsen mensen kunnen leiden. (...) In een gebied van 5 tot 20 kilometer rond een (geplande) kerncentrale is een ontwikkeling volgens de ruimtelijke doelstellingen voor dat gebied in beginsel toegestaan. Dit beleid wordt gevoerd door toetsing van streek-, structuur- en bestemmingsplannen voor het betreffende gebied” (PKB, deel d, pagina 8). Ook zijn explosiegevaarlijke inrichtingen binnen 3 kilometer verboden. Dit alles betekent dat toekomstige, “nu nog niet bekende ontwikkelingen met betrekking tot woningbouw, bevolking, recreatie, voorzieningen en/of industriële bedrijvigheid, enige praktische consequenties zullen ondervinden van het waarborgingsbeleid.” (PKB, deel d, p 64) Door het ongeluk met de kerncentrale in Tsjernobyl in april 1986 gingen de plannen voor nieuwe kerncentrales echter langdurig de ijskast in.

Op 10 augustus 2009 verscheen het Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening (SEV III) onder verantwoordelijkheid van de ministers Van der Hoeven (CDA) en Cramer (PvdA). In het SEV III ging het ook om het “waarborgingsbeleid kernenergie,” waarin vijf locaties waren opgenomen voor een mogelijke kerncentrale: Moerdijk, Westelijke Noordoostpolderdijk, Maasvlakte, Eemshaven en Borssele.³⁴⁹ Volgens de regering kon alleen op de Maasvlakte een kerncentrale aangelegd en gebouwd worden “zonder risico’s voor significante gevolgen” voor de omgeving. Bij de andere locaties (Eemshaven, Westelijke Noordoostpolderdijk, Borssele en Moerdijk) waren kleine kansen op ongelukken met grote gevolgen.

Na inspraak kwam de regering in 2010 tot een beslissing. Vanwege de bovengenoemde zone van vijf kilometer, viel Moerdijk af omdat er te veel mensen woonden; de Westelijke Noordoostpolderdijk viel af omdat bij een ernstig ongeluk “de strategische drinkwatervoorraad in het IJsselmeer radioactief kan worden verontreinigd.” Bleven over: Eemshaven, Maasvlakte en Borssele.³⁵⁰

De Tweede Kamer nam op 10 maart 2021 met 95 tegen 54 stemmen een SP-motie aan om de Eemshaven van de lijst te schrappen; VVD, CDA en SGP waren tegen.³⁵¹ Op 23 februari 2024 kondigde de regering aan deze locatie definitief van de lijst te halen.³⁵²

Uit een op 8 november 2021 gepubliceerd onderzoek van SmartPort naar kernenergie op de Maasvlakte volgde dat “kernenergie moeilijk ruimtelijk inpasbaar (is) op basis van de beschikbare ruimte en in combinatie met de ontwikkelingen in de Rotterdamse havenregio. (...) Het is dus niet logisch om juist daar een kerncentrale neer te zetten.”³⁵³ Daaruit zou volgen dat alleen Borssele overblijft, maar - zo bepaalde de regering - in de “procedures wordt Rotterdam meegenomen als alternatieve locatie.”³⁵⁴ Op 9 december 2022 stelde minister Jetten: “Eemshaven wordt niet overwogen voor de twee nieuw te bouwen centrales en het kabinet is voornemens Eemshaven als waarborglocatie uit het wettelijk kader te schrappen.”³⁵⁵ Op 11 november 2023 stelde Jetten: “Hans Vijlbrief is bezig dat vast te leggen in de wet. Daar kan dan dus geen grootschalige kerncentrale komen. Groningen is genoeg wingewest geweest.”^{356 357}

Op 1 februari 2024 schreef demissionair minister Jetten aan de Tweede Kamer dat intensief overleg met betrokken gemeenten en provincies gevoerd zou worden: “Hieronder vallen in ieder geval de gemeenten Borsele, Vlissingen, de provincie Zeeland, de gemeenten Rotterdam, Voorne aan Zee, Westland, Nissewaard, Maassluis, Midden Delfland en Vlaardingingen en de provincie Zuid-Holland.”³⁵⁸ Op 19 februari 2024 begon de procedure voor de bouw van de twee kerncentrales waar inspraak over is tot 4 april 2024.³⁵⁹

Het waarborgingsbeleid kwam erop neer dat de regering wilde voorkomen dat vooral binnen een straal van vijf kilometer nieuwe fabrieken met veel werknemers of grote wooncomplexen

(bijvoorbeeld seniorenflats) of recreatiegebieden werden aangelegd. En dit beleid is nog steeds van kracht.”³⁶⁰

De Tweede Kamer nam vervolgens op 5 maart 2024 met steun van VVD, PVV, BBB, Denk, Volt, CDA, ChristenUnie, SGP, FvD en JA21 een motie aan dat in het jaar 2040 minstens vier grote kerncentrales in bedrijf zouden moeten zijn. De partijen vroegen de regering om dat “in de eerstvolgende Energienota uit te werken,” met ook een “herziening van het vestigings- en waarborgbeleid.”³⁶¹ BBB van Provinciale Staten Groningen, wilde hier blijkbaar niet op wachten en liet op 6 maart 2024 weten de Eemshaven meteen weer op de lijst te willen zetten.³⁶² Daarmee loopt de BBB op de zaken vooruit.

Ruimte voor hooguit één kerncentrale in Zeeland

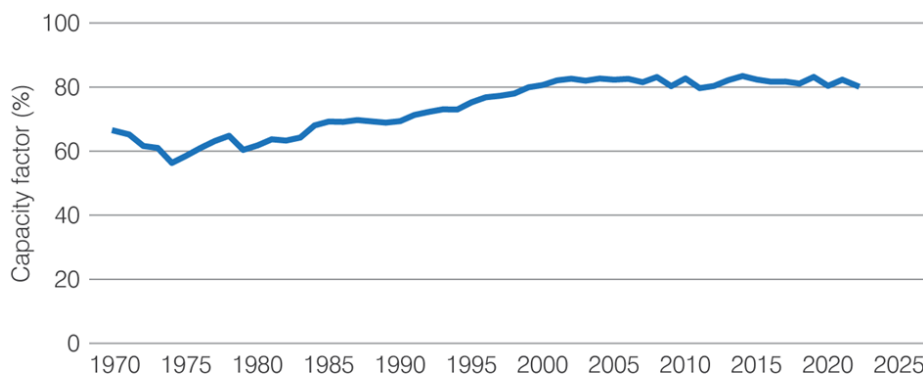
Zijn nieuwe kerncentrales bij Borssele dan wel op de Maasvlakte inpasbaar in het hoogspanningsnet, zonder knelpunten te veroorzaken? Daarover publiceerde Netbeheerder TenneT op 29 februari 2024 een rapport, gemaakt in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. De belangrijkste conclusie is: “Slechts in één situatie lijkt inpassing van 1.600 Megawatt productievermogen nieuwe kernenergie nét inpasbaar in het hoogspanningsnet. Het gaat dan om de locatie Borssele.” Maar dan moet wel aan een aantal voorwaarden zijn voldaan. Overigens, 1.600 Megawatt is het vermogen van een Franse EPR-kerncentrale. Op de Maasvlakte is per definitie geen ruimte voor een of twee kerncentrales: dit “leidt tot lokale knelpunten in het hoogspanningsnet,” stelde TenneT.³⁶³

4. Kerncentrales doen het niet 7 dagen per week, 24 uur per dag

We komen vaak het argument tegen dat kerncentrales 24 uur per dag, zeven dagen per week elektriciteit leveren. Dit in tegenstelling tot elektriciteit uit zon of wind. Dit argument klopt niet. Wereldwijd leveren kerncentrales gemiddeld zo’n 80% van de tijd elektriciteit (zie figuur 4.4).³⁶⁴ ³⁶⁵ De kerncentrale Borssele deed het tot nu toe iets beter met een gemiddelde bedrijfstijd van 84,4%.³⁶⁶

Op 29 februari 2024 heeft de netbeheerder TenneT een rapport uitgebracht over de rol van mogelijk twee nieuwe kerncentrales in Zeeland of op de Maasvlakte. Daarvoor gebruikt TenneT twee scenario’s.³⁶⁷ Volgens het ene scenario hebben de kerncentrales een maximale bedrijfstijd van 68%. Volgens het andere scenario gaat het om 77%; dit komt overeen met 3 maanden stilstand per jaar.

Figuur 4.4
Bedrijfstijd kerncentrales vanaf 1970



Source: World Nuclear Association, IAEA PRIS

Bron: <https://world-nuclear.org/our-association/publications/global-trends-reports/world-nuclear-performance-report/nuclear-industry-performance.aspx>, 1 augustus 2023.

5. Kernenergie een onverzekerbaar risico

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.^{368 369} Blijkbaar vinden verzekeringsmaatschappijen kernenergie een te groot risico en te onveilig. Om schade door kernenergie vergoed te krijgen moet je je wenden tot de eigenaren van de kerninstallaties. Maar bij grote ongelukken zal men daar bot vangen. De exploitanten van kerninstallaties hoeven zich maar beperkt te verzekeren tegen de schade die anderen ervan ondervinden. Dat is geregeld in de Verdragen van Parijs (1960) en Brussel (1963). Deze verdragen liggen ten grondslag aan de Nederlandse Wet Aansprakelijkheid Kernongevallen (WAKO).³⁷⁰ In het Verdrag van Brussel staat dat het beperken van de aansprakelijkheid een bevorderende werking heeft op de ontwikkeling van de kernindustrie.³⁷¹ Zonder een maximum in de aansprakelijkheid zouden de risico’s te groot zijn om kernenergie mogelijk te maken.³⁷² Ali Sahráifar en Luuk Wissink concludeerden dan ook in een op 1 december 2023 verschenen analyse van de WAKO: “Het aansprakelijkheidsrisico van de exploitant wordt dus niet alleen deels overgeheveld naar de staat, maar ook voor een (groot) deel naar de potentiële slachtoffers.”³⁷³ Het maximaal door de exploitant te vergoeden bedrag is 1,2 miljard euro. Voor grotere schades geldt een staatsgarantie tot 2,3 miljard euro.³⁷⁴ Op 21 december 2021 werd het officieel te vergoeden schadebedrag vastgesteld op 1,5 miljard euro: 700 miljoen door de exploitant, 500 miljoen euro door de overheid en 300 miljoen euro door een wederzijdse verzekering.³⁷⁵ Ter vergelijking. De schade van het ongeluk in Tsjernobyl in 1986 was zeker 210 miljard euro.³⁷⁶ Het Japanse ministerie van Handel schatte in 2016 de schade door het ongeluk met de kerncentrales in Fukushima op 168 miljard euro.³⁷⁷ Het Amerikaanse Congres heeft op 23 maart 2024 besloten de wet op de aansprakelijkheid voor kernongevallen te verlengen tot 2067 en uit te breiden. Het gaat om de zogeheten Price-Anderson Act. Ook werd bepaald dat de zogeheten Small Modular Reactor (SMR) of andere nieuwe ontwerpen onder deze wet zullen vallen.³⁷⁸

6. Voorbereiding op kernongeval blijft noodzakelijk

De European Pressurizedwater Reactor (EPR) had begin deze eeuw hét voorbeeld moeten worden voor de nieuwe generatie kerncentrales. De EPR is een ontwerp van de Franse reactorbouwer Framatome en het Duitse bedrijf Siemens. Over de EPR bracht het onderzoeksbureau Large and Associates in maart 2007 een rapport uit. Daarin stond dat bij een ernstig ongeval een gebied van 5600 vierkante kilometer (km²) geëvacueerd zou moeten worden. De ontwerper van de EPR, Areva, liet het bij een te evacueren gebied van 123 km² omdat Areva ervan uitging dat allerlei - niet eerder toegepaste en daarom in de praktijk onbewezen - technische maatregelen perfect zouden werken. Ook sloot Areva veel ernstige ongelukken die mogelijk zijn, van tevoren uit. In deze beperkte visie van Areva komen we uit op een afstand van ruim 5 kilometer van de centrale waar geëvacueerd moet worden. Large and Associates komen uit op een te evacueren gebied tot op tientallen kilometers van de kerncentrale.³⁷⁹ Ook bleek in februari 2016 dat bij een ongeluk met een EPR evenveel cesium kan vrijkomen als bij Fukushima.³⁸⁰ Bij een kernongeval met de kerncentrale Borssele in Nederland of Doel en Tihange in België moeten mensen tot op 10 kilometer afstand geëvacueerd worden.³⁸¹ Kinderen tot 18 jaar en zwangere vrouwen moeten tot op 100 kilometer afstand jodiumtabletten slikken om schildklierkanker te voorkomen.³⁸² Het gaat hier ook om gebieden in Nederland. Volgens de regering kan door een kernongeval een groter gebied getroffen worden dan eerder aangenomen.³⁸³ De regering schreef op 20 december 2018 dat een ernstig kernongeval “grote

gevolgen kan hebben voor Nederland.”³⁸⁴ De Duitse overheidsorganisatie Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) bracht op 12 december 2019 een film uit over hoe te handelen bij een kernongeval.³⁸⁵ Als de veiligheid van kernenergie sterk verbeterd zou zijn, waren deze maatregelen van de Nederlandse en Duitse regering niet nodig.

7. Gebied rond Fukushima en Tsjernobyl langdurig onbewoonbaar

Soms lezen we dat na de kernongevallen bij Tsjernobyl en Fukushima geen of nauwelijks doden te betreuren waren. Echter, niet het aantal directe doden is maatgevend voor een kernongeval maar de gevolgen op lange termijn: een groot gebied blijft langdurig onbewoonbaar wegens een te hoge stralingsdosis. Daar komt nog bij dat uit een in 2020 gepubliceerd Duits onderzoek blijkt dat radioactieve straling twee tot vijf keer zo gevaarlijk is als tot nu toe werd aangenomen, terwijl ook de genetische schade nauwelijks wordt meegerekend.³⁸⁶

Door het ongeval in april 1986 met de kerncentrale bij Tsjernobyl in Oekraïne werd 200.000 vierkante kilometer land radioactief besmet; 350.000 mensen werden geëvacueerd; het totaal aantal doden door dit ongeval kan in Oekraïne en Wit-Rusland nog oplopen tot 140.000.³⁸⁷ De economische schade is 210 miljard euro.³⁸⁸

Na het ongeluk met de kerncentrale in Fukushima in Japan in maart 2011 werden zo'n 150.000 mensen geëvacueerd; 1.800 vierkante kilometer land is vanwege de stralingsbelasting ongeschikt voor bewoning en landbouw.³⁸⁹ Volgens de Japanse regering waren er 2.313 doden, niet door de straling maar als indirect gevolg van het kernongeval, met name door de stress die de gedwongen evacuatie gaf.³⁹⁰ De gevolgen van de vrijgekomen radioactiviteit voor de gezondheid van mensen zijn onbekend. Alleen het aantal gevallen van schildklierkanker bij kinderen is systematisch onderzocht. Dat is twintig keer hoger dan verwacht, bleek uit een op 26 februari 2021 verschenen rapport.³⁹¹ Daarnaast is er een direct verband tussen de omvang van de stralingsbelasting en de psychosociale stress van de getroffen.³⁹² Het Japan Center for Economic Research schatte in 2019 dat de kosten 385 tot 540 miljard euro zouden bedragen.³⁹³ Ter vergelijking: Nederland heeft een oppervlakte van 41.543 vierkante kilometer.³⁹⁴

8. Kernenergie bouwplannen, kosten en subsidie

8.1 Overzicht

Het Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) bracht op 24 juli 2019 een rapport uit over de financiering van 674 kerncentrales die tussen 1951 en 2017 wereldwijd werden gebouwd. De conclusie luidde dat geen enkele kerncentrale is gebouwd zonder een of andere vorm van overheidssubsidie.³⁹⁵ Enkele voorbeelden. In Duitsland ging het tussen 1950 en 2006 om een subsidie van 54 miljard euro.³⁹⁶ De Nederlandse staat gaf vanaf 1955 tot eind 1969 bijna een miljard gulden (454 miljoen euro) subsidie aan kernenergie.³⁹⁷ De Amerikaanse Union of Concerned Scientists (UCS) heeft uitgerekend dat zonder omvangrijke subsidies vanaf 1960 Amerikaanse kerncentrales niet gebouwd zouden zijn.³⁹⁸

Ook nu, 55 jaar nadat de kerncentrale Dodewaard in bedrijf kwam, is subsidie nodig om een kerncentrale te bouwen. Dat kan onder meer via goedkope leningen, zoals de Europese Unie van plan is. Om daarvoor in aanmerking te komen moet kernenergie eerst een 'duurzaam' of 'groen' label krijgen. En voor dat label moet kernenergie aan 26 voorwaarden voldoen.³⁹⁹

Op 12 februari 2024 publiceerde informateur Plasterk een document waarin over kernenergie het volgende staat: “Om de benodigde stappen te zetten in voorbereiding Keuzewijzer Klimaat en Energie op de bouw van twee kerncentrales is 5 miljard euro gereserveerd. In het formatierapport is in beeld gebracht dat er potentieel een additionele 3,5 tot 9,5 miljard euro benodigd is om de bouw van deze reeds voorgenomen kerncentrales te realiseren. Dit bedrag

is sterk afhankelijk van de uiteindelijke financieringsstructuur, waarbij een technologieleverancier (bouwer) mogelijk bijdraagt in het financieren van het project en het dragen van bepaalde ontwikkel- en bouwrisico's.⁴⁰⁰

Wolfram König, de directeur van het Duitse Agentschap voor Berging van Kernafval (Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung, BASE), stelde bovendien op 12 januari 2022: “Feitelijk gezien is het niet houdbaar om kernenergie als duurzame vorm van energieopwekking te beschouwen.”⁴⁰¹ Kernenergie is niet goedkoop en ook niet groen, maar heeft wel subsidie nodig.

Elektriciteit uit kerncentrales kost meer dan elektriciteit uit zon of wind. Dat is - om maar een voorbeeld te noemen - de reden waarom de Engelse regering op 17 januari 2019 instemde met het besluit van een groep bedrijven om de bouw van twee kerncentrales te stoppen.⁴⁰² Vanaf 1970 tot 2020 zijn de investeringskosten per kilowatt in de Verenigde Staten met een factor 5 en in Frankrijk met een factor 3 gestegen; de investeringskosten voor zonne- en windenergie zijn daarentegen gedaald (zie figuur 4.5).^{403 404 405 406} Op 16 september 2020 stopte het Japanse bedrijf Hitachi om financiële redenen de bouw van de kerncentrale Wylfa in Engeland.⁴⁰⁷

Wetenschappers van het Massachusetts Institute of Technology publiceerden op 18 november 2020 een studie over de kosten van kernenergie. Op basis van de bouwkosten van kerncentrales in de Verenigde Staten van de afgelopen vijftig jaar kwamen ze tot een in hun ogen onverwachte conclusie. De verwachting was dat de bouw van de eerste kerncentrale meer zou kosten dan de bouw van de volgende kerncentrales van hetzelfde ontwerp. Men zou leren van de ervaringen van de bouw van de eerste kerncentrale. De wetenschappers concludeerden echter dat de bouw van de volgende kerncentrales meer kostte.⁴⁰⁸

Het Nuclear Energy Agency (NEA) en het International Energy Agency (IEA), beide in Parijs, brachten op 9 december 2020 een rapport uit over de kosten van elektriciteitsopwekking.⁴⁰⁹ In de samenvatting stond dat kernenergie vanaf het jaar 2025 de goedkoopste manier zou zijn om elektriciteit op te wekken. In hoofdstuk 8 over kernenergie bleek echter dat er aan een hele reeks voorwaarden voldaan moest zijn, wilde kernenergie de goedkoopste elektriciteitsbron zijn. De conclusie in de samenvatting was daarom niet zozeer gebaseerd op feiten maar meer op hoopvolle verwachtingen. Dat werd in maart 2021 nog eens bevestigd in een studie in Science Direct.⁴¹⁰ De regering van de Verenigde Staten was - vanwege de veronderstelde lage CO₂-uitstoot - in december 2021 van plan 35 miljard dollar subsidie te geven aan bestaande kerncentrales, opdat ze langer in bedrijf bleven.^{411 412}

Tabel 4.4
Bouwkosten kerncentrales

Type	Country	Unit	Construction start	Initial announced construction time	Ex-post construction time	Power (MWe)	Initial announced budget (USD/kWe)	Actual construction cost (USD/kWe)
AP 1000	China	Sanmen 1, 2	2009	5	9	2 x 1 000	2 044	3 154
	United States	Vogtle 3, 4	2013	4	8/9*	2 x 1 117	4 300	8 600
APR 1400	Korea	Shin Kori 3, 4	2008	5	8/10	2 x 1 340	1 828	2 410
EPR	Finland	Olkiluoto 3	2005	5	16*	1 x 1 630	2 020	>5 723
	France	Flamanville 3	2007	5	15*	1 x 1 600	1 886	8 620
	China	Taishan 1, 2	2009	4.5	9	2 x 1 660	1 960	3 222
VVER 1200	Russia	Novovoronezh II-1 & 2	2008	4	8/10	2 x 1 114	2 244	**

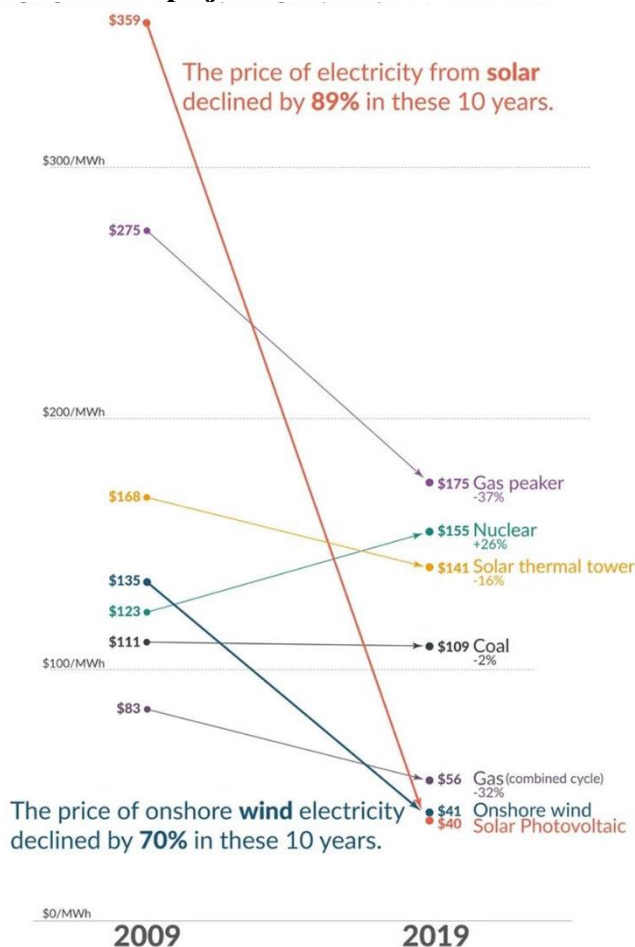
* Estimate. ** No data available.

Notes: MWe = megawatt electrical capacity. kWe = kilowatt electrical capacity.

Bron: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_51110/projected-costs-of-generating-electricity-2020-edition, 9 december 2020, pagina 152; de Finse EPR heeft op 12 maart 2022 na een bouwtijd van bijna 17 jaar de eerste stroom geleverd.⁴¹³ Flamanville start in 2024 en kost 13,2 miljard euro (8.250 euro/kW; 8.770 \$/kW).⁴¹⁴

Op 7 juli 2021 publiceerde het ministerie van Economische Zaken en Klimaat de door het consultancybureau gemaakte Marktconsultatie kernenergie.⁴¹⁵ Daarin stond dat niet met name genoemde marktpartijen interesse hadden om een kerncentrale in Nederland te bouwen. Maar dan moest wel aan 42 vooral financiële voorwaarden voldaan zijn: “de substantiële financieringsomvang, substantiële risico’s en doorlooptijd maakt dat de betrokkenheid van de overheid onvermijdelijk lijkt. Dit kan dan onder meer door het verstrekken van garanties door de overheid om met name financieringsrisico’s acceptabel te laten zijn.” Als voorbeeld noemen we hier de bouw van de EPR-kerncentrale (European Pressurizedwater Reactor) in Engeland, Frankrijk en Finland.

Figuur 4.5
Elektriciteitsprijs uit nieuwe centrales en uit zon en wind 2009-2019



<https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth>, 1 december 2020.

8.2 De Engelse subsidie voor Hinkley Point C

De regering van Groot-Brittannië kondigde in 2008 plannen aan voor de bouw van zo’n tien kerncentrales. Charles Hendry, destijds minister van Energie en Klimaat, liet op 13 juli 2010 weten geen overheidssubsidie voor kernenergie beschikbaar te stellen.⁴¹⁶ De Duitse bedrijven RWE en E.On vonden echter dat er wel subsidie moest komen voor de geplande bouw van kerncentrales in Engeland.⁴¹⁷

Op 6 juli 2011 stelde Peter Atherton, hoofd van de afdeling van Citigroup die investeringen in elektriciteit beoordeelt, dat marktpartijen niet zouden investeren in kernenergie in Groot-Brittannië, tenzij de regering een aanzienlijk deel van het investeringsrisico wilde dragen: “Zoals het nu is, is investeren in kerncentrales geen optie. De kapitaalkosten zijn gewoon te hoog om een aanvaardbare elektriciteitsprijs te geven.”⁴¹⁸

Vervolgens 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 (dat zijn twee EPR-centrales van elk 1.600 Megawatt).⁴¹⁹ EDF krijgt gedurende 35 jaar een gegarandeerd minimumbedrag voor de elektriciteit die de kerncentrale levert. De Europese Commissie onderzocht of er sprake was van oneerlijke subsidie, maar stemde in oktober 2014 na veel discussie in met de garantieregeling.^{420 421 422 423 424 425} De garantie geldt voor 35 jaar en het bedrag wordt volledig gecorrigeerd voor inflatie. Als de overheid via wetgeving zou besluiten de kerncentrales vroegtijdig te sluiten, moet een schadevergoeding betaald worden aan EDF.^{426 427}

Tabel 4.5

Kerncentrale Hinkley Point C: kosten en geplande start

Tijdstip	Kosten (miljard euro)	Bedrijf begint in
Oktober 2013 ^{428 429}	18,6	2018
Oktober 2015 ⁴³⁰	21	2023
Mei 2016	21	
Juli 2017 ⁴³¹	22,8	2025
September 2019 ⁴³²	25,6	2025
Januari 2021 ⁴³³	26,1	Juni 2026
April 2022 ⁴³⁴	26,2	Juni 2026
Mei 2022 ⁴³⁵	29,7	Juni 2027
Februari 2023 ⁴³⁶	37,2	Juni 2027
December 2023 ⁴³⁷	38	Eind 2028
Begin 2024 ^{438 439 440}	38-53	2030/2031

In oktober 2013 besloten China General Nuclear Power Corp en China National Nuclear Corp deel te nemen in de bouw van deze centrale. In februari 2015 bleek dat deze Chinese ondernemingen een garantie wilden van de Franse regering dat ze geen verlies zouden lijden op Hinkley Point C en dat de Franse regering zou garanderen dat ze het geïnvesteerde geld terugkregen als Areva failliet zou gaan. Daarop werd het bouwbesluit uitgesteld.⁴⁴¹

EDF Energy kondigde begin april 2015 aan te stoppen met het voorbereidende werk en tevens 400 mensen te ontslaan.⁴⁴² In juni 2015 kwam het bericht dat in oktober 2015 een beslissing genomen zou worden en schoof de verwachte datum dat de kerncentrale gereed zou zijn op van 2019 naar 2023.⁴⁴³ In augustus 2015 verschoof deze datum naar 2025 en noemde Paul Massara, de directeur van RWE Npower, kernenergie een dure vergissing.^{444 445}

In oktober 2015 werd een beginselovereenkomst met China getekend. China General Nuclear (CGN) nam een aandeel van 33,5%, EDF de overige 66,5%.⁴⁴⁶ Op 23 maart 2016 zei Vincent de Rivaz, de CEO van EDF Energy, dat EDF al 2,8 miljard euro had geïnvesteerd in de kerncentrales en elke maand 64 miljoen euro uitgaf.⁴⁴⁷

Op 29 juli 2016 gaf EDF het groene licht voor de investering in de kerncentrale, maar de Engelse regering wilde de documenten eerst nog bestuderen voordat er goedkeuring aan de bouw gegeven kon worden.⁴⁴⁸ Dat gebeurde kort daarna, waarop De Rivaz begin november 2016 meedeelde dat er 450 contracten waren getekend en 200.000 pagina's waren uitgewisseld met de Engelse regering en CGN.^{449 450} De bouw kon beginnen.

Zoals uit tabel 4.5 blijkt kost Hinkley Point C echter twee keer zoveel als in 2018 gepland was en de bouw duurt tien jaar langer dan aanvankelijk gepland. Dat gaf een nieuw probleem, bleek medio december 2023. China General Nuclear Power deed namelijk een beroep op de afspraak dat de bouw in 2025 gereed zou komen en liet weten niet langer te willen betalen voor Hinkley Point C.⁴⁵¹ De regering van Groot-Brittannië reageerde prompt met de mededeling het daardoor ontstane financiële tekort niet te willen dichten.⁴⁵² In januari 2024

bleek dat de kosten gestegen zijn naar 38 miljard euro (in euro's van 2015), wat overeenkomt met 53 miljard euro (in euro's van 2024).^{453 454}

8.3 De Engelse subsidie voor Sizewell C

Voor de kerncentrale Sizewell C wordt een ander financieringsmodel gebruikt, genaamd Regulated Asset Base (RAB). De consumenten moeten volgens de RAB maandelijks een bedrag betalen vanaf het begin van de bouw van de kerncentrale. Op die manier dalen de financieringskosten van Sizewell C en hoeft de exploitant minder te lenen.^{455 456} De belastingbetalers dragen daarbij een groot deel van het risico. Ze betalen een bedrag vanaf het begin van de bouw, dus jaren voordat een kerncentrale in bedrijf komt. De toekomstige exploitant van de kerncentrale hoeft zo minder te lenen en dat geeft aanzienlijk lagere financieringskosten. Volgens een in 2020 verschenen rapport van het Nuclear Energy Agency in Parijs maken de financieringskosten namelijk zo'n 70% uit van de totale bouwkosten.⁴⁵⁷ Als de bouw van de kerncentrale vertraging oploopt of als de bouw om andere redenen duurder wordt, moeten de consumenten meer of langere tijd vooruit blijven betalen. Engelse consumentenorganisaties en de invloedrijke Engelse Nuclear Consulting Group hebben de afgelopen jaren herhaaldelijk naar voren gebracht dat op deze manier de risico's worden afgewenteld op de bevolking.^{458 459 460}

8.4 Bouw Franse kerncentrale Flamanville-3 liep 11 jaar vertraging op

Frankrijk bouwt een EPR-centrale Flamanville-3, die volgens de aanvankelijke plannen in 2013 in bedrijf zou komen, maar dat is niet gelukt, het wordt naar verwachting zomer 2024, een vertraging van elf jaar.⁴⁶¹ Zie tabel 4.6

Tabel 4.6
Kerncentrale Flamanville-3: kosten en geplande start

Jaar	Kosten (miljard euro)	Bedrijf begint in
2004	3	?
2007	4	2013
2010	5	2014
2011	6	?
2012	8	2016
2014	8,5	2017
2015	10,5	2020
2020	?	2022
2021	12,4	2023
2024	13,2	2024

Toen in 2004 de bouwplannen werden aangekondigd, verwachtte EDF dat de bouw 3 miljard euro zou kosten.⁴⁶² De bouw begon in december 2007 en de kosten werden toen geschat op 4 miljard euro.⁴⁶³ In juli 2010 bleek dat de centrale in 2014 gereed zou zijn en dat de kosten stegen naar 5 miljard euro.^{464 465 466} 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.^{467 468} Eind december 2012 gingen de kosten met nog eens 2 miljard euro omhoog naar 8 miljard euro.⁴⁶⁹ In februari 2014 stegen de kosten naar 8,5 miljard euro; daarbij moeten we er rekening mee houden dat EDF staatseigendom is en daarom goedkoper geld kan lenen dan bedrijven die van de kapitaalmarkt afhankelijk zijn.⁴⁷⁰ Terwijl EDF begin 2014 nog verwachtte dat de kerncentrale in 2016 gereed zou zijn, werd dit in november 2014 opgeschoven naar 2017.^{471 472} Begin september 2015 deelde EDF mee dat

de centrale eind 2018 in bedrijf zou komen en 10,5 miljard euro zou kosten.⁴⁷³ In oktober 2015 noemde EDF het jaar 2020.⁴⁷⁴ Vervolgens deelde EDF in februari 2020 mee dat eind 2022 de eerste brandstof geladen zou worden.⁴⁷⁵ Een jaar later schoof deze datum op naar medio 2023 en stegen de kosten naar 12,4 miljard euro.⁴⁷⁶ Op 28 maart 2024 was de verwachting dat de kerncentrale in de zomer van 2024 de eerste stroom zal leveren.⁴⁷⁷ De laatste schatting van de bouwkosten is 13,2 miljard euro.⁴⁷⁸

8.5 *Bouw Finse kerncentrale Olkiluoto-3 liep 13 jaar vertraging op*

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.⁴⁷⁹ Het is een sleutelklaar project, waarbij de exploitant, het Finse elektriciteitsbedrijf TVO, de kerncentrale koopt tegen een van tevoren bepaalde prijs.⁴⁸⁰ De centrale had in 2009 in bedrijf moeten komen, maar het werd 12 maart 2022 en de kosten liepen op naar zo'n 11 miljard euro.⁴⁸¹ In 2013 vond de reactorbouwer, het Franse Areva, dat Finland de oorzaak was van de vertragingen. Daarom diende Areva in oktober 2013 een claim in van 2,7 miljard euro tegen TVO. Omgekeerd eiste TVO toen 1,8 miljard euro van Areva, omdat onderdelen te laat waren afgeleverd.⁴⁸² Op 3 augustus 2015 verhoogde TVO de claim naar 2,6 miljard euro.⁴⁸³ Areva bleef niet achter en verhoogde in februari 2016 de claim tegen TVO naar 3,52 miljard euro.⁴⁸⁴

Op 12 februari 2014 bracht TVO een persbericht uit. Daarin stelde TVO niet te kunnen aangeven wanneer de kerncentrale kon opstarten. TVO had hiervoor aan Areva een tijdschema gevraagd, maar Areva had niet geantwoord volgens TVO.⁴⁸⁶ Luc Oursel, op dat moment de topman van Areva, stelde op 28 februari 2014 dat de centrale voor 86% gereed was, maar dat Areva er een verlies op leed van 3,85 miljard euro en dat de bouw van de centrale 8,5 miljard euro zou kosten.⁴⁸⁷ In 2016 verwachtte Areva dat de reactor in december 2018 in bedrijf zou komen. Areva was ook van plan om 1 miljard euro extra voorziening op de balans op te nemen in verband met deze kerncentrale.^{488 489 490} Toch geloofde TVO de planning van Areva niet en begon daarop op 28 september 2016 een nieuwe rechtszaak tegen Areva om verdere vertraging in de bouw te voorkomen.⁴⁹¹ TVO en Areva kwamen vervolgens overeen dat TVO 5,5 miljard euro zou betalen aan Areva voor de bouw van de kerncentrale. Areva leed derhalve een verlies van 5,5 miljard euro, want de uiteindelijke kosten waren 11 miljard euro.⁴⁹² Deze overeenstemming betekende niet dat er geen vertragingen meer waren. De kerncentrale kwam immers pas op 12 maart 2022 in bedrijf. Zie tabel 4.7.

Tabel 4.7
Kerncentrale Olkiluoto-3: kosten en geplande start

Jaar	Kosten (miljard euro)	Bedrijf begint in
2005	3,2	2009
2014	8,5	2016
2016	9,5	2018
2022	11	12 maart 2022

8.6 *Conclusie bouwkosten West-Europese kerncentrales*

Uit het bovenstaande volgt dat de bouwkosten van een EPR-kerncentrale (European Pressurizedwater Reactor) per land uiteenlopen. Dit hebben we samengevat in tabel 4.8. Enkele voorbeelden. De EPR in Finland verschilt van die in Frankrijk: de kerncentrale in Finland is 1600 MW en Flamanville 1650 MW. Dit, samen met verschillende veiligheidseisen in de verschillende landen, maakt dat het centrale deel (nuclear island in het Engels) van deze EPR-kerncentrales maar voor 50% hetzelfde is.⁴⁹³ En de twee EPR-kerncentrales in Engeland moeten aan andere eisen voldoen dan die ene in Frankrijk. De Engelse toezichthouder eiste

7.000 aanpassingen. Zo hebben de kerncentrales Hinkley Point C 25% meer beton en 35% meer staal nodig dan de Flamanville-kerncentrale.⁴⁹⁴ De bouw van de Chinese EPR-kerncentrales Taishan 1 en 2 duurde negen jaar.⁴⁹⁵ En ze kostten omgerekend 5,3 miljard euro per eenheid.⁴⁹⁶

Dat is aanzienlijk lager dan de Europese bouwkosten, omdat de financiering goedkoper kan, de arbeidskosten lager zijn en de bouwvergunning sneller afgegeven wordt dan in Europa.⁴⁹⁷ Daar komt nog bij dat de organisatie van de bouw ingewikkeld is. In Finland werkten in 2014 mensen uit 57 landen, terwijl de handboeken slechts in 8 talen beschikbaar waren.⁴⁹⁸ Dit verklaart hoofdzakelijk de verschillen in de bouwkosten, maar voor een gedetailleerde analyse daarvan ontbreken ons de gegevens.

Tabel 4.8
Kosten European Pressurizedwater Reactor

Land	Naam kerncentrale	Kosten (miljard euro)	Bedrijf begint in
China	Taishan 1 en 2	5,3	2018/2019
Finland	Olkiluoto-3	11	2022
Frankrijk	Flamanville-3	13,3	2024
Groot-Brittannië	Hinkley Point C	19-26,5	2030/2031

Noot: Hinkley Point C en Taishan bestaan uit twee kerncentrales naast elkaar en daarom noemen we in de tabel de kosten per kerncentrale.

8.7 Kleinere reactoren (SMR) kosten veel

Sinds een paar jaar worden kerncentrales met een vermogen van 30 tot 470 Megawatt genoemd, dit zijn de Small and Medium Reactoren (SMR). Maar behalve in Rusland is er nergens zo'n nieuwe kleinere reactor in bedrijf. Het Amerikaanse leger bouwde kort na 1950 acht kleine kerncentrales, maar ze bleken te duur en onbetrouwbaar. Daarom stopte het leger ermee in 1977.⁴⁹⁹ Ook werden tussen 1950 en 1970 17 kleine kerncentrales gebouwd, die intussen gesloten zijn.⁵⁰⁰

Jean-Bernard Lévy, directeur van het Franse elektriciteitsbedrijf EDF, zei op 25 november 2020 dat het nog te vroeg is om te zeggen of verschillende SMR's meer waarde zullen opleveren, flexibeler en minder duur zullen zijn, gemakkelijker te onderhouden, en kunnen concurreren met grote kernreactoren. In 2020 werden alle bestaande SMR-projecten gefinancierd door de overheid en niet via de markt, merkte Lévy op. Hij sloot echter niet uit dat een SMR over een jaar of 15 zou kunnen concurreren met grootschalige reactoren. Het IAEA gaf in 2020 een overzicht van 60 SMR's met een vermogen tussen 30 en 300 Megawatt (MW).⁵⁰¹ Wat betreft het vermogen is het vergelijkbaar met kerncentrales die tussen 1960 en 1975 gebouwd werden, stond in een in december 2021 verschenen rapport van het Oostenrijkse Forum Wissenschaft & Umwelt. Daarna werden de kerncentrales steeds groter, omdat men op die manier schaalvoordelen zou behalen en de kostprijs per kWh zou dalen. De ervaring sindsdien leerde dat de kostprijs van elektriciteit uit kerncentrales niet gedaald is en daarom wordt nu op SMR's met een kleiner vermogen teruggegrepen.⁵⁰² Ter vergelijking: de kerncentrale Dodewaard was 58 MW en Borssele is 485 MW.^{503 504}

In een eveneens in december 2021 verschenen studie van Friends of the Earth Australia over SMR's werd erop gewezen dat er wereldwijd maar één dergelijke centrale in bedrijf is, terwijl de bouwtijd en de kosten van andere centrales veel hoger zijn uitgevallen dan gepland.⁵⁰⁵

Enkele voorbeelden.

De bouw van de CAREM-reactor in Argentinië duurt zeven jaar langer dan gepland en kost 23 keer zoveel als aanvankelijk begroot.⁵⁰⁶

De bouw van een hoge-temperatuur-gasgekoelde reactor in China is acht jaar vertraagd en kost 3 keer zoveel als geschat.⁵⁰⁷ Daarop werden in 2020 de plannen geschrapt om 20 kerncentrales van dit type te bouwen.⁵⁰⁸

De afgelopen jaren verschoof in China de bouw van veel meer kerncentrales naar veel meer zon- en windenergie.

Vanaf 1987 heeft China kerncentrales geïmporteerd uit Canada, Frankrijk, Rusland en de Verenigde Staten. Met behulp daarvan ontwikkelde China een eigen reactortechnologie. Tussen 1987 en juli 2023 kwamen 57 kerncentrales in bedrijf.⁵²⁵ Daarmee zorgt kernenergie voor 5% van het totale elektriciteitsgebruik in China.⁵²⁶

In december 2011 bepaalde de regering via de National Energy Administration (NEA) dat kernenergie de basis van de elektriciteitsvoorziening zou vormen. Tot 2030 zouden zo'n 30 kerncentrales van elk 1000 Megawatt (MW) in bedrijf komen; vanaf het jaar 2020 zou het gaan om 10 kerncentrales per jaar.⁵²⁷ Het doel werd niet gehaald. In september 2023 stelde China de doelen bij: kernenergie zou in 2035 niet meer 15% maar 10% van de totale elektriciteitsproductie leveren. Ook het aantal bouwvergunningen zou dalen naar 6 tot 8 kerncentrales per jaar, die 60 tot 80 miljard kilowattuur (kWh) elektriciteit leveren.⁵²⁸

Tegelijkertijd werden steeds meer zonnepanelen en windmolens geïnstalleerd. Alleen al de zonnepanelen en windmolens die in het jaar 2023 werden geplaatst, hebben een vermogen van 217.000 Megawatt en zijn goed voor 400 miljard kWh. Volgens de laatste inzichten zou in het jaar 2035 zo'n 3.900.000 MW aan zon en wind geplaatst zijn.

Daarmee worden zonne- en windenergie het toekomstige fundament van de Chinese elektriciteitsvoorziening en nemen deze bronnen de rol van kernenergie over. Volgens analisten komt deze verschuiving door de sterk gedaalde kosten tussen 2021 en 2022. De kosten van zonne- en windenergie daalden met respectievelijk 85% en 65%, terwijl de opslag in batterijen 90% goedkoper werd.^{529 530}

8.10 Amerikaanse reactorbouwer Westinghouse financieel gered

De Amerikaanse regering gaf in februari 2014 een garantie af van 6,5 miljard dollar (4,7 miljard euro) voor de bouw van de AP1000 kerncentrales Vogtle-3 en -4 in Georgia.⁵³¹ In januari 2015 deelden de elektriciteitsbedrijven Georgia Power en Southern Company mee dat de bouw 18 maanden vertraging opliep. Vogtle-3 zou medio 2019 in bedrijf zijn en eenheid 4 medio 2020.⁵³² De financiële gevolgen zijn niet openbaar. In februari 2017 werd weer een vertraging aangekondigd; Vogtle-3 zou nu in december 2019 en eenheid 4 in september 2020 in bedrijf komen.⁵³³

Om de bouw van deze kerncentrale te financieren leenden de elektriciteitsbedrijven geld waarover rente betaald moest worden. Om die rentekosten te omzeilen moesten de consumenten, de afnemers van de stroom, tijdens de bouw een opslag op de elektriciteitsrekening betalen. Dan hoefden de elektriciteitsbedrijven geen geld meer te lenen en spaarden daarmee rentekosten uit.⁵³⁴

De reactorbouwer Westinghouse vroeg echter op 29 maart 2017 een faillissement aan. Westinghouse had een schuld van 9,8 miljard dollar.⁵³⁵ Toshiba, het moederbedrijf van Westinghouse, sloot daarop in juni 2017 een overeenkomst met de exploitanten voor een afkoopsom van 3,68 miljard dollar.⁵³⁶ Zo kon Westinghouse blijven bestaan.

Begin augustus 2017 was de planning dat Vogtle-3 tussen februari 2021 en maart 2022 in bedrijf zou komen en Vogtle-4 tussen februari 2022 en maart 2023. Georgia Power (voor 45,7% eigenaar) verwachtte dat de beide kerncentrales samen 13,4 tot 14,8 miljard dollar zouden kosten. Gegeven de uitgaven tot dat moment en de afkoopsom, zou Georgia Power nog tussen 1 en 1,7 miljard dollar moeten uitgeven.⁵³⁷

Vogtle-3 leverde in juli 2023 de eerste stroom, terwijl eenheid 4 naar verwachting medio 2024 in bedrijf zal komen.⁵³⁸ De bouwtijd bedroeg derhalve niet de aanvankelijk geplande 8/9 maar 10/11 jaar.

8.11 Kerncentrales Zuid-Korea, veilig en goedkoop?

In tabel 4.4 worden de Zuid-Koreaanse kerncentrales Shin Kori-3 en -4 genoemd. Sinds een aantal jaren zijn er vragen over de veiligheid van deze reactoren. De bouw van de kerncentrales startte in 2008. De exploitant Korea Hydro and Nuclear Power (KHNP) was aanvankelijk uitgegaan van een bouwtijd van vijf jaar. Echter, in mei 2013 kwam via een klokkenluider aan het licht dat documenten over kwaliteitscontroles van kabels en kleppen vervalst waren.⁵³⁹ Het Koreaanse Instituut voor Nucleaire Veiligheid (Korea Institute of Nuclear Safety) stelde vervolgens vast dat 2.114 onderzoeksrapporten vervalst waren.⁵⁴⁰ Er volgde een gerechtelijk onderzoek met als resultaat dat 68 mensen, waaronder de president van KHNP Kim Jong-shin, veroordeeld werden tot in totaal 253 jaar gevangenisstraf.⁵⁴¹ Na vervanging van de kabels en kleppen kwam eenheid-3 begin januari 2016 en eenheid-4 in april 2019 in bedrijf, zodat de bouwtijd 8 resp. 11 jaar bedroeg.⁵⁴² Park Jong-woon was manager van KHNP en werkte aan reactoren. Hij stelde vast dat na het ongeluk met de Tsjernobyl-kerncentrale in 1986 alle bouwers van reactoren nieuwe veiligheidsvoorzieningen nodig vonden. Ook KHNP deed daaraan mee, maar kwam tot de conclusie dat de kerncentrale APR-1400 daardoor veel te duur zou worden om buitenlandse klanten aan te trekken. Volgens Park Jong-woon heeft KHNP daarom de meeste nieuwe veiligheidseisen geschrapt en er niet meer dan 10 tot 20% van overgehouden. De APR-1400 werd verpakt als nieuw en veiliger, maar betekende volgens Park Jong-woon in wezen een terugkeer naar de oude veiligheidseisen. Daardoor kon KHNP als goedkoopste leverancier de order voor vier Barakah-kerncentrales in Verenigde Arabische Emiraten krijgen.⁵⁴³ Het vakblad Nucleonics Week van 22 april 2010 noemde als voorbeeld dat de omhulling (containment) van de APR-1400 niet bestand was tegen een neerstortend vliegtuig.⁵⁴⁴ De bouw van Barakah-1 begon in 2012. Destijds werd verwacht dat de kerncentrale in 2017 in bedrijf zou komen, maar dat werd 2021. In 2013 en 2014 startte de bouw van Barakah-2 en -3. Deze kerncentrales kwamen in 2022 en 2023 in bedrijf. Naar verwachting komt Barakah-4 (bouwbegin 2015) in maart of april 2024 in bedrijf.^{545 546 547} In december 2021 besloot het Canadese bedrijf Ontario Power Generation (OPG) bij Darlington een kerncentrale van 300 MW te gaan bouwen, de BWRX-300, een ontwerp van GE Hitachi Nuclear Energy.⁵⁴⁸ De bouwkosten werden begroot op 3.330 \$/kW en deze kosten zouden bij serieproductie kunnen dalen naar 2.250 \$/kW.⁵⁴⁹

8.12 Subsidie nodig voor Nederlandse kerncentrales

TNO werkte twee scenario's uit voor een klimaatneutraal energiesysteem in 2050 en publiceerde daarover op 14 mei 2020 een rapport. Het ene scenario schetste een toekomstbeeld waarin de overheid sterk sturend optreedt, in het tweede zijn het vooral burgers en bedrijven die werk maken van een duurzame samenleving. In beide scenario's wordt in 2050 99% van de elektriciteit duurzaam opgewekt. Hoewel beide scenario's de inzet van kernenergie niet uitsluiten, liet het kosten-geoptimaliseerde model geen inzet van kernenergie zien. De kosten van kernenergie zijn structureel hoger dan die van wind- en zonne-energie.⁵⁵⁰ Het is ook de vraag of de kerncentrale Borssele op eigen benen kan staan. De exploitant EPZ stelde immers op 14 september 2020: "De actuele marktprijzen zijn gemiddeld genomen lager dan de hiervoor genoemde kostprijs." Daarom wilde EPZ een overheidsgarantie voor de lange termijn.⁵⁵¹ Of EPZ dit bij de huidige, aanzienlijk hogere marktprijzen nog zo zou stellen, is overigens onbekend.

Daar komt nog bij dat te weinig geld opzij is gelegd voor de opslag van radioactief afval. De COVRA schreef op 9 mei 2023 dat eind 2022 een bedrag van 119 miljoen euro gereserveerd was voor de eindberging, terwijl deze berging naar verwachting 2,23 miljard euro gaat kosten.⁵⁵² Twee derde van dit bedrag is nodig voor de opslag van hoogradioactief afval van de kerncentrales Dodewaard en Borssele.⁵⁵³

8.13 De Nederlandse subsidie voor Borssele-2 en -3

Op 26 september 2022 verscheen een rapport van het consultantsbureau Baringa, gemaakt in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.⁵⁵⁴ De belangrijkste conclusie is: “Nieuwe kerncentrales worden niet gebouwd door het bedrijfsleven zonder een of andere steun door de regering.” Op pagina 3 van het Baringa-rapport staat: “Een financieringsmodel waarin verschillende partijen, waaronder het rijk, bouw- en marktrisico’s beheersen en delen lijkt een randvoorwaarde voor nucleaire nieuwbouwprojecten.” Daarbij wordt verwezen naar financiering via het Britse RAB-model als manier “om vertrouwen op te wekken bij beleggers, (...) een model waarbij private investeerders een gereguleerde vergoeding ontvangen van de elektriciteitsleveranciers op basis van de waarde van de investering.” Op 21 december 2023 is via de Wet Open Overheid (WOO) een document van het elektriciteitsbedrijf EPZ openbaar geworden.⁵⁵⁵ EPZ bespreekt daarin onder meer hoe de bouw van nieuwe kerncentrales gefinancierd kan worden en neemt een model over dat bij Sizewell C gebruikt kan gaan worden.

8.14 Gaan Groninger huishoudens 110 euro per maand subsidie betalen?

Het RAB-model komt volgens de Engelse regering neer op een bedrag van omgerekend 32,5 miljoen euro per maand, dat is 1,15 euro per maand per huishouden.⁵⁵⁶ Voor Nederland zou dit neerkomen op 4 euro per huishouden per maand.⁵⁵⁷ Als uitsluitend de Zeeuwse huishoudens dat zouden moeten betalen, gaat het om 180 euro per huishouden per maand.⁵⁵⁸ Voor Zuid-Holland gaat het om 19 euro per huishouden per maand en voor de provincie Groningen om 110 euro per huishouden per maand.⁵⁵⁹ ⁵⁶⁰ De kostprijs van de elektriciteit gaat naar beneden, doordat de exploitant veel minder geld hoeft te lenen. Het lijkt dan of kernenergie goedkoop is, maar dat is schijn.⁵⁶¹ ⁵⁶² Hoe het verder gaat met Hinkley Point C is nog onduidelijk. In ieder geval is dit geen lichtend voorbeeld voor Nederland.

8.15 De 5 tot 14 miljard euro subsidie van de regering

Ook volgens de regeerakkoorden van 15 december 2021 en 16 mei 2024 kan kernenergie niet zonder subsidie.

In 2021 stond in het regeerakkoord: “Het kabinet (zet) de benodigde stappen voor de bouw van twee nieuwe kerncentrales,” en reserveert daarvoor “5 miljard euro.”⁵⁶³

Op pagina 14 van het op 16 mei 2024 vastgestelde Hoofdlijnenakkoord van de nieuwe regering staat hierover: “De overheid draagt met publiek-private samenwerking en kennisontwikkeling bij aan de bouw.” Er is “14 miljard euro beschikbaar voor een rijksbijdrage bij de bouw van vier kerncentrales tot en met 2035.” Het woord “kernafval” komt niet voor in dit akkoord.

9. Kerncentrales op thorium niet te koop

Kernenergie op basis van thorium wordt vaak naar voren gebracht. Het lijkt dan of het om een nieuw type kerncentrales gaat, maar dat is niet zo. Tussen 1960 en 1980 zijn thoriumcentrales gebouwd in de Verenigde Staten, Duitsland, Engeland, Rusland, India en Japan. Deze centrales hebben een aantal jaren gedraaid en zijn gesloten vanwege de hoge kosten en onopgeloste technische problemen.⁵⁶⁴ Door de sterke gammastraling is de brandstof namelijk moeilijk te hanteren. Dat was een belangrijke reden voor het stopzetten van deze proefcentrales.⁵⁶⁵

In 1980 was de verwachting dat in het jaar 2020 de thoriumcentrales wereldwijd jaarlijks minimaal 12.000 ton thorium nodig zouden hebben.⁵⁶⁶ Een centrale zou jaarlijks 10 ton

thorium gebruiken, terwijl de bewezen en verwachte voorraad thorium (afgekort RAR en EAR-1) 2 miljoen ton thorium zou bedragen.⁵⁶⁷ Dat zou duiden op 1200 thoriumcentrales in 2020. We kunnen uitrekenen dat in deze situatie nu een kwart van de thoriumvoorraad op zou zijn. De verwachtingen zijn niet uitgekomen. Pas sinds een aantal jaren is er weer belangstelling voor deze kerncentrales. Dit type centrales is echter op z'n vroegst over 20 jaar beschikbaar. Minister van 't Wout van Economische Zaken en Klimaat schreef op 2 maart 2021 aan de Tweede Kamer over thoriumcentrales: "Experts verwachten een marktintroductie van deze technologie niet vóór 2040."⁵⁶⁸ TNO bracht in opdracht van de provincie Brabant op 25 maart 2021 een rapport uit en noemde daarin een periode van 20 tot 25 jaar na nu.⁵⁶⁹ Een onderzoek van november 2021 in opdracht van de Rotterdamse Havenregio noemde het jaar 2045.⁵⁷⁰

Medewerkers van de Chinese Academie van Wetenschappen werken nu aan een gesmoltenzout-reactor via een prototype met een vermogen van 2 MW, gevolgd door een 10 MW experimentele reactor die in 2025 in bedrijf moet komen. Commerciële toepassing duurt dan nog minstens tot 2040, stelden ze begin december 2017.⁵⁷¹ Het prototype was in september 2021 klaar, zodat het proefdraaien kon beginnen.⁵⁷²

Het Nucleair Energie Agentschap in Parijs concludeerde in een op 24 februari 2021 verschenen rapport dat de technologie voor een brandstofketen met thorium niet op industriële schaal ontwikkeld was. Ook is kernenergie op basis van thorium ingewikkelder dan op basis van uranium.⁵⁷³

Daar komt nog bij dat de Amerikaanse National Academies of Sciences in 2023 na een uitvoerige studie concludeerde dat zowel op de korte als de lange termijn de radiotoxiciteit (een maat voor het gevaar) van het kernafval van een thoriumkerncentrale vergelijkbaar is met dat van de bestaande reactoren. In de Verenigde Staten zijn de technieken voor het maken en verwerken van de brandstof voor thoriumreactoren technisch gezien niet rijp. Daarom zou deze technologie eerst aangetoond moeten worden.⁵⁷⁴

10. Voorraad uranium snel op bij veel kerncentrales; ook fossiel is eindig

*De voorraad uranium is beperkt. "Zonder kweekreactoren loopt kernenergie het gevaar niet meer te zijn dan een strovuur," was in oktober 1988 de stelling van Remy Carle, destijds algemeen directeur van het Franse elektriciteitsbedrijf EDF.*⁵⁷⁵

Tabel 4.9

Uraniumwinning 1945-2022 in tonnen

Canada	554.475
Kazachstan	349.789
USA	378.038
Australië	240.579
Duitsland	219.685
Rusland	90.725
Z-Afrika	165.692
Niger	156.797
Namibië	158.856
Tsjechië	112.055
Frankrijk	76.012
Oekraïne	24.670
China	53.712
Overige	149.299
Totaal	3.184.812

Bron: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>, augustus 2023.

Uraniumwinning tot nu toe en voorraad

Volgens de in Londen gevestigde World Nuclear Association is vanaf 1945 tot 2022 in totaal wereldwijd 3,18 miljoen ton uranium gewonnen (zie tabel 4.9).

Volgens een rapport van 23 december 2020 van het Nucleair Energie Agentschap (NEA) in Parijs zijn de bewezen en geschatte voorraden uranium 3,8 miljoen ton. Daar komt nog eens 2,3 miljoen ton bij op grond van redelijk betrouwbare gegevens die nog nader getoetst moeten worden. Samen gaat het dan om 6,1 miljoen ton, die het NEA de “geïdentificeerde voorraad” noemt en die winbaar is tegen kosten van 130 dollar per kilo (tabel 4.10).

Ruim 50% procent van de productie van uranium komt uit negen mijnen in vier landen:

Kazachstan, Canada, Namibië en Australië. De vier belangrijkste bedrijven voor uraniumconversie (de omzetting van uranium van gas naar vaste stof en omgekeerd) zijn het Russische Rosatom met ongeveer 38%, China's National Nuclear Corporation en het Canadese Cameco met elk ongeveer 25% en het Franse Orano met ongeveer 8%. Zo'n 90% van het verrijkte uranium wordt geproduceerd door vier bedrijven: Tenex, Urenco, Orano en China National Nuclear Corporation.⁵⁷⁶

Tabel 4.10

Voorraad uranium in tonnen en percentage per land

Land	December 2020	Augustus 2023	Percentage
Australië	1.692.700	1.684.100	28%
Kazachstan	906.800	815.200	13%
Canada	564.900	588.500	10%
Rusland	486.000	480.900	8%
Namibië	448.300	470.100	8%
Z-Afrika	320.900	320.900	5%
Brazilië	276.800	276.800	5%
Niger	276.400	311.100	5%
China	248.900	223.900	4%
Mongolië	143.500	144.600	2%
Oezbekistan	132.300	131.300	2%
Oekraïne	108.700	107.200	2%
Botswana	87.200	87.200	1%
Tanzania	58.200	58.200	1%
Jordanië	52.500	52.500	1%
USA	47.900	59.400	1%
Overige	295.800	266.600	5%
Totaal	6.147.800	6.078.500	100%

Bron: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>, augustus 2023.

Hoelang gaat de uraniumvoorraad mee?

De som van het uranium dat al gewonnen is en winbaar tegen kosten van 130 dollar per kilo, is 3 miljoen ton plus 6,1 miljoen ton, samen 9,1 miljoen ton uranium. Hoelang gaat deze voorraad mee? Dat hangt af van de aanname over het aantal kerncentrales. Enkele voorbeelden.

Voorbeeld 1

In 1980 publiceerde het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) gevestigd in Wenen rapporten over de International Fuel Cycle Evaluation (INFCE). Het IAEA verwachtte toen dat in het jaar 2000 wereldwijd in het hoge scenario 1.200.000 Megawatt (MW) aan kerncentrales in bedrijf zou zijn (ter vergelijking: dat zijn 1.200 kerncentrales van elk 1.000

MW) die in dat jaar 160.000 ton uranium nodig zouden hebben. In 2025 zou 3.900.000 MW aan kerncentrales in bedrijf zijn die in dat jaar 350.000 ton uranium nodig zouden hebben.⁵⁷⁷ Een rekensom leert dat 1,9 miljoen ton uranium nodig is vanaf het jaar 1980 tot 2000 en nog eens 6,4 miljoen ton uranium tot het jaar 2025. Samen is 8,3 miljoen ton uranium nodig tot en met 2025.

De voorraad uranium is 9,1 miljoen ton. Nu was tot het jaar 1980 al 300.000 ton uranium gebruikt.⁵⁷⁸ Resteert derhalve 8,8 miljoen ton uranium dat vanaf 1980 ingezet kon worden. In dit voorbeeld zou het uranium in het jaar 2027 op zijn.

Voorbeeld 2

Volgens het NEA-rapport uit 2020 is zoals hierboven aangegeven de geïdentificeerde voorraad 8 miljoen ton bij een prijs van 260 dollar per kilo.⁵⁷⁹ Stel dat alle landen in de jaren tachtig het voorbeeld van Frankrijk hadden gevolgd. Dan zou kernenergie vanaf 2030 zo'n 70% van alle elektriciteit moeten leveren, als alle landen dat aandeel zouden handhaven. We kunnen bij benadering uitrekenen dat de totale geïdentificeerde voorraad van 8 miljoen ton in dit voorbeeld al over 15 jaar, in 2036, op zou zijn.⁵⁸⁰

10.1 Voorraad fossiele brandstoffen en eindigheid

De energievoorziening is nu vooral gebaseerd op de fossiele brandstoffen aardgas, olie en kolen. Voor de elektriciteitsproductie wordt naast kolen en aardgas ook gebruik gemaakt van uranium in kerncentrales. De voorraden kolen, olie, aardgas en uranium zijn echter eindig. Het energiebedrijf BP publiceerde in juli 2021 een overzicht van de wereldwijde energievoorraden.⁵⁸¹ Om aan te geven hoelang de voorraden meegaan deelt BP de voorraad (de reserves) door het gebruik of productie van bijvoorbeeld het jaar 2020. Dat geeft het zogeheten R/P-getal (reserve gedeeld door productie). Dit is het aantal jaren dat een voorraad meegaat bij gelijkblijvende productie.

Het R/P-getal voor kolen is 140 jaar.

Het R/P-getal voor olie is 53 jaar.

Het R/P-getal voor aardgas is 50 jaar.

Door stijging van het energiegebruik neemt de voorraad in een hoog tempo af. We kunnen dat illustreren aan de hand van een rekenvoorbeeld. De kolenvoorraad is 140 jaar op basis van het gebruik van nu. Als het energiegebruik niet zou toenemen, zou men dus voor 140 jaar kolen hebben. Deze voorraad gaat 42 jaar mee als het gebruik jaarlijks met 2% toeneemt.⁵⁸² Of het kolengebruik zal toenemen, is overigens de vraag. Bij een kolencentrale komt per kilowattuur twee keer zoveel van het broeikasgas CO₂ vrij als bij een gascentrale.⁵⁸³ Daarom kunnen we eerder verwachten dat kolenvoorraden in de grond blijven zitten.

Om de opwarming van de aarde te beperken moet overigens op korte termijn het gebruik van alle fossiele brandstoffen naar beneden, blijkt uit het op 4 april 2022 verschenen rapport van het VN-klimaatpanel IPCC. Om de opwarming van de aarde onder de 1,5 graad te houden moet de mondiale CO₂-uitstoot vóór 2025 zijn hoogtepunt hebben bereikt en rond 2050 op nul uitkomen.^{584 585}

Een ander voorbeeld van de eindigheid van de voorraad is het aardgas in het Groningen-veld. Met behulp van gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek, TNO, de NAM en de regering kunnen we uitrekenen dat er zo'n 560 miljard m³ aardgas in de grond blijft en dat sinds de aardbeving in augustus 2012 bij Huizinge 230 miljard m³ gas gewonnen is uit het Groningen-veld.^{586 587 588 589} In 2012 zat derhalve nog 800 miljard m³ gas in het Groningen-veld. Volgens de winningsplannen tot 2011 mocht de NAM jaarlijks 42,5 miljard m³ gas winnen uit het Groningen-veld.⁵⁹⁰ Stel dat er geen aardbevingen zouden zijn geweest, dan was deze 800 miljard m³ op geweest in 19 jaar, dus in het jaar 2030.

11. Kernenergie heeft veel ruimte nodig

11.1 Algemeen

Kernenergie zou weinig ruimte nodig hebben, een stelling die juist is als we alleen de plek bekijken waar een kerncentrale staat. Maar een kerncentrale heeft een groot oppervlak aan water nodig voor koeling. Voor de kerncentrale Borssele gaat het om 63.000 kubieke meter per uur.⁵⁹¹ Bovendien geldt sinds 1986 het zogeheten waarborgingsbeleid. Dat is vastgelegd in de PKB Vestigingsplaatsen voor kerncentrales, deel d.^{592 593} Hierin lezen we:

“Gewaarborgd moet worden dat de locaties ook later nog zoveel mogelijk voldoen aan de belangrijkste criteria van de selectie van de vestigingsplaatsen. (...) In het gebied van 0 tot 5 kilometer rond een (geplande) kerncentrale is het beleid gericht op het handhaven van gunstige lage bevolkingsdichtheden en op het vermijden van de vestiging van voorzieningen die tot aanwezigheid van grote aantallen moeilijk te verplaatsen mensen kunnen leiden. (...) In een gebied van 5 tot 20 kilometer rond een (geplande) kerncentrale is een ontwikkeling volgens de ruimtelijke doelstellingen voor dat gebied in beginsel toegestaan. Dit beleid wordt gevoerd door toetsing van streek-, structuur- en bestemmingsplannen voor het betreffende gebied” (PKB, deel d, pagina 8). Ook zijn explosiegevaarlijke inrichtingen binnen 3 kilometer verboden. Dit alles betekent dat toekomstige, “nu nog niet bekende ontwikkelingen met betrekking tot woningbouw, bevolking, recreatie, voorzieningen en/of industriële bedrijvigheid, enige praktische consequenties zullen ondervinden van het waarborgingsbeleid.” (PKB, deel d, p 64).

Dit waarborgingsbeleid komt erop neer dat de regering wil voorkomen dat met name binnen een straal van vijf kilometer nieuwe fabrieken met veel werknemers of grote wooncomplexen (bijvoorbeeld seniorenflats) of recreatiegebieden worden aangelegd.⁵⁹⁴ Dit beleid is nog steeds van kracht.⁵⁹⁵ Een nieuwe kerncentrale betekent dus een omvangrijk indirect ruimtebeslag. Het ruimtebeslag door bijvoorbeeld de uraniummijnen in het buitenland komt daar nog bij. Een voorbeeld: bij Shekaftar in Kirgizië (een land in Centraal-Azië) ligt 700.000 m³ afval van de winning en verwerking van uranium, dat een bedreiging is voor mens en milieu, bleek op 28 juli 2020.⁵⁹⁶

Al met al is de stelling dat kernenergie weinig ruimte nodig zou hebben, twijfelachtig.

11.2 Te weinig ruimte voor nieuwe kerncentrales bij Borssele

Rond 20 september 2023 bleek dat er te weinig ruimte is in het Sloegebied om twee nieuwe kerncentrales te bouwen.^{597 598} Een artikel van de Stichting Laka vat de discussie op een goede manier samen en daarom geef ik die bijna integraal weer.⁵⁹⁹

“Er is in het Sloegebied, volgens de bestaande regelingen over de ruimte die gebruikt mag worden voor elektriciteitsopwekking, lang niet genoeg ruimte om twee kerncentrales te bouwen. Tot die conclusie komt stedenbouwkundige Kees Thielen. In Hinkley Point C, vergelijkbaar met de Nederlandse plannen voor waarschijnlijk hetzelfde type kerncentrales, is 175 hectare gebruikt. Dat is er in het Sloegebied bij lange na niet. Zeker niet voor de bouw. Als je het bestaande zonnepark afbreekt en een dijk verlegt, is er wel ruimte voor twee kerncentrales, maar nog steeds niet voor de bouw, want daarvoor is veel meer ruimte nodig. Thielens hoofdconclusie is dat er 175 hectare nodig is voor de bouw van twee centrales, terwijl er in het Sloegebied maar 46 hectare beschikbaar is. Dat getal, 46 hectare, is het getal van de percelen van EPZ in het Sloegebied dat wordt meegegeven aan de potentiële bouwers. In de gemeente Vlissingen ligt ook nog 50 hectare Sloegebied, maar dat wordt niet meegerekend, omdat het niet in de gemeente Borssele ligt.

Thielen heeft zijn berekeningen ook aan het ministerie van EZK en de gemeente Borssele gepresenteerd, maar nauwelijks commentaar gekregen. Thielen merkte tijdens zijn gesprek bij EZK dat openheid geven ook helemaal niet het doel van het ministerie is. “Ons doel is zorgen

dat die dingen er komen,” werd tijdens het gesprek gezegd. In de [PZC](#) (Provinciale Zeeuwse Courant) zegt Thielen: “EZK weet niet of er te weinig ruimte is. Het ministerie wil dit tegen betaling laten onderzoeken door drie potentiële bouwers. Dat zijn marktpartijen, natuurlijk gaan die zeggen dat het gaat lukken.” Dat betekent dat er druk op de omliggende polders komt om die te gebruiken.

En precies daar zijn de bewoners fel op tegen. De Borsele Voorwaarden Groep, 100 inwoners die door de gemeente uitgekozen zijn om over voorwaarden voor de bouw te praten, heeft laten weten te vrezen voor overlast en stelde als voorwaarde dat de bouw binnen het Sloegebied moet plaatsvinden. De gemeente heeft bij het installeren van de groep gezegd dat de voorwaarden die de groep formuleert, in principe overgenomen worden zolang er geen wettelijke belemmeringen zijn.

De [Dorpsraad Borsele](#) noemde bouwen buiten het Sloegebied “onaanvaardbaar”.

Ook de gemeente Borsele zelf is duidelijk. “Wat de gemeente betreft worden de huidige grenzen van het Sloegebied gerespecteerd voor de bouw van twee nieuwe kerncentrales.

Behoud van leefkwaliteit van onze dorpen staat voor ons boven aan de prioriteitenlijst. (...)

Als de bouw van twee nieuwe kerncentrales niet volledig in het Sloegebied kan plaatsvinden, is dat onaanvaardbaar.” Op 24 oktober 2023 presenteerden de deelnemers de 39 voorwaarden

aan demissionair minister Rob Jetten, die aangaf niet te kunnen garanderen dat het bouwterrein voor de eventuele nieuwe kerncentrales niet ook buiten de Sloegrenzen terechtkomt.^{600 601 602}

12. Kernfusie, al 40 jaar een toekomstbelofte

Kernfusie is een proces waarbij door samensmelting van lichte atomen een zwaarder atoom ontstaat. Hiervoor is een temperatuur van 100 miljoen graden nodig. De atomen vormen dan een zogeheten plasma. De samensmelting 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 in 1985 samen te werken in de ITER, de Internationale Thermonucleaire Experimentele Reactor.⁶⁰³ Deze - wereldwijd unieke - kernfusiereactor komt te staan in het Franse Cadarache. In de ITER nemen deel: de Europese Unie, Engeland, China, India, Japan, Zuid-Korea, Rusland en de Verenigde Staten. Het eerste beton is in december 2013 gestort en dat was eind augustus 2014 gereed. Op dat moment was de verwachting dat vanaf 2020 experimenten met waterstof zouden beginnen. De realistische proeven met deuterium en tritium plande men vanaf 2027. ITER zou moeten aantonen dat het mogelijk is om op industriële schaal fusie-energie op te wekken: een vermogen van 500 Megawatt thermisch, zeven minuten aan één stuk. Er wordt echter geen elektriciteit opgewekt.⁶⁰⁴

In november 2017 stelde het bestuur van ITER een nieuw tijdschema vast. Proeven met het eerste plasma beginnen in 2025 en het begin van de proeven met deuterium en tritium wordt verwacht in 2035.^{605 606 607} Volgens de planning blijft ITER in bedrijf tot eind 2042 en voor onderzoek naar de ontmanteling is eind november 2016 een contract afgesloten van 174 miljoen euro met de firma Amec Foster Wheeler.⁶⁰⁸

In november 2016 bleek dat de bouw van ITER geen 15 maar 20 miljard euro kost.⁶⁰⁹

Op 29 juli 2020 begon de assemblage van de ITER. De onderdelen worden tot één reactor samengevoegd. De realistische proeven met deuterium en tritium plande men toen vanaf 2035.⁶¹⁰ De realistische proeven met deuterium en tritium plande men toen vanaf 2035.⁶¹¹ In 2022 werd het jaar 2036 genoemd, maar op 3 juli 2024 schoof dit op naar het jaar 2039.^{612 613} Na ITER zou een reactor gebouwd kunnen worden die elektriciteit produceert, maar voor het

zover is zijn we zeker in het jaar 2050. DEMO moet in 2050 klaar zijn. De opvolger dáár weer van wordt pas een echte elektriciteitscentrale.⁶¹⁴ Kernfusie kan volgens de laatste inzichten op z'n vroegst rond 2060 significant bijdragen.⁶¹⁵

13. Kernenergie voor als de zon niet schijnt en de wind niet waait?

We lezen regelmatig dat kernenergie nodig is als de zon niet schijnt en de wind niet waait. Klopt dat?

Netbeheer Nederland bracht op 12 oktober 2023 het rapport 'Integrale infrastructuurverkenning 2030-2050' uit met de nadruk op de elektriciteitsvoorziening.⁶¹⁶ In dit rapport worden vier scenario's beschreven: Decentrale initiatieven, Nationaal leiderschap, Europese integratie en Internationale handel. Zowel in het scenario 'Decentrale initiatieven' als in 'Internationale handel' komt kernenergie niet voor, lezen we op pagina 43. Pagina 5 getiteld 'Hoofdconclusies' begint met: "Een klimaatneutraal Nederland in 2050 kan gerealiseerd worden volgens elk van de vier scenario's.

Er is een discussie ontstaan naar aanleiding van figuur 12 op pagina 45.⁶¹⁷ Deze figuur is gebaseerd op het scenario 'Nationaal leiderschap', waarbij de vooronderstelling is dat er in 2040 1.500 MW aan kernenergievermogen staat (een EPR-kerncentrale is 1.500 MW) en 3.000 MW in het jaar 2050 (zie pagina 43). Deze figuur is overigens geen weergave van het voorgestelde beleid maar "illustreert de rol van flexibiliteit in het elektriciteitssysteem" (pagina 45). Netbeheer Nederland stelde over dit scenario: "In 2050 ontstaan een kleine 3000 uur per jaar tekorten: de basisvraag naar elektriciteit is in die uren groter dan de beschikbare opwek uit wind en zon. Tekorten worden opgelost door inzet van waterstofcentrales, ontladen van batterijen, afschakeling van de vraag in de industrie (DSR), import uit het buitenland en kernenergiecentrales." Kernenergie speelt hierbij tot in ieder geval 2035 een beperkte rol, gegeven pagina 38 van het rapport: "Sneller en meer kerncentrales (bijvoorbeeld SMR's) realiseren is ook een mogelijkheid, de waarschijnlijkheid hiervan is gezien de doorlooptijden in de nucleaire keten echter beperkt."

In het scenario Nationaal leiderschap is 3.000 MW aan kerncentrales opgenomen, met 6.606 vollasturen. In het scenario Europese integratie gaat het om 8.000 MW met 6.597 vollasturen. Desgevraagd stelde de woordvoerder van de Gasunie op 14 november 2023: "We houden in deze scenario's rekening met centrales in Zeeland en op de Maasvlakte. Het gaat om 4.800 MW in Zeeland en 3.200 MW op de Maasvlakte."⁶¹⁸ ⁶¹⁹ De kerncentrales zullen volgens deze gegevens 76% van de tijd stroom leveren. Dat kan betekenen dat in Zeeland drie en op de Maasvlakte twee kerncentrales komen van elk 1.600 MW.

De Nederlandse Wind Energie Associatie (NWEA) heeft over dit onderwerp op 19 mei 2023 een artikel gepubliceerd. Volgens dit artikel komen situaties waarbij de zon niet schijnt en de wind niet waait (dit heet ook wel Dunkelflaute) erg weinig voor. Het idee dat er geen duurzame elektriciteit is als de zon niet schijnt en de wind niet waait, verdient nuance volgens Jan Vos, voorzitter NWEA. Ook medeauteur van de Adequacy Outlook Koen Gorrissen laat in Energeia weten dat deze situaties soms een heel jaar niet voorkomen en soms een paar keer per jaar. "Doorgerekend komen we op zes uur per jaar waarin elektriciteitstekorten optreden door dit verschijnsel," aldus Gorrissen.⁶²⁰

Daarom is opslag van energie nodig. Een mogelijkheid is de opslag van waterstof en daarvoor komen zoutkoepels in aanmerking, zoals die bij Zuidwending. EnergyStock stelt hierover: "Het voordeel van het opslaan van energie in zoutcavernes is dat de capaciteit van deze cavernes relatief groot is, bijvoorbeeld ten opzichte van batterijen. Eén caveerne die gevuld is met waterstof, bevat evenveel energie als drie voetbalvelden met zonnepanelen in een jaar samen kunnen produceren."⁶²¹

Voor de opslag van waterstof zijn volgens TNO minimaal 60 cavernes in zoutkoepels nodig tot het jaar 2050.⁶²² Gasunie-dochter EnergyStock slaat in zes cavernes aardgas op in de

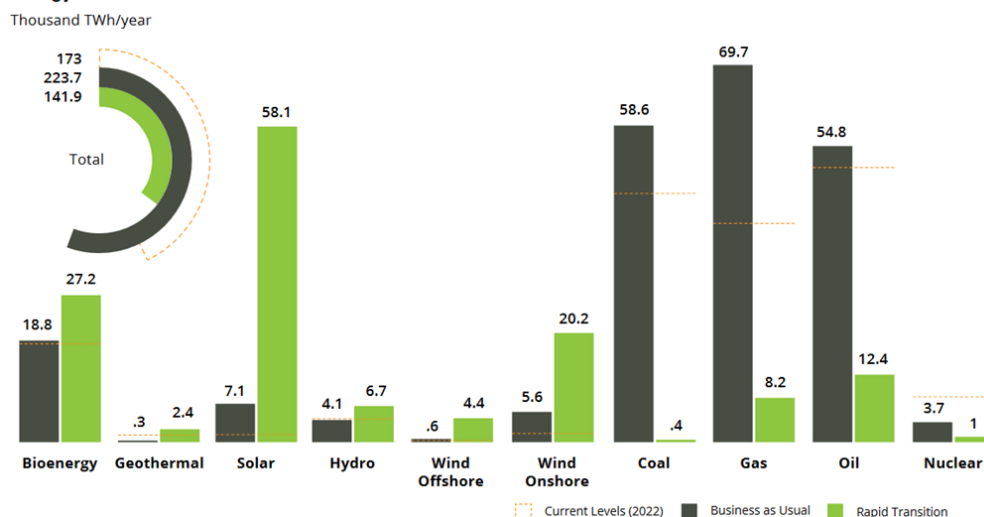
zoutkoepel Zuidwending en wil door Nobian vier cavernes laten aanleggen voor de opslag van waterstof. Dat houdt tevens in dat waterstof ook in andere zoutkoepels opgeslagen zal moeten worden. De vraag is om hoeveel andere zoutkoepels het gaat. TNO heeft namelijk uitsluitend gekeken naar de ondergrondse mogelijkheden, terwijl het aantal cavernes per zoutkoepel sterk verschilt en ook afhangt van de bovengrondse situatie, of er bijvoorbeeld een stad pal boven de zoutkoepel ligt. Op grond van de theoretische mogelijkheden kunnen we uitrekenen dat voor 60 cavernes twee andere zoutkoepels nodig zijn. Bij 200 cavernes gaat het om nog eens twee zoutkoepels. Kortom, genoeg redenen om zoutkoepels te bestemmen voor opslag van waterstof en de opslag van kernafval in zoutkoepels te verbieden. En vooral, om hiermee op zo kort mogelijke termijn mee aan de slag te gaan.

14. Kernenergie en doden door milieuvervuiling?

Sinds een jaar of tien gaat het met enige regelmaat ook over kernenergie en het aantal doden als gevolg van milieuvervuiling door fossiele brandstoffen. Zo vergeleek James Hansen in 2013 het aantal doden door luchtverontreiniging van fossiele brandstoffen met het aantal doden door de toepassing van kernenergie. Zijn conclusie was dat kernenergie de dood van 1,84 miljoen mensen verhinderd heeft. Op die manier zou kernenergie 370 keer zoveel levens gespaard hebben in vergelijking met de dodelijke slachtoffers door kernenergie vanaf 1980.⁶²³ Als reactie hierop publiceerden Benjamin Sovacool en Chukwuka Momanyi in april 2021 een rapport waarin ze kernenergie vergeleken met duurzame energie. Als in de periode vanaf 2002 tot het jaar 2020 de fossiele brandstof vervangen zou zijn geweest door kernenergie, dan gaat het om 42 miljoen minder doden, bij vervanging door waterkracht 42,1 miljoen en bij vervanging door zon en wind om 38 miljoen minder doden.⁶²⁴

Het Wereld Natuur Fonds publiceerde op 3 november 2023 een rapport over het aantal slachtoffers dat vermeden kan worden door de inzet van vooral duurzame energie tot het jaar 2050. Een aantal van de bestaande gas-, kolen- en kerncentrales is in het jaar 2050 nog in bedrijf (zie figuur 4.7). De conclusie is dat in het jaar 2050 ongeveer 181 miljoen levens gespaard kunnen worden of een betere kwaliteit hebben.⁶²⁵ Opvallend hierbij is dat kernenergie in het jaar 2050 bijna een kwart minder elektriciteit levert dan nu.

Figuur 4.7
Energy mix and demand in 2050 in two scenarios



Bron: <https://www.worldwildlife.org/publications/building-a-nature-positive-energy-transformation--2>, 3 november 2023, pagina 14.

Met opzet heb ik deze gegevens hier achter elkaar gezet. Om de juistheid van de verschillende bronnen na te gaan zou ik de details van alle onderzoeken moeten hebben om die met elkaar te vergelijken. Die kennis heb ik onvoldoende.

15. Waarom wind- en zonne-energie kernenergie te duur en overbodig maken⁶²⁶

We krijgen steeds meer zon- en windenergie. Zonnepanelen en batterijen worden steeds goedkoper. Hebben we dan nog wel meer kernenergie nodig in Nederland? Nee, zeggen experts. “Zonnestroom maakt kerncentrales onrendabel.”

De groei van duurzame stroomproductie in Nederland breekt elk jaar records. Sinds eind vorig jaar is Nederland wereldkampioen zonne-energie en liggen er 3,5 zonnepanelen per inwoner op daken en in zonneparken, blijkt uit het [Nationaal Solar Trendrapport 2024](#) van Dutch New Energy Research (DNE Research). Ook het vermogen van [windenergie](#) groeide fors tot 4,7 gigawatt. In 2030 leveren windmolens op zee alleen al [driekwart](#) van alle benodigde stroom.

“Zon en wind zijn niet alleen duurzaam, maar ook nog eens het allergegoedkoopste”, zei Wijnand van Hooff, algemeen directeur van Holland Solar tijdens het congres [‘Toekomst van Solar’](#) in Den Haag. De branchevereniging voor de Nederlandse zonne-energiesector denkt dan ook dat kernenergie de concurrentie met zon en wind qua prijs niet meer aankan. “Kernenergie is ongeveer twee tot drie keer zo duur als zonne-energie”, zegt Van Hooff. Dat denkt ook Daan Jansen, hoofdonderzoeker van DNE Research. Hij houdt in toekomstscenario’s over energie eigenlijk al geen rekening meer met kernenergie. “Als er al kerncentrales worden gerealiseerd, dan zal dat na 2035 zijn. Zonnestroom is veel goedkoper dan kernenergie. Een kerncentrale moet lang aanstaan, wil je de grote kapitaalkosten terug kunnen verdienen. Ik denk dan ook dat dat zonnestroom kerncentrales onrendabel zal maken.” Nederland kan ook met batterijen en waterstof periodes zonder zon en wind doorkomen, bleek eerder uit [onderzoek](#) van netbeheerder TenneT. Ook roepen alle experts dat burgers en bedrijven vooral stroom moeten gaan verbruiken als die wordt opgewekt. “Dunkelflautes hoef je niet op te vangen met kernenergie. Dat kan ook met waterstof en grootschalige opslag. Zo kun je ook prijsschommelingen voorkomen”, zegt Wilko Schuijff van Eneco. Volgens hem zijn zon en wind complementair en waait het meestal als de zon niet schijnt en schijnt de zon als het niet zo hard waait. Ook Jansen van DNE Research ziet steeds minder periodes zonder groene stroomproductie. “Ook in de winter heb je geen kernenergie meer nodig, want dan wekken we nog veel meer windstroom dan zonnestroom op. Daardoor zijn we relatief in balans qua seizoenen”, stelt hij.

16. Eemshaven: kernenergie of knooppunt waterstofeconomie?

De afgelopen jaren staat de ontwikkeling van een waterstofnetwerk vanuit Noord-Nederland in de belangstelling. De Gasunie deelde op 1 maart 2024 mee nog dit jaar een investeringsbeslissing te willen nemen voor het waterstofnetwerk Noord-Nederland.⁶²⁷ Het Investeringsplan Waterstof Noord-Nederland laat zien dat het uiteindelijk om 25.000 banen in Noord-Nederland gaat in 2030.⁶²⁸ De Eemshaven krijgt daarin een belangrijke rol. Het is de vraag of dit te verenigen is met de bouw van een kerncentrale.

De elektriciteit voor het maken van waterstof wordt volgens de plannen opgewekt met windmolens op zee. Volgens het plan NorthH2 gaat het om windmolens met een vermogen van 3.000 tot 4.000 Megawatt in 2030 en 10.000 Megawatt rond het jaar 2040. “De groene waterstofproductie, in eerste instantie in de Eemshaven en later mogelijk ook op zee, zal tegen die tijd zo’n 1.000.000 ton per jaar zijn,” schreef de Gasunie.⁶²⁹ De Eemshaven vervult een centrale rol bij de plannen, zoals blijkt uit het zogeheten HEAVENN-programma. HEAVENN staat voor Hydrogen Energy Applications for Valley Environments in the Northern-Netherlands. Het is een project met een totale omvang van zo’n 90 miljoen euro met

als doel voornamelijk in de provincies Groningen en Drenthe een volledig operationele waterstofeconomie te bevorderen: “De daar beschikbare energiekennis en -infrastructuur en de aanwezige energie-intensieve industrie vormen daarvoor samen een perfect ecosysteem. Van winning en aanlanding (wind-op-zee bij Eemshaven) naar productie (electrolyzers), opslag (zoutcavernes Veendam), transport en distributie (leidingennetwerk), en afname in de energie-intensieve industrie (Delfzijl, Emmen) en gebouwde omgeving (Hoogeveen). De ontwikkelde mobiliteitsinfrastructuur (o.a. waterstoftankstations Emmen en Pesse) maakt het systeem compleet.”⁶³⁰ Zo wordt in Noord-Nederland een toekomstgerichte energievoorziening ontwikkeld.

17. Koelwater en klimaatverandering

Een kwestie die ik hier vragenderwijs aanstip, is het verband tussen klimaatverandering en de beschikbaarheid van koelwater voor elektriciteitscentrales. Kerncentrales, maar ook gas- en kolencentrales, hebben koelwater nodig. Daarom staan deze centrales aan zee of aan rivieren. Voor de kerncentrale Borssele (485 Megawatt) gaat het om 63.000 kubieke meter koelwater per uur.⁶³¹ In Limburg is de gasgestookte centrale Claus-C in bedrijf met een vermogen van 1.304 MW. De centrale heeft een rendement van 58,5%: van de energie van het aardgas gaat 41,5% naar het koelwater.⁶³² Op dit moment is voldoende koelwater beschikbaar voor een dergelijk vermogen. Maar blijft dat zo met de klimaatverandering die gaande is? Maakt een SMR in de provincie Limburg gebruik van koelwater uit de Maas en zo ja, hoeveel koelwater is nodig? Volgens figuur 2-2 op pagina 20 van het rapport ‘BWRX-300 General Description’ is koelwater van een externe bron nodig, maar in het rapport staat niet om hoeveel koelwater per dag het gaat.⁶³³

Over de gevolgen van klimaatverandering voor de Rijn zijn in 2022 onderzoeksrapporten verschenen, gemaakt door de Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR).^{634 635} Smeltende sneeuw zorgt nu voor 39% van het water in de Rijn, gletsjers zijn goed voor 2%, en 59% bestaat uit regenwater. Uit deze rapporten volgt onder meer dat de winters vochtiger en de zomers droger zullen worden. De sneeuw smelt eerder in het voorjaar dan in het verleden. De sneeuw op de gletsjers verdwijnt eerder, zodat de gletsjers sneller smelten. In de zomer zal men het daarom vooral moeten hebben van regenwater. Maar omdat de zomers droger worden, zal de waterstand in de zomer lager zijn. Als gevolg daarvan is minder koelwater beschikbaar voor elektriciteitscentrales.⁶³⁶

De Rijn is een gemengde rivier (smelt- en regenwater). De Maas is een regenrivier, die volgens het KNMI directer en sneller op neerslag reageert dan de Rijn.⁶³⁷ Als het lange tijd weinig regent in Nederland of onze buurlanden, ontstaan volgens Rijkswaterstaat lage afvoeren waardoor er minder water door de rivieren stroomt dan normaal. De Maas heeft hier als echte regenrivier vaak last van.⁶³⁸ De vraag is welke gevolgen dit heeft voor de plannen om een SMR te bouwen. Immers, als er minder koelwater beschikbaar is, kan er minder elektriciteit geproduceerd worden. Kan een SMR altijd op vol vermogen draaien? Daar komt bij dat de vraag naar elektriciteit bij steeds warmere zomers toeneemt door de stijging van het aantal airco's. Op den duur zal een elektriciteitsvoorziening via zon en wind, die geen grootschalige koeling nodig heeft, steeds belangrijker worden.

Hoofdstuk 5

Wetenswaardigheden over radioactief afval

Inleiding

Volgens de plannen van opeenvolgende regeringen blijft het radioactieve afval eerst tijdelijk bovengronds opgeslagen bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) in Zeeland. Tijdelijk is een rekbaar begrip en regeringen maken daar gebruik van om het probleem voor zich uit te schuiven.

Na deze tijdelijke opslag gaat het om definitieve opslag en daarvoor komen zoutkoepels in Noord-Nederland of kleilagen in aanmerking. De regering zou zorgen “voor veilige, permanente opslag van kernafval.” Dat staat in het regeerakkoord.⁶³⁹ Maar in de brief van 9 december 2022 over de bouw van twee nieuwe kerncentrales noemt de regering de eindberging en de mogelijke vestigingsplaatsen daarvoor niet.⁶⁴⁰ Minister Jetten schreef namelijk: “Na 100 jaar opslag is een deel van het afval nog radioactief. Het afval wordt na deze periode in de diepe ondergrond opgeborgen.”⁶⁴¹ En dat is strijdig met het regeerakkoord. De ervaringen met buitenlandse zoutkoepels zijn negatief en bovendien zijn zoutkoepels nodig voor de seizoensopslag van waterstof. Daar komt nog bij dat Jan Boelen, de directeur van de COVRA, in het boek ‘40 jaar COVRA’ dat op 6 oktober 2022 verschenen is, stelde dat kleilagen beter zijn dan zoutkoepels.⁶⁴²

Kortom, het wordt tijd dat de Tweede Kamer besluit de Noord-Nederlandse zoutkoepels definitief van de lijst te schrappen.

1. Wat is radioactief afval?

Kerncentrales draaien op uranium. Dit uranium wordt gewonnen uit erts en ondergaat daarna verschillende bewerkingen, voordat het geschikt is voor toepassing in een kerncentrale.⁶⁴³ Bij elk van deze stappen ontstaat radioactief afval. Dat afval gaat naar bovengrondse opslagloodsen van de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) bij Vlissingen, die verantwoordelijk is voor de opslag van alle soorten kernafval in Nederland. De COVRA is een nv waarvan alle aandelen sinds 2002 in handen zijn van de staat.⁶⁴⁴

Uranium bestaat uit verschillende stoffen, isotopen geheten, die soms wel en soms niet gemakkelijk splijtbaar zijn. Het verrijken is het verhogen van het percentage splijtbaar uranium. Dat gebeurt in Almelo in zogeheten ultracentrifuges. Wat daarbij overblijft heet verarmd uranium. Voor zover het niet geschikt is voor hergebruik wordt het bij de COVRA als radioactief afval opgeslagen.⁶⁴⁵

Bij de kerncentrale zelf hebben we te maken met bedrijfsafval (filters, besmette kleding, e.d.), dat behoort tot de categorieën laag- en middelradioactief afval. De kerncentrale moet na het verstrijken van de levensduur afgebroken (ontmanteld) worden. Ook dat geeft radioactief afval.

De brandstofelementen vormen veruit de belangrijkste bron van radioactiviteit. Ze blijven een jaar of vier in de kerncentrale. Na gebruik komen ze in een opslagbassin in de kerncentrale. Nadat ze voldoende zijn afgekoeld, gaan de gebruikte brandstofelementen van de kerncentrale Borssele naar de opwerkingsfabriek in La Hague in Frankrijk (bij de in 1997 gesloten kerncentrale Dodewaard ging het om Sellafield in Engeland). Dit is een chemische fabriek waar het in de kerncentrale ontstane plutonium en het niet gebruikte uranium uit de brandstofelementen wordt gehaald. De restproducten van de opwerking zijn radioactief afval. Een deel daarvan is het hoogradioactieve, warmte-afgevendende en giftige kernsplijtingsafval. Alle stoffen die vrijkomen bij de opwerking - inclusief plutonium en uranium - zijn eigendom van de kerncentrale.

Volgens het ministerie van Economische Zaken is tot 2006 zo'n 88 ton teruggewonnen uranium van Borssele in Rusland verwerkt tot nieuwe kernbrandstof. Daarvan is 22 ton weer in Borssele geladen en de rest in andere - niet met name genoemde - kerncentrales.⁶⁴⁶ Over latere jaren zijn geen gegevens bekend.

Op basis van de contracten tot 2004 kwam bij de opwerking 2.800 kilo plutonium vrij. Daarvan is volgens de regering 2.500 kilo verwerkt in brandstof voor andere kerncentrales, terwijl de overige 300 kilo, hoewel nog niet geschonken of verkocht, op dezelfde manier verwerkt zal worden.⁶⁴⁷ Het is niet bekend om welke kerncentrales het gaat.

Een nieuw contract voor Borssele van 20 april 2012 zet de bestaande praktijk voor radioactief afval, uranium en plutonium voort.⁶⁴⁸ Het radioactieve afval komt naar Nederland terug.^{649 650}

2. Kernafval 1 miljoen jaar gevaarlijk, probleem niet opgelost

Sommige stoffen verliezen heel snel hun radioactiviteit, maar bij andere duurt dat miljoenen jaren. Van belang is in dit verband het begrip halfwaardetijd. Dat is de tijd waarin de radioactiviteit gehalveerd wordt.

De halfwaardetijd van jodium-131 is acht dagen. Bij cesium-137 gaat het om dertig jaar, bij plutonium-239 om 24.400 jaar en bij jodium-129 om zestien miljoen jaar. Het radioactieve afval blijft dus heel lang gevaarlijk.

De Zwitserse kernafvaldeskundigen Marcos Buser en Walter Wildi hebben in februari 2016 nog eens laten zien waarom een opbergperiode van een miljoen jaar nodig is.⁶⁵¹ In overeenstemming hiermee gaat bijvoorbeeld Duitsland ervan uit dat geologische stabiliteit, en dus een veilige opslagperiode van een miljoen jaar, gegarandeerd moet zijn.^{652 653} Zonder verdere argumentatie stelde minister Schultz van Haegen op 10 februari 2016 dat het hoogradioactieve afval tot een kwart miljoen jaar gevaarlijk blijft.⁶⁵⁴ Maar ook al zou de minister gelijk hebben gehad, dan nog gaat het om een bijna onvoorstelbaar lange periode. 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. De rekenmodellen voor de veiligheid op lange termijn zijn onbetrouwbaar. Men zou duizenden jaren onderzoek moeten doen, voordat men een uitspraak over de betrouwbaarheid van de modellen kan doen.^{655 656 657 658 659} Dat bleek ook op een bijeenkomst van Duitse geologen op 12 oktober 2018: daar werd onder meer aangetoond dat de uitkomsten van rekenmodellen niet zozeer afhangen van de gebruikte software voor die modellen, als wel van degene die rekent met die modellen.⁶⁶⁰

Om de gevaarperiode vast te stellen doen voorstanders van kernenergie vaak het volgende. Ze vergelijken de stralingsgiftigheid van brandstof uit de kerncentrale met die van het uraniumerts. Het gaat dan niet om de vraag hoelang radioactief afval gevaarlijk blijft, maar om de verhouding tot het gevaar van uraniumerts. Uit die vergelijking volgt echter dat de stralingsgiftigheid van het radioactieve afval dat overblijft na opwerking, pas na acht miljoen jaar lager wordt dan die van het uraniumerts. Daarbij is nog geen rekening gehouden met het plutonium dat bij de opwerkingsfabriek wordt afgescheiden.^{661 662}

De Amerikaanse National Academies of Sciences (NAS) heeft in 2023 een zeer uitgebreid rapport uitgebracht over zo ongeveer alle aspecten van de opslag van radioactief afval. Hierover verscheen op 23 januari 2024 een samenvatting.⁶⁶³

In het rapport wordt de periode dat het kernafval gevaarlijk blijft, besproken aan de hand van een methode die "gemakkelijker te begrijpen is door een niet-technisch publiek," maar "geologisch gezien niet correct is." Deze methode - de hierboven genoemde verhouding tot het gevaar van uraniumerts - komt tot een gevaarperiode van 130.000 jaar. Indien technieken voor de verkorting van de levensduur van het kernafval zouden kunnen worden toegepast, dan gaat het volgens deze rekenmethode in het gunstigste geval om 500 tot 1.500 jaar. Maar die technieken bestaan op dit moment niet op enige schaal. Voor toepassing op industriële schaal

is een uitgebreide infrastructuur nodig die “praktisch niet haalbaar is in de nabije toekomst”.⁶⁶⁴ Volgens deze methode moeten we daarom uitgaan van minimaal 130.000 jaar, ook een zeer lange periode.

3. Honderd jaar bovengronds vanaf 1984, is dat tot 2130, en de zeespiegelstijging dan?

In het begin werd radioactief afval in de oceaan gedumpt.⁶⁶⁵ Toen dat niet meer mocht, wilde de regering opslag in de Noord-Nederlandse zoutkoepels.⁶⁶⁶ Maar daartegen was veel protest en zo bedacht de regering in 1984 een tijdelijke oplossing: de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) in Zeeland.^{667 668}

In 1984 verscheen de Nota Radioactief Afval, die vaak aangehaald wordt als rechtvaardiging om het radioactieve afval 100 jaar bovengronds te bewaren. Of, zoals de COVRA bijvoorbeeld schreef in 2011: “Dit betekent dat een eindberging in Nederland niet voor 2130 in bedrijf zal zijn.”^{669 670}

Echter, in de Nota Radioactief Afval gaat het om enkele tientallen jaren tussenopslag van alle soorten radioactief afval.⁶⁷¹ Het getal van 100 jaar wordt vooral genoemd als het gaat om een deel van het laag- en middelradioactieve afval dat snel vervalt: na deze periode, “men moet daarbij denken aan opslagtermijnen in de orde van 100 jaar,” kan een deel van het afval “dat voldoende vervallen is (...) als niet-radioactief afval worden afgevoerd.”⁶⁷² Bij 100 jaar gaat het derhalve niet over hoogradioactief afval, dat immers een miljoen jaar gevaarlijk blijft.⁶⁷³ Een andere kwestie is, wanneer die termijn van 100 jaar zou ingaan. Het Bureau Berenschot concludeerde daarover op 21 maart 2022 in een rapport in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat: “In de Nota Radioactief Afval wordt niet aangegeven wanneer deze periode van 100 jaar ingaat.”⁶⁷⁴ Daar hebben de regering en met haar de COVRA gebruik van gemaakt. In de loop van de tijd schoven ze de termijn van 100 jaar steeds verder op. Strikt genomen zou het volgens de Nota Radioactief Afval gaan om 100 jaar na 1984, dus om het jaar 2084, dat is 61 jaar na nu. De COVRA telt daar nog eens bijna 50 jaar bij op en noemt het jaar 2130.

Het gaat hier om een onjuiste uitleg van de Nota Radioactief Afval. Volgens die Nota had men immers nu al moeten werken aan de eindberging. Maar toen de tijdelijke opslagplaats er eenmaal was, deed de regering alsof dat niet een tijdelijke oplossing was, maar een oplossing voor meer dan 100 jaar.

De vraag is echter of dit realistisch is. De locatie is een gebied buitendijks, net naast de kerncentrale Borssele.⁶⁷⁵ De Nuclear Research & consultancy Group (NRG) in Petten heeft begin 2000 een rapport uitgebracht over een mogelijke ongevalssituatie. Bestudeerd werd een overstroming van het COVRA-terrein, waarbij vaten met afval in het water terecht kwamen. Het ging om de situatie waarbij alle laag- en middelradioactief afval gedurende een jaar onder water kwam te staan.⁶⁷⁶

Opvallend is dat in de recente berichtgeving over de COVRA voorbijgegaan wordt aan deze feiten. Zo konden we bijvoorbeeld op 21 juni 2022 een artikel lezen in het AD met de kop: “Geen zorgen om opslag radioactief afval: de COVRA is veilig en bestand tegen zeespiegelstijging.”⁶⁷⁷ In dit artikel wordt verwezen naar beantwoording op Kamervragen door staatssecretaris Vivianne Heijnen (CDA) van Infrastructuur en Waterstaat.⁶⁷⁸ In deze antwoorden wordt verwezen naar een stresstest uit 2013. Echter, hierover schreef minister Kamp van Economische Zaken op 20 december 2013: “De stresstestanalyse is alleen uitgevoerd voor het Hoogradioactief Afval Behandelings- en Opslag Gebouw (HABOG). De overige gebouwen, zoals het afvalverwerkingsgebouw, laag- en middelradioactief afval opslaggebouw, container opslaggebouw en de verarmd uranium opslaggebouwen zijn in dit stresstestrapport buiten beschouwing gelaten.”⁶⁷⁹ Dat de COVRA als geheel veilig zou zijn, blijkt dus niet uit de stresstest. Bovendien blijkt dat het gaat om een zeespiegelstijging van 66 centimeter.⁶⁸⁰

De Commissie voor de milieueffectrapportage heeft op 9 maart 2023 een advies uitgebracht over een nieuw gebouw dat de COVRA wil laten zetten voor de opslag van laag- en middelradioactief afval.⁶⁸¹

Volgens de COVRA ligt het hele terrein op 5,6 meter boven NAP (Normaal Amsterdams Peil; een NAP-hoogte van nul meter is ongeveer gelijk aan het gemiddelde zeeniveau van de Noordzee). Dit neemt niet weg dat de gebouwen onder water kunnen komen te staan door extreme neerslag of hoogwater. Ook verwacht de COVRA dat door de klimaatverandering de kans op overstromingen zal toenemen.

De Commissie voor de milieueffectrapportage zet hier vraagtekens bij. Volgens de Commissie is een betere onderbouwing nodig bij de tekst dat het nieuwe gebouw “voldoende rekening houdt met overstromingen” vanwege “de toenemende kans op overstromingen in de komende 100 jaar door klimaatverandering.”⁶⁸²

Volgens het Deltaprogramma 2021 kan de stijging van de zeespiegel “forsier uitpakken” dan een meter, “zeker als we ook voorbij 2100 kijken.”⁶⁸³ Het kennisinstituut Deltares noemde in september 2022 een stijging van een halve meter eind deze eeuw en een meter rond 2120, afhankelijk van de mate van opwarming van de aarde.⁶⁸⁴ Het is de vraag wat de gevolgen zijn voor de COVRA van de forse zeespiegelstijging waarmee we rekening moeten houden. Komt de COVRA onder water te staan?

Deze Nederlandse visie is strijdig met de Duitse. Wolfram König, de directeur van de Duitse overheidsinstelling die verantwoordelijk is voor de veiligheid van de eindopslag van kernafval (Bundesamts für die Sicherheit nuklearer Entsorgung (BASE)), stelde op 23 juli 2023: “Ik vind het niet te verantwoorden dat we gewoonweg aanvaarden dat het nog tot het eind van deze eeuw zou duren voor we een locatie voor de eindberging gevonden hebben. De eindberging moet dan eerst nog gebouwd worden, wat nog eens een jaar of twintig duurt. (...) Daarom moet Duitsland uiterlijk in het jaar 2046 besluiten waar het kernafval opgeborgen zal worden.”^{685 686}

4. Kernafval in soorten en maten

4.1 Nederland: 1.100 kubieke meter radioactief afval per jaar

Jaarlijks wordt in Nederland ongeveer 1.100 kubieke meter (m³) radioactief afval geproduceerd.⁶⁸⁷ Naast het afval van de kerncentrale Borssele hebben we te maken met verarmd uranium en radioactief afval van de Hoge Flux Reactor in Petten, laboratoria, onderzoeksinstellingen, industrie en ziekenhuizen.

Bij de COVRA stonden op 1 januari 2023 zo’n 57.400 vaten laag- en middelradioactief afval en 4.700 containers met verarmd uranium opgeslagen, evenals 508 vaten met hoogradioactief afval.^{688 689 690 691 692 693 694 695}

Het bedrijfsafval van de kerncentrale Borssele bestaat jaarlijks uit 32-33 m³.⁶⁹⁶ Elk jaar ontstaat volgens de regering bij Borssele gemiddeld een hoeveelheid van ca. 4 m³ aan bestraalde splijtstofelementen. Na opwerking ontstaat hieruit ca. 3 m³ hoogradioactief kernsplijtingsafval en naar schatting 11 m³ overig radioactief afval.^{697 698}

4.2 Wat is opwerken?

De brandstofelementen vormen veruit de belangrijkste bron van radioactiviteit. Ze blijven een jaar of vier in de kerncentrale. Na gebruik komen ze in een opslagbassin in de kerncentrale. Nadat ze voldoende zijn afgekoeld, gaan de gebruikte brandstofelementen van de kerncentrale Borssele naar de opwerkingsfabriek in La Hague in Frankrijk.

Een opwerkingsfabriek is een chemische fabriek waar het in de kerncentrale ontstane plutonium en het niet gebruikte uranium uit de brandstofelementen worden gehaald. De restproducten van de opwerking zijn radioactief afval. Een deel daarvan is het

hoogradioactieve, warmte-afgevende en giftige kernsplijtingsafval. Alle stoffen die vrijkomen bij de opwerking - inclusief plutonium en uranium - zijn eigendom van de kerncentrale. Het hoogradioactieve afval wordt nu opgeslagen in het zogeheten HABOG-gebouw.

4.3 De kerncentrale Borssele en de verliesgevende handel in plutonium

In de kerncentrale Borssele ontstaat bij de splijting van uranium naast warmte onder meer plutonium, dat 250.000 jaar gevaarlijk blijft. EPZ, de exploitant van Borssele, heeft dit plutonium gedeeltelijk met een verlies van 40 miljoen euro verkocht. De rest valt onder een speciaal en kostbaar contract tot 2034 met de Franse opwerkingsfabriek Orano, zodat het plutonium niet in Nederland opgeslagen hoeft te worden. Zo is voorkomen dat Nederland 5.600 kilo plutonium moet opslaan.

Voor dit onderdeel is vooral gebruik gemaakt van een boek van Alan J. Kuperman, dat in 2018 verschenen is en ook van een rapport in opdracht van Greenpeace Nederland van augustus 1996.^{699 700} Tenzij anders aangegeven komen de gegevens in deze paragraaf uit deze studies.

4.3.1 Kerncentrale Borssele en plutonium voor kweekreactoren

De gebruikte brandstofelementen van de kerncentrale Borssele gaan, nadat ze voldoende zijn afgekoeld, naar de opwerkingsfabriek bij La Hague in Frankrijk. In een opwerkingsfabriek worden gebruikte brandstofelementen eerst in kleine schijfjes geknipt en daarna opgelost in chemische stoffen. Bij de opwerking worden drie fracties afgescheiden: het gevormde plutonium (1%), het nog ongebruikte uranium (95,5%) en het hoogradioactieve, warmte-afgevende kernsplijtingsafval (3,5%). Al deze radioactieve stoffen blijven eigendom van EPZ. Volgens gegevens uit 1985 van het Ministerie van Economische Zaken ontstaat per jaar in de kerncentrale Borssele gemiddeld 96,4 kilo plutonium.⁷⁰¹ Kuperman noemt op pagina 233 van zijn boek 93 kilo plutonium per jaar. In het vervolg zijn we voorzichtigheidshalve van dit laatste getal uitgegaan.

In de beginfase van kernenergie werd een voorspoedige toekomst voor snelle kweekreactoren verwacht, wat een optimale benutting van de uraniumvoorraden zou betekenen. Door het gebruik van opgewerkt plutonium in een kweekreactor zou nieuw plutonium voor kerncentrales gekweekt kunnen worden. De kweekreactor in Kalkar waarin Nederland participeerde, is door een combinatie van technische, financiële en politieke redenen nooit in gebruik genomen.⁷⁰² De Franse Superphenix reactor waaraan Nederland eveneens deelnam, kwam in 1986 in bedrijf, maar werd wegens technische problemen eind 1999 stilgelegd.⁷⁰³ Om het plutonium te verwerken werd daarop voorgesteld dit te mengen met uranium tot Mixed Oxide brandstof (MOX).

4.3.2 Opwerkingscontracten tot 2004

De opwerking volgens het eerste contract uit 1975 van Borssele met La Hague heeft geresulteerd in 650 kilo plutonium, dat deels bestemd was voor Kalkar en Superphenix.⁷⁰⁴ Het tweede contract van 20 maart 1978 zorgde voor 1.400 kilo plutonium.⁷⁰⁵ Het derde contract liep tot 2004. In totaal kwam bij de opwerking volgens deze drie contracten zo'n 2.800 kilo plutonium vrij. Dit plutonium was zoals aangegeven eigendom van EPZ, dat er zelf geen toepassing voor had. In die tijd had plutonium een negatieve marktwaarde van 13,60 euro per gram.⁷⁰⁶ Daarom kregen elektriciteitsbedrijven in met name Zwitserland en Duisland geld toe om het plutonium af te nemen. Deze elektriciteitsbedrijven gebruikten het plutonium voor MOX-brandstof. Een schatting leert dat EPZ 41 miljoen euro heeft uitgegeven om van het plutonium af te komen.

4.3.3 Opwerkingscontracten van 2004 tot 2034

In 2004 sloot EPZ een nieuw opwerkingscontract af. Aanvankelijk was dit voor tien jaar, maar dat werd verlengd tot 2034, het einde van de geplande levensduur van Borssele. Het gaat dan om 2.800 kilo plutonium.

In 2006 brak de Franse regering het contract open. Zo zou EPZ bijvoorbeeld van tevoren moeten aangeven wat met het radioactieve afval en het plutonium zou moeten gebeuren. Dat stelde EPZ voor een probleem, omdat buitenlandse elektriciteitsbedrijven het plutonium niet meer wilden hebben: ze zagen af van het gebruik van MOX-brandstof. Een alternatief voor EPZ zou dan zijn om af te zien van de opwerking. Maar dat had volgens EPZ als nadeel dat een nieuw opslaggebouw nodig was. De bestaande gebouwen voor tijdelijke opslag bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) bij Vlissingen zijn niet geschikt voor uitgewerkte brandstofelementen. Een nieuw opslaggebouw heeft een nieuwe vergunning nodig en het kost een aantal jaren om die vergunning te krijgen. Daarom was het beter om door te gaan met de opwerking. En zo vond eind 2019 het 19^{de} transport plaats van gebruikte brandstof naar La Hague.⁷⁰⁷

Er werd een aangepast opwerkingscontract afgesloten tot 2034, waarbij de kerncentrale Borssele ook gebruik zou maken van MOX. Hiervoor werd een speciale term bedacht, namelijk pre-cycling. Bij recycling gaat het om hergebruik, maar pre-cycling is wat anders. EPZ huurt plutonium van de exploitant van de opwerkingsfabriek, destijds Areva, nu Orano geheten. Met behulp van dit plutonium werd en wordt nog steeds MOX-brandstof gemaakt. Na gebruik in Borssele gaan de brandstofelementen terug naar La Hague. EPZ betaalt daarvoor een ons onbekend bedrag.

Bij gebruik in de kerncentrale wordt plutonium verspleten en ontstaat ook nieuw plutonium. Het is ons niet exact bekend of in het geval van de kerncentrale Borssele per jaar meer of minder kilo's plutonium worden gevormd dan plutonium wordt verspleten. We nemen aan dat er weinig verschil in gewicht zal zijn.

Het is niet zo dat de gebruikte MOX-brandstofelementen worden opgewerkt en dat EPZ het daarbij vrijkomende plutonium weer terugkrijgt: dat zou recyclen betekenen en dat is niet aan de orde. De gebruikte MOX-brandstofelementen worden namelijk volgens het huidige Franse beleid niet opgewerkt maar opgeslagen.⁷⁰⁸ EPZ krijgt telkens verse MOX.

Omdat het hier gaat om een speciaal contract had Areva erin opgenomen dat EPZ een aanzienlijke boete zou moeten betalen als het contract voortijdig beëindigd zou worden, bijvoorbeeld doordat de kerncentrale eerder zou sluiten dan in 2034.

Toch heeft EPZ het over recyclen van plutonium. “Wij zetten tot aan 2034 evenveel gerecycled plutonium (als MOX-splijtstof, H.D.) in als wij vanaf 2015 zelf produceren. In feite recyclen wij dus de volledige hoeveelheid eigen plutonium, voorheen elders, nu in onze eigen centrale.”⁷⁰⁹ Dat is een onjuiste voorstelling van zaken. Het beleid komt erop neer dat door een vergoeding te betalen andere landen verantwoordelijk gemaakt worden voor de opslag van het plutonium.

4.3.4 Beperkt hergebruik plutonium: recyclen is onjuist woordgebruik

Na gebruik in de kerncentrale kunnen de MOX-elementen weer terug naar een opwerkingsfabriek om het resterende plutonium en uranium eruit te halen. De opwerking van bestraalde MOX-elementen is echter veel moeilijker dan de opwerking van brandstofelementen op basis van licht verrijkt uranium. De radioactieve straling is intenser en er is een hogere concentratie kernsplijtingsmateriaal met de daarmee gepaard gaande kans op een spontane kernsplijting (criticaliteit). Na twee keer opwerken zijn extra maatregelen nodig ter voorkoming van stralingsbelasting voor werknemers.

Dan is er ook nog een probleem met de opwerkingsproducten. Het afgescheiden plutonium bevat de isotoop plutonium-241, dat vervalft tot americium-241. Na vijftien jaar is acht procent

van de totale hoeveelheid plutonium vervallen tot dit americium.⁷¹⁰ Dit maakt het moeilijk en ook duur om nieuwe brandstofelementen te maken. Zo moet men bijvoorbeeld plutonium binnen twee jaar na het verlaten van de opwerkingsfabriek opnieuw gebruiken. Als men dat niet doet en pas op een later tijdstip overgaat tot hergebruik voor brandstofelementen, dan moet eerst het americium uit het plutonium verwijderd worden. Dat kost 1.200 dollar per kilo.⁷¹¹ Hergebruik van plutonium in lichtwaterreactoren (kerncentrales als Borssele) is volgens het kernenergie-agentschap van de OESO slechts twee keer mogelijk.⁷¹² Een in november 1993 uitgekomen studie van het ECN komt tot dezelfde conclusie.⁷¹³ Ewoud Verhoef, plaatsvervangend directeur van de COVRA, sprak in de NRC van 26 november 2021 over het recyclen van plutonium uit de kerncentrale Borssele.⁷¹⁴ Behnam Taebi van de TU Delft had het in de PZC van 16 september 2023 eveneens over recyclen van kernafval.⁷¹⁵ Recyclen suggereert dat iets vele malen hergebruikt kan worden en dat is hier niet het geval. Slechts 1% van de opgewerkte materialen wordt hergebruikt, bleek uit een op 12 oktober 2023 uitgezonden reportage van France 2 TV.⁷¹⁶

4.3.5 Onbekend hergebruik opgewerkt uranium

Of het uranium dat resteert na de opwerking van de brandstofelementen van Borssele hergebruikt wordt, is onbekend.

Het gaat hier om een ingewikkelde technische kwestie. De Franse Rekenkamer gaf daarover in 2015 een uitleg. Een kerncentrale werkt op vers uranium-235. De splijting daarvan geeft energie die omgezet wordt in elektriciteit. Zoals hierboven aangegeven kan bij de opwerking uranium afgescheiden worden van de rest.

Maar dit afgescheiden uranium heeft een andere samenstelling dan het verse uranium uit een uraniummijn. In de kerncentrales ontstaan namelijk ook andere soorten uranium, die niet in uraniumerts voorkomen. Het gaat met name om uranium-232 en uranium-234.

Als we dit mengsel van verschillende soorten uranium geschikt willen maken voor hernieuwd gebruik in een kerncentrale, moet het eerst met vers uranium gemengd worden. Daarna gaat het naar een verrijkingsfabriek. Het probleem is dat uranium-232 zorgt voor een extra hoge stralingsdosis voor het personeel. Uranium-234 maakt verrijking een stuk lastiger en ook duurder.⁷¹⁷ Bovendien zitten enkele lastige chemische reststoffen in het opgewerkte uranium, staat in een rapport van het IAEA uit 2009.⁷¹⁸

Frankrijk heeft deze methode van hergebruik tussen 1994 en 2013 toegepast in de eigen verrijkingsfabriek Eurodif, maar is ermee gestopt omdat het proces te lastig was.⁷¹⁹ Ook volgens Urenco, de opwerkingsfabriek met vestigingen in Nederland, Duitsland en Groot-Brittannië, gaat het om technisch ingewikkelde kwesties, maar men verwacht er een oplossing voor te vinden. Op 5 juni 2018 heeft Urenco namelijk een contract getekend met het Franse elektriciteitsbedrijf EDF voor de verrijking van het mengsel van vers en gebruikt uranium. Daarna worden er brandstofelementen van gemaakt die EDF in kerncentrales wil gebruiken.⁷²⁰ Momenteel wordt opgewerkt uranium niet gerecycled, behalve in Frankrijk.⁷²¹ Of hierbij ook sprake is van gebruikt uranium van de kerncentrale Borssele, is onbekend. Het is dan ook voorbarig om het te hebben over het recyclen van gebruikt uranium van Borssele.

4.3.6 Conclusie

In de kerncentrale Borssele ontstaat bij de splijting van uranium naast warmte onder meer plutonium, dat 250.000 jaar gevaarlijk blijft. EPZ, de exploitant van Borssele, heeft dit plutonium gedeeltelijk met een verlies van 40 miljoen euro verkocht. De rest valt onder een speciaal en kostbaar contract tot 2034 met de Franse opwerkingsfabriek Orano, zodat het plutonium niet in Nederland opgeslagen hoeft te worden. Zo is voorkomen dat Nederland 5.600 kilo plutonium moet opslaan.

4.4 Onzekere toekomst opwerking, overzicht hoeveelheden

Het is de vraag wat er na 2034 gebeurt, aangezien deze opwerkingsfabriek volgens de huidige Franse wet in 2040 zou sluiten.^{722 723} De minister van Energie, Bruno Le Maire, kondigde op 8 maart 2024 een plan aan om de opwerkingsfabriek ook na 2040 in bedrijf te kunnen houden én een nieuwe opwerkingsfabriek te bouwen. Hij ging echter niet in op de kwestie of gebruikte brandstofelementen uit het buitenland opgewerkt zouden kunnen worden.⁷²⁴ De nieuwe opwerkingsfabriek kost 20 tot 30 miljard euro.⁷²⁵

Daar komt nog bij dat de opwerkingsfabriek te kampen heeft met ernstige problemen in de bedrijfsvoering. Zo stelde bijvoorbeeld Bernard Doroszczuk, de directeur van de Franse toezichthouder op nucleaire veiligheid ASN, op 19 januari 2022: “Als de opwerking voortgezet wordt in Frankrijk, zal het noodzakelijk zijn om de huidige installaties te vernieuwen.”⁷²⁶ Hij wees erop dat belangrijke onderdelen veel eerder corroderen (roesten) dan verwacht.⁷²⁷ De bouw van de Rokkasho opwerkingsfabriek in Japan, begon in 1993 en de fabriek zou in 1997 in bedrijf komen.^{728 729} Deze datum schoof 26 keer op en nu wordt juni 2024 genoemd.⁷³⁰

Over de problemen met opwerkingsfabrieken zwijgen zowel de regering als de COVRA. In een op 7 februari 2023 verschenen rapport van de Nuclear Research and Consultancy Group (NRG) in Petten over de periode daarna, staat dat deze fabriek een langere levensduur zou kunnen krijgen: “In die zin lijkt de beschikbaarheid van de opwerkingscapaciteit voor Nederlandse klanten de komende decennia stabiel te blijven.” Het lijkt stabiel, wat betekent dat het ook instabiel kan uitvallen en dat geeft een groot probleem: “De huidige opslagfaciliteiten bij de COVRA zijn hiertoe niet ingericht en dienen derhalve te worden aangepast voor deze categorie radioactief afval.”⁷³¹ Daar komt nog bij dat NRG uitgaat van een bedrijfsduur van nieuwe kerncentrales van 80 jaar. Maar dan zijn we in de volgende eeuw en dat is langer dan de komende decennia.

Als niet kan worden opgewerkt zal volgens de NRG “de eindvorm verpakte gebruikte splijtstof zijn. Deze is sterk stralend en produceert nog langdurig warmte. (...) In speciale faciliteiten moeten de splijtstofelementen eerst worden gedemonteerd en daarna in geschikte containers worden verpakt. (...) Over dit overpakken in speciale containers is kennis aanwezig in Zweden en Finland, landen die niet opwerken en hebben gekozen voor opslaan van gebruikte splijtstof in een eindberging. Nederland beschikt niet over faciliteiten voor conditioneren en overpakken van gebruikte splijtstof voor langdurige opslag. Mocht de opwerkingsroute worden verlaten, dan zal men ofwel dergelijke faciliteiten moeten ontwerpen en bouwen in Nederland, of proberen deze bewerkingen in het buitenland te laten uitvoeren. Het is echter niet zeker dat buitenlandse (exploitanten, H.D.) van dergelijke faciliteiten in de toekomst Nederlandse splijtstof willen of mogen ontvangen. (...) De huidige opslagfaciliteiten bij de COVRA zijn hiertoe niet ingericht en dienen derhalve te worden aangepast voor deze categorie radioactief afval.”⁷³²

4.5 Om hoeveel kernafval gaat het?

In het NRG-rapport wordt uitgegaan van de bouw van twee nieuwe kerncentrales van elk 1.500 Megawatt. Bij opwerking geeft dat 34 m³ hoogradioactief afval per jaar en na 80 jaar is dat 2.720 m³. Dit resulteert “in hoeveelheden hoogradioactief opwerkingsafval die de vergroting van de capaciteit van het HABOG zullen vereisen (...) dit is technisch mogelijk.” Let wel: het gaat hier om onverpakt kernafval, waar nog het volume van de verpakkingen in vaten bijkomen. In Nederland zijn volgens NRG “nog geen gebouwen voor de centrale opslag van gebruikte splijtstofelementen van kerncentrales aanwezig. Indien wordt geopteerd voor de directe opslag van gebruikte splijtstof zouden dergelijke faciliteiten beschikbaar

moeten komen.” Het gaat dan om 9.450 gebruikte splijtstofelementen met een totaal volume van 13.200 m³ (165 m³ per jaar). Deze elementen kunnen worden opgeslagen in een Duitse container van het type CASTOR V/19, die 5,8 meter hoog is.⁷³³ Er kunnen 19 gebruikte splijtstofelementen in een container, zodat 500 containers nodig zijn (zie tabel 5.1).⁷³⁴


Tabel 5.1
Hoogradioactief afval van opwerking of directe opslag van twee nieuwe kerncentrales

Afvaltype	Opwerking	Directe opslag
Hoogradioactief afval		
Volume per jaar (m ³ /jaar)	34	
Totaal volume (m ³)	2.720	
Gebruikte splijtstof		
Volume per jaar (m ³ /jaar)		165
Totaal volume (m ³)		13.200

Bron: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2023/02/07/bijlage-1-onderliggende-beslisnota-kamerbrief-toezegging-met-betrekking-tot-opwerking-van-radioactief-afval>, 7 februari 2023.

In een rapport van de COVRA van oktober 2022 staat dat het hoogradioactieve afval (HRA) “slechts 0,3% van het totale volume” uitmaakt, maar “het kleine volume HRA bevat wel het grootste gedeelte van de radioactiviteit. Het HRA is goed voor 99,9% van alle radioactiviteit. Ook staat in dit rapport: “Elementen van een kerncentrale die niet zijn opgewerkt, kunnen niet worden opgeslagen in het HABOG; daarvoor zal dan nieuwe opslagcapaciteit moeten worden gecreëerd.”⁷³⁵ In dit rapport staat ook een figuur met de uiteindelijk op te bergen hoeveelheid kernafval. Bij de kerncentrale Borssele gaat het, inclusief verlenging van de levensduur, om 10.470 m³ en bij twee nieuwe kerncentrales om 127.596 m³; zie figuur 5.1.

Figuur 5.1
Hoeveelheid op te bergen hoogradioactief afval in kubieke meter (m³)

	Opslag (m ³)	Eindberging (m ³)
Huidige installaties	191,4	8.050
	55,5	2.420
	2.924	127.596

Bron: <https://www.covra.nl/app/uploads/2022/10/Nationale-Radioactief-Afval-Inventarisatie.pdf>, oktober 2022; bewerkt.

4.6 Deel radioactief afval blijft in buitenland

In de discussie wordt vaak verzwegen dat ook in het buitenland veel afval vrijkomt vanwege de Nederlandse kerncentrales. Dit geldt speciaal voor het radioactieve 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 wel degelijk radioactief afval.⁷³⁶ Nederland haalt uranium voor de kerncentrale Borssele uit Kazachstan, een land dat zorgt voor 21% van de wereldwijde productie van uranium.^{737 738} Vaak wordt het ruimtebeslag door bijvoorbeeld de uraniummijnen in het buitenland niet genoemd. Twee voorbeelden.

Bij Shekaftar in Kirgizië (een land in Centraal-Azië) ligt 700.000 m³ afval van de winning en verwerking van uranium, dat een bedreiging is voor mens en milieu, zo bleek op 28 juli 2020.⁷³⁹

In de Duitse deelstaat Saksen werd van 1946 tot 1990 uraniumerts gewonnen door de firma Wismut. Daarbij bleef 45 miljoen m³ radioactief afval achter, verdeeld over 42 afvalbergen. De sanering daarvan kostte tot nu toe 7 miljard euro en zal nog tot 2035 duren.⁷⁴⁰

4.7 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. Dit kan duidelijk gemaakt worden door het volgende voorbeeld. Bij het ongeluk in april 1986 met de kerncentrale in Tsjernobyl werd een groot deel van Europa besmet. Een berekening aan de hand van rapporten van het Nucleair Energie Agentschap in Parijs laat zien dat in totaal slechts 50 kilo van de langdurig gevaarlijke stoffen cesium en strontium neerkwam buiten het terrein van de kerncentrale.⁷⁴¹ Toch betekent die 50 kilo dat omvangrijke gebieden in Wit-Rusland, Rusland en Oekraïne langdurig besmet zijn.

Een kleine hoeveelheid kernafval kan dus grote gevolgen hebben en is geen argument om te doen alsof dit afval een te verwaarlozen probleem is.

Dat blijkt ook uit het gebruik van radioactieve stoffen in ziekenhuizen. Bij de bestraling van kankerpatiënten wordt de straling gebruikt om kankercellen te doden. Hier wordt de dodelijke werking van straling gebruikt om heel gericht ‘foute’ cellen uit te schakelen.⁷⁴² Voor een behandeling is slechts een minieme hoeveelheid van een radioactieve stof nodig, kunnen we uitrekenen met behulp van gegevens van het RIVM.⁷⁴³ Neem bijvoorbeeld lutetium voor de behandeling van prostaatcancer. We kunnen uitrekenen dat voor deze behandeling 9 microgram lutetium nodig is. Een microgram is een miljoenste gram.

Voor onderzoek is pakweg nog eens een factor 1.000 minder nodig dan voor behandeling. Om een indruk te geven: de benodigde hoeveelheid technetium voor een onderzoek bedraagt ongeveer 11,5 nanogram. Een nanogram is een miljardste gram.

Dat benadrukt nog eens dat een uiterst kleine hoeveelheid van een radioactieve stof een heel groot effect gevolgen kan hebben.

4.8 Met thoriumkerncentrale kernafval opeten?

In een artikel in de Provinciale Zeeuwse Courant (PZC) van 15 november 2022 gaat het over een gesmoltenzoutreactor die kernafval van kerncentrales als Borssele zou gaan verbranden.⁷⁴⁴ Maar dat is een illusie.

Het artikel gaat over een plan van de onlangs opgerichte firma Thorizon. Lucas Pool van Thorizon stelt in dit artikel: “Dat betekent dat we naast thorium ook bestaand kernafval als brandstof gebruiken.” En: “We verbranden langlevend kernafval.” Volgens Pool zou op deze manier CO₂-vrije energie ontstaan.

Eerst een misvatting rechtgezet. De stof thorium zelf is niet splijtbaar, maar kan via het invangen van zogeheten langzame neutronen omgezet worden in een vorm van uranium die wel splijtbaar is en in 160.000 jaar de helft van de radioactiviteit verliest. Die neutronen komen van verrijkt uranium. Om de omzetting van thorium in splijtbaar uranium in gang te

zetten heeft men uranium nodig. Deze omzetting gebeurt in een paar technisch ingewikkelde stappen. Thorium heet daarom een kweekmateriaal en is niet de splijtstof zelf: dat is uranium. We kunnen daarom net zo goed spreken van een uraniumkerncentrale. De naam thorium geeft de indruk dat het om een andere brandstof gaat, maar dat is een illusie.

Terug naar het artikel in de PZC. De belangrijkste vraag die in het artikel niet besproken wordt, is hoe Thorizon aan het bestaande kernafval komt, aan kernafval van kerncentrales als Borssele. Ruwweg zijn er twee mogelijkheden. De uitgewerkte brandstof van een kerncentrale wordt volgens de eerste mogelijkheid in een grote container verpakt en tijdelijk opgeslagen in bunkers in afwachting van definitieve berging, zoals bijvoorbeeld in Finland gebeurt. Of, dat is de tweede mogelijkheid, dat de gebruikte brandstof naar een van de schaarse opwerkingsfabrieken ter wereld gaat, zoals van de firma Orano in Frankrijk. Bij een opwerkingsfabriek worden uranium en het bruikbare plutonium afgescheiden van de rest. Het gaat dan om enkele reststromen, waaronder hoogradioactief afval dat vervolgens ingesmolten wordt in glas. Het in glas ingesmolten kernafval is niet meer bruikbaar voor wat dan ook. Het plutonium is een potentieel atombomgevaarlijke stof en blijft volgens de bestaande contracten met de kerncentrale Borssele bij de opwerkingsfabriek en komt dus niet naar Nederland terug.

Daarom is het onduidelijk hoe Thorizon aan bestaand kernafval wil komen. Dat kan alleen maar als Thorizon hoogradioactief afval in vloeibare vorm, dus niet ingesmolten in glas, kan importeren. Het is ons niet bekend of daarvoor een vergunningaanvraag in behandeling is, dan wel of Thorizon juist bedoelt dat deze firma plutonium wil importeren. Voorlopig gaat het dus om een plan, dat een illusie kan blijken te zijn.

5. Explosief zout

Het feit dat zout onder invloed van radioactiviteit een explosieve stof wordt, krijgt systematisch weinig aandacht in rapporten van de overheid. “Als we bestraald zout opwarmen doen zich explosieve reacties voor. Soms is bij onze experimenten waargenomen dat een vrij zwaar platina dekseltje weg werd geblazen.” Dat stelde professor H.W. den Hartog van het Laboratorium voor Vaste Stof Fysica van de Rijksuniversiteit Groningen. De in oktober 2009 overleden Den Hartog studeerde 20 jaar op de invloed van radioactieve straling op zout. Een van de wetenschappelijke meningsverschillen bij de opslag van atoomafval in zout betreft de stralingsschade. Het radioactieve afval zendt straling uit die in het zout terecht komt. Daardoor wordt zout gedeeltelijk omgezet in de bestanddelen waaruit het is opgebouwd, natrium en chloor. Den Hartog ging hiernaar onderzoek verrichten, omdat er bij stijging van de temperatuur van het zout omvorming in omgekeerde richting plaatsvindt: uit natrium en chloor vormt zich dan weer zout. Daarbij komt veel energie vrij met als gevolg dat vaten met kernafval smelten en verdampen. Dit geeft mogelijk een ondergrondse explosie. “De zoutkoepel zal niet uit elkaar spatten,” benadrukte Den Hartog, “maar de explosieve kracht die ik heb berekend is niet gering en er kan flinke schade van komen.”^{745 746 747}

6. Vesting bovengronds

Opslag van kernafval onder de grond betekent een zwaar bewaakte vesting bovengronds. Dat blijkt uit een van de OPLA-rapporten. Het gaat hierbij om een studie van de onderneming Van Hattum en Blankevoort.⁷⁴⁸ In die studie wordt uitgerekend dat voor ondergrondse opslag van kernafval in een zoutkoepel bovengronds een terrein van 40 hectare nodig is.

De schachten (toegangen naar de opslagruimtes in de zoutkoepel en zoutlaag) en de daarbij behorende bedrijfsgebouwen worden bij voorkeur boven het centrum van de koepel geplaatst. Op het opslagterrein moeten goede weg- en spoorwegverbindingen komen. Het bedrijfsterrein wordt omheind met “één of meer hekken” en moet ‘s nachts verlicht worden. Vanwege de zogeheten “doelmatige terreinbewaking” moeten ook camera’s worden opgesteld, terwijl langs

de hekken gesurveilleerd zal worden. De zware bewaking vloeit voort uit het feit dat het hier om gevaarlijke stoffen gaat.

Binnen de omheining komen aparte gebouwen voor de tussenopslag van het kernafval. In een afzonderlijk gebouw wordt in afgeschermdes ruimtes het kernafval behandeld. Daarnaast zijn kantoren voor de Stralingsdienst, een E.H.B.O- post, een kantine, een eigen elektriciteitscentrale en een landingsplaats voor helikopters gepland. Aparte aandacht gaat uit naar een loods voor de tijdelijke opslag van zout. Bij de aanleg van de mijn wordt immers zout uit de koepel weggehaald. Daarna gaat het kernafval de mijn in. En omdat het kernafval niet de hele mijn vult moet een deel van het zout er naderhand weer in als vulling. Voor de studie is uitgerekend hoeveel zout tijdelijk in een loods opgeslagen zou moeten worden: het gaat om 322.650 kubieke meter. Dit zijn zes voetbalvelden op een rij bij een hoogte van tien meter.

Als we de tekeningen van Hattum en Blankevoort leggen op de plattegrond van bijvoorbeeld Pieterburen, een van de locaties die in aanmerking komt, blijkt dat half Pieterburen afgebroken zal moeten worden om ruimte te maken voor deze bovengrondse vesting. Deze gevolgen zijn in de OPLA-rapporten echter niet meegenomen.

7. Veiligheid opslag niet te bewijzen

Met rekenmodellen probeert men na te bootsen hoe het opgeborgen kernafval zich in de periode van de komende honderduizenden 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 1993 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.⁷⁴⁹ De OPLA ging in haar eindrapport ook in op de vraag wanneer bewezen is dat een model klopt, ofwel 'gevalideerd' is en kwam 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% 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."⁷⁵⁰ 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 niets veranderd: berekeningen over de veiligheid van opslag van kernafval blijven onbetrouwbaar.^{751 752 753 754 755} Dat bleek ook op een bijeenkomst van Duitse geologen op 12 oktober 2018: Daar werd onder meer aangetoond dat de uitkomsten van rekenmodellen niet zozeer van de gebruikte software voor die modellen afhangen als wel van degene die rekent met die modellen.⁷⁵⁶

8. Ontstaan zoutlagen, zoutkoepels en zoutkussens

Heel lang geleden waren er zoutlagen. Daaruit vormden zich zoutkussens en later zoutkoepels. De zoutkoepels bewegen heel langzaam naar boven; warmte-afgevend kernafval kan dat versnellen.

8.1 Koepel en zout

Een koepel kunnen we omschrijven als een halve bol die geplaatst is op het dak van een gebouw. Beroemde koepels zijn bijvoorbeeld de Sint Pieterskerk in Rome, de Taj Mahal in India en het Capitool in Washington. Onder de koepel is lucht, zodat men naar boven kan

kijken. Deze betekenis van het woord koepel speelt door in hoe het woord zoutkoepel vaak wordt opgevat. Een zoutkoepel wordt dan omschreven als een holle ruimte met een dak bestaande uit zout. Dat is echter niet het geval. Een zoutkoepel bestaat helemaal uit zout en heeft aan de buitenkant een vorm die lijkt op een koepel.

8.2 Zoutlagen, zoutkussens en zoutkoepels in Nederland

In het noorden en oosten van Nederland zijn op een aantal plekken in de ondergrond zoutlagen van soms wel honderden meters dik te vinden. Deze zoutlagen zijn ontstaan doordat miljoenen jaren geleden het water uit binnenzeeën is verdampt, waarna het zout achterbleef. Boven op deze zoutlagen zetten zich nieuwe gesteentelagen af. Het zout is lichter dan de aard- of gesteentelagen. Het effect daarvan is te vergelijken met een bal die onder water wordt geduwd. Als de bal onder water wordt losgelaten, komt deze vanzelf weer boven de waterspiegel uit. Bij breuken in dit zogeheten ‘dekgesteente’ wordt een deel van het onderliggende zout naar boven gedrukt en door de breuken heen geperst. Dit verschijnsel heet in de geologie ‘diapirisme’.⁷⁵⁷

Een verdikking van het zout waarbij de bovenliggende lagen niet worden doorbroken, heet een zoutkussen (zoals bij Veendam). Is het zout wel door die lagen heen gebroken en ver omhoog gekomen, dan spreekt men van een zoutkoepel of zoutpijler (zoals bij Zuidwending).

8.3 Zoutkoepels stijgen op

In theorie, volgens berekeningen van een evenwichtstoestand, zouden de zoutkoepeltoppen tot ongeveer 500 meter boven het maaiveld moeten uitsteken.⁷⁵⁸ In ons klimaat worden geen zoutbergen van 500 meter hoogte gevormd, omdat de opstijgende zoutkoepel wordt opgelost in het grondwater. In andere delen van de wereld is dat wel het geval. Bijvoorbeeld in Iran waar in zeer droge gebieden, zoals het Zagrosgebergte, zoutbergen voorkomen die honderd tot driehonderd meter boven de grond uitsteken.⁷⁵⁹

De stijgsnelheid van een zoutkoepel is van belang bij het beoordelen van de stabiliteit van de koepel. In de geologische literatuur vinden we zeer uiteenlopende waarden voor de stijgsnelheid van zoutkoepels. Deze variëren van enkele honderdsten millimeters tot meerdere millimeters per jaar.⁷⁶⁰ ⁷⁶¹ De commissie-OPLA kwam in september 1993 tot de conclusie dat de stijgsnelheid in het verleden maximaal 0,4 millimeter per jaar was.⁷⁶² Op een andere plaats in dezelfde studie wordt een toelichting op deze conclusie over de stijgsnelheid gegeven. De gemiddelde stijgsnelheid, aldus OPLA, ligt van enkele tientallen procenten tot de factor 2,5 lager dan de waarden zoals die in Fase 1 van het OPLA-programma zijn berekend. De maximale waarde van de gemiddelde inwendige stijgsnelheden bedraagt 0,12 millimeter per jaar, gevonden voor de zoutkoepel Pieterburen.⁷⁶³ Bij zoutkoepels in de Dode Zee zijn stijgsnelheden van 1 tot 10 millimeter per jaar gemeten.⁷⁶⁴

8.4 Met kernafval stijgen zoutkoepels sneller

Ook is de warmteafgifte van kernafval van belang. Door deze warmte zet het zout uit. Daardoor komen de rand en omliggende aard- of gesteentelagen onder druk te staan. Hoefnagels, destijds voorzitter van de mijnbouwkundige werkgroep van de subcommissie ICK-RAS, wees erop dat door de warmteafgifte van het kernafval een zoutkoepel vier tot zes meter kan stijgen.⁷⁶⁵ Daardoor komt de gipshoed (een laag gips en kalk die als een hoed boven op sommige zoutkoepels ligt) onder druk te staan, zodat dit brosse materiaal kan gaan breken. Instromen van water kan het gevolg zijn en uiteindelijk onaanvaardbare verspreiding van het opgeslagen kernafval in de omgeving van de zoutkoepel.

De Duitse geoloog Herrmann onderzocht en beschreef de bodemstijging na opslag van kernafval in een zoutkoepel in de diepe ondergrond. Vijftig jaar na opslag van kernafval in de diepe ondergrond bedraagt de bodemstijging een kleine halve meter, berekende de Duitse

geoloog. Na 450 jaar is de bodem in een straal van 2 kilometer 1,2 meter omhoog gekomen. De maximale stijging van de bodem, zo voert Herrmann aan, zal na 900 jaar zijn bereikt. Pas tweeduizend jaar na opslag van kernafval in een zoutkoepel zal het aardoppervlak in de omgeving van de opslagplaats weer merkbaar gaan dalen.⁷⁶⁶

8.5 Kernafval geeft spanningen

Temperatuurverschillen veroorzaakt door de hitte die het ondergronds opgeslagen kernafval afgeeft, hebben tot gevolg dat de spanningen in het gesteente rondom de zoutkoepel toenemen. Volgens Herrmann worden zoutkoepels door de opslag van kernafval zwaarder belast dan in het geologische verleden ooit het geval is geweest. Op grond van deze uitspraken is het de vraag welke gevolgen dat heeft voor de stabiliteit van een zoutkoepel.

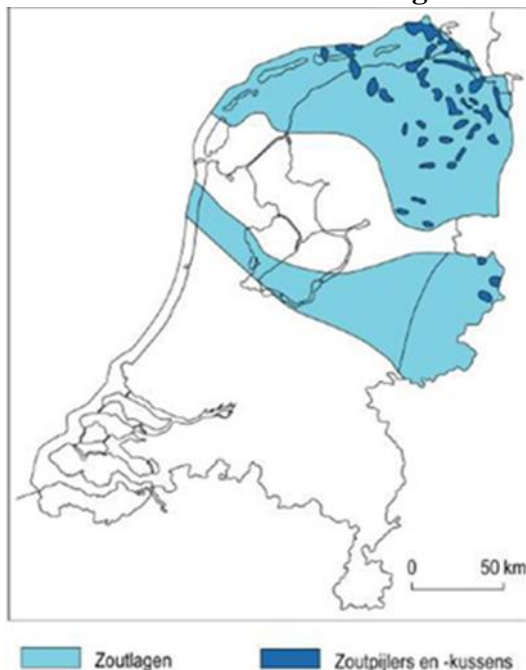
9. Waarom zoutkoepels terecht afvallen

De Interdepartementale Commissie voor Kernenergie (ICK) heeft in 1979 criteria gepubliceerd, waaraan opslag van kernafval in zoutkoepels moet voldoen. Deze criteria zijn overgenomen door de regering en nooit ingetrokken.⁷⁶⁷ Criterium j luidt: “In of rondom de zoutkoepels dienen geen bitumina prospects (verkenningboringen naar olie- en aardgasvoorkomens) aanwezig te zijn.” De daadwerkelijke situatie is dat in de buurt van de zoutkoepels in het noorden van het land aardgas onder de grond is aangetoond. Aardgas ligt onder de zoutlagen en de uitstulpingen daarvan, die zoutkoepels heten.

Bij Ternaard bijvoorbeeld zijn plannen om aardgas te gaan winnen. Dat betekent dat in ieder geval deze zoutkoepel zou moeten afvallen. Maar ook in de zoutkoepels bij Anloo, Pieterburen en Schoonloo zijn boringen geweest, zodat ook deze zoutkoepels ongeschikt zijn voor berging van kernafval. Er is een kaart van de ondergrondse boringen.⁷⁶⁸ Op grond van deze kaart is het zeer aannemelijk dat ook de zoutkoepels bij Gasselte, Hooghalen en Onstwedde niet geschikt zijn.

Figuur 5.2

Zout in de Nederlandse ondergrond



Bron: <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, CORA eindrapport, p 39.

Door de aardbevingen als gevolg van de gaswinning in het Groningen-veld ontstond verzet tegen de winning van aardgas, zowel uit dit veld als uit de kleine velden. Daarom zal er zo'n 700 miljard m³ gas in de grond blijven zitten.^{769 770} Het is niet uitgesloten dat toekomstige generaties alsnog op zoek zullen gaan naar aardgas en daarvoor boringen willen verrichten. Om uit te sluiten dat dan onbedoeld een opslagplaats van kernafval wordt aangeboord ligt het voor de hand dat de regio waar zoutkoepels liggen, afvalt. Een overzicht daarvan staat in figuur 5.2, het gaat dan om het bovenste, blauw gekleurde deel. In deze figuur is sprake van zoutpijlers, maar dat is een ander woord voor zoutkoepels.

10. Verkorting gevaarperiode kernafval via kweekreactoren en opwerking onbewezen

In een kerncentrale ontstaan door het kernsplijtingsproces 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 mogelijk zou zijn de langlevende radioactieve stoffen om te zetten in kortlevende, zou het kernafval nog zo'n 300 jaar gevaarlijk blijven. Dat stelde Mikhail Chudakov, plaatsvervangend directeur van de Afdeling Kernenergie van het IAEA, op 10 mei 2024. Dat kan via een uitgebreide infrastructuur met onder meer snelle kweekreactoren en geavanceerde opwerkingsfabrieken.⁷⁷¹ Echter, de daarvoor benodigde infrastructuur en technologie zijn er niet. Het Duitse Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung bracht daarover op 8 mei 2024 een gedetailleerd onderzoeksrapport uit. Conclusie: het duurt 100 tot 150 jaar om 90% van het langlevende radioactieve afval om te zetten en daarvoor zijn nieuw te bouwen en nu niet geplande kerncentrales (zoals snelle kweekreactoren) en opwerkingsfabrieken nodig.⁷⁷²

Al vanaf de jaren zeventig lezen we dat de techniek van verkorting van de gevaarperiode van kernafval (ook wel levensduurverkorting of P&T genoemd) al bestaat of binnenkort verkrijgbaar zal zijn.^{773 774} De werkelijkheid is echter anders. Het hoofd van de afdeling Nucleaire Ontwikkeling van het Nuclear Energy Agency (NEA) zei in april 2009: "Het duurt 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."⁷⁷⁵

We zijn dan op z'n vroegst in 2040. Het proces zelf, de daadwerkelijke verkorting van de gevaarperiode, vergt 70 tot 280 jaar. Dat is de tijd die nodig is om het kernafval dat in een jaar ontstaat minder schadelijk te maken, schreef dr. Jan Bultman, destijds werkzaam bij het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) in Petten, al in 1995.⁷⁷⁶ In het gunstigste geval zijn we dan in het jaar 2100. Duitse onderzoekers noemden ook het eind van deze eeuw.⁷⁷⁷ De technologie is nu niet breed inzetbaar. De Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) legt op de website uit waar het om gaat. Ten eerste is verdere afscheiding (in vaktermen 'partitioning') van langlevende radioactieve elementen nodig. Dit is vergelijkbaar met het opwerken van radioactief materiaal. Ten tweede is de omzetting nodig van stoffen met een lange vervaltijd naar stoffen die niet of maar kort radioactief zijn (in vaktermen 'transmutatie'). Voor deze omzetting is een speciaal soort kernreactor nodig. De ANVS stelt: "Op laboratoriumschaal is levensduurverkorting (partitie en transmutatie, P&T) mogelijk gebleken voor bepaalde atomen uit het radioactieve afval, maar P&T kan nog niet op grote schaal worden toegepast. P&T vereist een speciaal soort reactor die op dit moment maar in een paar landen ter wereld voorkomt. Tijdens het proces wordt hoogradioactief afval geproduceerd, dat in een eindberging moet worden geborgen. Dus hoewel P&T een techniek is die de levensduur van hoogradioactief afval kan verkorten, zal er altijd een eindberging nodig zijn voor het (...) hoogradioactieve afval (dat tijdens het proces ontstaat, H.D.). Het opgewerkte en reeds verglaasde hoogradioactieve afval uit de

kerncentrale Borssele is niet meer geschikt voor verdere verwerking; P&T is dus niet meer mogelijk met het al bestaande hoogradioactieve afval.”

Dat de technologie nog ontwikkeld moet worden, blijkt ook uit onderzoeksrapporten van de Duitse overheid uit 2018, 2021 en mei 2024. In deze rapporten wordt benadrukt dat het nog tientallen jaren zal duren voor de benodigde technologieën eventueel beschikbaar zijn: “Nergens ter wereld bestaat een installatie om de verkorting van de levensduur van de radioactieve stoffen daadwerkelijk uit te kunnen voeren.” Het duurt 100 tot 150 jaar om 90% van het langlevende radioactieve afval om te zetten en daarvoor zijn nieuw te bouwen kerncentrales en opwerkingsfabrieken nodig.^{778 779 780}

De Amerikaanse National Academies of Sciences komt in een in 2023 verschenen rapport tot eenzelfde conclusie. De infrastructuur die hiervoor nodig is met opwerking, geavanceerde installaties voor de fabricage van brandstofelementen en geavanceerde reactoren bestaat niet. Het zal nog tientallen jaren duren voor een dergelijke infrastructuur bestaat, mits daar op korte termijn voor gekozen zou worden.⁷⁸¹

We volgen hier een lezing van L.H. Baetslé van het Belgische kernonderzoekscentrum in Mol op een congres van het Duitse Atoomforum in januari 1993. Baetslé maakte de volgende som. Na acht cycli is 96 procent van de langlevende radioactieve stoffen, de zogeheten actiniden, verspleten. Bij elke cyclus gaat het volgens hem om bestraling in een kerncentrale, afkoeling, opwerking en brandstofelementen-fabricage. In totaal gaat het om twintig tot 25 jaar.⁷⁸²

Het is gezien de huidige ervaring echter realistischer te veronderstellen dat het alleen al minstens vijf tot zeven jaar duurt, voordat opwerking plaats vindt; de opwerking zelf en de brandstofelementen-fabricage duren minimaal één tot drie jaar.⁷⁸³ Rekenen we daar nog de tijd van drie jaar bij dat een brandstofelement in de centrale zit, dan komen we bij acht cycli op 72 tot 104 jaar. Zo lang duurt het voordat 96% van de actiniden die zich in één jaar gevormd hebben, verspleten is.

Snelle kweekreactoren nodig

Levensduurverkorting vereist bovendien snelle kweekreactoren, een type reactor zoals gepland was in Kalkar. Deze snelle kweekreactor is in de jaren negentig na een investering van enkele miljarden euro's omgebouwd tot pretpark, omdat het kweekproces onrijp en te duur was.⁷⁸⁴ We krijgen dan de situatie dat ergens een Kalkar-centrale gebouwd moet worden om de langlevende radioactieve stoffen van de kerncentrales Borssele en Dodewaard te behandelen.

Snelle kweekreactoren zijn er wereldwijd overigens nauwelijks, hoewel kweekreactoren al tientallen jaren worden geprezen als de reactoren van de toekomst.⁷⁸⁵ Deze verwachtingen zijn echter niet uitgekomen. Wereldwijd zijn anno 2024 slechts twee snelle kweekreactoren in bedrijf, beide in Rusland, de BN-600 en de BN-800, samen 1400 Megawatt.⁷⁸⁶ En: “Zonder kweekreactoren loopt kernenergie het gevaar niet meer te zijn dan een strovuur,” was in oktober 1988 de stelling van Remy Carle, destijds algemeen directeur van het Franse elektriciteitsbedrijf EDF.⁷⁸⁷

Het IAEA publiceerde in 1980 uitgebreide documentatie over de toekomst van kernenergie. Het ging om het INFCE-rapport (International Nuclear Fuel Cycle Evaluation).⁷⁸⁸ Kweekreactoren hadden volgens dit rapport een grote toekomst. In 1980 bedroeg het opgesteld vermogen van kweekreactoren wereldwijd 1.170 Megawatt en dat zou toenemen naar 24.000 tot 42.000 Megawatt in het jaar 2000, terwijl 200.000 Megawatt-kweekreactoren in 2005 genoemd werden. De werkelijkheid laat een ander beeld zien.

De Amerikaanse Experimental Breeder Reactor-II (EBR-II) met een vermogen van 62 Megawatt was in bedrijf van 1961 tot 1994. De EBR leverde elektriciteit en werd in de jaren tachtig gebruikt voor onderzoek naar de Integral Fast Reactor, die in de VS werd beschouwd als het toekomstige type reactor. In 1994 besloot president Clinton zowel te stoppen met de EBR-II als met de ontwikkeling van de Integral Fast Reactor. De EBR-II is niet afgebroken, maar via beton van de buitenwereld afgesloten; een proces dat in juni 2015 werd voltooid en 730 miljoen dollar heeft gekost.⁷⁸⁹

In Schotland was de DFR (Dounreay Fast Reactor) met een vermogen van 14 Megawatt in bedrijf van 1959 tot 1977. Vanaf mei 2015 werd het kweekmateriaal vanuit de reactor vervoerd naar Sellafield en het laatste transport is gepland voor eind 2017. Wanneer de reactor zal worden afgebroken is onbekend.⁷⁹⁰ In augustus 2016 was al het hoogradioactieve koelmiddel (het gaat om 68 ton) uit het primaire circuit verwijderd. Daar is tien jaar aan gewerkt. Het koelmiddel was een mengsel van natrium en kalium, dat tijdens het bedrijf van de kweekreactor radioactief besmet werd met splijtingsproducten. Er is een speciale techniek ontwikkeld om die splijtingsproducten eruit te halen.⁷⁹¹

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. Het Franse kernenergieconcern Areva heeft op 1 december 2015 een contract getekend voor de eerste fase van de ontmanteling van de Superphenix kweekreactor. Volgens de exploitant EDF gaat het om een contract van tientallen miljoenen euro tot eind 2024. De reactor is sterk radioactief en vanwege de stralingsdosis gebruikt Areva uitsluitend speciaal ontwikkelde robots en andere op afstand bedienbare apparatuur om de componenten binnen in het reactorvat in stukken te zagen.⁷⁹²

De Japanse snelle kweekreactor Monju (250 Megawatt) heeft in 1994 en 1995 in totaal 205 dagen gedraaid. De Japanse regering besloot in december 2016 om de centrale niet meer op te starten. De ontmanteling zal 30 jaar duren en 375 miljard yen (omgerekend 3,2 miljard dollar) kosten.^{793 794}

De Russische BN-600 (Beloyarsk- eenheid 3; 600 Megawatt, begon in 1980) was daarmee lange tijd wereldwijd de enige kweekreactor in bedrijf, maar daar kwam op 11 december 2015 de BN-800 (Beloyarsk- eenheid 4; 800 Megawatt) bij.^{795 796 797 798} De BN-800 is een proefreactor en verschilt van de vorige kweekreactoren. Het doel is niet om economisch rendabele stroom op te wekken, maar om ervaring op te doen voor een vervolgreactor, de BN-1200, zo bleek in april 2015.⁷⁹⁹ Medio augustus 2016 heeft deze reactor voor het eerst op 100% van het vermogen gedraaid en heeft hij in 2016 zo'n 3,5 miljard kWh geproduceerd.⁸⁰⁰ Rusland had aanvankelijk gepland om in 2025 de BN-1200 in bedrijf te nemen, maar heeft in april 2015 besloten om de bouw voor onbepaalde tijd uit te stellen en eerst de economische levensvatbaarheid van deze kweekreactor te verbeteren.^{801 802 803}

Opwerkingsfabrieken nodig

Bovendien moeten opwerkingsfabrieken gebouwd worden die veel geavanceerder zijn dan de fabrieken die vanaf 1960 gepland waren of in bedrijf kwamen. Deze opwerkingsfabrieken hadden regelmatig te kampen met storingen.

De opwerkingsfabriek in Mol (België) was van 1964 tot 1973 in bedrijf.⁸⁰⁴

De Engelse THORP sloot in 2018.^{805 806} THORP begon in 1994 en had veel problemen, zodat de fabriek vaak stillag; omgerekend 6 van de 21 bedrijfsjaren.⁸⁰⁷ De eveneens Engelse Magnox-fabriek sloot in 2022.⁸⁰⁸

In de Verenigde Staten ging het om drie opwerkingsfabrieken: West Valley is van 1966 tot 1972 in bedrijf geweest, terwijl die bij Morris en Barnwell niet in bedrijf zijn gekomen.⁸⁰⁹ In Duitsland was de Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe van 1971 tot 1990 in bedrijf, terwijl de geplande bouw van opwerkingsfabrieken bij Wackersdorf en Gorleben niet doorgegaan is.^{810 811 812}

De Tokai opwerkingsfabriek in Japan die in 1981 in bedrijf kwam, is in 2014 gesloten.⁸¹³

De bouw van de Rokkasho opwerkingsfabriek, ook in Japan, begon in 1993, waarna de fabriek in 1997 in bedrijf zou komen. De exploitant, Japan Nuclear Fuel Limited (JNFL), deelde eind oktober 2014 mee dat de fabriek in maart 2016 in bedrijf zou komen en in 2019 op vol vermogen zou kunnen draaien (800 ton per jaar).⁸¹⁴ Op 1 april 2024 maakte JNFL bekend dat het de vraag is of de fabriek in juni 2024 in bedrijf kan komen.⁸¹⁵

In Frankrijk was bij Marcoule een opwerkingsfabriek in bedrijf vanaf 1958 tot 1997, aanvankelijk vooral voor plutonium voor kernwapens.⁸¹⁶

Anno 2024 betekent het dat wereldwijd twee fabrieken in bedrijf zijn voor de opwerking van brandstofelementen zoals die van de kerncentrale Borssele: La Hague in Frankrijk en Mayak in Rusland.⁸¹⁷

In de huidige fabrieken worden uranium en plutonium uit de gebruikte brandstof gehaald, maar voor levensduurverkortening moeten alle radioactieve stoffen met een lange halfwaardetijd afzonderlijk worden afgescheiden van de rest. Dergelijke fabrieken bestaan niet en er zijn ook geen vergunningaanvragen om dergelijke fabrieken te bouwen.

Conclusie

Al met al is de conclusie dat het op dit moment technisch gezien niet mogelijk is om de levensduur van het kernafval te verkorten. Hooguit zijn er proefopstellingen op deelgebieden, maar een grootschalige toepassing bestaat niet.

11. Te weinig geld opzijgelegd

Er is niet genoeg geld opzij gelegd om de opslag van radioactief afval te kunnen betalen uit het zogeheten Waarborgfonds Eindberging. In dit fonds zit 119 miljoen euro, terwijl 2,23 miljard euro nodig is. Daarmee is opslag van radioactief afval een financieel risico geworden. De regering wil dit risico doorschuiven naar toekomstige generaties.

11.1 2,23 miljard euro nodig, 119 miljoen euro in kas

De kerncentrale Dodewaard was in bedrijf van 1969-1997, terwijl de kerncentrale Borssele in 1973 de eerste stroom opwekte. De afspraak was dat jaarlijks geld gereserveerd zou worden om de opslag van het radioactieve afval te kunnen betalen. Dat geld ging naar het Waarborgfonds Eindberging.⁸¹⁸

Minister Schultz van Haegen van Infrastructuur en Milieu gaf op 18 september 2015 voor het eerst inzage in de omvang van dit fonds. Op 31 december 2014 ging het om 68 miljoen euro.⁸¹⁹ Blijkbaar was in de afgelopen 46 jaar door de exploitanten van de kerncentrales Dodewaard en Borssele niet veel geld opzijgelegd voor de eindberging. De minister stelde:

“De kosten voor het voorbereiden, aanleggen, exploiteren en sluiten van een geologische eindberging worden op circa 2 miljard euro geschat.”⁸²⁰ Twee derde van dit bedrag is nodig voor de opslag van hoogradioactief afval van de kerncentrales Dodewaard en Borssele.⁸²¹

Op 29 juni 2017 stelde minister Schultz van Haegen nog eens dat de eindberging 2 miljard euro gaat kosten, terwijl het fonds voor eindberging eind 2016 was gegroeid naar 89 miljoen euro.⁸²² De COVRA schreef op 9 mei 2023 dat eind 2022 een bedrag van 119 miljoen euro gereserveerd was voor de eindberging, terwijl deze berging naar verwachting 2,23 miljard euro gaat kosten.⁸²³

In vijf jaar tijd is derhalve 30 miljoen euro extra gereserveerd voor de eindberging, terwijl de kosten daarvan naar verwachting met 230 miljoen euro zullen stijgen.

Omdat twee derde van de kosten van eindberging nodig is voor de opslag van hoogradioactief afval van vooral de kerncentrale Borssele, zou het voor de hand liggen dat EPZ het hier genoemde tekort grotendeels zou moeten betalen. Maar zo is het niet geregeld en daarom is hier sprake van een verborgen subsidie voor de kerncentrale.

11.2 Geld moet groeien ...

Hoe moet het gat tussen 119 miljoen en 2,23 miljard euro worden overbrugd? Volgens de regering is in Nederland te weinig radioactief afval om een ondergrondse berging van het afval economisch aantrekkelijk te maken.⁸²⁴ In feite geeft de regering hiermee aan dat er te weinig kerncentrales zijn. Om toch voldoende geld te hebben voor de eindopslag zijn er vier mogelijkheden. De eerste is dat met name de exploitant van de kerncentrale Borssele het tekort dekt. De regering noemt een tweede mogelijkheid, namelijk wachten met de opslag, opdat rendement behaald wordt over het geld dat opzij gelegd is. Daarbij gaat het in haar visie om meer dan honderd jaar bovengrondse opslag bij de COVRA bij Vlissingen.⁸²⁵ Het idee hierbij is dat er jaar op jaar rendement wordt behaald op het geld dat opzij is gelegd. De regering zei hierover op 26 maart 2015 en op 29 juni 2017, dat de COVRA jaarlijks een renteopbrengst moet realiseren van 4,3% (er wordt uitgegaan van een gemiddelde inflatie van 2% en een reële rente van 2,3%) om de eindberging in 2130 te kunnen betalen.^{826 827} De COVRA schreef op 9 mei 2023 eveneens jaarlijks 4,3% als uitgangspunt te nemen. Maar dat rendement wordt niet gehaald, blijkt onder meer uit documenten die de Stichting Laka, het documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie in Amsterdam, via de Wet Open Overheid (WOO, de opvolger van de Wet Openbaarheid van Bestuur (WOB)) in handen heeft gekregen.⁸²⁸ Minister Schultz van Haegen stelde hierover op 18 september 2015: “De afgelopen jaren blijft het behaalde rendement achter bij de gestelde doelen.”⁸²⁹

De derde mogelijkheid is samen met andere landen radioactief afval opslaan, hetgeen dan ook in Nederland zou kunnen plaatsvinden. De regering houdt beide opties open, maar gaat er in haar plannen van uit dat de beslissing pas veel later deze eeuw genomen hoeft te worden, ook over de mogelijkheid van internationale opslag.⁸³⁰ De vierde mogelijkheid is de bouw van nieuwe kerncentrales.

11.3 ... maar doet dat niet voldoende

Dat het vereiste rendement niet wordt behaald veroorzaakt een groot probleem, zoals blijkt uit de volgende korte uitleg. De regering wil over 100 jaar kernafval ondergronds opslaan en legt nu geld opzij. Hoeveel is dat geld van nu over 100 jaar waard?

Stel: ik heb 1 euro en zet dit bedrag op de bank tegen 3,5% rente. Hoeveel euro heb ik dan na 100 jaar? Een sommetje leert me dat het bedrag elke 20 jaar verdubbelt. Na 20 jaar heb ik 2 euro, na 40 jaar 4 euro en na 60 jaar 8 euro. Na 100 jaar heb ik dan 32 euro.

Als ik de eerste 20 jaar geen rendement behaal over 1 euro en dan nog maar 0,8 euro heb, kom ik na 100 jaar uit op 12,8 euro. En dat is veel minder dan 32 euro.

Dit rekenvoorbeeld geeft het probleem aan. Het fonds waarin geld voor opslag van kernafval is gestort, heeft niet genoeg rendement: “Door de dalende beleggingsresultaten blijft de groei van het eindbergingsfonds achter bij de gestelde doelen en veroorzaakt negatieve resultaten.”⁸³¹

Zo komt het bedrag dat over 100 jaar nodig is bij lange na niet beschikbaar. De regering heeft daarom met de COVRA de afspraak gemaakt dat de COVRA het tekort aanvult in het geval de rente niet gerealiseerd wordt. Daardoor leed de COVRA in 2013 een verlies van 2,9 miljoen euro en in 2014 van 1,5 miljoen euro. Het eigen vermogen daalde van 9,9 miljoen euro in 2012 naar 5,5 miljoen euro in 2014 en via 4 miljoen euro in 2015 naar een negatief

eigen vermogen van 1,2 miljoen euro eind 2016.^{832 833 834 835} In 2018 was het eigen vermogen negatief (-8 miljoen euro) en dat werd plus 8 miljoen euro in 2019, plus 7 miljoen euro in 2020 en plus 50 miljoen euro in 2021; maar in 2022 was het eigen vermogen 13 miljoen euro negatief.⁸³⁶

De COVRA kan niet structureel interen op haar eigen vermogen, dan gaat het bedrijf failliet. De COVRA heeft daar een andere kijk op, blijktens het Jaarrapport over 2022: “Fluctuaties en minder goede beursjaren horen bij beleggen. De langetermijn-beleggingshorizon van de COVRA helpt om deze schommelingen op te vangen. De COVRA houdt daarom vast aan haar langetermijn-beleggingsstrategie.”⁸³⁷ Maar hoe kan de COVRA weten dat de beurskoersen op de lange termijn alleen maar zullen stijgen? Daarvoor geeft de COVRA geen argumenten en dat is de reden dat de eindopslag van kernafval een financieel risico is.

In inspraakreacties op het Nationaal Programma radioactief afval is gewezen op deze financiële problemen. De regering gaat daar echter niet op in, maar herhaalt eerdere uitspraken als “De vervuiler betaalt” en “Het doel is om (...) de kosten te dekken voor het voorbereiden, aanleggen, exploiteren en sluiten van een geologische eindberging na de periode van bovengrondse opslag. Zodoende worden financiële middelen gereserveerd om in de toekomst die eindberging mogelijk te maken.”⁸³⁸

De Commissie voor de milieueffectrapportage (Cmer) haalde deze kwesties ook aan in haar advies van 26 november 2015.⁸³⁹ Het Nationaal Programma is volgens de commissie gebaseerd op “een optimistisch toekomstscenario, namelijk: een toekomst waarin het benodigde geld beschikbaar komt en waarin in gezamenlijke harmonie en met draagvlak een bergingslocatie wordt aangewezen, ingericht en in gebruik genomen.”⁸⁴⁰ Dat optimisme deelde de Cmer niet.

De Cmer “doet aanbevelingen over concrete acties op korte termijn, zoals over het veilig stellen van de financiering, het reserveren van bergingslocaties en het organiseren van publieksparticipatie.”⁸⁴¹ En: “Bij het formuleren van aanbevelingen concentreert de Commissie zich op zaken die naar haar oordeel in de eerste periode van drie jaar kunnen worden onderzocht en beoordeeld, en waarvoor meetbare acties in het programma zouden moeten worden geformuleerd.” Het gaat daarbij om “het in beeld brengen van de (onzekerheden in de) financiering van de eindberging (en) het reserveren van potentieel geschikte zoekgebieden voor berging van radioactief afval, analoog aan wat is gebeurd bij het waarborgingsbeleid vestigingsplaatsen kerncentrales.”⁸⁴²

Het waarborgingsbeleid voor een kerncentrale aan bijvoorbeeld de Eemshaven kwam neer op een verbod op alles wat de vestiging van die kerncentrale onmogelijk maakte.^{843 844} Dat zou ook moeten gelden voor mogelijke opslagplaatsen voor radioactief afval.

Minister Schultz van Haegen reageerde op de voorstellen van de Cmer met: “Dit is een waardevol advies. Het zal worden betrokken bij de voorbereiding op de actualisatie van het Nationaal Programma in 2025.”⁸⁴⁵ Daarmee werd de besluitvorming doorgeschoven naar 2025.

Op 24 juni 2016 schreef minister Schulz van Haegen in de eindversie van het Nationaal Programma: “Uiteindelijk dienen latere generaties rond het jaar 2100, met actuele technologie en inzichten, een goed onderbouwd besluit te kunnen nemen over het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstof op de lange termijn. Door deze generaties te voorzien van de benodigde - financiële - middelen om een eindberging te realiseren en tegelijkertijd flexibel te laten zijn in de wijze van eindberging door nu geen onomkeerbare besluiten te nemen, wordt hun de vrijheid gegeven te kiezen voor de beste beheerroute voor dat moment zonder daarbij

onredelijke lasten bij hen neer te leggen.”⁸⁴⁶ Dat een miljardentekort dreigt komt niet aan de orde.

12. Kernafval en kernethiek

Het thema ethiek komt steeds vaker voor in beschouwingen over omgaan met kernafval. Daarover heb ik met een medeauteur begin 2000 het rapport “Kernafval en Kernethiek” uitgebracht.^{847 848}

In veel discussies over kernafval is vaak impliciet een utilitaristische redenering aan de orde. In dit type ethische redeneringen worden geluk en lijden, lasten en baten tegen elkaar afgewogen. Voorts is verondersteld dat het heden zwaarder weegt dan de toekomst: we kunnen immers het geluk en het lijden van toekomstige mensen moeilijker vaststellen dan dat van mensen die nu leven. Vanwege deze onzekerheid tellen mensen die nu leven voor honderd procent mee en wegen toekomstige mensenlevens minder zwaar. Jaarlijks gaat er een bepaald percentage af. Dit heet discontering. Het is een manier om ernstige toekomstige gevolgen te minimaliseren.

In plaats van de utilitaristische redenering kiezen we voor wat we rechtvaardigheidsethiek noemen. Het gaat hier om ‘kernethiek’, een bundel elementaire ethische standaarden. Dit zijn waarden die voor de gehele mensheid op alle plaatsen en elk moment kunnen gelden. De Universele Verklaring van de Rechten van de Mens is daar een van de beste voorbeelden van. Op basis van deze ethiek moet rekening gehouden worden met toekomstige generaties en kan zoiets als bovengenoemde discontering niet aan de orde zijn. Gegeven deze rechtvaardigheidsethiek zouden mensen in de toekomst even goed af moeten zijn en evenveel gewicht in de schaal moeten leggen als de mensen van nu.

Opslag van kernafval moet voor de huidige generatie rechtvaardig zijn. Dat is een lastige kwestie met vele klippen. In de eerste plaats zijn de mensen die er voordeel van hebben niet altijd dezelfde als de mensen die er nadelen van ondervinden. De kernindustrie pleit voor compenserende maatregelen om deze nadelen op te heffen. Dan zou de opslag wel rechtvaardig zijn. Maar compensatie van bewoners van opslaglocaties om de lasten eerlijker te verdelen blijkt niet zonder meer te werken. Uit onderzoek komt naar voren dat de bevolking een aanbod tot compensatie juist beschouwt als een signaal dat er gevaar dreigt en dat de overheid de bevolking wil omkopen. Het aanbod tot compensatie kan verzet tegen opslag van kernafval juist aanwakkeren.

Door opslag van kernafval kan in de toekomst schade optreden. Toekomstige generaties hebben geen enkel voordeel van de opslag. Dat maakt de toepassing van het rechtvaardigheidsbeginsel lastig: toekomstige generaties zijn slechter af dan wij. Rechtvaardigheid houdt hier dus in dat we bereid zijn verantwoordelijkheid te dragen voor de gevolgen van ons handelen. Bij kernafval gaat het echter om verantwoordelijkheid gedurende honderdduizenden jaren.

Vanuit de keuze voor dit ethische uitgangspunt is dan de vraag: is de productie en opslag van kernafval te rechtvaardigen en kunnen we de verantwoordelijkheid voor deze lange periode inhoud geven? In dit rapport tonen we aan dat het kernafvalprobleem wereldwijd niet is opgelost en dat ook de modellen waarmee men toekomstige gevolgen berekent, zijn omgeven door vele onzekerheden. Daarom is kernafval een last die kwaad kan. Naast die last staat dure elektriciteit, die bij een andere maatschappelijke keuze overbodig zou zijn. De kerncentrale Borssele is speciaal gebouwd voor de aluminiumfabriek Pechiney. Indien deze fabriek aluminium niet uit aluinaarde maar uit schroot zou produceren, zou dit 95% van de gebruikte stroom overbodig maken. Dit gegeven maakt het extra moeilijk om de productie van kernafval te rechtvaardigen.

Men kan zich echter een redenering voorstellen waarmee kernenergie gerechtvaardigd zou kunnen worden, omdat hiermee een nog groter kwaad - het broeikaseffect door het verstoken

van fossiele brandstoffen - zou kunnen worden voorkomen. In plaats van het broeikas effect erven toekomstige generaties dan kernafval: het gaat dan om een keuze uit twee kwaden. Kernenergie is overigens niet broeikasvrij.^{849 850 851 852 853 854}

Hierbij is het goed om te bedenken dat de bijdrage van kernenergie aan de vermindering van het klimaatprobleem hoe dan ook beperkt zal zijn. Volgens het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) is kernenergie nu 2% en in het jaar 2050 tussen de 2,1 en 4,2% van het wereldwijde energiegebruik.⁸⁵⁵ Kernenergie is daarom geen remedie voor het broeikas effect en blijft hiermee een last die kwaad kan.

13. Nergens eindberging hoogradioactief afval in bedrijf

De Duitse zoutkoepel Asse in de deelstaat Nedersaksen was hét voorbeeld voor Nederland om ook kernafval in zoutkoepels op te slaan.^{856 857} In de zoutkoepel Asse stroomt echter jaarlijks 4,4 miljoen liter water naar binnen.⁸⁵⁸ Bij deze zoutkoepel en ook die in Morsleben lekken vaten met kernafval. Het kost de belastingbetaler 5 miljard euro om de vaten in Asse weer op te graven en 2,4 miljard euro om de opslagmijn in Morsleben af te dichten.^{859 860} Op 17 september 2021 heeft de Duitse overheid na 40 jaar onderzoek (kosten 1,6 miljard euro) de zoutkoepel Gorleben ongeschikt verklaard.^{861 862} De Duitse overheidsorganisatie Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) besloot vervolgens op 15 augustus 2023 de mijn die al is aangelegd, weer op te vullen met 400.000 ton zout. Dat zout is destijds uit de koepel gehaald en ligt dichtbij bovengronds.⁸⁶³ In Denemarken werden indertijd zes zoutkoepels onderzocht voor de opslag van kernafval. Ze bleken allemaal ongeschikt. Het Deense parlement bepaalde vervolgens in mei 1985 geen kerncentrales te zullen bouwen en is bij dit standpunt gebleven.⁸⁶⁴ Al in 1957 zei de Amerikaanse Academie van Wetenschappen dat het kernafval het beste in zout opgeborgen zou kunnen worden.⁸⁶⁵ De Atoom Energie Commissie ontwikkelde plannen in die richting. In 1963 werd begonnen met proefboringen in zout bij Lyons in de staat Kansas. Dat leverde ongunstige resultaten op.⁸⁶⁶ Daarop ging men op andere plaatsen in zout boren⁸⁶⁷. Vervolgens ontwikkelde de overheid een nieuw beleid. Het Amerikaanse ministerie van Energie plaatste in 1984 zout lager op de lijst. In 1985 werden zoutkoepels zelfs helemaal geschrapt, en bleef alleen nog een zoutlaag over bij Deaf Smith in de staat Texas⁸⁶⁸. Op 22 december 1987 besloot het Congres ook deze zoutlaag te schrappen.⁸⁶⁹ De ervaringen met opslag in buitenlandse zoutkoepels geven niet bepaald vertrouwen in de Nederlandse plannen.

Tabel 5.2

Vroegste tijdstip eindopslag hoogradioactief afval

Land	verwachting in 1989 ⁸⁷⁰	verwachting in 1996 ⁸⁷¹	verwachting in 2010 ⁸⁷²	verwachting in 2024 ^{873 874}
Nederland	2000	??	??	2130
België	2030	2035	2070/80	2070/80
Duitsland	2005/10	2010	2035	2080/2100 ⁸⁷⁵
Finland	2020	2020	2020	2024
Frankrijk	2010	2020	2025	2025/30
Groot-Brittannië	??	2030	2040	2075
Zweden	2020	2020	2023	2035 ⁸⁷⁶
Zwitserland	2025	2020	2040	2060
Canada	2015/25	2025	2035	2040 ⁸⁷⁷
VS.	2010	2013	??	2048
China	??	??	2050	2060

De opslagmijn WIPP (Waste Isolation Pilot Plant) in een zoutlaag in de Verenigde Staten is een militair project voor de opslag van radioactief afval van de kernwapenproductie. Daarom was de normale wettelijke vergunningprocedure hier niet van toepassing.⁸⁷⁸ Vanaf het begin was er kritiek op de veiligheid van de opslag, maar die werd door de overheid terzijde geschoven.⁸⁷⁹ In juni 2021 verscheen wederom een rapport met veel kritiek op de veiligheid van de WIPP-opslag.⁸⁸⁰ De COVRA verwijst in het onderzoeksprogramma 2020-2025 nadrukkelijk naar de Amerikaanse opslag van kernafval WIPP, als voorbeeld voor veilige eindberging van radioactief afval in zout.⁸⁸¹ Dat is echter onjuist.

De laatste jaren wordt vaak verwezen naar Finland, waar de opslag in graniet veilig zou zijn. Deze opslag zou volgens de planning in 2024 kunnen beginnen (zie tabel 5.2) en 3 miljard euro kosten.^{882 883} Voorbereidingen voor de opslag van hoog radioactief afval begonnen eind jaren-70, blijkt uit gegevens van Posiva Oy, eigendom van de twee bedrijven die kerncentrales exploiteren in Finland en van het Nucleaire Energie Agentschap te Parijs.^{884 885}⁸⁸⁶ In 1985 werden er 102 mogelijke vestigingsplaatsen geselecteerd. De lijst werd in 1987 teruggebracht naar vijf voor onderzoek. Dat resulteerde in 1992 tot onderzoek op vier plekken, waarvan twee bij de bestaande kerncentrales Loviisa en Olkiluoto. In mei 1999 vroeg Posiva Oy daarop een vergunning aan voor de opslag bij Olkiluoto in de gemeente Eurajoki. In januari 2000 stemde het bestuur van Eurajoki in met de opslag, gevolgd door goedkeuring door regering en parlement in mei 2001.⁸⁸⁷

Finland heeft hetzelfde concept voor de eindberging van radioactief afval als Zweden. Er is echter kritiek op het Zweedse opslagplan. Het kernafval moet op 500 meter diepte in het graniet komen. Volgens SKB, de organisatie die verantwoordelijk is voor opslag van kernafval in Zweden, gaat het om een stabiele granietlaag. Maar de paleogeofysicus Nils-Axel Mörner stelde al vanaf 1985 dat dit niet juist is. De laatste ijstijd eindigde zo'n 130.000 jaar geleden.⁸⁸⁸ Sindsdien kwam de aarde bij Ångermanland 800 meter omhoog en bij Stockholm 450 meter; ook waren er 58 ernstige aardbevingen en 16 tsunami's. Mede daarom vindt Mörner de opslagplaats niet stabiel en niet veilig.^{889 890} Volgens Mörner geldt zijn kritiek ook voor de geplande opslag in Finland.⁸⁹¹

In november 2009 kwam er nog een probleem bij: het gebruik van koper. Het Zweedse overheidsbeleid is erop gericht om de gebruikte brandstof van kerncentrales in graniet op te slaan. Dit kernafval wordt omhuld door een koperen laag van vijf centimeter, die 100.000 jaar intact moet blijven. Maar in een rapport van het Zweedse Koninklijk Instituut voor Technologie (KTH) in Stockholm staat dat koper niet alleen roest onder invloed van lucht, zoals algemeen wordt aangenomen, maar ook in een zuurstofvrije omgeving zoals bijvoorbeeld water. Dat blijkt uit onderzoek van koperen voorwerpen van het in 1628 gezonken Zweedse oorlogsschip Vasa: het koper is veel dunner geworden dan verwacht. Volgens Gunnar Hultquist, onderzoeker van het KTH, moeten we daarom vraagtekens zetten bij het gebruik van koper als veilige verpakking voor gebruikte brandstof van kerncentrales.^{892 893}

14. Berging hoogradioactief afval in diepe boorgaten bij Petten, Almelo of ook Borsele?

Al tientallen jaren wordt de definitieve opslag van hoogradioactief afval in diepe boorgaten naar voren gebracht als alternatief voor de berging hiervan in bijvoorbeeld zoutkoepels of kleilagen.⁸⁹⁴ Tot nu toe zijn er wel enkele proeven geweest, maar een daadwerkelijk bewijs dat het technisch en veilig kan, ontbreekt. Voordat het zover is, zijn we vele jaren verder. Omdat diepe boorgaten in beginsel op veel plekken aangelegd kunnen worden, speelt het maatschappelijk draagvlak een grote rol. Het ligt dan ook voor de hand dat voor proefnemingen in Nederland een plek gekozen wordt waar al kernenergie-activiteiten zijn, zoals bij Petten, Almelo of Borsele.

Let wel: diepe boorgaten zijn eventueel geschikt voor de berging van kernsplijtingsafval dat overblijft na opwerking van de gebruikte brandstofelementen van de kerncentrale Borssele. Voor nieuwe kerncentrales geldt zeer waarschijnlijk dat de brandstofelementen niet opgewerkt zullen worden, omdat de opwerkingsfabrieken ermee stoppen en er geen nieuwe gebouwd worden. De verpakte gebruikte brandstofelementen hebben een diameter die zeker twee keer zo groot is als die van een vat met kernsplijtingsafval. Daarom komen ze met de huidige technologie niet in aanmerking voor opslag in diepe boorgaten.

14.1 Drie diepe boorgaten

Hoogradioactief afval kan opgeslagen worden in 3 tot 5 kilometer diepe boorgaten op de locaties van huidige nucleaire installaties: Borsele en Petten. Deze opslag in diepe boorgaten is goedkoper, sneller en veiliger dan de huidige plannen om over 100 jaar het kernafval op te slaan in klei- of zoutlagen. Dit stelde Leo Van de Vate in een op 14 mei 2018 gepubliceerd rapport.⁸⁹⁵ Hij was van 1980 tot 1984 secretaris van de Stuurgroep Brede Maatschappelijke Discussie Energiebeleid en tot 2001 programmamanager van de nationale onderzoeksprogramma's OPLA en CORA, in dienst van het ministerie van Economische Zaken. Bij Borsele of Petten kan in drie diepe boorgaten eenmalig al het bestaande Nederlandse hoogradioactieve afval (99,9 % van de totale radioactiviteit) veilig worden opgeborgen, aldus het rapport. Het grote voordeel van deze locaties is volgens Van de Vate de maatschappelijke acceptatie in deze regio's: er zijn immers nucleaire installaties aanwezig. Of er draagvlak bij Borsele is, lijkt anno 2024 onzeker. Immers, het college van B&W van deze gemeente ging uit van draagvlak voor nieuwe kerncentrales, maar dat wordt nu betwist. De bestaande kerncentrale is echter minder een onderwerp van discussie. Wat betreft Petten zijn er geen analyses over het ontbreken van draagvlak voor kernenergie.

14.2 Internationale ontwikkelingen

Het plan voor berging in diepe boorgaten sluit aan bij internationale ontwikkelingen, met name in de Verenigde Staten, Groot-Brittannië, Noorwegen en Duitsland.^{896 897 898 899} Het gaat hierbij in de VS om een boorgat van 5 kilometer diepte, waarbij containers met hoogradioactief kernafval in de onderste 2 kilometer komen; daarna wordt de rest van het boorgat opgevuld met beton en asfalt.^{900 901 902 903 904 905}

De Amerikaanse onderneming Deep Isolation, gevestigd in Berkeley in de staat Californië, heeft op 23 februari 2023 een samenwerkingsverband opgezet om aan te tonen dat opslag in diepe boorgaten kan. Daarvoor zijn verschillende onderzoeksprojecten nodig die vele jaren zullen duren, zoals aantonen dat opslag met een vat zonder radioactief afval uitvoerbaar is.^{906 907 908} In Nederland heeft de COVRA op 4 november 2020 laten weten aan te sluiten bij het onderzoek naar berging in diepe boorgaten.⁹⁰⁹ Kan dat ook op het terrein van de COVRA, of is Petten of Almelo beter?

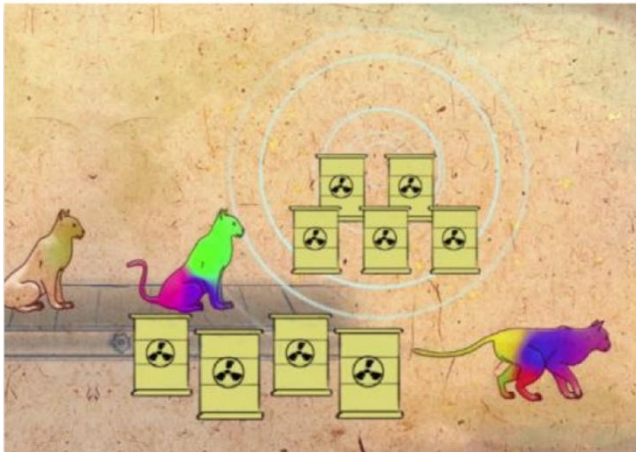
15. Waarschuwen voor gevaar opslag kernafval

Toekomstige generaties kunnen te maken krijgen met de gevaren van definitieve opslag van kernafval in de diepe ondergrond. Het radioactieve afval blijft immers een miljoen jaar gevaarlijk.^{910 911} De Amerikaanse National Academies of Sciences (NAS) heeft in 2023 een zeer uitgebreid rapport uitgebracht over zo ongeveer alle aspecten van de opslag van radioactief afval. Hierover verscheen op 23 januari 2024 een samenvatting.⁹¹²

In het rapport wordt de periode dat het kernafval gevaarlijk blijft besproken aan de hand van een methode die “gemakkelijker te begrijpen is door een niet-technisch publiek” maar “geologisch gezien niet correct is.” Deze methode komt tot een gevaarperiode van 130.000 jaar. Indien nu niet op enige schaal bestaande technieken voor de verkorting van de levensduur van het kernafval zouden kunnen worden toegepast. Dan gaat het volgens deze

rekenmethode in het gunstigste geval om 500 tot 1.500 jaar. Daarvoor is een uitgebreide infrastructuur nodig die “praktisch niet haalbaar is in de nabije toekomst”.⁹¹³ Volgens deze methode moeten we daarom uitgaan van minimaal 130.000 jaar, ook een zeer lange periode. Ook in Nederland is opslag op lange termijn niet uitgesloten. Wanneer we het beginsel ‘rechtvaardigheid’ in acht nemen, dan is het onze verantwoordelijkheid de mensen in de toekomst van de opslagplaatsen weg te houden.

Figuur 5.3
Stralingskatten en radioactiviteit



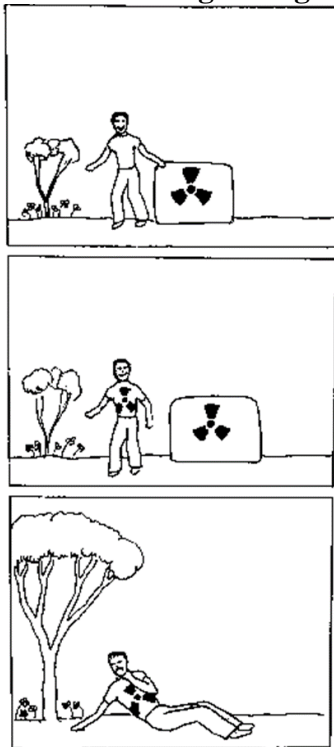
Bron: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_15088/preservation-of-records-knowledge-and-memory-across-generations-final-report, 2019.

Bij het doorgeven van kennis aan toekomstige generaties moeten we ervoor zorgen dat geen belangrijke feiten of gegevens verloren gaan. Het kennisniveau moet stabiel blijven. Men moet voorkomen dat kennis wordt vergeten of vernietigd of in een andere context een andere betekenis krijgt. Dit is een onderwerp waar in Nederland weinig aandacht voor bestaat, hoewel dat wel vereist is volgens artikel 12.e van een Richtlijn van de Europese Commissie uit 2011.⁹¹⁴ Neem als voorbeeld de eerste generaties computers, met grote floppy's om de tekst op te bewaren. Op die floppy's staan teksten, maar er zijn geen computers meer waar men die floppy's in kan stoppen. En daarmee wordt veel informatie ontoegankelijk gemaakt. Bij opslag van kernafval zullen we daarom met de noodzaak van het bewaren van kennis rekening moeten houden. In verschillende landen wordt vanaf begin jaren tachtig op dit onderwerp gestudeerd. In opdracht van het Amerikaanse ministerie van Energie ontwierpen Françoise Bastide en Paolo Fabbri in 1981 het idee van een stralingskat, die verkleurt onder invloed van radioactiviteit (zie figuur 5.3).^{915 916}

In een rapport uit 1993 ging het vooral over het waarschuwen van mensen (zie figuur 5.4).⁹¹⁷ De Amerikaanse overheidsinstelling Environmental Protection Agency (EPA) stelde in 1998 aan de hand van eerdere studies dat extra maatregelen nodig zijn: permanente markering van de opslagplaats, het bewaren van gegevens in openbare archieven en andere methoden om de kennis te kunnen behouden over plaats, ontwerp en inhoud van een opslagsysteem van kernafval. Hoe dit moet is sindsdien wereldwijd voorwerp van studie, bijvoorbeeld door het Radioactive Waste Management Committee van het Nuclear Energy Agency (NEA). Het NEA heeft hierover in 2014, 2019 en 2023 rapporten uitgebracht.^{918 919 920 921 922 923 924 925 926}

^{927 928 929 930 931 932 933 934 935} Tot nu toe zijn echter geen conclusies getrokken over of en zo ja hoe we kunnen communiceren met toekomstige generaties.⁹³⁶ De Duitse overheidsorganisatie Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) liet op 13 maart 2024 weten dat behoud van kennis over kernafval, inclusief het hier genoemde idee van stralingskatten, een centraal beleidsthema is.⁹³⁷

Figuur 5.4
Waarschuwen tegen de gevaren van straling



Bron: <https://www.osti.gov/biblio/10117359>, 1 november 1993.

16. Denemarken als goed voorbeeld

Denemarken is het enige land waar de overheid eerst heeft onderzocht óf er wel een oplossing voor het kernsplijtingsafval mogelijk was, voordat men een besluit zou nemen om al dan niet kerncentrales te bouwen en zo kernafval te produceren.

De Deense elektriciteitsbedrijven Elsam en Elkraft hebben in 1979 en 1980 zes zoutkoepels bestudeerd. Daarvan vielen er vijf om verschillende redenen af. De inwendige structuur van de koepels Sevel en Parup was zo ingewikkeld dat men ze ongeschikt achtte. In de zoutkoepel bij Gording werd een kilometerslange breuk geconstateerd. Bij een boring in de zoutkoepel Linde stond men voor een raadsel: men had zout verwacht op 1.200 meter, maar vond het pas op 2.200 meter.

Er bleef derhalve nog maar één geschikte zoutkoepel over, die in Mors. Hier werden twee boringen verricht. Bij de eerste boring werden o.a. voor opslag ongunstige kalium-magnesiumzouten aangetroffen. De Deense Geologische Dienst (DGU) toonde in een rapport van december 1982 aan dat de omgeving van de plaats waar de proefboring werd gehouden, ongeschikt was voor opslag van kernafval omdat men er pekelbellen en gasinsluitingen kon verwachten.⁹³⁸ De sociaaldemocratische partij van Denemarken besloot daarop in 1984 af te zien van kernenergie. Het Deense parlement bepaalde vervolgens in mei 1985 geen kerncentrales te zullen bouwen en is bij dit standpunt gebleven.⁹³⁹ Bij dit besluit hebben de negatieve resultaten van de proefboringen in zoutkoepels een belangrijke rol gespeeld. Denemarken besloot in te zetten op windenergie. In 2020 kwam 46% van het Deense elektriciteitsgebruik uit windenergie.⁹⁴⁰

17. Kernafval of waterstof in zoutkoepels?

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat liet op 10 januari 2022 weten dat ondergrondse opslag van waterstof “een belangrijke en noodzakelijke technologie (zal, H.D.)

zijn voor het behouden van de vraag-aanbodbalans in het toekomstige energiesysteem. In 2030 zal de behoefte aan waterstofopslag nog beperkt van omvang zijn en inpasbaar in de capaciteit van 1-4 zoutcavernes. De benodigde opslagcapaciteit tussen 2030 en 2050 zal fors toenemen. Afhankelijk van hoe waterstof wordt toegepast en de mate waarin andere flexibiliteitsopties worden ingezet, kunnen de opslagcapaciteiten variëren tussen 17 tot mogelijk meer dan 200 zoutcavernes. Om praktische redenen is dit niet mogelijk en TNO en Energie Beheer Nederland (EBN) gaan ervan uit dat maximaal 60 zoutcavernes realiseerbaar zijn tussen 2030 en 2050.⁹⁴¹ Hiervoor zijn naast de zoutkoepel Zuidwending ook twee andere zoutkoepels nodig. Maar omdat de wereld naar we hopen niet stopt in het jaar 2050 gaat het bij de genoemde toekomstige 200 cavernes om nog eens twee zoutkoepels. Zie tabel 5.3. Daarom is het van groot belang een keuze te maken en alle zoutkoepels te reserveren voor de opslag van waterstof. Alleen op die manier wordt de uitbouw van de waterstofeconomie in Noord-Nederland niet belemmerd door plannen voor opslag van kernafval in zoutkoepels.

Tabel 5.3
Genoemde opslagmogelijkheden zoutkoepels^{942 943 944}

Zoutkoepel	Kernafval	Waterstof
Anloo	X	X
Bourtange	X	X
Gasselte	X	X
Hooghalen	X	X
Onstwedde	X	X
Pieterburen	X	X
Schoonloo	X	X
Ternaard	X	X

18. Kernafval als batterij voor horloges of voor verwarming?

Met enige regelmaat wordt gesteld dat kernafval geschikt is als toepassing voor bijvoorbeeld batterijen voor horloges of voor verwarming van huizen. Maar praktisch gezien valt hier heel wat op af te dingen en gaat het om één van de vele radioactieve stoffen in kernafval.

In 2017 en 2018 verschenen artikelen over nucleaire batterijen die geschikt zouden zijn voor onder meer horloges. Die batterijen zouden zo nuttig gebruik maken van kernafval. Zo ontwikkelden Russische onderzoekers een nucleaire batterij ontwikkeld die per gram 10 keer meer energie levert dan de bestaande knoopcelbatterij. De batterij heeft een levensduur van vele tientallen jaren. De nucleaire batterij gebruikt nikkel-63 als radioactieve bron. Het probleem hierbij is dat nikkel-63 niet gemakkelijk beschikbaar komt.⁹⁴⁵

Het Chinese bedrijf Betavolt New Energy Technology ontwikkelt een batterij die bestaat uit een combinatie nikkel-63 en een diamanthalfgeleider, bleek in januari 2024. Betavolt verwacht dat het in 2025 een versie heeft die 1 watt kan produceren, geschikt voor bijvoorbeeld mobieltjes.⁹⁴⁶

In Engeland ging het om een nucleaire batterij die ingekapseld zit in de diamant. De energie van een diamantbatterij is afkomstig van kernafval van koolstof-14. Deze stof ontstaat in grafietstaven die gebruikt worden in Engelse gasgekoelde reactoren.⁹⁴⁷ Het gaat hier dus wel om een radioactieve stof, maar niet om radioactief afval van de gebruikte brandstofelementen van kerncentrales.

De huidige aandacht voor kernafval als iets positiefs is overigens niet nieuw. Zo beschreef David Fischer, die van 1954 tot 1981 werkte bij het Internationaal Atoom Energie Agentschap, in zijn in 1992 verschenen boek ‘ Stopping the Spread of Nuclear Weapons’,

dat er in 1954 serieuze plannen waren voor verwarming van huizen via radioactief afval. Het in glas ingesmolten kernsplijtingsafval zou door de warmte die het afgeeft, de huizen kunnen verwarmen.⁹⁴⁸ In de praktijk is hier echter niets van terechtgekomen.

19. Zeggenschap plaatselijke bevolking bij opslag kernafval in zoutkoepels?

De plaatselijke bevolking moet geen zeggenschap krijgen over de opslag van kernafval in zoutkoepels. Dat staat in een op 25 januari 2024 verschenen rapport van het Rathenau Instituut in Den Haag.⁹⁴⁹ Het rapport is gemaakt door Sanne Akerboom, jurist aan de Universiteit Utrecht.⁹⁵⁰

Het Rathenau Instituut houdt zich bezig met een advies aan de regering over de definitieve opslag van kernafval en heeft daarvoor een aantal rapporten gemaakt. Het nieuwste rapport gaat over bevoegdheden en besluitvorming. Akerboom geeft aan dat verschillende locaties in aanmerking kunnen komen voor de opslag. Ze schrijft: “Het is van belang op nationaal niveau afwegingen voor de locatiekeuze te maken, en aan de hand van die afwegingen verschillende locaties naast elkaar te leggen. Zo kunnen meerdere locaties in verschillende provincies als potentiële eindbergingslocatie naar voren komen.”

Wat te doen? Akerboom geeft aan dat de regering dan aan zet is: “De afweging tussen die locaties ontstijgt daarmee het provinciale afwegingskader en belang.” En: “Om dergelijke processen goed te kunnen coördineren, bestaat de Rijkscoördinatieregeling (...) die bepaalt dat de verwezenlijking van een bepaald onderdeel van nationaal ruimtelijk beleid onder de verantwoordelijkheid van de minister valt.”

Echter, vervolgt Akerboom, in de huidige wet staat niet dat bij de eindberging de Rijkscoördinatieregeling van toepassing is. Maar omdat ze het aannemelijk vindt dat die regeling wel toegepast moet worden, “verdient het aanbeveling dit minstens bij besluit te regelen, zo niet bij wet vast te leggen.”

Akerboom en daarmee het Rathenau Instituut pleiten ervoor om de plaatselijke bevolking geen zeggenschap te geven over de opslag van kernafval in zoutkoepels. Men had beter kunnen weten. Al in 2017 schreef prof. dr. Herman Bröring van de vakgroep staatsrecht, bestuursrecht en bestuurskunde van de Rijksuniversiteit Groningen: “Gebruikmaking van de Rijkscoördinatieregeling (RCR) drukt met name de lokale overheden in een hoek.”⁹⁵¹ Dat geldt des te meer voor de bevolking.

Genoemd rapport maakt onderdeel uit van een aantal rapporten van het Rathenau Instituut over de opslag van kernafval. Met die rapporten wil het Rathenau Instituut advies geven aan de regering. Maar is dit wel een goed voorstel of is het van groot democratisch belang dat juist de plaatselijke bevolking medezeggenschap krijgt?

We hebben Akerboom gevraagd om een reactie op bovenstaande, maar ze heeft - ondanks aandringen - niet gereageerd.

20. Kernafval 300 jaar bovengronds?

Verlenging van de bovengrondse opslag van 100 naar 300 jaar is voor een deel van het kernafval “technisch goed mogelijk.” Dat stelde KEMA-Nucleair in een rapport dat in 1998 verschenen is in opdracht van een overheidscommissie. Het gaat hier om licht- en middelradioactief afval, niet om hoogradioactief kernsplijtingsafval. Verlenging van de bovengrondse opslag vergt wel meer onderhoudswerkzaamheden en vervanging van gebouwen.^{952 953} Het thema kwam eind vorig jaar weer aan de orde. Medewerkers van het Rathenau instituut maken, in opdracht van de regering, een advies over de berging van kernafval. Ze stelden op 20 december 2023: “Voor het laag- en middelradioactief afval, waar we ook steeds meer van krijgen, is ondergrondse berging een relatief dure optie. Financieel kan het wel eens veel aantrekkelijker zijn om dat bovengronds op te slaan voor een periode van 300 jaar.”⁹⁵⁴ Maar is dat ethisch verantwoord?

Laag- en middelradioactief afval

Alle Nederlandse kernafval gaat naar de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) in Zeeland. Bij de COVRA staan gebouwen voor laag- en middelradioactief afval. Uit het onderzoek van de KEMA volgt dat deze gebouwen te renoveren zijn en dan 300 jaar mee kunnen gaan. Nieuwbouw en renovatie kosten geld, maar daar staan besparingen tegenover, stond in het onderzoek. Dat komt door het verval van radioactieve stoffen. De bulk van het afval is laag- en middelradioactief. De radioactiviteit daarvan vermindert na 100 jaar met een factor 10 en na 300 jaar met een factor 1000. Daarom hoeft bijna al dit afval niet meer naar een definitieve opberging in ondergrondse zoutkoepels of kleilagen. De aanleg van een ondergrondse opslagmijn kan daarom eenvoudiger, rekende de KEMA voor.

Hoogradioactief afval

Het opslaggebouw voor hoogradioactief afval, het zogeheten HABOG-gebouw, bestaat uit zes opslag-eenheden, de modules. Uitgangspunt bij de bouw is dat de modules 100 jaar meegaan. Ze kunnen niet gerenoveerd worden en moeten daarom na 100 jaar opnieuw gebouwd worden, staat in het KEMA-rapport.

Over de problemen met de langdurige bovengrondse opslag van de uitgewerkte brandstofelementen van Duitse kerncentrales is op 23 juni 2023 een conferentie gehouden. Daarin werd een groot aantal veiligheidsproblemen behandeld, waarvan we hier enkele voorbeelden geven.

De uitgewerkte brandstofelementen worden tijdelijk bewaard in zogeheten Castor-containers. Radioactiviteit en warmteontwikkeling zorgen ervoor dat de containers, afdichtingen en ondersteunende structuren voor het kernafval verouderen; ze worden broos en instabiel. Chemische reacties kunnen het materiaal ook aantasten. Langere tussentijdse opslag dan de aanvankelijk geplande veertig jaar leidt ook tot aanzienlijk hogere eisen aan de Castor-containers. Ze zullen veel langer worden blootgesteld aan radioactieve straling en hoge temperaturen. Dit laat sporen achter op de containers. Aan het einde van de opslagperiode moeten ze nog kunnen worden opengemaakt en vervoerd. Of dat kan is de vraag.⁹⁵⁵ Immers, naarmate de bovengrondse opslagperiode langer wordt, zullen het materiaal en de staat van de onderdelen van de container veranderen als gevolg van veroudering. Met name systematische veroudering van de omhulling van de brandstofelementen “kan de veiligheid in gevaar brengen bij langdurige tussentijdse opslag. (Ook) zijn de huidige onderzoeksprogramma’s naar het gedrag van de containers en de radioactieve inventaris op de lange termijn veel te beperkt. Daar komt bij dat de bescherming tegen mogelijke terroristische aanslagen onvoldoende is.”^{956 957}

Ethische kwestie

De Universele Verklaring van de Rechten van de Mens is een van de beste voorbeelden van elementaire ethische standaarden.^{958 959} Dit zijn waarden die voor de gehele mensheid op alle plaatsen en elk moment kunnen gelden. Op basis van deze ethiek moet rekening gehouden worden met toekomstige generaties. Gegeven deze rechtvaardigheidsethiek zouden mensen in de toekomst even goed af moeten zijn en evenveel gewicht in de schaal moeten leggen als de mensen van nu. Rechtvaardigheid houdt hier dus in dat we bereid zijn verantwoordelijkheid te dragen voor de gevolgen van ons handelen. Bij kernafval gaat het om verantwoordelijkheid gedurende honderdduizenden jaren.

Een minimale eis is dat genoeg geld opzij gelegd wordt om de opslag van radioactief afval te kunnen betalen. Toegepast op de bovengrondse opslag van hoogradioactief afval in genoemde periode van 300 jaar, zullen drie keer nieuwe opslaggebouwen neergezet moeten worden. Hoe men dat zou moeten betalen is onduidelijk, want daarvoor zijn geen financiële regelingen

getroffen. Daarmee is opslag van radioactief afval een financieel risico geworden. Het verdient aanbeveling om dat eerst te regelen, want anders wordt dit risico doorgeschoven naar toekomstige generaties.

21. Rapport uit 1973 over keuze zoutkoepels openbaar in 2024

In 1973 doet de Rijks Geologische Dienst (RGD) op verzoek van het Reactor Centrum Nederland in Petten onderzoek naar steenzoutformaties. Het RCN volgt het advies van de werkgroep uit 1972 dus op. Met behulp van die informatie moet een keuze worden gemaakt voor opslag van laag- en middelradioactief afval.⁹⁶⁰ Het rapport is niet gepubliceerd, omdat door publicatie bedrijfsbelangen van grote mijnbouwconsortia als AKZO en NAM zouden kunnen worden geschaad. Of, zoals minister Lubbers van Economische Zaken het in december 1977 formuleert: “Ik acht het niet zinvol dat het rapport zelf met gedetailleerde technische gegevens wordt gepubliceerd. Het belang van een dergelijke publicatie weegt niet op tegen het belang onevenredige benadeling van natuurlijke personen of rechtspersonen (...) te voorkomen. (...) Ik heb echter geen bezwaar tegen vertrouwelijke kennisneming van het rapport door de leden uwer Kamer en heb daartoe een exemplaar van het rapport voor zodanige kennisneming bij uw Griffie doen nederleggen”⁹⁶¹ De Tweede Kamer wilde dat het rapport toch openbaar werd gemaakt. Van Aardenne, de toenmalige minister van Economische Zaken, zegde dit op 8 november 1978 toe. Op 2 augustus 1979 werd het rapport vervolgens “nedergelegd op de bibliotheek ter inzage van de leden.”⁹⁶² De openbaarheid was dus zeer beperkt, omdat niet de hele bevolking er kennis van kon nemen.

Op 21 maart 2024 kreeg ik - 51 jaar later - het rapport alsnog via het Nationaal Archief, archiefbloknummer H28024, Inv.nr. 11532. Het rapport is geschreven door drs. H.M. Harsveldt van de RGD en heeft als titel: “Selectie steenzoutformaties in Nederland t.b.v. de opberging van laag- en middelactief vast radioactief afval.” De opdracht was om een keuze te maken uit de onder Nederland aanwezige zoutlagen, zoutkussens en zoutkoepels.

Harsveldt noemt enkele factoren die van belang zijn voor de aanleg van een caverne, een holle ruimte in een zoutkoepel. Hij concludeert dat “een dicht aan de oppervlakte komende zoutkoepel het beste zou zijn voor de aanleg van een holle ruimte in het zout.” Om dat te onderzoeken zijn proefboringen nodig “tot iets onder de diepte waar men de basis van de caverne wil leggen.”

Harsveldt vraagt zich echter af “of het niet beter is om in plaats van (...) verschillende cavernes in het zout te maken, te overwegen een zoutmijn aan te leggen op de manier als de oude zoutmijn Asse in Duitsland.” Een mijn biedt volgens hem “het voordeel dat men de stapeling van het afval gecontroleerd kan doen, terwijl men bij het dumpen van afvalvaten door een boorgat maar moet afwachten of de vaten door onderlinge botsing niet zullen openspringen met eventueel onvoorziene mogelijke kwalijke gevolgen van dien.”

In het rapport worden vervolgens enkele gegevens over zoutkoepels, zoutlagen en zoutkussens genoemd, zonder dat duidelijk wordt waar die liggen en zonder gedetailleerde technische gegevens. Het zou kunnen zijn dat dit te maken heeft met het gegeven dat bedrijfsbelangen kunnen worden geschaad. Aan de hand van deze moeilijk controleerbare gegevens concludeert Harsveldt dat opslag in een aan te leggen mijn de voorkeur heeft.

Harsveldt bespreekt de opslag van laag- en middelradioactief afval. In de discussie in de Tweede Kamer en in Noord-Nederland gaat het echter vooral over de opslag van hoogradioactief kernsplijtingsafval. Die term komt niet voor in het rapport van Harsveldt. Dat is achteraf gezien goed te begrijpen. Een toelichting.

Begin jaren zeventig werd met de Franse firma Cogema het eerste contract afgesloten voor de opwerking van gebruikte brandstofelementen van de kerncentrale Borssele. De opwerking zou gebeuren in Frankrijk in de UP2-fabriek en volgens dit contract zou hoogradioactief afval in Frankrijk blijven.⁹⁶³ Nederland zou dan uitsluitend moeten zorgen voor de opslag van het

licht- en middelradioactieve bedrijfsafval van de kerncentrale.⁹⁶⁴ Het UP2-contract liep tot 1980. Volgens het nieuwe opwerkingscontract UP3 van 20 maart 1978 zou het hoogradioactieve afval echter wél naar Nederland teruggestuurd worden.⁹⁶⁵ Of, zoals minister Wijers van Economische Zaken op 25 juni 1997 aan de Tweede Kamer schreef: Het eerste opwerkingscontract “bevat geen terugzendclausules voor het radioactieve afval. Voor de later gesloten contracten was dat wel het geval.” Dat kwam doordat de Franse overheid dit wilde.⁹⁶⁶

Toen Harsveldt zijn rapport over opslag van kenafval in zout schreef, was nog niet bekend dat ook hoogradioactief afval teruggestuurd zou worden naar Nederland. Maar in 1976 wist men dit in regeringskringen kennelijk wel. Door het rapport van Harsveldt geheim te houden kwam niet naar buiten dat de term “hoogradioactief” er niet in voorkwam. En het is juist het hoogradioactieve, warmte-afgevend kernspijtingsafval dat zorgt voor de langetermijnrisico’s.

Hoofdstuk 6

Wetenswaardigheden over energie en energiegebruik

Inleiding

Het is ons opgevallen dat bijna nooit aan de orde komt wat energie is, hoeveel energie Nederlanders gebruiken en wat de gevolgen daarvan zijn voor mens en milieu. Daar willen we in dit hoofdstuk aandacht aan geven. Door de cijfers op een rij te zetten wordt zichtbaar wat er allemaal moet gebeuren om een duurzaam energiesysteem te bereiken.

Deel 1 geeft inzicht in wat energie is en wat we ermee kunnen doen.

In *Deel 2* komt het energiegebruik in Nederland vanaf 1950 tot nu aan de orde, met de nadruk op het heden.

1. Wat is energie?⁹⁶⁷

Eten en drinken leveren de energie die het lichaam nodig heeft om te kunnen functioneren. Zonder energie kan het lichaam niets. We lopen, denken, doen van alles, en zonder aanvoer van voedsel gaat dat niet. Als we niet genoeg eten, is er niet genoeg energie om door te gaan met bewegen, lopen en wat al niet. Ook als we slapen, is energie nodig om het hart te laten kloppen en de temperatuur van het lichaam op peil te houden.

Op veel producten in de winkel staat hoeveel energie erin zit: dan gaat het om calorieën, de energie die in voeding zit. Dat was vroeger de gebruikelijke eenheid voor energie. Eén calorie (afgekort cal) is de hoeveelheid energie die nodig is om één gram zuiver water (dat is één kubieke centimeter water) één graad Celsius te verwarmen.⁹⁶⁸ Maar in 1978 werd een internationaal systeem van eenheden wettelijk ingevoerd en werd de calorie vervangen door de joule (spreek uit als zjoel; afgekort J). De calorie kunnen we uitdrukken in joule: 1 calorie is 4,1868 joule.⁹⁶⁹ Op die manier krijgen we verschillende eenheden voor energie. Het kan dan snel ingewikkeld worden met allerlei omrekeningsfactoren. Dat het ingewikkeld kan zijn, is een erfenis uit het verleden. We zullen hier ons best doen om het zo simpel mogelijk te houden.

Overigens, de calorie mag dan vervangen zijn door de joule, in de voeding wordt hij nog steeds gebruikt. Op de verpakking staat dan 'kcal' (dat is een kilocalorie, 1.000 calorieën) en 'kJ' (dat is 1.000 joule). Gezonde mannen hebben gemiddeld 2.500 kcal per dag nodig, vrouwen 2.000 kcal.⁹⁷⁰ Een mens heeft omgerekend in joule ongeveer 10.000 kJ per dag nodig.

Energie is overal. Het is datgene wat alles warm houdt en doet bewegen. Voor het menselijk bestaan is energie onmisbaar. De mens is de enige levende soort op de werelddbol die een energiebron nodig heeft om eten klaar te maken en warm te blijven. Een belangrijke energiebron in Nederland is aardgas, terwijl ook een leven zonder elektriciteit bijna ondenkbaar is. De energierekening van Nederlandse huishoudens gaat over kubieke meter gas en kilowatturen elektriciteit. Kilowattuur korten we af als kWh.

Maar wat is nu precies energie? De definitie van energie is vrij eenvoudig: energie is de mogelijkheid om arbeid te leveren. Maar wat is dan arbeid? Arbeid is, eenvoudig gezegd, een verandering in de omgeving. Wanneer een bal stilligt, verricht hij in principe geen arbeid. De bal heeft dus geen energie. Wanneer we de bal aan het rollen brengen, geven we de bal energie mee in de vorm van beweging. Energie is een natuurkundige grootte om de geschiktheid aan te geven om arbeid te verrichten of warmte af te geven.

Bij energie is ook de term 'vermogen' belangrijk. Bij vermogen denkt men vaak aan iemand die veel geld of bezittingen heeft. Met dat vermogen kan die persoon van alles doen.

Vermogen staat voor iets wat mogelijk is. Zo is het ook met het begrip vermogen bij energie. Vermogen is een maat voor de hoeveelheid arbeid die per tijdseenheid kan worden geleverd.

De eenheid van vermogen is de watt (afgekort W), de energie per tijdseenheid, bijvoorbeeld per uur. Die term komt ook voor in het gangbare begrip kilowattuur. Kilo betekent duizend, een kilogram is immers duizend gram. En zo is een kilowattuur ook duizend wattuur. Mega (M) staat voor 1 miljoen: 1 MWh is 1 miljoen wattuur en dus 1.000 kWh.

Een voorbeeld uit het wielrennen. Een topsprinter als Marcel Kittel levert in de eindsprint van een paar honderd meter zo'n 2.000 watt; een klimmer als Steven Kruijswijk trapt gedurende een lange periode 370 watt.⁹⁷¹ Kruijswijk levert in 3 uur bergop duizend wattuur, 1 kWh.

Uit de literatuur halen we de volgende gegevens:

1 kWh is 3.600.000 joule, dat is 3,6 miljoen joule.

Aardgas uit Groningen heeft een energie-inhoud van 35,17 miljoen joule per kubieke meter.⁹⁷² De energie die vrijkomt bij het stoken van gas heet ook wel verbrandingswaarde.

Een voorbeeld. Op de doos van een LED lamp staat 12 watt. Dat is het vermogen van de lamp, wat de lamp kan leveren als hij niet brandt of nog in de doos zit. Het vermogen laat zien wat er (maximaal) mogelijk is en is een eigenschap van de lamp. Energie staat zowel voor wat deze LED lamp in een bepaalde tijd levert als voor wat de LED lamp aan energie gebruikt.

Een voorbeeld. Een LED lamp met een vermogen van 12 watt gebruikt in 100 uur 12 watt maal 100 uur, dat is 1.200 wattuur elektrische energie ofwel 1,2 kilowattuur elektriciteit.

Deze energie wordt omgezet in 44% licht en 56% warmte. Bij een gloeilamp wordt slechts 5% van de energie omgezet in licht en 95% in warmte. Energie levert altijd iets op: elektriciteit, beweging, licht, warmte, geluid, radiogolven, een chemische reactie, etc.

In de winkel betaalt men voor het vermogen (bijvoorbeeld het vermogen van een stofzuiger).

Thuis betaalt men voor de energie (de energie die door de stofzuiger wordt gebruikt).

Nog een voorbeeld. Een uur hard werken op de racefiets kost ca. 0,8 miljoen cal (3,3 miljoen joule) en brengt je 30 km verder. Een auto doet dat in 20 minuten, maar het kost 2 liter benzine of 72 miljoen joule. De fietsende mens is dus 20 keer energiezuiniger dan de auto.

Energiebegrippen in het kort

1 calorie (afgekort cal) is de hoeveelheid energie die nodig is om 1 gram water 1 graad Celsius te verwarmen.

1 kcal is 1.000 calorieën.

De meest gebruikte eenheid van energie is joule (afgekort J).

1 calorie is 4,1868 joule.

1 kJ is 1.000 joule.

Watt is een maat voor het vermogen, de energie per tijdseenheid, bijvoorbeeld per uur (afgekort W).

1.000 watt is 1 kilowatt en 1 miljoen watt is 1.000 kilowatt.

1 kilowatt gedurende 1 uur is 1 kilowattuur (afgekort kWh).

Mega (M) staat voor 1 miljoen: 1 MWh is 1 miljoen wattuur en dus 1.000 kWh.

Giga (G) staat voor 1 miljard; giga is 1.000 miljoen.

1 joule is 1 watt per 1 seconde.

1 kWh is 1.000 watt maal 3.600 is 3,6 miljoen Joule (een uur telt 3600 seconden).

1 kubieke meter aardgas uit Groningen heeft een energie-inhoud van 35,17 miljoen joule.

Nederland gebruikte in 2018 3.092 petajoule (PJ);⁹⁷³ 1 PJ is 1.000.000.000.000.000 joule, een 1 met 15 nullen.

Energie = Elektriciteit (ca. 20%) + warmte (gebouwen en industrie: ca. 40%) + transportbrandstof (ca. 40%).

2. Wat kunnen we met energie doen?⁹⁷⁴

Met 1 kilowattuur elektriciteit kunnen we veel dingen doen. Hier enkele voorbeelden die afzonderlijk 1 kWh vergen:

1.200 keer elektrisch scheren
100 broden snijden
15 keer haar föhnen
4 avonden tv kijken
1 avond tv kijken naar een tv met een plasmascherm
4 avonden licht van een gloeilamp van 60 watt
20 avonden licht van een spaarlamp van 11 watt
15 cd's luisteren
20 maaltijden opwarmen in de magnetron
250 gaatjes boren
10 uur internetten
367.000 kilo 1 meter opheffen
367 zakken van 50 kilo 20 meter optillen.

Met 1 kubieke meter gas uit Groningen kunnen we...

1 uur het huis verwarmen op een koude dag
50 keer handen wassen met warm water
6 keer afwassen
3 keer douchen
5 keer douchen met een spaardouche
1 keer in bad
6 maaltijden koken

3. Waarvoor wordt energie gebruikt?⁹⁷⁵

Een Nederlands huishouden verbruikt gemiddeld zo'n 1.500 m³ gas en 3.500 kWh elektriciteit per jaar.⁹⁷⁶ De gemiddelde energierekening in 2020 was 1.800 euro. Ongeveer 1.300 euro ging op aan gas en 500 euro aan stroom. Daarnaast werd 1.700 euro uitgegeven aan benzine. Van het totaal van 3.500 euro ging circa 54% naar de overheid, 19% voor het netwerk/distributie en 27% voor de energie zelf.⁹⁷⁷ Gemiddeld gaat 80% van het gas naar verwarming en 20% naar warm water (vooral douchen en een beetje koken).⁹⁷⁸ Volgens berekeningen van begin 2021 zou een huishouden gemiddeld 1.610 euro betalen voor energie: 600 euro voor stroom, 980 euro voor gas en 589 aan vaste kosten; in mindering kwam 559 euro energiebelasting.⁹⁷⁹ De prijzen stegen vanaf augustus 2021. Voor nieuwe contracten kon het in 2021 gaan om een verhoging met 250 tot 500 euro per jaar.⁹⁸⁰ De energiekosten van een gemiddeld huishouden zouden daarmee op 1.860 tot 2.160 euro komen. Voor de jaren daarna zijn de kosten mede afhankelijk van het ingestelde energieplafond en daarom gaan we er niet verder op in. Met gegevens over het gemiddelde aantal kilometers per auto en een gebruik van 1 liter benzine per 15 kilometer kunnen we uitrekenen dat een autobezitter op basis van de huidige prijs 1.740 euro per jaar zou besteden aan benzine.^{981 982}

Het gasgebruik van een gemiddeld huishouden is ongeveer als volgt verdeeld over verwarming, warm water en koken:

Gasgebruik in kubieke meter (m³)

Verwarming	1.170 m ³
Warm water	260 m ³
Koken	40 m ³
Totaal	1.470 m ³

Het gaat hier om een gemiddelde. De hoeveelheid gas die nodig is voor verwarming hangt af van veel factoren. Bijvoorbeeld de grootte van de woning en of het gaat om een rijtjeshuis of een vrijstaande woning, zoals Milieu Centraal uitlegt in een publicatie waar we naar verwijzen voor nadere informatie.⁹⁸³ Ook is de kwaliteit van de isolatie van belang; dat blijkt uit onderstaande tabel 6.1. Het gasgebruik per vierkante meter woonoppervlak van een goed geïsoleerde woning kan de helft zijn van dat van een slecht geïsoleerd huis.

Tabel 6.1
Gasgebruik (m³) per vierkante meter (m²)

Mate van isolatie	Energielabel	Gasverbruik m ³ /m ² woonoppervlak	Temperatuur verwarming	Soort verwarming
Slecht	D – E - F	16 of meer	90 °	CV, warmtenet hoge temperatuur
Matig	B – C	12 – 15	70 - 90 °	CV, warmtenet hoge temperatuur
Goed	A	8 – 10	60 °	Hybride warmtepomp, warmtenet midden temperatuur

Bron: E-mail Sible Schöne, tot voor kort directeur van HIER.NU aan Herman Damveld op 16 april 2019.

Het elektriciteitsgebruik van apparaten loopt nogal uiteen en niet alle apparaten van dezelfde soort gebruiken evenveel stroom. Een elektrische boiler van 80-100 liter verbruikt de meeste stroom: gemiddeld 1.900 kWh per jaar. Een tropisch aquarium gebruikt op jaarbasis zo'n 1.400 kWh en een waterbed circa 780-1.600 kWh. Wasdrogers en vaatwassers zijn met elk ruim 200 kWh eveneens grote huishoudelijke stroomgebruikers. Een gemiddelde desktop computer met lcd-scherm verbruikt ongeveer 230 kWh per jaar. Een lcd-tv van 46 inch verbruikt ongeveer 240 kWh per jaar. De computer en de tv zijn daarmee de grootste verbruikers in de categorie audio- en videoapparatuur. Het gemiddelde stroomverbruik van grote huishoudelijke apparaten staat in tabel 6.2. Een verdeling van het elektriciteitsgebruik is weergegeven in figuur 6.1.

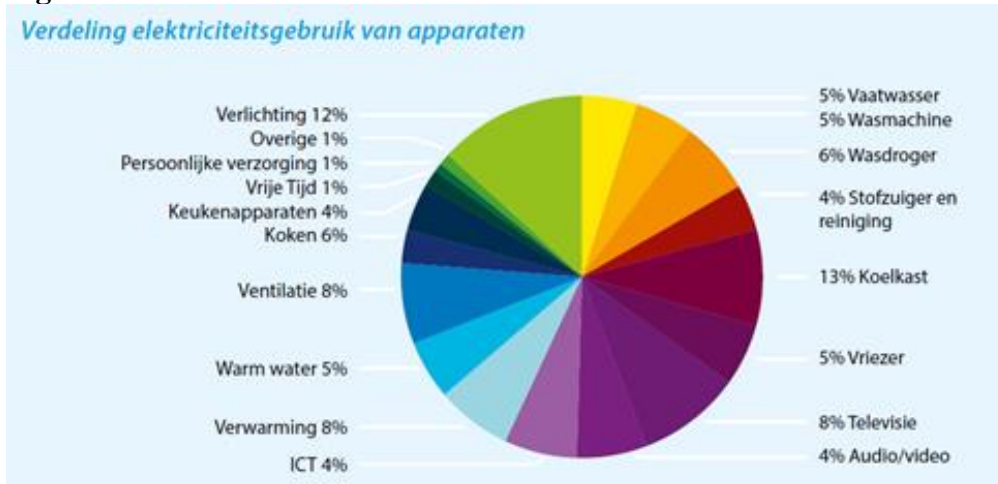
Ook is er het zogeheten sluipverlies. Dat is het elektriciteitsgebruik van apparaten die niet uitgezet kunnen worden, zoals de cv-ketel of de koelkast of omdat anders instellingen verdwijnen of klokken stilstaan. Dit kan 10% van het elektriciteitsgebruik uitmaken.

Tabel 6.2
Gemiddeld stroomverbruik van grote huishoudelijke apparaten

Apparaat	kWh per jaar
Verlichting	390
TV (lcd, 46 inch)	238
Condens wasdroger	232
ICT	217
Koel-vriescombinatie	210
Vaatwasser	206
Wasmachine	170
CV-pomp	128

Bron: <https://www.hier.nu/themas/huishoudelijke-apparaten/deze-apparaten-veroorzaken-twee-derde-van-je-stroomrekening>.

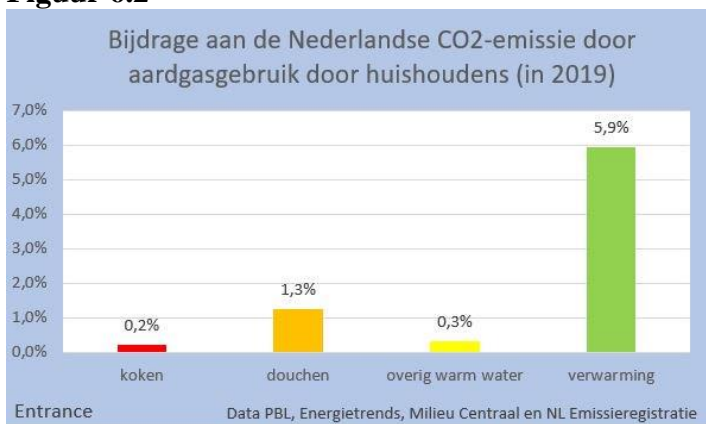
Figuur 6.1



Bron: <https://energietrends.info/wp-content/uploads/2016/09/EnergieTrends2017.pdf>.

De Nederlandse huishoudens zorgen voor 7,7% van de CO₂-uitstoot. Opvallend is de bijdrage van douchen, die 6 keer zoveel is als van koken (figuur 6.2).

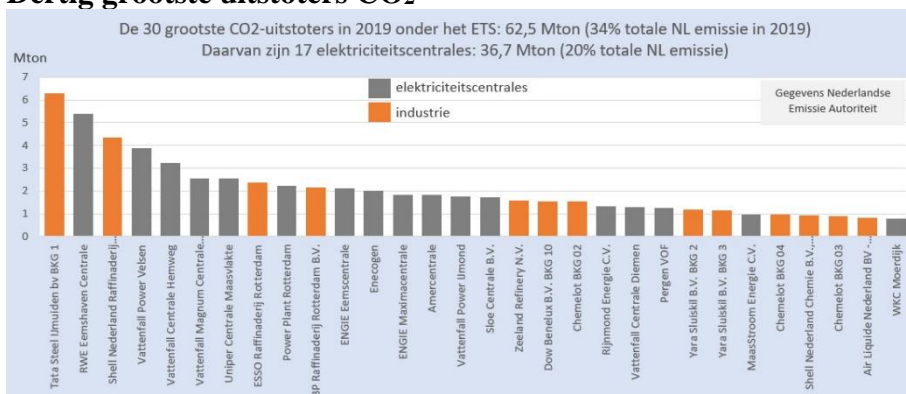
Figuur 6.2



Bron: https://twitter.com/BM_Visser, 29 augustus 2019.

Wat betreft de industrie staat in figuur 6.3 een overzicht van de top-30 wat betreft de uitstoot van CO₂, uitgedrukt in Mton, dat is miljoen ton.

Figuur 6.3
Dertig grootste uitstoters CO₂



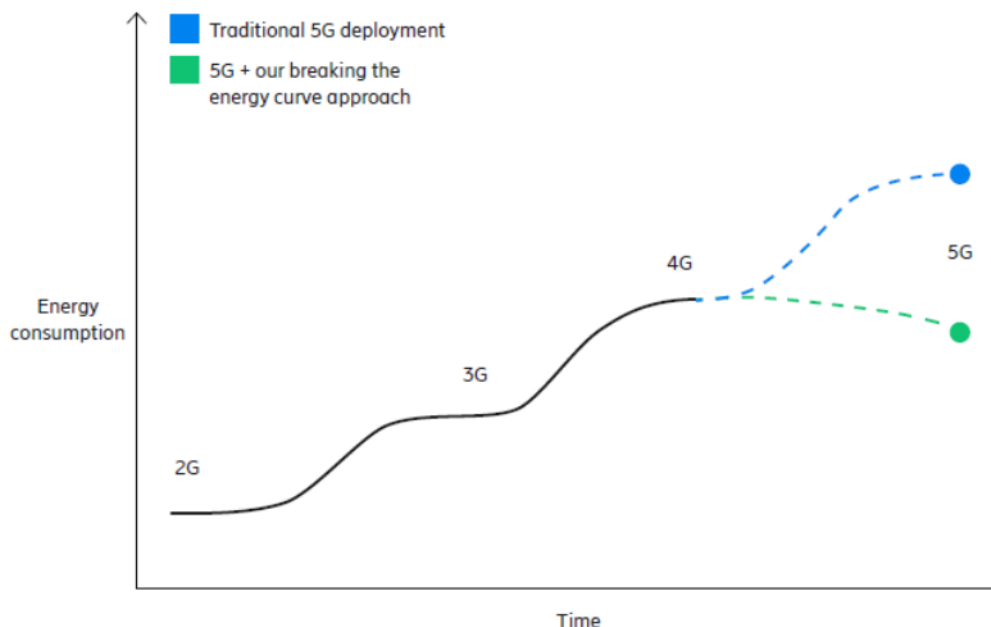
Bron: https://twitter.com/BM_Visser, 22 februari 2021.

4. Energiegebruik internet

In 2016 verbruikte ICT 8% van de totale hoeveelheid elektriciteit in Nederland, ofwel 9,4 miljard kWh. Hiervan werd 6,9 miljard kWh gebruikt binnen huishoudens en bedrijven. Zo'n 2,5 miljard kWh werd gebruikt door de ICT-sector zelf. Binnen de ICT-sector gebruikten datacenters het grootste deel (1,4 miljard kWh), gevolgd door de telecombedrijven (1 miljard kWh).⁹⁸⁴ Dit is gestegen naar 2,7 miljard kilowattuur in 2019.⁹⁸⁵ De groei komt met name doordat datacenters groter worden. De datacenters in Nederland ten behoeve van internet hebben een vermogen nodig van 1.350 Megawatt, dat is 2,5 keer het vermogen van de kerncentrale Borssele.⁹⁸⁶

Het elektriciteitsgebruik stijgt aanzienlijk door de invoering van 5G. Sommige providers verwachten een verdubbeling ten opzichte van de invoering van 4G. Volgens de Zweedse provider Ericsson is dat echter niet duurzaam en kost het ook te veel. Daarom gaf dit bedrijf in 2020 aan hoe het elektriciteitsgebruik door 5G zou kunnen verminderen.⁹⁸⁷ Uit figuur 6.4 blijkt echter dat het gebruik hoog zal blijven.

Figuur 6.4
Elektriciteitsgebruik mobiele netwerken



Bron: <https://www.ericsson.com/495d5c/assets/local/about-ericsson/sustainability-and-corporate-responsibility/documents/2020/breaking-the-energy-curve-report.pdf>, 11 maart 2020.

5. Energiebronnen voor het huishouden

Huishoudens en kantoren (kleinverbruikers) hebben zowel een aansluiting voor elektriciteit als voor aardgas. 98% van de Nederlanders is aangesloten op het gasnet. Vergeleken met de gasvraag van andere Europese landen is dit naast Luxemburg het hoogst per hoofd van de bevolking.

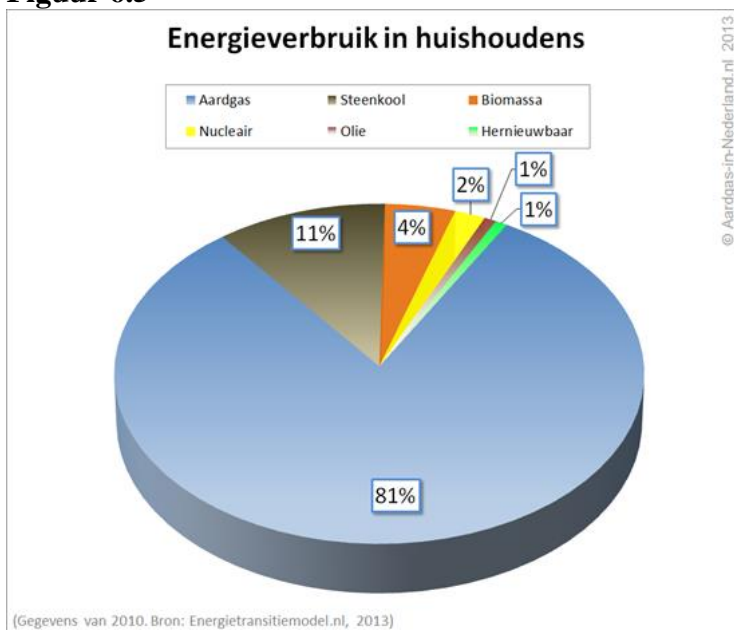
Huishoudens gebruiken energie voor onder meer licht, koken en verwarming. Er zijn verschillende energiebronnen die daarvoor worden ingezet, zoals in figuur 6.5 staat. Direct verbruik van aardgas vervult de behoefte van de warmtevraag zoals voor de centrale verwarming en warm water. Ook biomassa wordt direct gebruikt, bijvoorbeeld in de vorm van hout in de open haard. Indirect aardgasverbruik komt vanuit een behoefte aan elektriciteit, waarvan een gedeelte weer door aardgas wordt opgewekt. Ruim 80% van het energiegebruik door huishoudens komt uit direct en indirect aardgasgebruik. Indirect worden in huishoudens

ook steenkool, kernenergie en hernieuwbare energie gebruikt in de vorm van elektriciteit.⁹⁸⁸
989

Het gebruik van brandstof voor de auto valt niet onder deze definitie van huishoudelijk energiegebruik. Daarbij moeten we tevens bedenken dat de gegevens uit deze figuur een gemiddelde zijn. Huishoudens die hebben gekozen voor groene stroom gebruiken geen kolen of kernenergie.

Koeling vergt 12% van het totale elektriciteitsgebruik, zie figuur 6.6.

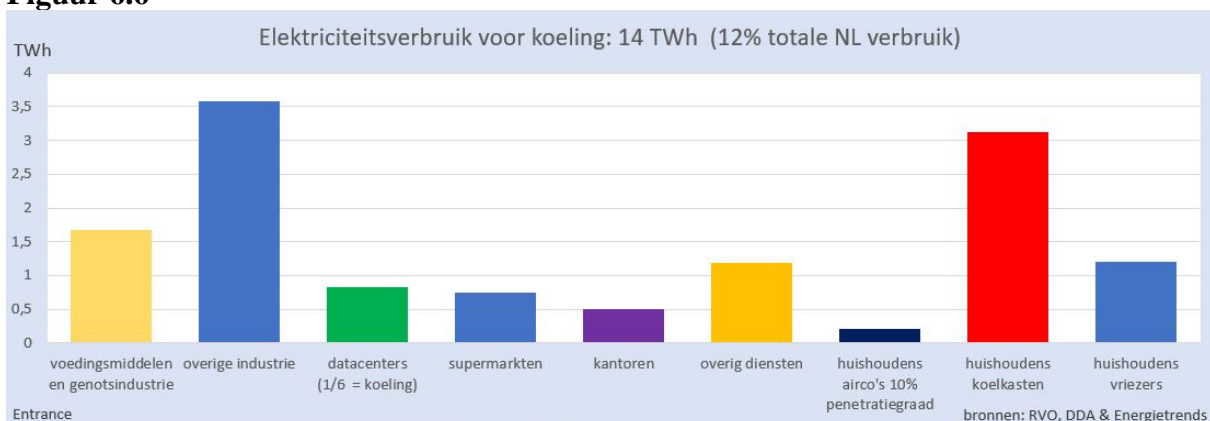
Figuur 6.5



Bron: <http://aardgas-in-nederland.nl/nederland-aardgasland/aardgas-in-de-nederlandse-energievoorziening/>

Zoals hierboven aangegeven verbruikt een Nederlands huishouden gemiddeld 1.470 m³ gas en 3.034 kWh elektriciteit per jaar. We kunnen dat omrekenen in het gebruik in joule: 52 miljard joule voor aardgas en 11 miljard joule voor elektriciteit. De conclusie is dat een gemiddeld huishouden 4,7 zoveel joule gebruikt voor aardgas (met name verwarming en warm water) als voor elektriciteit.

Figuur 6.6

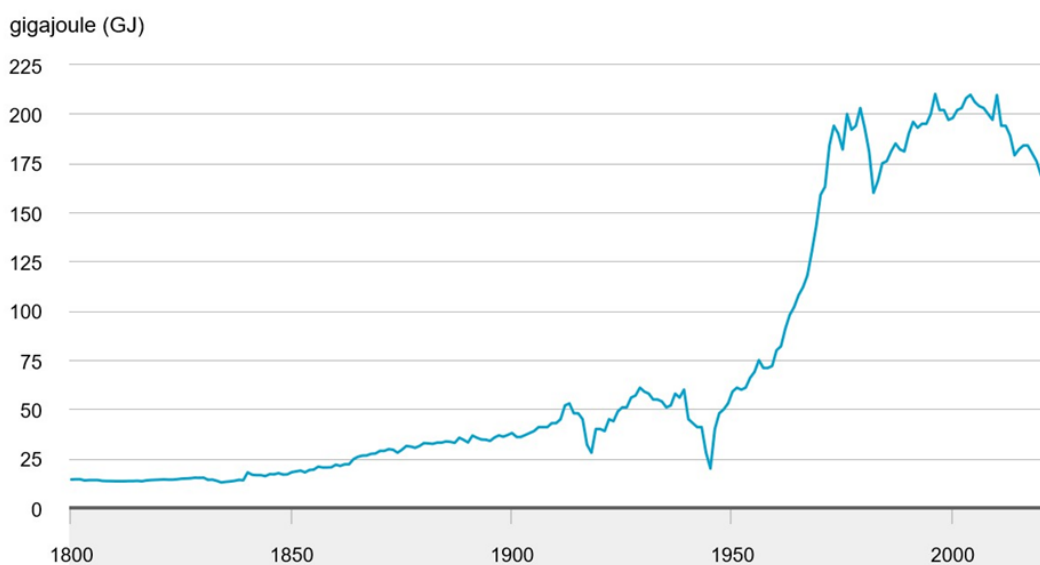


https://twitter.com/BM_Visser, 6 augustus 2020.

In 2022 was energieverbruik per inwoner ongeveer terug op het niveau van 1970, maar nog altijd 11 keer hoger dan in 1800. Dat meldt het CBS op basis van nieuwe cijfers in het artikel

‘Ruim 200 jaar energieverbruik in Nederland’ in de reeks Statistische Trends (zie figuur 6.7). In 1960 was het totale verbruik in Nederland ruim 900 petajoule (PJ), in 1973 was dit opgelopen tot 2.600 PJ. Na tientallen jaren van gestage groei bereikte het energieverbruik in 2010 een historisch hoogtepunt van 3.470 PJ (zie tabel 6.3). Dit niveau was 114 maal zo hoog als dat van 1800. In het jaar 2022 was het totale energiegebruik 2.714 PJ.⁹⁹⁰ De ontwikkeling van het energiegebruik per energiebron staat in figuur 6.8.

Figuur 6.7
Energieverbruik per inwoner



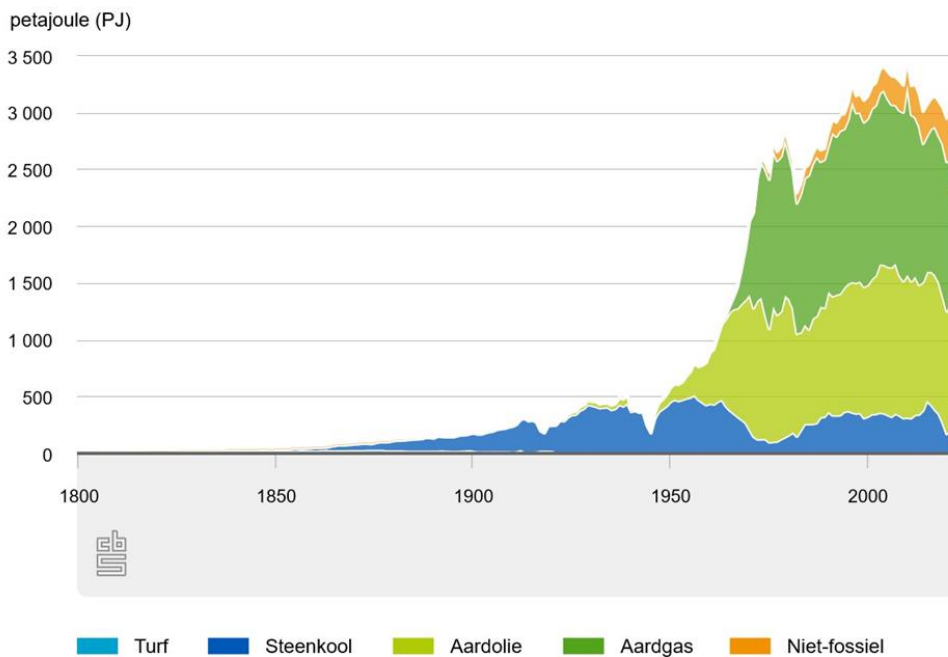
Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/41/energieverbruik-per-inwoner-terug-op-niveau-van-1970>, 10 oktober 2023.

Tabel 6.3
Energiegebruik Nederland 1950-2022 in petajoule (PJ)^{991 992 993 994 995 996 997 998 999}

Jaar	Energiegebruik	Bron
1950	582	statline.cbs.nl/Statweb/
1960	920	statline.cbs.nl/Statweb/
1970	2.016	statline.cbs.nl/Statweb/
1973	2.600	CBS
1980	2.723	statline.cbs.nl/Statweb/
1990	2.843	statline.cbs.nl/Statweb/
2010	3.470	CBS
2015	3.144	regering 2016
2017	3.150	CBS
2018	3.100	CBS
2019	3.085	CBS
2020	2.930	CBS
2021	3.032	CBS
2022	2.715	CBS

Figuur 6.8

Energieverbruik naar energiedrager



Bron: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/41/energieverbruik-per-inwoner-terug-op-niveau-van-1970>, 10 oktober 2023.

6. Het omvangrijke energiegebruik: een uitleg¹⁰⁰⁰

Zoals hierboven aangegeven zijn bij het energiegebruik twee eenheden belangrijk: de kilowattuur en de joule. Vaak komen we de term petajoule (PJ) tegen, dat is 1.000.000.000.000 joule. Nederland gebruikte in 2022 in totaal 2.715 PJ, dat is per dag 7,44 PJ.¹⁰⁰¹

Wat kunnen we doen met 1 PJ? In de vorm van elektriciteit beschikken we dan over 278.000.000 kWh. Dat is voldoende om een woonwijk met 5.000 inwoners zonder zonnepanelen 50 jaar van elektriciteit te voorzien. We kunnen onze PJ ook gebruiken om 30.000 nieuwbouwhuizen een jaar lang met gas te verwarmen, inclusief douchen en koken. En voor 1 PJ kan een vol vliegtuig 200 weekendjes naar Beijing. De luchtvaart in Nederland verbruikt jaarlijks 150 PJ, dat is een halve PJ per dag. We zouden trouwens met 1 PJ samen met driehonderd vrienden ook in 100 dieseltjes 100 maal rond de aarde kunnen rijden.

Schiphol heeft ieder jaar 4 miljoen ton kerosine nodig. Om die synthetisch te maken is bijna 50 keer het vermogen van de kerncentrale Borssele nodig. Een retour New York met een vliegtuig op synthetische kerosine vraagt bij benadering 500.000 kWh.¹⁰⁰²

Dan de productie van 1 PJ. Een kolencentrale met een vermogen van 1.000 MW doet daar twee weken over. In een halve dag kwam in 2019 bij de gaswinning uit Groningen 1 PJ uit de grond. En een olietanker kan 10 PJ vervoeren.

Stel, we willen 1 PJ duurzaam. Een mogelijkheid is om het 125 MW windpark in Drenthe een jaar te huren. Daarmee kan dan 1 PJ geogst worden. De windparken op zee zijn groter en daar waait het harder. Een 700 MW Borssele windpark produceert straks gemiddeld 1 PJ per maand. Echter, om in een jaar 1 PJ met zon te oogsten hebben we een park van 500 hectare met zonnepanelen nodig. Maar in het Markermeer is ruimte voor honderd van die parken. Het 10.000 MW windpark op de Doggersbank van TenneT en Gasunie produceert gemiddeld 1 PJ waterstof per 3 dagen.

7. Zon als belangrijkste energiebron

De zon is de belangrijkste bron van alle energie. De zon stuurt zijn stralen alle richtingen uit. Een heel klein beetje daarvan komt op de aarde terecht. Toch is dat kleine beetje heel belangrijk. De zon geeft warmte af. Als hij door de ramen schijnt, wordt het warmer in huis. Met zonnepanelen wordt de zonne-energie omgezet in elektriciteit. Door de zon wordt de lucht warmer. Verwarmde lucht komt in beweging en stijgt op. De lucht beweegt: door de zon waait de wind.

Zonne-energie maakt het leven op aarde mogelijk. Als een plant groeit, wordt er zonne-energie (licht) in opgenomen. De plant pakt een stukje van de zonnestraling en slaat dat op via allerlei ingewikkelde processen (fotosynthese). Mensen en dieren gebruiken planten als voedsel: door het voedsel in hun lichaam te verbranden kunnen ze leven en werken. Zonder zonlicht was er geen leven op aarde.

Er zijn in de wereldgeschiedenis lange perioden geweest dat werelddelen overdekt waren met wouden. Later stierven de bossen af en werden ze bedekt door aardlagen. Na een bijna onmetelijk lange tijd werden de lagen afgestorven hout omgezet in steenkool. Op dezelfde manier ontstonden in de loop van miljoenen jaren aardolie en aardgas uit afgestorven, zogeheten fossiele resten van diertjes op de oceaanbodem. Daarom worden kolen, olie en aardgas ook wel fossiele brandstoffen genoemd. Het Nederlandse aardgas is ongeveer honderd miljoen jaar geleden ontstaan.¹⁰⁰³ Dit gas is eigenlijk in het verleden opgeslagen zonne-energie.

De fossiele brandstoffen waren heel lang geleden dus wouden en dieren die zonne-energie in zich opgeslagen hadden. Benzine wordt gemaakt uit olie. Een auto rijdt eigenlijk op miljoenen jaren oude zonne-energie.

De elektriciteit in Nederland komt voor ruim 90% uit aardgas- en kolencentrales. De elektriciteit die we in huis krijgen, is dus ook vooral afkomstig van opgeslagen zonne-energie. In de centrales worden aardgas en kolen verbrand. De warmte die hierbij vrijkomt, verhit water tot stoom. De stoom laat een rad draaien, de turbine, die weer een dynamo aandrijft: dat geeft elektriciteit (vergelijk het met de dynamo van een fiets, waarmee we fietslampjes laten branden).

In de loop van de geschiedenis werd steeds meer energie gebruikt en ook steeds andere vormen van energie. Heel vroeger gebruikten mensen alleen spierkracht als ergens kracht voor nodig was en stookte men hout om het warm te krijgen of om op te koken. De uitvinding van de stoommachine bracht een hele ommekeer. De mens kreeg daarmee de beschikking over een kracht die veel groter was dan zijn eigen spierkracht. En zo begon de industriële revolutie. Eerst werden hout en turf gebruikt om de stoommachines te laten draaien, maar al gauw bleek er niet genoeg hout te zijn om aan de vraag van al die machines te voldoen. Andere energiebronnen werden gezocht: steenkool en aardolie in diepere lagen van de aarde werden aangeboord. Nog later kwamen er elektriciteitscentrales. Zo ging de samenleving steeds meer fossiele energie gebruiken.

Wereldwijd gebruiken we nu in één jaar de fossiele energie die zich in één miljoen jaar heeft gevormd.¹⁰⁰⁴ In een rap tempo maken we de fossiele energie op. Er komt een einde aan het gebruik van fossiele energie, de in het verre verleden opgeslagen zonne-energie. Dan moeten we weer overgaan op het gebruik van de zonne-energie die elke dag op de aarde neerkomt. Gelukkig kan de zon genoeg energie leveren voor iedereen.

Kooldioxide (CO₂) komt vrij bij de verbranding van kolen, olie en aardgas. De afgelopen 20 jaar wordt steeds duidelijker voelbaar en zichtbaar dat het klimaat verandert. Dat komt door de toename van de uitstoot van broeikasgassen zoals CO₂. Dit zijn gassen die de straling van de zon en de aarde opnemen. Deze gassen vormen als het ware een deken om de aarde: ze zorgen voor warmte-isolatie, het broeikas effect.^{1005 1006 1007 1008 1009 1010} Om te voorkomen dat die deken nog

dikker wordt wil de regering CO₂ opslaan. In 2018 werd in Nederland 161 miljard kilogram CO₂ uitgestoten, deelde het Centraal Bureau voor de Statistiek op 9 mei 2019 mee.^{1011 1012} In 2021 ging het volgens het CBS om 178 miljard CO₂-equivalent, zodat de Urgenda-doelstelling van minimaal 25 procent reductie t.o.v. 1990, niet gehaald is.¹⁰¹³

De overheid heeft bepaald wat wel en wat niet onder de definitie van CO₂-uitstoot valt. Een aanzienlijk deel van de jaarlijkse CO₂-uitstoot wordt, in overeenstemming met deze overheidsdefinitie, niet meegerekend: “Pakweg 40 procent tellen we niet mee in onze nationale statistiek: zoals het vliegverkeer, de internationale scheepvaart en de CO₂-uitstoot die we (netto) via onze importen in andere landen veroorzaken.”¹⁰¹⁴ In 2018 was dat overigens 44%.¹⁰¹⁵

We krijgen in Nederland van de zon gemiddeld per jaar 35 keer zoveel energie als we nodig hebben voor verwarming, industrie, auto’s en de opwekking van elektriciteit.¹⁰¹⁶

We hebben niet zozeer een energieprobleem als wel een energie-omzettingsprobleem en een ruimteprobleem voor de plaatsing van al die zonnepanelen en windmolens. Voor zonneparken zou in het jaar 2050 in Nederland 350 tot 580 vierkante kilometer ruimte nodig zijn. Voor wind op land 1.250 tot 2.500 vierkante kilometer en voor wind op zee 3.800 tot 7.200 vierkante kilometer. Dat schreven de netbeheerders op 13 oktober 2023 in de Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 (zie figuur 6.9).¹⁰¹⁷ Netbeheer Nederland benadrukte in de studie dat een klimaatneutraal energiesysteem alleen haalbaar is als we durven te kiezen, want “deze herinrichting van ons energiesysteem is de grootste verbouwing van ons land.”¹⁰¹⁸

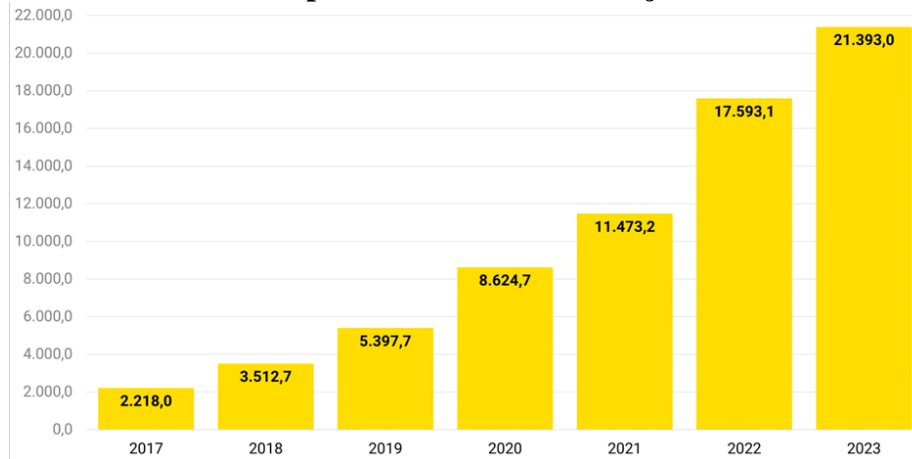
Figuur 6.9



Bron: <https://www.tennet.eu/nl/nieuws/klimaatneutraal-energiesysteem-haalbaar-als-we-durven-te-kiezen>, 12 oktober 2023.

In Nederland nam de hoeveelheid elektriciteit uit zonnepanelen de afgelopen jaren sterk toe. Ten opzichte van 2017 gaat het om bijna een factor 10 (zie figuur 6.10). Om het doel voor 2050 te halen, zal de groei door moeten zetten.

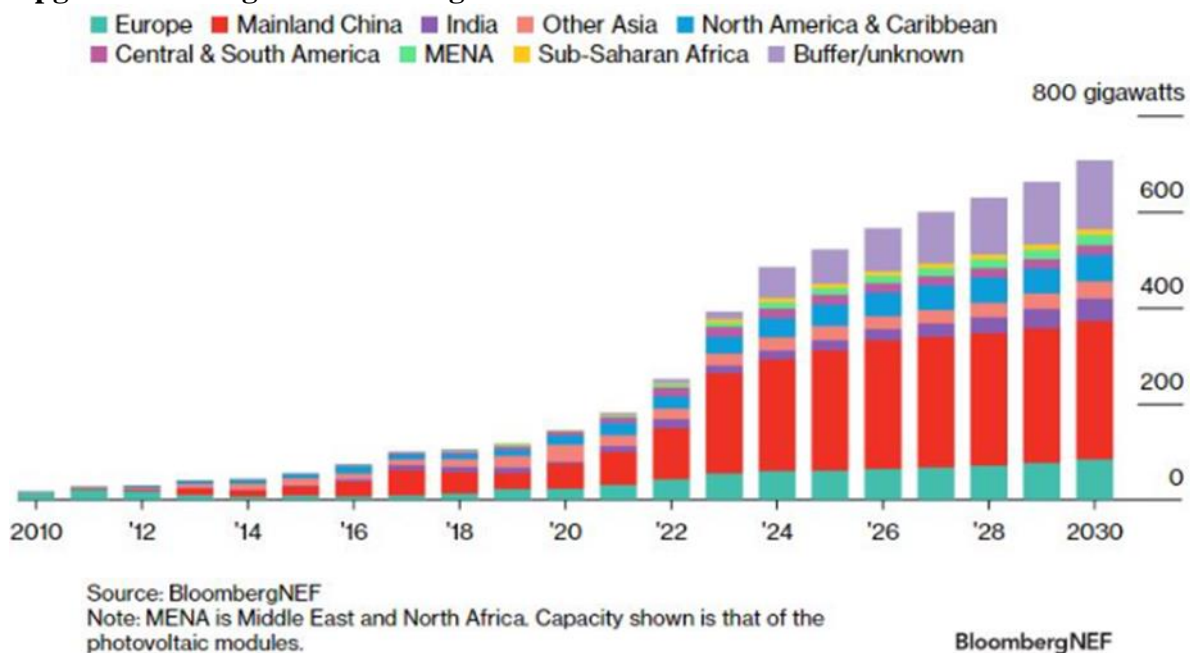
Figuur 6.10
Elektriciteit uit zonnepanelen 2017-2023 in miljoen kilowattuur



Bron: <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i36992/zonnepanelen-produceerden-vorig-jaar-21-393-gigawattuur-stroom-brabant-koploper>, 23 maart 2024.

In 2023 steeg wereldwijd het opgestelde vermogen aan zonne-energie met 392 gigawatt. Dat is meer dan het totale vermogen van kerncentrales die nu in bedrijf zijn: dat is namelijk 370 gigawatt (zie figuur 6.11).¹⁰¹⁹ Voor een vergelijking wat betreft het aantal kilowatturen per jaar moeten we echter ook rekening houden met de gemiddelde bedrijfstijd per jaar die voor zonne-energie op 18% ligt en bij kerncentrales zo'n 80% bedraagt. Zonne-energie in 2023 komt dan overeen met 77 kerncentrales van elk 1000 MW.

Figuur 6.11
Opgesteld vermogen zonne-energie 2010 tot 2030



Bron: <https://www.pv-magazine.de/2023/10/19/power-pv-globale-photovoltaik-revolution-fuer-den-klimaschutz-vom-megawatt-zum-terawatt-teil-i/>, 19 oktober 2023.

Eindnoten

- ¹ <http://www.borseletotdekern.nl/documenten/Dossier%20vijftig%20jaar%20kerncentrale%20Borssele-10-2023.pdf>, 7 oktober 2023.
- ² <http://www.borseletotdekern.nl/documenten/KERNAFVAL-2023-OVERZICHT%201960%20TOT%20oktober%202023.pdf>, 9 oktober 2023.
- ³ Directie Provinciale Zeeuwse Energie Maatschappij, Kernenergiecentrale Borssele, voorjaar 1983, p 21.
- ⁴ <https://www.kernvisie.com/actueel/nieuws/borssele-is-straks-vijftig-en-had-in-2022-een-uitmuntend-jaar.html>, januari 2023.
- ⁵ <https://www.epz.nl/kcb50jaar/>,
- ⁶ <https://www.pzc.nl/borsele/foutje-epz-honderden-genodigden-jubileumfeest-moeten-portokosten-betalen~a1ceb643/>, 4 oktober 2023.
- ⁷ <https://www.epz.nl/app/uploads/2021/02/LTO-bedrijfsduurverlenging.pdf>, jaartal waarschijnlijk 2013.
- ⁸ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1577089989459>, 15 juni 2023.
- ⁹ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/opwekking-kernenergie#anker-1-kernenergie-bij-mix-aan-schone-energiebronnen>.
- ¹⁰ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/10/bijna-helft-elektriciteitsproductie-komt-uit-hernieuwbare-bronnen>, 7 maart 2024.
- ¹¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/83140NED?q=finale%20energieverbruik>,
<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/23/energieverbruik-uit-hernieuwbare-bronnen-gestegen-naar-17-procent>, 7 juni 2024.
- ¹² <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2024/03/25/reactienota-over-de-reikwijdte-en-detailniveau-van-het-milieu-effectrapport-wijziging-kernenergiewet-voor-de-bedrijfsduurverlenging-kerncentrale-borssele>, 5 maart 2024.
- ¹³ <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalByAge.aspx>, juni 2024.
- ¹⁴ https://www.commissiener.nl/docs/mer/p37/p3723/3723_rd_advies_reikwijdte_en_detailniveau.pdf, 12 oktober 2023.
- ¹⁵ <https://www.commissiener.nl/adviezen/3723>, 12 oktober 2023.
- ¹⁶ <http://laka.org/info/publicaties/anderen/2015-07-KCB-storingen.pdf>, 13 juli 2015.
- ¹⁷ <https://www.autoriteitnvs.nl/ongewone-gebeurtenissen/kerncentrale-borssele>.
- ¹⁸ <https://stroomnaardetoekomst.nl/web/2023/03/20/vestigingsplaatsen-kerncentrales-en-kernafval/>, 20 maart 2023, pagina 23.
- ¹⁹ <http://www.borseletotdekern.nl/documenten/Dossier%20vijftig%20jaar%20kerncentrale%20Borssele-10-2023.pdf>, 7 oktober 2023.
- ²⁰ Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding, Implementatie Kernenergiecentrale Borssele; Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21015. nr. 7.
- ²¹ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 11 januari 2013.
- ²² <http://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ez/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2010/02/24/nota-naar-aanleiding-van-het-verslag.html>, 24 februari 2010, p.6.
- ²³ Damveld Herman et.al. “Kernafval in zee of zout? Nee fout!”, Greenpeace Amsterdam, 1994, p.14
Bij een kerncentrale van 1000 MW komen jaarlijks 35 m³ aan gebruikte brandstofelementen beschikbaar; door opwerking ontstaat daaruit 120 m³ afval, waarvan de helft als hoogradioactief afval behandeld moet worden; het kernsplijtingsafval is 6 m³ en daardoor is het verhaal ontstaan dat door opwerking het volume van radioactief afval zou verminderen (zie: Tijdschrift Wetenschap en Samenleving, 78, nummer 7, oktober 1978, pp. 10 – 13).
- ²⁴ <http://www.co2ntramine.nl/de-kerncentrale-borssele-en-de-verliesgevende-handel-in-plutonium/#more-3542>, oktober 2020.
- ²⁵ <https://www.epz.nl/actueel/100-positieve-energie/>, 7 juli 2023.
- ²⁶ <https://www.epz.nl/app/uploads/2022/07/EPZ-jaarverslag-2021-1.pdf>, 14 juli 2022.
- ²⁷ Voor gedetailleerde uitleg van de noodzaak tot ontmanteling door zogeheten geïnduceerde radioactiviteit zie: <https://www.wisenederland.nl/sites/default/files/images/Ontmantelen%20Borssele-december2014-januari2015.pdf>, 11 december 2014.
- ²⁸ <https://www.omroepzeeland.nl/nieuws/16573359/aandelen-verkopen-of-kerncentrale-moet-dicht-zoals-gepland>, 5 juni 2024.
- ²⁹ Antony Frogatt et al., Mythos Atomkraft, Heinrich Böll Stiftung, 2010, pp 38-42.
- ³⁰ <http://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/201407msc-worldnuclearreport2014-hr-v1.pdf>, 29 juli 2014, p 8.
- ³¹ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_autre_document_travail_service_part1_v10.pdf, 4 april 2016.
- ³² Bron: <https://wisenederland.nl/sites/default/files/images/Wim%20Turkenburg%20-%20202018.10.16%20-%20Een%20nieuwe%20generatie%20kerncentrales%20-%20komen%20ze%20eraan%20%5Bfinaal%5D.pdf> ,

16 november 2018.

- ³³ <https://open.overheid.nl/repository/ronl-bd63fed5ed0a01178ce57b9feb74cd088b5b8b/1/pdf/financing-models-for-nuclear-power-plants.pdf>, 26 september 2022.
- ³⁴ https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_78743/the-nea-small-modular-reactor-dashboard, 13 maart 2023.
- ³⁵ https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_83555/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-volume-ii, 20 juli 2023.
- ³⁶ <https://www.samuellawrencefoundation.org/post/first-friday-series-june-2nd-2023>, 2 juni 2023.
- ³⁷ <https://iai.tv/articles/the-end-of-oppenheimers-energy-dream-auid-2549>, 21 juli 2023.
- ³⁸ https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2024Z04850&did=2024D11263, 22 maart 2024.
- ³⁹ <https://open.overheid.nl/documenten/09a086a9-af5d-4d4c-b201-f3a901adc140/file>, 10 juni 2024, pagina 18.
- ⁴⁰ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-1148934.pdf>, 21 juli 2024, pagina 8.
- ⁴¹ <https://blog.ucsusa.org/edwin-lyman/five-things-the-nuclear-bros-dont-want-you-to-know-about-small-modular-reactors/>, 30 april 2024.
- ⁴² <https://www.11nieuws.nl/nieuws/2169524/chemelot-over-kernenergie-uitsluiten-is-geen-optie>, 13 april 2023.
- ⁴³ <https://limburg.bestuurlijkeinformatie.nl/Reports/Item/5967e723-6abe-4709-83c7-fb4b6607b62b>, 22 maart 2024.
- ⁴⁴ https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2024-02/20240222%20Publiekssamenvatting%20analyse%20netinpassing%20kerncentrales_final.pdf, 29 februari 2024.
- ⁴⁵ <https://www.laka.org/docu/boeken/pdf/1-01-0-23-06.pdf#page=2>, februari 1977.
- ⁴⁶ Tweede Kamer, 18830, nrs 1-4.
- ⁴⁷ Tweede Kamer, vergaderjaar 1985-1986, 18830, nrs. 46-47.
- ⁴⁸ <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/18/076/18076239.pdf>
- ⁴⁹ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-55735.pdf>, 10 augustus 2009
- ⁵⁰ <https://www.laka.org/nieuws/bijlagen/2010/09/mededeling-voornemen-erh-09-2010-1-350516.pdf>, september 2010.
- ⁵¹ <https://smartport.nl/onderzoek-naar-kernenergie-in-rotterdam/>, 8 november 2021.
- ⁵² <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/12/09/borssele-voorkeurslocatie-voor-twee-nieuwe-kerncentrales>, 9 december 2022.
- ⁵³ <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2021Z04155&did=2021D09078>, 10 maart 2021.
- ⁵⁴ <https://dvh.nl/groningen/eemdelta/Rob-Jetten-D66-haalt-in-Middelstum-uit-naar-Omtzigt-28745434.html>, 11 november 2023.
- ⁵⁵ <https://open.overheid.nl/documenten/b788594f-1818-414a-9861-fe509161d1ea/file>, pagina 47, juli 2023.
- ⁵⁶ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-02/Voornemen-en-voorstel-voor-participatie-12-februari-2024-Nieuwbouw-kerncentrales.pdf>, 23 februari 2024.
- ⁵⁷ <https://dvh.nl/groningen/Groningse-Staten-sluiten-kerncentrale-in-hele-provincie-uit-29074929.html>, 5 juni 2024.
- ⁵⁸ <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2024D03717>, 1 februari 2024.
- ⁵⁹ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2024/02/19/projectprocedure-nieuwe-kerncentrales-van-start>, 19 februari 2024.
- ⁶⁰ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-02/Voornemen-en-voorstel-voor-participatie-12-februari-2024-Nieuwbouw-kerncentrales.pdf>, pagina 7, 23 februari 2024.
- ⁶¹ https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2024-02/20240222%20Publiekssamenvatting%20analyse%20netinpassing%20kerncentrales_final.pdf, 29 februari 2024.
- ⁶² <https://www.sizewell.com/>.
- ⁶³ <https://stopsizewellc.org/rab/>
- ⁶⁴ <https://www.vzinfo.nl/bevolking/huishoudens>, 19 oktober 2023; op 1 januari 2023 telde Nederland 8,3 miljoen huishoudens (gemiddeld wonen er 2,1 mensen in een huishouden) en 4 euro per maand geeft 32,5 miljoen euro.
- ⁶⁵ <https://www.zeeland.nl/ruimte/bevolking>; Zeeland heeft 180.000 huishoudens en 180 euro per maand geeft 32,5 miljoen euro.
- ⁶⁶ https://www.zuid-holland.nl/publish/pages/27738/programmplan_flexwonen_2021-2024.pdf, 8 juni 2021; Zuid-Holland telt 3,6 miljoen inwoners en bij 2,1 mensen per huishouden gaat het om 19 euro per maand.
- ⁶⁷ <https://www.oozo.nl/provincie/cijfers/groningen>, de provincie Groningen heeft 291.000 huishoudens en 110 euro per maand geeft 32,5 miljoen euro.
- ⁶⁸ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf.
- ⁶⁹ <http://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9>; <https://www.pv-magazine.de/2017/12/11/indirekte-fotovoltaik-emissionen-kein-hindernis-fuer-dekarbonisierung/>, 12 december 2017.

-
- ⁷⁰ <http://www.dont-uke-the-climate.org/> Jan Willem Storm van Leeuwen, Climate change and nuclear power. An analysis of nuclear greenhouse gas emissions. Commissioned by the World Information Service on Energy (WISE) Amsterdam 24 oktober 2017.
- ⁷¹ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ⁷² <https://jaspervis.wordpress.com/2019/03/03/hoeveel-co2-kost-al-dat-staal-van-een-windmolen-eigenlijk-2019-update/>, 3 maart 2019.
- ⁷³ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ⁷⁴ Jan Willem Storm van Leeuwen, Nuclear Monitor #886, June 8, 2020; CO2 emissions of nuclear power: the whole picture; <http://nuclearfreenw.org/climate.htm>.
- ⁷⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421521002330?via%3Dihub>, Energy Policy, Volume 155, August 2021, 112363 Nuclear energy - The solution to climate change?
- ⁷⁶ <https://www.tno.nl/whitepaper-duurzaamheid-zonne-energie>, december 2021.
- ⁷⁷ <https://www.iaea.org/publications/15487/energy-electricity-and-nuclear-power-estimates-for-the-period-up-to-2050>, september 2023.
- ⁷⁸ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, rapport CORA (Commissie Opberging Radioactief Afval, 1995-2001).
- ⁷⁹ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19760618-brief.pdf>, 18 Juni 1976.
- ⁸⁰ <https://radioactiefafval.nl/kernafval-in-zout/>, 7- Jaren tachtig; Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ⁸¹ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/20010221-cora.pdf>, 21 februari 2001.
- ⁸² <http://www.laka.org/nieuws/2014/tno-rapport-friese-klei-best-voor-opslag-kernafval-2745/>, 11 juli 2014; G.-J. Vis & J.M. Verweij, "Geological and geohydrological characterization of the Boom Clay and its overburden" OPERA-PU-TNO411, <http://www.no-a.nl/files/11072014-vp.pdf>.
- ⁸³ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, 21 februari 2001.
- ⁸⁴ <https://www.greenpeace.org/static/planet4-netherlands-stateless/2018/06/TASurveyrapport.pdf>, 22 december 2010.
- ⁸⁵ <https://www.covra.nl/nl/downloads/opera/>, OPERA-PU-TNO411-1.pdf, rapport is uit 2014, gepubliceerd in 2018.
- ⁸⁶ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/>
- ⁸⁷ <https://www.laka.org/nieuws/2000/kernafval-en-ethiek-gaan-niet-samen-5382>, 12 januari 2000.
- ⁸⁸ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, Kernafval en Kernethiek.
- ⁸⁹ <https://www.platformparticipatie.nl/npra/documenten-npra/default.aspx#folder=2558555>, 3 oktober 2023, pagina 9.
- ⁹⁰ <https://www.commissierner.nl/docs/mer/p35/p3546/a3546ts.pdf>, 9 maart 2023.
- ⁹¹ Reinier de Man, Ondergrondse berging van onverwerkbaar afval, (1991), p. 16. Ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer (Vrom), directoraat-generaal milieubeheer. Publikatiereeks stralenbescherming, 53.
- ⁹² Hamstra, "Veiligheidsaspecten en risico's verbonden aan de opslag van kernsplijtingsafval", in: Atoomenergie, 1974, 7/8, p. 175-180.
- ⁹³ <https://www.bge.de/de/asse/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2023/1/menge-und-messwerte-der-abtransportierten-zutrittsloesungen-des-jahres-2022/>, 18 januari 2023.
- ⁹⁴ <https://www.bge.de/de/asse/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2023/1/menge-und-messwerte-der-abtransportierten-zutrittsloesungen-des-jahres-2022/>, 18 januari 2023.
- ⁹⁵ <https://www.bge.de/de/asse/>.
- ⁹⁶ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2023/8/erster-schritt-zur-schliessung-des-bergwerks-gorleben/>, 15 augustus 2023.
- ⁹⁷ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2021/9/645-gorleben/>, 17 september 2021.
- ⁹⁸ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/bergwerk-gorleben/>
- ⁹⁹ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2023/8/erster-schritt-zur-schliessung-des-bergwerks-gorleben/>, 15 augustus 2023.
- ¹⁰⁰ Department of Energy, Mission Plan for the Civilian Radioactive Waste Management Program, juni 1985, Volume 1, p 41 en 42; <https://www.nrc.gov/docs/ML2232/ML22322A275.pdf>.
- ¹⁰¹ https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/27/063/27063469.pdf, 1 mei 1996.
- ¹⁰² https://www.commissierner.nl/docs/mer/p37/p3750/persbericht_3750rd.pdf, 31 januari 2024.
- ¹⁰³ <https://www.commissierner.nl/docs/mer/p37/p3750/a3750rd.pdf>, 31 januari 2024.
- ¹⁰⁴ <https://www.kabinetsformatie2023.nl/documenten/publicaties/2024/05/16/hoofdlijnenakkoord-tussen-de-fracties-van-pvv-vvd-nsc-en-bbb>, 16 mei 2024.

-
- ¹⁰⁵ <https://www.kabinetsformatie2023.nl/documenten/publicaties/2024/05/16/budgettaire-bijlage-hoofdlijnenakkoord>, 16 mei 2024.
- ¹⁰⁶ <https://dvhn.nl/groningen/eemsdelta/Rob-Jetten-D66-haalt-in-Middelstum-uit-naar-Omtzigt-28745434.html>, 11 november 2023.
- ¹⁰⁷ https://www.base.bund.de/EN/ns/ni-germany/smr/small-modular-reactors_node.html, 5 december 2023.
- ¹⁰⁸ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223015980#sec4>, 15 oktober 2023.
- ¹⁰⁹ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Idaho-SMR-project-terminated>, 9 november 2023.
- ¹¹⁰ <https://www.nuscalepower.com/en/news/press-releases/2023/uamps-and-nuscale-power-agree-to-terminate-the-carbon-free-power-project>, 8 november 2023.
- ¹¹¹ <https://www.reuters.com/business/energy/frances-edf-drops-plans-develop-its-own-small-nuclear-reactor-technology-2024-07-01/>, 1 juli 2024.
- ¹¹² <https://reneweconomy.com.au/french-nuclear-giant-scrap-smr-plans-due-to-soaring-costs-will-start-over/>, 2 juli 2024.
- ¹¹³ <https://committees.parliament.uk/writtenevidence/126413/pdf/>, 13 december 2023.
- ¹¹⁴ <https://wisenederland.nl/kerncentrales-in-de-provincie/?cn-reloaded=1>, 1 september 2023.
- ¹¹⁵ <https://www.destentor.nl/home/straks-kleine-kerncentrales-in-gelderland-en-overijssel-heeft-grote-voordelen-naast-wind-en-zon-a7647591/>, 14 november 2023.
- ¹¹⁶ <https://lc.nl/economie/Ja21-VVD-BBB-en-PVV-in-Provinciale-Statens-willen-ruimte-voor-kleine-kernreactor-in-Friesland-hoe-haalbaar-is-dat-28741613.html>, 14 november 2023.
- ¹¹⁷ <https://dvhn.nl/drenthe/Onderzoek-naar-kerncentrale-in-Drenthe-28752694.html>, 15 november 2023.
- ¹¹⁸ <https://milieu.vvm.info/milieu-2023-3-kernenergie/>, juli 2023, nr. 3.
- ¹¹⁹ <http://epz.nl/kernenergie>.
- ¹²⁰ <http://www.kernenergiein nederland.nl/node/701>
- ¹²¹ https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf
- ¹²² https://fwu.at/wp-content/uploads/OeSMR_FWU-2021_final.pdf, december 2021.
- ¹²³ Bron: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_83555/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-volume-ii, 20 juli 2023, pagina 36.
- ¹²⁴ <https://www.deingenieur.nl/artikel/thorium-reactor-heeft-nodige-haken-en-ogen#.Wif69YkWnaE.twitter>, 6 december 2017.
- ¹²⁵ <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02459-w>, 10 september 2021.
- ¹²⁶ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_55928/strategies-and-considerations-for-the-back-end-of-the-fuel-cycle, 24 februari 2021.
- ¹²⁷ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_78743/the-nea-small-modular-reactor-dashboard, 13 maart 2023.
- ¹²⁸ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_83555/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-volume-ii, 20 juli 2023.
- ¹²⁹ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition, 28 februari 2024.
- ¹³⁰ <https://www.sgr.org.uk/publications/responsible-science>, 14 maart 2023.
- ¹³¹ <https://www.samuellawrencefoundation.org/post/first-friday-series-june-2nd-2023>, 2 juni 2023.
- ¹³² <https://iai.tv/articles/the-end-of-oppenheimers-energy-dream-auid-2549>, 21 juli 2023.
- ¹³³ https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/oregonpsrorg/pages/21/attachments/original/1600287829/EyesWideShut_Report_Final-30August2020.pdf.
- ¹³⁴ <https://ieefa.org/resources/eye-popping-new-cost-estimates-released-nuscale-small-modular-reactor>.
- ¹³⁵ <https://seekingalpha.com/article/4569771-nuscale-smr-technology-costs-problematic>.
- ¹³⁶ <https://www.nuscalepower.com/en/projects>,
- ¹³⁷ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Idaho-SMR-project-terminated>, 9 november 2023.
- ¹³⁸ <https://www.nuscalepower.com/en/news/press-releases/2023/uamps-and-nuscale-power-agree-to-terminate-the-carbon-free-power-project>, 8 november 2023.
- ¹³⁹ <https://www.rollroyce.com/innovation/small-modular-reactors.aspx#/>
- ¹⁴⁰ www.no2nuclearpower.org.uk/wp/wp-content/uploads/2021/11/nuClearNewsNo135.pdf, 11 november 2021.
- ¹⁴¹ <https://www.newscientist.com/article/2299113-fix-the-planet-newsletter-can-small-nuclear-power-go-big/>, 25 november 2021.
- ¹⁴² <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Constellation-to-help-Dutch-Rolls-Royce-SMR-deploy>, 15 september 2022.
- ¹⁴³ <https://www.gov.uk/government/publications/british-energy-security-strategy>, 7 april 2022.
- ¹⁴⁴ <https://www.neimagazine.com/news/newsrolls-royce-smr-faces-financial-problems-10648145>, 3 maart 2023.
- ¹⁴⁵ <https://www.parliament.uk/business/committees/committees-a-z/lords-select/science-and-technology-committee/news-parliament-2015/nuclear-research-technology-report-published>, februari 2017.

- ¹⁴⁶ <https://www.rolls-royce-smr.com/press/rolls-royce-smr-shortlists-locations-for-first-factory>, 4 juli 2022.
- ¹⁴⁷ <https://www.telegraph.co.uk/business/2023/02/24/rolls-royce-freezes-hiring-mini-nukes-team/>, 24 februari 2023.
- ¹⁴⁸ <https://nos.nl/nieuwsuur/artikel/2447301-toch-kernenergie-in-nederland-met-kleinere-centrales>, 6 oktober 2022.
- ¹⁴⁹ <https://www.baminfra.nl/nieuws/2023/11/bam-infra-nederland-ult-energy-en-rolls-royce-smr-gaan-samenwerken-aan-het>, 8 november 2023.
- ¹⁵⁰ <https://fd.nl/bedrijfsleven/1495657/bam-studeert-met-rolls-royce-op-kleine-kernreactoren-in-nederland>, 8 november 2023.
- ¹⁵¹ [https://nuclear.gepower.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwrx-300/005N9751-RevE-BWRX-300-General-Description-\(002\).pdf](https://nuclear.gepower.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwrx-300/005N9751-RevE-BWRX-300-General-Description-(002).pdf), augustus 2023, pagina 63.
- ¹⁵² <https://world-nuclear-news.org/Articles/BWRX-300-selected-for-Estonia-s-first-nuclear-powe>, 8 februari 2023.
- ¹⁵³ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/BWXT-to-manufacture-BWRX-300-reactor-vessel>, 22 maart 2023.
- ¹⁵⁴ <https://nuclear.gepower.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/bwrx-300>
- ¹⁵⁵ https://aris.iaea.org/PDF/BWRX-300_2020.pdf.
- ¹⁵⁶ <https://www.opg.com/news/neighbours-pickering-darlington-winter-2024/>, 5 februari 2024.
- ¹⁵⁷ [https://nuclear.gepower.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwrx-300/005N9751-RevE-BWRX-300-General-Description-\(002\).pdf](https://nuclear.gepower.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwrx-300/005N9751-RevE-BWRX-300-General-Description-(002).pdf), augustus 2023, pagina 33 en 57.
- ¹⁵⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=PGnDAXgcL4>, 3 november 2023.
- ¹⁵⁹ <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/cooling-power-plants.aspx>.
- ¹⁶⁰ <https://www.oeko.de/publikation/sicherheitstechnische-analyse-und-risikobewertung-einer-anwendung-von-smr-konzepten-small-modular-reactors>, 10 maart 2021.
- ¹⁶¹ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Six-SMR-power-plants-approved-in-Poland>, 8 december 2023.
- ¹⁶² De locaties zijn: Ostrołęka, Włocławek, Stawy Monowskie, Dąbrowa Górnicza, Kraków-Nowa Huta, the Tarnobrzeg – Stalowa Wola Special Economic Zone and Warsaw.
- ¹⁶³ <https://osge.com/en/first-potential-sites-announced/>, 17 april 2023.
- ¹⁶⁴ E-mail Mariusz Ilnicki aan Herman Damveld op 12 december 2023 om 16:38.
- ¹⁶⁵ <http://www.kernenergieinnederland.nl/files/19970326-gkn.pdf>, 26 maart 1997.
- ¹⁶⁶ <http://www.kernenergieinnederland.nl/node/701>
- ¹⁶⁷ A, J. van Loon, Dodewaard Doorgelicht, Deventer, 1982, p 10.
- ¹⁶⁸ Idem, p 11.
- ¹⁶⁹ Idem, p 13 en 14.
- ¹⁷⁰ Idem, p 11.
- ¹⁷¹ www.kernenergieinnederland.nl/files/19970326-gkn.pdf, 26 maart 1997
- ¹⁷² <https://www.raadvanstate.nl/uitspraken/@127361/201906056-1-r4/>, 3 november 2021.
- ¹⁷³ <https://www.gelderlander.nl/overbetuwe/energiebedrijven-moeten-miljoenen-extra-opzietten-voor-ontmantelen-kerncentrale-dodewaard~a4db329a/>, 3 november 2021.
- ¹⁷⁴ <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-5d04dce22a68d0d26d99391e792e90ea611690fe/pdf>, 16 mei 2023.
- ¹⁷⁵ https://www.diw.de/de/diw_01.c.867801.de/neue_kernkraftprojekte_technisch_risikant_und_unrentabel.html, 7 maart 2023.
- ¹⁷⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223015980?s=09>, 27 juni 2023.
- ¹⁷⁷ <https://milieu.vvm.info/milieu-2023-3-kernenergie/>, juli 2023, nr. 3.
- ¹⁷⁸ <https://wisenerland.nl/wp-content/uploads/2023/05/SmallModularReactors2023-Marktanalyse-2.pdf>, mei 2023.
- ¹⁷⁹ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/UK%C2%A0SMR-selection-contest-Six-companies-into-next>, 2 oktober 2023.
- ¹⁸⁰ <https://www.gov.uk/government/news/six-companies-through-to-next-stage-of-nuclear-technology-competition>, 2 oktober 2023.
- ¹⁸¹ <https://www.oeko.de/publikation/sicherheitstechnische-analyse-und-risikobewertung-einer-anwendung-von-smr-konzepten-small-modular-reactors>, pagina 198, 10 maart 2021.
- ¹⁸² <https://doi.org/10.1073/pnas.2111833119>
- ¹⁸³ https://fuelcycleoptions.inl.gov/SiteAssets/SitePages/Home/SMR_Waste_Attributes_Report_Final.pdf, 18 november 2022.
- ¹⁸⁴ <https://www.base.bund.de/DE/themen/fa/veranstaltungen/iaeo-neuartige-reaktortypen/iaeo-reaktoren.html>, 11 januari 2024.
- ¹⁸⁵ <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26500/merits-and-viability-of-different-nuclear-fuel-cycles-and-technology-options-and-the-waste-aspects-of-advanced-nuclear-reactors>, pagina 1, 2023.

-
- ¹⁸⁶ <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26500/merits-and-viability-of-different-nuclear-fuel-cycles-and-technology-options-and-the-waste-aspects-of-advanced-nuclear-reactors>, pagina 5, 2023.
- ¹⁸⁷ <https://www.gov.uk/government/publications/development-of-small-modular-reactors-smrs-and-advanced-modular-reactors-amrs-corwm-position-paper>, 9 februari 2024.
- ¹⁸⁸ <https://www.nei.org/CorporateSite/media/filefolder/resources/reports-and-briefs/NEI-White-Paper-Establishing-a-High-Assay-Low-Enriched-Uranium-Infrastructure-for-Advanced-Reactors-Jan-2022.pdf>, januari 2022.
- ¹⁸⁹ <https://www.iaea.org/bulletin/fuelling-the-future>, september 2023.
- ¹⁹⁰ <https://www.iaea.org/bulletin/fuelling-the-future>, september 2023.
- ¹⁹¹ <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26500/merits-and-viability-of-different-nuclear-fuel-cycles-and-technology-options-and-the-waste-aspects-of-advanced-nuclear-reactors>, 2023.
- ¹⁹² <https://iai.tv/articles/the-end-of-oppenheimers-energy-dream-auid-2549>, 21 juli 2023.
- ¹⁹³ <https://d66.nl/nieuws/nieuwe-energie-voor-nederland/>, 2 september 2023.
- ¹⁹⁴ <https://www.vvd.nl/wp-content/uploads/2023/09/Verkiezingsprogramma-VVD-2023-2027.pdf>, 1 september 2023.
- ¹⁹⁵ <https://www.epz.nl/actueel/100-positieve-energie/>, 7 juli 2023.
- ¹⁹⁶ https://www.laka.org/docu/catalogus/publicatie/1.01.1.50/03_uraan-of-kolen-een-kernbeslissing, 1976.
- ¹⁹⁷ <https://thebulletin.org/2014/04/the-bulletins-authoritative-climate-change-coverage-from-1978>, 2 april 2014.
- ¹⁹⁸ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-30000-42.html>, 1 november 2006.
- ¹⁹⁹ https://www.wisenederland.nl/sites/default/files/images/WISE_klimaat-energie-rapport_A4%20definitief_0.pdf, 9 november 2018.
- ²⁰⁰ <https://wisenederland.nl/wp-content/uploads/2020/05/Fact-sheet-Kerncentrale-Borssele.pdf>, mei 2020.
- ²⁰¹ <https://www.rli.nl/publicaties/2022/advies/splijstof?adview=samenvatting>, pagina 46, 7 september 2022.
- ²⁰² <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>, 2014.
- ²⁰³ <https://unece.org/sites/default/files/2021-10/LCA-2.pdf>, november 2021.
- ²⁰⁴ <https://www.globalresearch.ca/the-health-risks-of-nuclear-radiation-toxic-link-the-who-and-the-iaea/13767>, 28 mei 2009.
- ²⁰⁵ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf, Schlömer S., T. Bruckner, L. Fulton, E. Hertwich, A. McKinnon, D. Perczyk, J. Roy, R. Schaeffer, R. Sims, P. Smith, and R. Wisner, 2014: Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ²⁰⁶ Het gaat hier om de zogenoemde mediaan. Dat is het middelste getal als je de getallen op volgorde van klein naar groot zet ([https://nl.wikipedia.org/wiki/Mediaan_\(statistiek\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Mediaan_(statistiek))). Waarom de mediaan gebruikt wordt en niet het rekenkundig gemiddelde, wordt niet uitgelegd.
- ²⁰⁷ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf.
- ²⁰⁸ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ²⁰⁹ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2012.00472.x>, 17 april 2012.
- ²¹⁰ <https://theecologist.org/2015/feb/05/false-solution-nuclear-power-not-low-carbon>, Keith Barnham, 5 februari 2015.
- ²¹¹ Technische toelichting. In hun rapport gaat het om 99 berekeningen in 274 artikelen, die volgens Warner en Heath onafhankelijk van elkaar zouden zijn. Dat is echter niet juist, vele artikelen zijn niet onafhankelijk van elkaar. Daarom gaat het om 27 artikelen in plaats van 274. En slechts in acht artikelen zijn alle stappen van de brandstofcyclus meegenomen. In twee gevallen met de laagste CO₂-berekening voor kernenergie, is de spreiding van de uitkomsten het kleinst. Verschillende andere berekeningen die Warner en Heath aanhalen, komen uit op een soms aanzienlijk hogere CO₂-uitstoot, zoals in het artikel in The Ecologist tot in de details wordt geanalyseerd.
- ²¹² Jan Willem Storm van Leeuwen, Nuclear Monitor #886, June 8, 2020
CO₂ emissions of nuclear power: the whole picture; in: <http://nuclearfreenw.org/climate.htm>;
- ²¹³ 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.
- ²¹⁴ <http://www.peopleplanetprofit.be/beelden/oko-instituut.pdf>, maart 2007.
- ²¹⁵ <https://www.dont-nuke-the-climate.org/>; Jan Willem Storm van Leeuwen, Climate change and nuclear power. An analysis of nuclear greenhouse gas emissions, 24 oktober 2017;
<https://www.laka.org/nieuws/2018/kernenergie-niet-co2-vrij-10068>.
- ²¹⁶ <http://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9>; <https://www.pv-magazine.de/2017/12/11/indirekte-photovoltaik-emissionen-kein-hindernis-fuer-dekarbonisierung/>, 12 december 2017.
- ²¹⁷ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.

- ²¹⁸ <https://jaspervis.wordpress.com/2019/03/03/hoeveel-co2-kost-al-dat-staal-van-een-windmolen-eigenlijk-2019-update/>, 3 maart 2019.
- ²¹⁹ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ²²⁰ <https://www.leonardodicaprio.org/the-7-reasons-why-nuclear-energy-is-not-the-answer-to-solve-climate-change/>, 20 juni 2020.
- ²²¹ Jan Willem Storm van Leeuwen, Nuclear Monitor #886, June 8, 2020
CO2 emissions of nuclear power: the whole picture; in: <http://nuclearfreenw.org/climate.htm>;
- ²²² <https://www.stormsmith.nl/nuclearco2.html>.
- ²²³ <https://www.annales.org/re/2023/re111/2023-07-09.pdf>, 9 juli 2023.
- ²²⁴ <https://www.samuellawrencefoundation.org/post/first-friday-series-june-2nd-2023>, 2 juni 2023.
- ²²⁵ 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.
- ²²⁶ <http://www.peopleplanetprofit.be/beelden/oko-instituut.pdf>, maart 2007.
- ²²⁷ Jan Willem Storm van Leeuwen, Nuclear Monitor #886, June 8, 2020
CO2 emissions of nuclear power: the whole picture; in: <http://nuclearfreenw.org/climate.htm>;
- ²²⁸ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf.
- ²²⁹ <http://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9>; <https://www.pv-magazine.de/2017/12/11/indirekte-photovoltaik-emissionen-kein-hindernis-fuer-dekarbonisierung/>, 12 december 2017.
- ²³⁰ <http://www.dont-nuke-the-climate.org/> Jan Willem Storm van Leeuwen, Climate change and nuclear power. An analysis of nuclear greenhouse gas emissions. Commissioned by the World Information Service on Energy (WISE) Amsterdam 24 oktober 2017.
- ²³¹ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ²³² <https://jaspervis.wordpress.com/2019/03/03/hoeveel-co2-kost-al-dat-staal-van-een-windmolen-eigenlijk-2019-update/>, 3 maart 2019.
- ²³³ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ²³⁴ Jan Willem Storm van Leeuwen, Nuclear Monitor #886, June 8, 2020; CO2 emissions of nuclear power: the whole picture; <http://nuclearfreenw.org/climate.htm>.
- ²³⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421521002330?via%3Dihub>, Energy Policy, Volume 155, August 2021, 112363 Nuclear energy - The solution to climate change?
- ²³⁶ <https://www.tno.nl/whitepaper-duurzaamheid-zonne-energie>, december 2021.
- ²³⁷ <https://www.annales.org/re/2023/re111/2023-07-09.pdf>, 9 juli 2023.
- ²³⁸ Tweede Kamer, zitting 1978-1979, 15 100, nr. 16; https://repository.overheid.nl/frbr/sgd/19781979/0000177521/1/pdf/SGD_19781979_0003525.pdf.
- ²³⁹ <https://www.platformparticipatie.nl/npra/default.aspx>, 3 oktober 2023.
- ²⁴⁰ https://borsele.raadsinformatie.nl/document/13624309/1/6_+Voorstel+Borselse+Voorwaarden+en+vervolgaanpak, 11 januari 2024.
- ²⁴¹ https://www.borsele.nl/sites/borsele/files/2023-11/Borselse%20Voorwaarden%202023_1.pdf, 8 november 2023.
- ²⁴² <https://www.borsele.nl/besluitvorming-gemeenteraad-over-de-borselse-voorwaarden-en-de-vervolgaanpak>, 14 december 2023.

²⁴³ **Vroegste tijdstip eindopslag hoogradioactief afval**

Land	verwachting in 1989	verwachting in 1996	verwachting in 2010	verwachting in 2023
Nederland	2000	??	??	2130
België	2030	2035	2070/80	2070/80
Duitsland	2005/10	2010	2035	2080/2100
Finland	2020	2020	2020	2024
Frankrijk	2010	2020	2025	2025/30
Groot-Brittannië	??	2030	2040	2075
Zweden	2020	2020	2023	2035
Zwitserland	2025	2020	2040	2060
Canada	2015/25	2025	2035	2040
VS.	2010	2013	??	2048
China	??	??	2050	2060

²⁴⁴ <https://www.platformparticipatie.nl/kerncentraleborssele/documenten+kerncentrale+borssele/default.aspx>, 31 mei 2023.

²⁴⁵ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2023-15014.html>, 30 mei 2023.

-
- ²⁴⁶ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, rapport CORA (Commissie Opberging Radioactief Afval, 1995-2001).
- ²⁴⁷ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19760618-brief.pdf>, 18 Juni 1976.
- ²⁴⁸ <https://radioactiefafval.nl/kernafval-in-zout/>, 7- Jaren tachtig: Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ²⁴⁹ Bron: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/19/047/19047134.pdf, Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek inzake geologische opberging van radioactief afval in Nederland, Tweede Tussenrapport over Fase 1 (januari 1986-januari 1987), 1987, pagina 56.
- ²⁵⁰ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/20010221-cora.pdf>, 21 februari 2001.
- ²⁵¹ <http://www.laka.org/nieuws/2014/tno-rapport-friese-klei-best-voor-opslag-kernafval-2745/>, 11 juli 2014; G.-J. Vis & J.M. Verweij, "Geological and geohydrological characterization of the Boom Clay and its overburden" OPERA-PU-TNO411, <http://www.no-a.nl/files/11072014-vp.pdf>.
- ²⁵² <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, 21 februari 2001.
- ²⁵³ <https://www.greenpeace.org/static/planet4-netherlands-stateless/2018/06/TASurveyrapport.pdf>, 22 december 2010.
- ²⁵⁴ <https://www.covra.nl/nl/downloads/opera/>, OPERA-PU-TNO411-1.pdf, rapport is uit 2014, gepubliceerd in 2018.
- ²⁵⁵ <https://www.geologischdienst.nl/geologie-voor-jou/geologische-hotspots/peelrandbreuk/>
- ²⁵⁶ <https://www.bmu.de/themen/nukleare-sicherheit/endlagerprojekte/standortauswahlverfahren-endlager/das-standortauswahlgesetz>, 12 maart 2012.
- ²⁵⁷ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/>
- ²⁵⁸ <https://www.laka.org/nieuws/2000/kernafval-en-ethiek-gaan-niet-samen-5382>, 12 januari 2000.
- ²⁵⁹ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, Kernafval en Kernethiek.
- ²⁶⁰ <https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/onderzoek-eindberging/>
- ²⁶¹ <https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p35/p3546/a3546ts.pdf>, 9 maart 2023.
- ²⁶² Reinier de Man, Ondergrondse berging van onverwerkbaar afval, (1991), p. 16. Ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer (Vrom), directoraat-generaal milieubeheer. Publikatiereeks stralenbescherming, 53.
- ²⁶³ Hamstra, "Veiligheidsaspecten en risico's verbonden aan de opslag van kernsplijtingsafval", in: Atoomenergie, 1974, 7/8, p. 175-180.
- ²⁶⁴ <https://www.bge.de/de/asse/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2023/1/menge-und-messwerte-der-abtransportierten-zutrittsloesungen-des-jahres-2022/>, 18 januari 2023.
- ²⁶⁵ https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/abfallentsorgung_kosten_fina_nzierung_bf.pdf, 12 augustus 2015.
- ²⁶⁶ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2022/1/679-schachtanlage-asse-ii/>, 10 januari 2022.
- ²⁶⁷ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2021/9/645-gorleben/>, 17 september 2021.
- ²⁶⁸ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/bergwerk-gorleben/>
- ²⁶⁹ Atomwirtschaft, juni 1986, p 310.
- ²⁷⁰ https://www.cardnm.org/backfrm_a.html.
- ²⁷¹ https://curie.pnnl.gov/system/files/EMD-82-64-full-report_Lyons_Kansas.pdf, 23 maart 1982.
- ²⁷² Ronnie Lipschutz, "Radioactive Waste: Politics, Technology and Risk", Cambridge USA, 1980.
- ²⁷³ Department of Energy, Mission Plan for the Civilian Radioactive Waste Management Program, juni 1985, Volume 1, p 41 en 42; <https://www.nrc.gov/docs/ML2232/ML22322A275.pdf>.
- ²⁷⁴ <https://www.leg.state.nv.us/Division/Research/Publications/Factsheets/YuccaTimeline.pdf>, september 2018.
- ²⁷⁵ Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ²⁷⁶ 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.
- ²⁷⁷ Christa Garms-Babke, 'Die Unvereinbarkeit nicht-rückholbarer Endlagerung radioaktiver Abfälle mit dem Grundgesetz', Frankfurt, 2002.
- ²⁷⁸ Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ²⁷⁹ http://www.sp.nl/onderzoek/normen_waarden_radioactiefafval.pdf, 2003.

-
- ²⁸⁰ 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.
- ²⁸¹ http://www.cowam.com/IMG/pdf_cowam2_WP4.pdf, Long term governance WP4 Long term governance for radioactive waste Management, december 2006.
- ²⁸² <http://endlagerdialog.de/2018/10/endlagersuche-der-dachverband-geowissenschaften-mischt/>, 14 oktober 2018.
- ²⁸³ 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 en 363.
- ²⁸⁴ <https://www.natuurkunde.nl/artikelen/745/nucleaire-geneeskunde>
- ²⁸⁵ <https://www.rivm.nl/publicaties/productie-en-gebruik-van-medische-radio-isotopen-in-nederland-huidige-situatie-en>, 3 juli 2017.
- ²⁸⁶ <https://www.covra.nl/nl/de-cijfers/>
- ²⁸⁷ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 11 januari 2013.
- ²⁸⁸ <http://www.covra.nl/jaarrapport-2013>, pp. 56 en 57.
- ²⁸⁹ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 12 december 2014.
- ²⁹⁰ <http://www.covra.nl/downloads>, Kernegevens COVRA, Inlegvel bij Jaarrapport 2014.
- ²⁹¹ <http://www.covra.nl/jaarrapport-2015>, 23 september 2016, pp 3 en 69.
- ²⁹² <https://www.covra.nl/app/uploads/2020/05/Covra-jaarverslag2019-definitief.pdf>, 7 mei 2020.
- ²⁹³ <file:///D:/Downloads/Covra-jaarrapport2021.pdf>, 10 mei 2022.
- ²⁹⁴ <https://www.covra.nl/app/uploads/2023/05/COVRA-jaarrapport-2022.pdf>, 9 mei 2023.
- ²⁹⁵ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 11 januari 2013.
- ²⁹⁶ <http://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ez/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2010/02/24/nota-naar-aanleiding-van-het-verslag.html>, 24 februari 2010, p.6.
- ²⁹⁷ Damveld Herman et.al. "Kernafval in zee of zout? Nee fout!", Greenpeace Amsterdam, 1994, p.14
Bij een kerncentrale van 1000 MW komen jaarlijks 35 m³ aan gebruikte brandstofelementen beschikbaar; door opwerking ontstaat daaruit 120 m³ afval, waarvan de helft als hoogradioactief afval behandeld moet worden; het kernsplijtingsafval is 6 m³ en daardoor is het verhaal ontstaan dat door opwerking het volume van radioactief afval zou verminderen (zie: Tijdschrift Wetenschap en Samenleving, 78, nummer 7, oktober 1978, pp. 10 – 13).
- ²⁹⁸ <http://www.co2ntramine.nl/de-kerncentrale-borssele-en-de-verliesgevende-handel-in-plutonium/#more-3542>, oktober 2020.
- ²⁹⁹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/27/laagste-energieverbruik-in-nederland-sinds-1990>, 5 juli 2023.
- ³⁰⁰ <https://www.energieconsultant.nl/energiemarkt/technische-informatie-energie/tabel-overzicht-verbrandingswarmte-brandstoffen/>.
- ³⁰¹ Algemene Energieraad, "Klein vademecum voor de energie 1982",
<https://search.socialhistory.org/Record/996491>.
- ³⁰² <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/16/energieverbruik-gedaald-in-2018>, 17 april 2019.
- ³⁰³ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1665322596165>
- ³⁰⁴ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1538899484905>, 2 juli 2018
- ³⁰⁵ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/22/verbruik-hernieuwbare-energie-met-16-procent-gegroeid>, 29 mei 2020.
- ³⁰⁶ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/14/energieverbruik-met-3-procent-gedaald-in-2020>, 7 april 2021.
- ³⁰⁷ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/22/11-procent-energieverbruik-in-2020-afkomstig-uit-hernieuwbare-bronnen>, 31 mei 2021.
- ³⁰⁸ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1665322596165>
- ³⁰⁹ <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2022>, 1 november 2022.
- ³¹⁰ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/10/aandeel-hernieuwbare-elektriciteit-met-20-procent-gestegen-in-2022>, 6 maart 2023.
- ³¹¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/83140NED?q=energieproductie%20kerncentrale>, 15 juni 2023.
- ³¹² <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/83140NED?q=finale%20energieverbruik>,
<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/23/energieverbruik-uit-hernieuwbare-bronnen-gestegen-naar-17-procent>, 7 juni 2024.
- ³¹³ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80030NED/table>
- ³¹⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2022/10/meer-elektriciteit-uit-hernieuwbare-bronnen-minder-uit-fossiele-bronnen>, 7 maart 2022
- ³¹⁵ <https://www.epz.nl/actueel/>, 31 januari 2022.

-
- ³¹⁶ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/10/aandeel-hernieuwbare-elektriciteit-met-20-procent-gestegen-in-2022>, 6 maart 2023.
- ³¹⁷ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/10/bijna-helpt-elektriciteitsproductie-komt-uit-hernieuwbare-bronnen>, 7 maart 2024.
- ³¹⁸ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2015/07/elektriciteitsverbruik-16-keer-hoger-dan-in-1950>, 9 februari 2015.
- ³¹⁹ <https://www.tennet.eu/nl/tinyurl-storage/nieuws/internationale-afhankelijkheid-leveringszekerheid-elektriciteit-vraagt-om-meer-grensoverschrijdende/>, 12 januari 2022.
- ³²⁰ <https://www.duurzaamnieuws.nl/is-kernenergie-de-oplossing-tegen-dunkelflaute/>, 15 januari 2022.
- ³²¹ <http://www.kernenergiein nederland.nl/node/701>
- ³²² <http://epz.nl/kernenergie>.
- ³²³ <http://kernenergiein nederland.nl/node/745>.
- ³²⁴ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19720330-nota.pdf>, 30 maart 1972.
- ³²⁵ Tweede Kamer, zitting 1971-1972, 11761, nr 2, p 4.
- ³²⁶ Tweede Kamer, zitting 1974-1975, 13122, nr 2, p 130.
- ³²⁷ https://www.laka.org/docu/catalogus/publicatie/1.01.0.23/05_aanvullend-structuurschema-elektriciteitsvoorzienj, februari 1977.
- ³²⁸ Tweede Kamer, vergaderjaar 1985-1986, 18830, nrs 41-42, p 4.
- ³²⁹ <https://www.kabinetsformatie2021.nl/documenten/publicaties/2021/12/15/coalitieakkoord-omzien-naar-elkaar-vooruitkijken-naar-de-toekomst>, 15 december 2021.
- ³³⁰ Tweede Kamer, zitting 1974-1975, 13122, nr. 2, p 130.
- ³³¹ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19740926-nota.pdf>
- ³³² <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19970326-gkn.pdf>, 26 maart 1997.
- ³³³ <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/vergunningen/2012/10/24/inspraak-verlenging-bedrijfsduur-kerncentrale-borssele.html>, 20 maart 2013.
- ³³⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2019/01/25/kamerbrief-met-antwoorden-op-vragen-over-rol-kernenergie-in-relatie-tot-opwarming-aarde>, 25 januari 2019.
- ³³⁵ <https://fd.nl/economie-politiek/1357654/energiebedrijven-lopen-niet-warm-voor-nieuwe-nederlandse-kerncentrale>, 18 september 2020.
- ³³⁶ <https://www.ad.nl/economie/energiereuzen-fileren-vvd-voorstel-voor-nieuwe-kerncentrales~a93c015e/>.
- ³³⁷ <https://www.ad.nl/politiek/kerncentrales-geen-windmolens-en-zonnepanelen-nederland-rommelland-dat-wil-ik-niet~a30dcdfa/>, 23 september 2020.
- ³³⁸ <https://www.vvd.nl/kernboodschap/>
- ³³⁹ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/kamerstukken/2020/09/22/aanbiedingsbrief-rapport-over-kernenergie>, 22 september 2020.
- ³⁴⁰ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/kamerstukken/2021/07/07/aanbieding-rapport-marktconsultatie-kernenergie>, 7 juli 2021.
- ³⁴¹ <https://www.nu.nl/klimaat/6241231/kabinet-wil-kerncentrales-bouwen-in-borssele-maar-locatie-is-nog-niet-zeker.html>, 9 december 2022.
- ³⁴² <https://www.pzc.nl/zeeuws-nieuws/kabinet-hakt-knoop-door-borssele-is-de-ideale-plek-maar-pas-eind-2024-definitieve-keuze-voor-twee-nieuwe-kerncentrales~a19c3347/>, 9 december 2022.
- ³⁴³ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-02/Voornemen-en-voorstel-voor-participatie-12-februari-2024-Nieuwbouw-kerncentrales.pdf>, 23 februari 2024.
- ³⁴⁴ https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2024-02/20240222%20Publiekssamenvatting%20analyse%20netinpassing%20kerncentrales_final.pdf, 29 februari 2024.
- ³⁴⁵ <https://www.laka.org/docu/boeken/pdf/1-01-0-23-06.pdf#page=2>, februari 1977.
- ³⁴⁶ Tweede Kamer, 18830, nrs 1-4.
- ³⁴⁷ Tweede Kamer, vergaderjaar 1985-1986, 18830, nrs. 46-47.
- ³⁴⁸ http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/18/076/18076239.pdf
- ³⁴⁹ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-55735.pdf>, 10 augustus 2009
- ³⁵⁰ <https://www.laka.org/nieuws/bijlagen/2010/09/mededeling-voornemen-erh-09-2010-1-350516.pdf>, september 2010.
- ³⁵¹ <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2021Z04155&did=2021D09078>, 10 maart 2021.
- ³⁵² <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-02/Voornemen-en-voorstel-voor-participatie-12-februari-2024-Nieuwbouw-kerncentrales.pdf>, 23 februari 2024.
- ³⁵³ <https://smartport.nl/onderzoek-naar-kernenergie-in-rotterdam/>, 8 november 2021.
- ³⁵⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/12/09/borssele-voorkeurslocatie-voor-twee-nieuwe-kerncentrales>, 9 december 2022.

- ³⁵⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/kamerstukken/2022/12/09/kamerbrief-met-uitwerking-afspraken-in-coalitieakkoord-over-kernenergie>, 9 december 2022.
- ³⁵⁶ <https://dvhn.nl/groningen/eemsdelta/Rob-Jetten-D66-haalt-in-Middelstum-uit-naar-Omtzigt-28745434.html>, 11 november 2023.
- ³⁵⁷ <https://open.overheid.nl/documenten/b788594f-1818-414a-9861-fe509161d1ea/file>, pagina 47, juli 2023.
- ³⁵⁸ <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2024D03717>, 1 februari 2024.
- ³⁵⁹ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2024/02/19/projectprocedure-nieuwe-kerncentrales-van-start>, 19 februari 2024.
- ³⁶⁰ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-02/Voornemen-en-voorstel-voor-participatie-12-februari-2024-Nieuwbouw-kerncentrales.pdf>, pagina 7, 23 februari 2024.
- ³⁶¹ <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2024Z03064&did=2024D07054>, 5 maart 2024.
- ³⁶² <https://www.rtvnoord.nl/nieuws/1136940/bbb-groningen-wil-een-van-vier-kerncentrales-in-provincie>, 5 maart 2024.
- ³⁶³ https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2024-02/20240222%20Publiekssamenvatting%20analyse%20netinpassing%20kerncentrales_final.pdf, 29 februari 2024.
- ³⁶⁴ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Podcast-World-Nuclear-Performance-Report>, 1 augustus 2023.
- ³⁶⁵ <https://world-nuclear.org/our-association/publications/publications/global-trends-reports/world-nuclear-performance-report/nuclear-industry-performance.aspx>, 1 augustus 2023.
- ³⁶⁶ <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=423>
- ³⁶⁷ https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2024-02/20240229%20Rapport%20analyse%20netinpassing%20kerncentrales_final.pdf, 29 februari 2024.
- ³⁶⁸ 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.
- ³⁶⁹ https://www.oecd-nea.org/law/nlparis_conv.html; <https://www.oecd-nea.org/law/paris-convention-protocol.html>.
- ³⁷⁰ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/dossier/31119>
- ³⁷¹ Tractatenblad. 1962, 64, p. 2-3
- ³⁷² Art. 10 sub a Verdrag van Parijs jo. art. 3 Verdrag van Brussel. Zie ook C.L.M. Thijssen, 'algemeen commentaar Wet aansprakelijkheid kernongevallen, aant. 1.3', in: C.J. Kleijs (red.), Milieurecht Totaal, Deventer: Wolters Kluwer (online); Bauw & Brans 2003, p. 202; Weterings 2021, p. 763.
- ³⁷³ A.A. Sahraïfar en L.J.H. Wissink, "Recht en kernenergie" in: Recht & Energie 2023/5, uitgave van Wolters Kluwer Nederland B.V, 1 december 2023.
- ³⁷⁴ <https://atoompool.verende.nl/>
- ³⁷⁵ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_20382, 21 december 2021.
- ³⁷⁶ Herman Damveld. "Tsjernobyl, 10 jaar later", Greenpeace Chernobyl Papers No. 4, maart 1996.
- ³⁷⁷ <http://www.reuters.com/article/us-tepco-outlook-idUSKBN13N03G?il=0>, 27 november 2016.
- ³⁷⁸ <https://beyondnuclear.org/biden-approves-extension-of-price-anderson-act/>, 27 maart 2024.
- ³⁷⁹ Large and Associates, ASSESSMENTS OF THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES OF RELEASES FROM EXISTING AND PROPOSED EPR/PWR NUCLEAR POWER PLANTS IN FRANCE, maart 2007.
- ³⁸⁰ http://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Hinkley_Point/1601_Studie_Sicherheitsrisiken_Atomm%C3%BCII_Becker.pdf, januari 2016 (lozing van 40 PBq (dat is 40x10¹⁵ Bq).
- ³⁸¹ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-volksgezondheid-welzijn-en-sport/nieuws/2017/09/29/vooraankondiging-verspreiding-jodiumtabletten>, 29 september 2017.
- ³⁸² <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2014/07/02/kamerbrief-over-harmonisatie-aanpak-kernongevallen-in-nederland-en-buurlanden/kamerbrief-over-harmonisatie-aanpak-kernongevallen-in-nederland-en-buurlanden.pdf>, 2 juli 2014.
- ³⁸³ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32645-55.html>, 30 september 2013.
- ³⁸⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2018/12/20/evaluatie-van-de-nationale-nucleaire-oefening-shining-spring-2018>, 20 december 2018.
- ³⁸⁵ www.bfs.de/notfallschutz-film, www.youtube.com/bfsbund, 12 december 2019.
- ³⁸⁶ <http://www.umweltinstitut.org/aktuelle-meldungen/meldungen/2020/atom/schwach-und-mittelaktiver-atommuell-die-unterschaetzte-gefahr.html>, 12 februari 2020.
- ³⁸⁷ http://laka.org/info/publicaties/2011-chernobyl_chronology.pdf, 11 maart 2011.
- ³⁸⁸ https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Hinkley_Point/2017-04-FOES-Kurzanalyse-Atomhaftung.pdf, 25 april 2017.

³⁸⁹ <http://www.co2ntramine.nl/ontwerp-kerncentrale-fukushima-niet-berekend-op-de-werkelijkheid/>, 9 oktober 2012; <http://naiic.go.jp/en/>, augustus 2012.

³⁹⁰ <https://www.world-nuclear.org/focus/fukushima-daiichi-accident/fukushima-daiichi-accident.aspx>, maart 2021.

³⁹¹ http://ippnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/Fukushima/IPPNW_Digitale_Pressemappe_10_Jahre_Leben_mit_Fukushima.pdf, 26 februari 2021.

³⁹² <https://www.ippnw.de/startseite/artikel/de/10-jahre-fukushima-unabhaengige-fors.html>, 26 februari 2021.

³⁹³ <https://learningenglish.voanews.com/a/japan-changes-fukushima-cleanup-/5225417.html>, 7 januari 2020.

³⁹⁴ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Nederland>.

³⁹⁵ https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.670462.de/19-30.pdf, 24 juli 2019.

³⁹⁶ <https://www.streitpunkt-kernenergie.de/kosten/staatliche-foerderung>, april 2011.

³⁹⁷ <https://www.kernenergiein nederland.nl/node/706>, 31 december 1969.

³⁹⁸ http://www.ucsusa.org/nuclear_power/nuclear_power_and_global_warming/nuclear-power-subsidies-report.html, 23 februari 2011.

³⁹⁹ <https://eu.boell.org/en/2021/04/22/towards-clean-and-sustainable-energy-system-26-criteria-nuclear-power-does-not-meet>, 22 april 2021.

⁴⁰⁰ <https://www.kabinetsformatie2023.nl/documenten/verslagen/2024/02/12/bijlagen-bij-eindverslag-informateur-plasterk>, bijlage 2, pagina 30, 12 februari 2024.

⁴⁰¹ https://www.base.bund.de/SharedDocs/Stellungnahmen/BASE/DE/2022/base-fachstellungnahme-taxonomie.html;jsessionid=F5BDDDBDC165943E9DEE2DA67DE303A9.3_cid482, 12 januari 2022.

⁴⁰² <https://www.gov.uk/government/speeches/statement-on-suspension-of-work-on-the-wylfa-newydd-nuclear-project>, 17 januari 2019.

⁴⁰³ Antony Frogatt et al., *Mythos Atomkraft*, Heinrich Böll Stiftung, 2010, pp 38-42.

⁴⁰⁴ <http://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/201407msc-worldnuclearreport2014-hr-v1.pdf>, 29 juli 2014, p 8.

⁴⁰⁵ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_autre_document_travail_service_part1_v10.pdf, 4 april 2016.

⁴⁰⁶ Bron: <https://wisenederland.nl/sites/default/files/images/Wim%20Turkenburg%20-%202018.10.16%20-%20Een%20nieuwe%20generatie%20kerncentrales%20-%20komen%20ze%20eraan%20%5Bfinaal%5D.pdf>, 16 november 2018.

⁴⁰⁷ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Hitachi-withdraws-from-UK-new-build-project>, 16 september 2020.

⁴⁰⁸ <https://news.mit.edu/2020/reasons-nuclear-overruns-1118>, 18 november 2020.

⁴⁰⁹ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_51110/projected-costs-of-generating-electricity-2020-edition, 9 december 2020.

⁴¹⁰ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121001301?dgcid=author>, Volume 143, June 2021, 1108362021.

⁴¹¹ <https://thehill.com/opinion/energy-environment/586848-nuclear-power-has-no-business-case-and-will-make-climate-change?fbclid=IwAR2EXDm42PwVuYk9J5eg8-Rc7GEYxR3wcNsMztxYh7fxXXy5yVATa6nJOs>, 21 december 2021.

⁴¹² <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/2291/text>.

⁴¹³ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Finnish-EPR-starts-supplying-electricity>, 14 maart 2022.

⁴¹⁴ <https://www.reuters.com/business/energy/edf-announces-new-delay-flamanville-epr-reactor-2022-12-16/>, 16 december 2022.

⁴¹⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/kamerstukken/2021/07/07/aanbieding-rapport-marktconsultatie-kernenergie>, 7 juli 2021.

⁴¹⁶ Charles Hendry, *New Nuclear Power Stations-* Westminster Hall UK Parliamentary debate, 13 July 2010, column 232WH.

⁴¹⁷ <http://www.taz.de/1/zukunft/umwelt/artikel/1/nicht-ohne-staatliche-hilfen/>, 20 juli 2010.

⁴¹⁸ <http://www.reuters.com/article/2011/07/06/us-nuclear-citigroup-idUSTRE76548820110706>, 6 juli 2011.

⁴¹⁹ <http://www.bbc.co.uk/news/business-24604218>, 21 oktober 2013.

⁴²⁰ <http://www.theguardian.com/business/2013/dec/18/hinkley-point-c-nuclear-subsidy-european-commission>, 18 december 2013.

⁴²¹ http://ec.europa.eu/competition/state_aid/cases/251157/251157_1507977_35_2.pdf, 18 december 2013.

⁴²² <http://www.greenpeace.org/eu-unit/en/News/2014/EU-investigation-calls-Hinkley-nuclear-deal-into-question/>, 31 januari 2014.

⁴²³ <http://www.thetimes.co.uk/tto/business/industries/utilities/article3992127.ece>, 1 februari 2014.

⁴²⁴ <http://www.world-nuclear-news.org/NP-Europe-lists-concerns-over-Hinkley-deal-0302144.html>, 3 februari 2014.

⁴²⁵ http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-1093_en.htm, 8 oktober 2014.

⁴²⁶ <http://www.world-nuclear-news.org/NP-Hinkley-Point-C-contract-terms-08101401.html>, 8 oktober 2014.

⁴²⁷ <http://www.greenpeace.org/eu-unit/en/News/2014/Sell-out-on-UK-nuclear-plan-exposes-Commission-to-legal-challenges/>, 8 oktober 2014.

⁴²⁸ <http://www.bbc.co.uk/news/business-24604218>, 21 oktober 2013.

⁴²⁹ <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/united-kingdom.aspx>, oktober 2023.

⁴³⁰ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-China-agrees-to-invest-in-new-UK-nuclear-plants-2110155.html>, 21 oktober 2015.

⁴³¹ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Cost-of-Hinkley-Point-C-rises-by-8-percent-EDF-says-0307175.html>, 3 juli 2017; <http://www.no2nuclearpower.org.uk/nuclearnews/NuClearNewsNo97.pdf>, juli 2017.

⁴³² EDF, “Update on Hinkley Point C project”, Press Release, 25 september 2019, <https://www.edfenergy.com/media-centre/news-releases/update-on-hinkley-point-c-project>

⁴³³ <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/united-kingdom.aspx>, oktober 2023.

⁴³⁴ EDF Energy, “Annual Report and Financial Statements”, 29 april 2022, https://www.edfenergy.com/sites/default/files/edf_energy_holdings_limited_fy21_signed_financial_statements_full.pdf.

⁴³⁵ EDF, “Hinkley Point C Update”, Press Release, 19 mei 2022, <https://www.edf.fr/sites/groupe/files/epresspack/3081/ccb6205433272bb0cbfac560cea3b537.pdf>.

⁴³⁶ EDF, “2023: Q1 Sales and highlights—Appendices”, februari 2023, <https://www.edf.fr/sites/groupe/files/2023-04/2023-04-28-edf-book-q1-2023.pdf>.

⁴³⁷ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-12-13/hinkley-point-nuclear-plant-in-uk-stops-getting-funding-from-china-s-cgn>, 13 december 2023.

⁴³⁸ <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/hinkley-point-c-update-1>, 23 januari 2024.

⁴³⁹ <https://www.bbc.com/news/business-68073279>, 14 januari 2024.

⁴⁴⁰ <https://www.edf.fr/sites/groupe/files/2024-02/annual-results-2023-pr-en-2024-02-16.pdf>, 16 februari 2024.

⁴⁴¹ <http://www.thetimes.co.uk/tto/business/industries/utilities/article4346816.ece>, 7 februari 2015.

⁴⁴² <http://af.reuters.com/article/energyOilNews/idAFL6N0WZ2CD20150402>, 2 april 2015.

⁴⁴³ <http://www.ft.com/cms/s/0/b8741dd0-1048-11e5-bd70-00144feabdc0.html>, 15 juni 2015.

⁴⁴⁴ <http://www.no2nuclearpower.org.uk/nuclearnews/NuClearNewsNo77.pdf>, augustus 2015.

⁴⁴⁵ Sunday Times, 9 augustus 2015: <http://www.thesundaytimes.co.uk/sto/business/Industry/article1591057.ece>.

⁴⁴⁶ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-China-agrees-to-invest-in-new-UK-nuclear-plants-2110155.html>, 21 oktober 2015.

⁴⁴⁷ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Hinkley-Point-C-will-categorically-go-ahead-with-FID-in-May-23031601.html>, 23 maart 2016.

⁴⁴⁸ <http://www.world-nuclear-news.org/NP-Hinkley-gets-one-answer-but-more-questions-2907161.html>, 29 juli 2016.

⁴⁴⁹ <http://www.world-nuclear-news.org/C-The-economic-reality-of-Hinkley-Point-C-02111601.html>, 2 november 2016.

⁴⁵⁰ <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/united-kingdom.aspx>.

⁴⁵¹ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-12-13/hinkley-point-nuclear-plant-in-uk-stops-getting-funding-from-china-s-cgn>, 14 december 2023.

⁴⁵² <https://www.ft.com/content/2bccd67f-a3c6-48d1-baa5-8ef9d54cdf67>, 14 december 2023.

⁴⁵³ <https://www.bbc.com/news/business-68073279>, 24 januari 2024.

⁴⁵⁴ <https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/journalists/all-press-releases/hinkley-point-c-update-1>, 23 januari 2024.

⁴⁵⁵ <https://stopsizewellc.org/core/wp-content/uploads/2023/11/HMT-Representation-Stop-Sizewell-C.pdf>, 21 november 2023.

⁴⁵⁶ <https://stopsizewellc.org/core/wp-content/uploads/2023/11/Letter-to-NAO-Gareth-Davies-from-3-MPs.pdf>, 21 november 2023.

⁴⁵⁷ <https://www.oecd.org/fr/publications/unlocking-reductions-in-the-construction-costs-of-nuclear-33ba86e1-en.htm>, 17 augustus 2020.

⁴⁵⁸ <https://www.citizensadvice.org.uk/>, 11 oktober 2019.

⁴⁵⁹ <https://www.nera.com/publications/archive/2020/a-rab-model-for-new-nuclear-power-plants--the-economics-of-inves.html>, 20 maart 2020.

⁴⁶⁰ <https://committees.parliament.uk/writtenevidence/111876/pdf/>, 28 oktober 2022.

⁴⁶¹ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Flamanville-EPR-ASN-consults-over-commissioning-au>, 28 maart 2024.

⁴⁶² <https://www.reuters.com/business/energy/edf-eyes-flamanville-epr-nuclear-reactor-fuel-loading-march-2023-12-21/>, 21 december 2023.

⁴⁶³ http://press.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Presse/Dossiers/EDF/2009/dp_edf_20090206_va.pdf, februari 2009.

⁴⁶⁴ <http://www.bloomberg.com/news/2010-07-06/edf-s-epr-reactor-at-flamanville-is-delayed-by-24-months-le-figaro-says.html>.

⁴⁶⁵ <http://de.news.yahoo.com/2/20100729/tts-gewerkschaften-rechnen-mit-kostenexp-c1b2fc3.html>, 29 juli 2010.

⁴⁶⁶ http://press.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Presse/Communiqués/EDF/2010/cp_20100730_va.pdf, 30 juli 2010.

⁴⁶⁷ 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_20117_21_2011&utm_medium=email, 21 juli 2011.

⁴⁶⁸ <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>.

⁴⁶⁹ http://www.world-nuclear-news.org/NN-Flamanville_costs_up_2_billion_Euros-0412127.html, 4 december 2012.

⁴⁷⁰ <http://www.nucnet.org/announcement/the-cost-of-a-nuclear-power-plant>, februari 2014.

⁴⁷¹ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Vessel-installed-at-French-EPR-2701144.html>, 27 januari 2014.

⁴⁷² <http://press.edf.com/press-releases/all-press-releases/2014/flamanville-epr-schedule-update-292677.html>, 18 november 2014.

⁴⁷³ https://www.edf.fr/en/edf/press_release/Flamanville-EPR-optimised-project-management-and-a-new-timetable, 3 septembere 2015.

⁴⁷⁴ <https://uk.news.yahoo.com/frances-edf-seeks-deadline-epr-171032486.html#8ogwRWX>, 21 oktober 2015.

⁴⁷⁵ <https://www.edf.fr/sites/groupe/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-finance-en/financial-information/publications/financial-results/2019-annual-results/pdf/fy-results-2019-presentation-20200214.pdf>.

⁴⁷⁶ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Fresh-delay-to-Flamanville-blamed-on-impact-of-pan>, 12 januari 2022.

⁴⁷⁷ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Flamanville-EPR-ASN-consults-over-commissioning-au>, 28 maart 2024.

⁴⁷⁸ <https://www.reuters.com/business/energy/edf-eyes-flamanville-epr-nuclear-reactor-fuel-loading-march-2023-12-21/>, 21 december 2023.

⁴⁷⁹ <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/finland.aspx>, maart 2024.

⁴⁸⁰ <https://www.tvo.fi/en/index/production/plantunits/o13.html>

⁴⁸¹ <https://www.worldnuclearreport.org/Europe-s-First-EPR-13-Years-Behind-Schedule-Olkiluoto-3-in-Finland-Starts-Up.html>, 25 maart 2022.

⁴⁸² <http://www.world-nuclear-news.org/C-Suppliers-raise-Olkiluoto-3-damages-claim-3110134.html>, 31 oktober 2013.

⁴⁸³ <http://www.tvo.fi/news/1633>, 3 augustus 2015.

⁴⁸⁴ <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/siemens-und-areva-konsortium-erhoert-milliarden-forderung-wegen-problem-akw/12940318.html>, 9 februari 2016.

⁴⁸⁵ <http://www.world-nuclear-news.org/C-Olkiluoto-EPR-supplier-revises-compensation-claim-1002164.html>, 10 februari 2016.

⁴⁸⁶ <http://www.tvo.fi/news/190>, 12 februari 2014.

⁴⁸⁷ <http://uk.reuters.com/article/2014/02/28/tvo-olkiluoto-idUKL6N0LX3XQ20140228>.

⁴⁸⁸ <http://www.areva.com/EN/news-10577/halfyear-2015-results.html>, 30 juli 2015.

⁴⁸⁹ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Operating-licence-application-submitted-for-Finnish-EPR-1404164.html>, 14 april 2016.

⁴⁹⁰ <http://www.areva.com/EN/news-10717/2015-annual-results.html>, 26 februari 2016.

⁴⁹¹ <http://www.reuters.com/article/us-tvo-areva-olkiluoto-idUSKCN11Y13O>, 28 september 2016.

⁴⁹² <https://www.worldnuclearreport.org/Europe-s-First-EPR-13-Years-Behind-Schedule-Olkiluoto-3-in-Finland-Starts-Up.html>, 25 maart 2022.

⁴⁹³ THE GOVERNMENT OF THE CZECH REPUBLIC, 6 augustus 2014, number 668 concerning the Final report of the government envoy for the expansion of the Temelín nuclear power station.

⁴⁹⁴ <https://www.spectator.co.uk/article/why-britain-is-building-the-worlds-most-expensive-nuclear-plant/>, 2 mei 2024.

⁴⁹⁵ <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=919>.

⁴⁹⁶ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_51110/projected-costs-of-generating-electricity-2020-edition, 9 december 2020, pagina 152

⁴⁹⁷ https://ieefa.org/sites/default/files/2023-02/European%20Pressurized%20Reactors_February%202023.pdf, februari 2023.

⁴⁹⁸ THE GOVERNMENT OF THE CZECH REPUBLIC, 6 augustus 2014, number 668 concerning the Final report of the government envoy for the expansion of the Temelín nuclear power station.

⁴⁹⁹ <https://thebulletin.org/2019/02/the-pentagon-wants-to-boldly-go-where-no-nuclear-reactor-has-gone-before-it-wont-work/>, 22 februari 2019.

⁵⁰⁰ <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=US>.

⁵⁰¹ https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf

⁵⁰² https://fwu.at/wp-content/uploads/OeSMR_FWU-2021_final.pdf, december 2021.

⁵⁰³ <http://www.kernenergieinnderland.nl/node/701>

⁵⁰⁴ <http://epz.nl/kernenergie>.

⁵⁰⁵ <https://wiseinternational.org/nuclear-monitor/872-873/nuclear-monitor-872-873-7-march-2019>.

⁵⁰⁶ <https://www.github.org/resources/showcase-projects/carem-25-prototype/>.

⁵⁰⁷ https://www.researchgate.net/publication/245194953_Current_status_and_technical_description_of_Chinese_2_250_MW_th_HTR-PM_demonstration_plant.

⁵⁰⁸ <https://www.nucnet.org/news/progress-and-status-in-the-race-for-commercialisation-2-4-202>.

⁵⁰⁹ <https://www.reuters.com/article/us-france-nuclearpower-astrid/france-drops-plans-to-build-sodium-cooled-nuclear-reactor-idUSKCN1VK0MC>.

⁵¹⁰ <https://wiseinternational.org/nuclear-monitor/872-873/mpower-obituary>.

⁵¹¹ <https://wiseinternational.org/nuclear-monitor/867/nuclear-news-nuclear-monitor-867-15-october-2018>.

⁵¹² https://www.worldnuclearreport.org/The-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2021-HTML.html#_idTextAnchor013.

⁵¹³ <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2016/7213-smrs.pdf>.

⁵¹⁴ <https://nuclear.foe.org.au/economics/>, december 2021.

⁵¹⁵ <https://www.rolls-royce.com/innovation/small-modular-reactors.aspx#/>

⁵¹⁶ www.no2nuclearpower.org.uk/wp/wp-content/uploads/2021/11/nuClearNewsNo135.pdf, 11 november 2021.

⁵¹⁷ <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2022-v3-lr.pdf>, 6 augustus 2023.

⁵¹⁸ <https://www.sonnenseite.com/de/energie/das-maerchen-vom-billigen-franzoesischen-atomstrom/>, 18 november 2021.

⁵¹⁹ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-12-10/french-power-costs-will-rise-if-renewables-are-sidestepped>, 10 december 2018.

⁵²⁰ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-10-31/the-world-s-largest-nuclear-power-producer-is-melting-down>, 31 oktober 2019.

⁵²¹ <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/french-electricity-mix-2020-2060.pdf>, oktober 2018.

⁵²² <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2019-hr.pdf>, 28 september 2020.

⁵²³ <https://www.ippnw.de/atomenergie/artikel/de/macrons-durchschaubares-spiel.html>, 15 november 2021.

⁵²⁴ <https://www.elysee.fr/front/pdf/elysee-module-16825-fr.pdf>, 20 december 2020.

⁵²⁵ <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnisr2022-lr.pdf#page=1&zoom=auto,-88,842>, 5 oktober 2022.

⁵²⁶ <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>, februari 2024.

⁵²⁷ <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>, februari 2024.

⁵²⁸ <https://reneweconomy.com.au/chinas-quiet-energy-revolution-the-switch-from-nuclear-to-renewable-energy/>, 26 april 2024.

⁵²⁹ <https://esdnews.com.au/catl-and-quinbrook-ink-long-duration-battery-storage-deal/>, 9 november 2023.

⁵³⁰ <https://www.pv-magazine.com/2023/11/28/renewables-helping-china-to-halve-power-prices-compared-to-us-europe/>, 28 november 2023.

⁵³¹ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Issuance-of-Vogtle-loan-guarantees-2002144.html>, 20 februari 2014.

⁵³² <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Start-date-delay-for-Vogtle-units-3001158.html>, 30 januari 2015.

⁵³³ <http://world-nuclear-news.org/C-Vogtle-operation-dates-rescheduled-2402178.html>, 24 februari 2017.

⁵³⁴ “With the cost of nuclear plants often running into the tens of billions of dollars, utilities are increasingly turning to a controversial financing procedure called Construction Work in Progress, or CWIP. That allows the utilities to pass the front-end costs to ratepayers years in advance of the plant going on line. Electric and nuclear trade associations defend CWIP as a way to save millions of dollars in construction borrowing costs -- savings they say they pass onto consumers.”

<http://www.energycentral.com/generationstorage/nuclear/news/en/31404128/Nuclear-power-project-financing->

[option-sticks-ratepayers-with-tab?utm_source=2014_02_03&utm_medium=eNL&utm_content=260779&utm_campaign=GENERATION](https://www.nytimes.com/2014/02/03/business/westinghouse-toshiba-nuclear-bankruptcy.html?utm_source=2014_02_03&utm_medium=eNL&utm_content=260779&utm_campaign=GENERATION), 3 februari 2014.

⁵³⁵ https://www.nytimes.com/2017/03/29/business/westinghouse-toshiba-nuclear-bankruptcy.html?_r=1, 29 maart 2017.

⁵³⁶ <http://www.world-nuclear-news.org/C-Toshiba-agrees-Summer-obligation-but-challenges-remain-2807177.html>, 28 juli 2017.

⁵³⁷ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Georgia-Power-expects-late-August-decision-on-Vogtle-0308177.html>, 2 augustus 2017.

⁵³⁸ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Vogtle-4-reaches-initial-criticality>, 14 februari 2024.

⁵³⁹ <https://www.worldnuclearreport.org/First-New-Reactor-Connected-to-the-Grid-in-the-World-in-2019-in-South-Korea.html>, 25 april 2019.

⁵⁴⁰ <https://academic.oup.com/jwelb/article/13/1/47/5837954>, 16 mei 2020.

⁵⁴¹ <https://www.technologyreview.com/2019/04/22/136020/how-greed-and-corruption-blew-up-south-koreas-nuclear-industry/>, 22 april 2019.

⁵⁴² <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/south-korea.aspx>, januari 2024.

⁵⁴³ <https://www.technologyreview.com/2019/04/22/136020/how-greed-and-corruption-blew-up-south-koreas-nuclear-industry/>, 22 april 2019.

⁵⁴⁴ https://online.platts.com/PPS/P=m&e=1272486727325.13004128321662479/NW_2...

⁵⁴⁵ <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=1053>, februari 2024.

⁵⁴⁶ <https://www.nuclearconsult.org/wp/wp-content/uploads/2019/12/Gulf-Nuclear-Ambition-NCG-Dec-2019.pdf>, december 2019.

⁵⁴⁷ <https://www.nucnet.org/news/fourth-and-final-reactor-starts-up-at-uae-nuclear-power-station-3-5-2024>, 1 maart 2024.

⁵⁴⁸ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/OPG-chooses-BWRX-300-SMR-for-Darlington-new-build>, 2 december 2021.

⁵⁴⁹ https://aris.iaea.org/PDF/BWRX-300_2020.pdf

⁵⁵⁰ <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2020/5/scenario-s-toekomstig-duurzaam-en-betaalbaar-energiesysteem/>, 14 mei 2020.

⁵⁵¹ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/kamerstukken/2020/09/14/kamerbrief-over-levensduurverlenging-van-de-kerncentrale-borssele-na-2033>, 14 september 2020.

⁵⁵² <https://www.covra.nl/app/uploads/2023/05/COVRA-jaarrapport-2022.pdf>, 9 mei 2023.

⁵⁵³ <http://www.covra.nl/downloads>, Jaarrapport 2013, p 26.

⁵⁵⁴ <https://open.overheid.nl/repository/ronl-bd63fed5ed0a01178ce57b9feb74cd088b5b8b/1/pdf/financing-models-for-nuclear-power-plants.pdf>, 26 september 2022.

⁵⁵⁵ <https://www.documentcloud.org/projects/woo-rondleiding-van-vendors-in-borsele-216429/>, 21 december 2023.

⁵⁵⁶ <https://stopsizewellc.org/rab/>

⁵⁵⁷ <https://www.vzinfo.nl/bevolking/huishoudens>, 19 oktober 2023; op 1 januari 2023 telde Nederland 8,3 miljoen huishoudens (gemiddeld wonen er 2,1 mensen in een huishouden) en 4 euro per maand geeft 32,5 miljoen euro.

⁵⁵⁸ <https://www.zeeland.nl/ruimte/bevolking>; Zeeland heeft 180.000 huishoudens en 180 euro per maand geeft 32,5 miljoen euro.

⁵⁵⁹ https://www.zuid-holland.nl/publish/pages/27738/programmaplan_flexwonen_2021-2024.pdf, 8 juni 2021; Zuid-Holland telt 3,6 miljoen inwoners en bij 2,1 mensen per huishouden gaat het om 19 euro per maand.

⁵⁶⁰ <https://www.oozo.nl/provincie/cijfers/groningen>, de provincie Groningen heeft 291.000 huishoudens en 110 euro per maand geeft 32,5 miljoen euro.

⁵⁶¹ https://www.nera.com/content/dam/nera/publications/2020/PUB_RAB_Model_New_Nuclear_Power_Plants_A4_0320.pdf, 20 maart 2020.

⁵⁶² <https://my.slaughterandmay.com/insights/client-publications/rab-to-the-rescue-the-uk-governments-proposal-for-a-revenue-support-mechanism-to-fund-new-nuclear-power-plants>, 28 juli 2022.

⁵⁶³ <https://www.kabinetsformatie2021.nl/documenten/publicaties/2021/12/15/coalitieakkoord-omzien-naar-elkaar-vooruitkijken-naar-de-toekomst>, 15 december 2021.

⁵⁶⁴ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14100/forty-years-of-uranium-resources-production-and-demand-in-perspective, juni 2006.

⁵⁶⁵ „These technical developments were halted in the 1970s, apparently due to various problems. One of these problems is the presence of uranium-232, a strong gamma-emitter, which makes U-233 difficult to handle.“ Zie:

<https://noah.dk/wp-content/uploads/2016/05/J.W.-Storm-van-Leeuwen-Thorium-for-fission-power-May-2016.pdf>, mei 2016, p 4.

⁵⁶⁶ <https://www.iaea.org/publications/magazines/bulletin/22-2/international-nuclear-fuel-cycle-evaluation-infce>, International Nuclear Fuel Cycle Evaluation – INFCE Vol 1, pagina 92, april 1980.

⁵⁶⁷ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14100/forty-years-of-uranium-resources-production-and-demand-in-perspective, pagina 135-139, juni 2006.

⁵⁶⁸ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/kamerstukken/2021/03/02/kamerbrief-over-toezegging-thorium-onderzoek>, 2 maart 2021.

⁵⁶⁹ <https://www.brabant.nl/actueel/nieuws/energie/2021/provincie-zoekt-samenwerking-met-ondernemers-en-onderzoeksinstellingen-voor-kernenergie>, 25 maart 2021; <https://t.co/iMRpTUCItV?amp=1>.

⁵⁷⁰ <https://smartport.nl/onderzoek-naar-kernenergie-in-rotterdam/>, 8 november 2021.

⁵⁷¹ <https://www.deingenieur.nl/artikel/thorium-reactor-heeft-nodige-haken-en-ogen#.Wif69YkWnaE.twitter>, 6 december 2017.

⁵⁷² <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02459-w>, 10 september 2021.

⁵⁷³ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_55928/strategies-and-considerations-for-the-back-end-of-the-fuel-cycle, 24 februari 2021.

⁵⁷⁴ <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26500/merits-and-viability-of-different-nuclear-fuel-cycles-and-technology-options-and-the-waste-aspects-of-advanced-nuclear-reactors>, pagina's 7 en 73, 2023.

⁵⁷⁵ <https://www.wiseinternational.org/rss-feed?page=403>, 8 april 1993.

⁵⁷⁶ <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26500/merits-and-viability-of-different-nuclear-fuel-cycles-and-technology-options-and-the-waste-aspects-of-advanced-nuclear-reactors>, pagina 36, 2023.

⁵⁷⁷ <https://www.iaea.org/newscenter/statements/keynote-speech-iaea-international-symposium-nuclear-fuel-cycle-and-reactor-strategies-adjusting-new-realities>, 3 juni 1997; IAEA, International Nuclear Fuel Cycle Evaluation, report Working Group 1, pagina's 30 en 123, gemiddelde van de data.

⁵⁷⁸ https://www.oecd-ilibrary.org/nuclear-energy/uranium-2007_uranium-2007-en, pagina 75.

⁵⁷⁹ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_52716/world-s-uranium-resources-enough-for-the-foreseeable-future-say-nea-and-iaea-in-new-report, 23 december 2020.

⁵⁸⁰ Volgens het IAEA was het totale energiegebruik in 2007, uitgedrukt in ExaJoule (EJ) 510 EJ, waarvan kernenergie 5,9%, dat is 30 EJ. Voor 2030 verwacht het IAEA een wereldwijd energiegebruik van 826 EJ, waarvan 39% elektriciteit ofwel 322 EJ. Stel kernenergie zorgt voor 70% van het elektriciteitsgebruik in 2030, overeenkomend met 225 EJ. Kernenergie gaat dan van 30 EJ naar 225 EJ, dat is 7,5 keer zoveel. Er is dan ook 7,5 zoveel uranium nodig in 2030, d.w.z. 525.000 ton in dat jaar. Bij benadering is gemiddeld tussen 2011 en 2030 jaarlijks zo'n 300.000 ton uranium nodig. Tot en met 2031 is dat 6,3 miljoen ton en tot 2036 zo'n 8 miljoen ton.

⁵⁸¹ <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>, juli 2021.

⁵⁸²

https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=wdrCWG4aCCIC&oi=fnd&pg=PR13&dq=resource+lifetime+ecological+numeracy&ots=exbnKt8r5_&sig=2_yeJl7YmH3Vs2xMzr_SOVN3JQw#v=onepage&q=resource%20lifetime%20ecological%20numeracy&f=false

⁵⁸³ <http://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9>; <https://www.pv-magazine.de/2017/12/11/indirekte-photovoltaik-emissionen-kein-hindernis-fuer-dekarbonisierung/>, 12 december 2017.

⁵⁸⁴ <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/resources/press/press-release>, 28 februari 2022.

⁵⁸⁵ <https://nos.nl/collectie/13871/artikel/2423890-ipcc-sneller-en-grootschaliger-actie-nodig-anders-raken-klimaatdoelen-uit-zicht>, 4 april 2022.

⁵⁸⁶ https://www.nam.nl/feiten-en-cijfers/gaswinning.html#iframe=L2VtYmVkL2NvbXBvbmVudC8_aWQ9Z2Fzd2lubmluZw.

⁵⁸⁷ https://www.nlog.nl/sites/default/files/2019-08/delfstoffen_aardwarmte_2018_nl.pdf, 6 augustus 2019.

⁵⁸⁸ https://www.nam.nl/feiten-en-cijfers/gaswinning.html#iframe=L2VtYmVkL2NvbXBvbmVudC8_aWQ9Z2Fzd2lubmluZw.

⁵⁸⁹ <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=016c90ec-e2ba-4a3d-9f5f-5758440228b2&title=Finaal%20advies%20over%20maatregelen%20om%20de%20Groningenproductie%20te%20reduceren.pdf>, 10 september 2019.

⁵⁹⁰ <https://nam-feitenencijfers.data-app.nl/download/rapport/3975f206-53bb-4b41-9a22-ad793d4f7178?open=true>; <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2014/01/17/gaswinning-in-groningen.html>

antwoord op vragen Dik-Faber dd 17 januari 2014, kernmerk DGETM/14000292.

⁵⁹¹ C. Andriess, "Kernenergie in beweging", Amsterdam, 1982, hoofdstuk 4.

⁵⁹² Tweede Kamer, vergaderjaar 1985-1986, 18830, nrs. 46-47.

⁵⁹³ <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/Public/18/076/18076239.pdf>

-
- ⁵⁹⁴ <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/18/076/18076239.pdf>.
- ⁵⁹⁵ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-02/Voornemen-en-voorstel-voor-participatie-12-februari-2024-Nieuwbouw-kerncentrales.pdf>, 23 februari 2024.
- ⁵⁹⁶ <https://world-nuclear-news.org/Articles/Remediation-work-begins-at-Kyrgyz-legacy-uranium-s>, 28 juli 2020.
- ⁵⁹⁷ <https://www.omroepzeeland.nl/nieuws/15876919/dorpsraad-bouw-kerncentrale-buiten-sloegebied-onaanvaardbaar>, 18 september 2023.
- ⁵⁹⁸ <https://nos.nl/regio/zeeland/artikel/436833-nieuwe-kerncentrales-kunnen-niet-gebouwd-worden-in-sloegebied>, 18 september 2023.
- ⁵⁹⁹ <https://www.laka.org/nieuws/2023/te-weinig-ruimte-voor-nieuwe-kerncentrales-bij-borssele-20091>, 22 september 2023.
- ⁶⁰⁰ <https://www.pzc.nl/zeeuws-nieuws/let-op-de-zondagsrust-en-onze-gezondheid-dit-zijn-de-voorwaarden-die-borsele-stelt-aan-nieuwe-kerncentrales~ad49946a/>, 24 oktober 2023.
- ⁶⁰¹ <https://www.omroepzeeland.nl/nieuws/15985117/honderd-inwoners-borsele-overhandigen-voorwaarden-voor-komst-kerncentrales>, 24 oktober 2023.
- ⁶⁰² <https://www.borsele.nl/borsele-voorwaarden-groep-stelt-breed-voorwaardenpakket-op-voor-grootschalige-energieprojecten>, 25 oktober 2023.
- ⁶⁰³ <https://www.iter.org/proj/inafewlines>,
- ⁶⁰⁴ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Foundation-in-place-for-Iter-Tokamak-2808144.html>, 28 augustus 2014.
- ⁶⁰⁵ <http://world-nuclear-news.org/NN-New-schedule-agreed-for-Iter-fusion-project-2111164.html>, 21 november 2016.
- ⁶⁰⁶ <https://www.iter.org/proj/inafewlines>
- ⁶⁰⁷ <https://www.nucnet.org/all-the-news/2017/11/20/iter-remains-on-target-for-full-power-operation-in-2035>, 20 november 2017.
- ⁶⁰⁸ <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Iter-decommissioning-to-be-studied-2911165.html>, 29 november 2016.
- ⁶⁰⁹ <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Iter-decommissioning-to-be-studied-2911165.html>, 29 november 2016.
- ⁶¹⁰ <https://world-nuclear-news.org/Articles/Assembly-of-ITER-tokamak-officially-under-way>, 29 juli 2020.
- ⁶¹¹ <https://world-nuclear-news.org/Articles/Assembly-of-ITER-tokamak-officially-under-way>, 29 juli 2020.
- ⁶¹² <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/ITER-director-general-promises-realistic-project>, 19 oktober 2023.
- ⁶¹³ <https://www.iter.org/newsline/-/4056>, 3 juli 2024.
- ⁶¹⁴ <https://www.deingenieur.nl/artikel/kernfusie-de-eeuwige-beloofte>, 30 september 2020.
- ⁶¹⁵ <https://jaspervis.wordpress.com/2021/02/07/wanneer-kan-kernfusie-een-rol-van-betekenis-spelen-in-de-energietransitie/>, 7 februari 2021.
- ⁶¹⁶ https://www.netbeheernederland.nl/upload/Files/II3050_eindrapport_286.pdf, 12 oktober 2023.
- ⁶¹⁷ <https://twitter.com/PieterOmtzigt>, 1 november 2023.
- ⁶¹⁸ Email Gasunie aan Herman Damveld op 14 november 2023 om 15:36 en op 16 november 2023 om 12:55.
- ⁶¹⁹ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2023-06/Bijlagenboek-Integrale-Effectenanalyse-2-juni-2023-Programma-Energiehoofdstructuur.pdf>, 2 juni 2023, pagina 52.
- ⁶²⁰ <https://www.nwea.nl/dunkelflaute-komt-maar-weinig-voor/>, 19 mei 2023.
- ⁶²¹ https://www.rvo.nl/sites/default/files/2022-06/Voornemen-en-Voorstel-voor-Participatie-Energiebuffer-Zuidwending-Hystock_0.pdf, 10 juni 2022.
- ⁶²² <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/energietransitie/roadmaps/systeemtransitie/een-betrouwbaar-betaalbaar-duurzaam-en-rechtvaardig-energiesysteem/energieopslag-en-energieconversie/>
- ⁶²³ <https://www.nature.com/articles/497539e>, 29 mei 2013.
- ⁶²⁴ <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33709686/>, 20 april 2021.
- ⁶²⁵ <https://www.worldwildlife.org/publications/building-a-nature-positive-energy-transformation--2>, 3 november 2023.
- ⁶²⁶ <https://www.change.inc/energie/waarom-zonne-energie-kernenergie-te-duur-en-overbodig-maakt->, 8 februari 2024.
- ⁶²⁷ <https://www.gasunie.nl/nieuws/2023-sleuteljaar-voor-gasunie-start-van-meerdere-grootschalige-nieuwe-energieprojecten>, 1 maart 2024.
- ⁶²⁸ <https://www.nationaalprogrammagroningen.nl/projecten/heavenn/>
- ⁶²⁹ <https://www.gasunie.nl/expertise/waterstof/north2>
- ⁶³⁰ <https://www.newenergycoalition.org/nederland-europas-hydrogen-valley-of-the-year/>, 26 oktober 2022.
- ⁶³¹ C. Andriess, "Kernenergie in beweging", Amsterdam, 1982, hoofdstuk 4.
- ⁶³² <https://benelux.rwe.com/locaties/gasgestookte-centrale-claus-c/>,

-
- ⁶³³ [https://www.gevernova.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwrx-300/005N9751-RevE-BWRX-300-General-Description-\(002\).pdf](https://www.gevernova.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwrx-300/005N9751-RevE-BWRX-300-General-Description-(002).pdf), augustus 2023.
- ⁶³⁴ <https://www.chr-khr.org/de/veroeffentlichung/auswirkungen-des-klimawandels-auf-die-abflussanteile-aus-regen-schnee-und?from=publications>, 1 juni 2022.
- ⁶³⁵ https://www.chr-khr.org/sites/default/files/chrpublications/ASG-II_Synthese_EN_mit-Links.pdf, 1 juni 2022.
- ⁶³⁶ <https://www.chr-khr.org/en/news/when-melt-water-missing-more-often-low-water-expected-rhine-future>, 11 juli 2022.
- ⁶³⁷ <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/hoogwaterberichten>.
- ⁶³⁸ <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/maas>
- ⁶³⁹ <https://www.kabinetformatie2021.nl/documenten/publicaties/2021/12/15/coalitieakkoord-omzien-naar-elkaar-vooruitkijken-naar-de-toekomst>, 15 december 2021.
- ⁶⁴⁰ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/12/09/borssele-voorkeurslocatie-voor-twee-nieuwe-kerncentrales>, 9 december 2022.
- ⁶⁴¹ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/het-verhaal-van-ezk/weblogs/2022/waarom-kernenergie>, 9 december 2022.
- ⁶⁴² <https://www.covra.nl/nl/organisatie/nieuws/boek-over-40-jaar-covra/>, 6 oktober 2022, pagina 97.
- ⁶⁴³ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_autre_document_travail_service_part1_v10.pdf, 4 april 2016, p 7.
- ⁶⁴⁴ <http://www.covra.nl/over-covra/organisatie>.
- ⁶⁴⁵ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 12 december 2014.
- ⁶⁴⁶ <http://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ez/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2010/02/24/nota-naar-aanleiding-van-het-verslag.html>, 24 februari 2010, p. 3.
- ⁶⁴⁷ <http://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ez/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2010/02/24/nota-naar-aanleiding-van-het-verslag.html>, 24 februari 2010, p. 4.
- ⁶⁴⁸ <http://www.laka.org/nieuws/2012/06-opwerking.pdf>, 20 april 2012.
- ⁶⁴⁹ R. Jansma, "Ontwikkelingen met betrekking tot eindverwerking van gebruikte splijtstof", NRG, Petten, 13 april 2005, p 22.
- ⁶⁵⁰ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 11 januari 2013.
- ⁶⁵¹ <http://www.nuclearwaste.info/abfaelle-iii-abfalleigenschaften-teil-a/>, 8 februari 2016.
- ⁶⁵² http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/endaussagen_sicherheitsanforderungen_bf.pdf, juli 2009.
- ⁶⁵³ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/>.
- ⁶⁵⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/02/10/ontwerp-nationale-programma-radioactief-afval>, 10 februari 2016, p 4 en 12.
- ⁶⁵⁵ Christa Garms-Babke, 'Die Unvereinbarkeit nicht-rückholbarer Endlagerung radioaktiver Abfälle mit dem Grundgesetz', Frankfurt, 2002.
- ⁶⁵⁶ Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ⁶⁵⁷ http://www.sp.nl/onderzoek/normen_waarden_radioactiefafval.pdf, 2003.
- ⁶⁵⁸ 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.
- ⁶⁵⁹ http://www.cowam.com/IMG/pdf_cowam2_WP4.pdf, Long term governance WP4 Long term governance for radioactive waste Management, december 2006.
- ⁶⁶⁰ <http://endlagerdialog.de/2018/10/endlagersuche-der-dachverband-geowissenschaften-mischt/>, 14 oktober 2018.
- ⁶⁶¹ Natuur en Techniek, 60, 8 (1992), p 612--613.
- ⁶⁶² H. Gruppelaar, Actiniden recycling; in: Natuur en Techniek, 60, 8 (1992), p 604.
- ⁶⁶³ <https://academic.oup.com/pnasnexus/article/3/2/pgae030/7585701>, 23 januari 2024.
- ⁶⁶⁴ <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26500/merits-and-viability-of-different-nuclear-fuel-cycles-and-technology-options-and-the-waste-aspects-of-advanced-nuclear-reactors>, pagina's 11 en 123 tot 126, 2023.
- ⁶⁶⁵ Tweede Kamer, zitting 1981-1982, 17 100 hoofdstuk XVII, nr. 32, blz 25.
- ⁶⁶⁶ Tweede Kamer, zitting 1975-1976, 13122, 12.
- ⁶⁶⁷ <https://radioactiefafval.nl/>.
- ⁶⁶⁸ Tweede Kamer, Radioactief afval, brief minister van VROM, 11 april 1986, vergaderjaar 1985-1986, 18 343, nr. 29.
- ⁶⁶⁹ <http://www.covra.nl/nieuws/2011/07/start-onderzoeksprogramma-eindberging-radioactief-afval-opera>, 5 juli 2011.

-
- ⁶⁷⁰ OPERA-PG-COV002 Meerjarenplan Opera, 5 juli 2011.
- ⁶⁷¹ Nota Radioactief Afval, 19 April 1984. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
- ⁶⁷² Nota Radioactief Afval, 19 April 1984. Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
- ⁶⁷³ <https://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/endlagerprojekte/standortauswahlverfahren-endlager/das-standortauswahlgesetz>, 25 augustus 2020.
- ⁶⁷⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2022/03/21/bijlage-2-rapport-evaluatie-radioactief-afval/bijlage-2-rapport-evaluatie-radioactief-afval.pdf>, 21 maart 2022.
- ⁶⁷⁵ <https://radioactiefafval.nl/>.
- ⁶⁷⁶ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, CORA eindrapport, pagina 35.
- ⁶⁷⁷ <https://www.ad.nl/zeeland/geen-zorgen-om-opslag-radioactief-afval-de-covra-is-veilig-en-bestand-tegen-zeespiegelstijging~af9224a3/>, 21 juni 2022.
- ⁶⁷⁸ <https://www.rijksoverheid.nl/regering/bewindspersonen/vivianne-heijnen/documenten/kamerstukken/2022/06/20/beantwoording-kamervragen-van-het-lid-leijten-sp-over-het-bericht-wat-te-doen-met-ons-kernafval>, 20 juni 2022.
- ⁶⁷⁹ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32645-56.pdf>, 20 december 2013.
- ⁶⁸⁰ <https://www.laka.org/docu/boeken/pdf/1-01-9-12-09.pdf#page=2>, december 2013.
- ⁶⁸¹ <https://www.commissiener.nl/adviezen/3546>, 9 maart 2023.
- ⁶⁸² <https://www.commissiener.nl/docs/mer/p35/p3546/a3546ts.pdf>, 9 maart 2023.
- ⁶⁸³ <https://dp2021.deltaprogramma.nl/1-bestuurlijke-inleiding.html>, 15 juni 2020.
- ⁶⁸⁴ <https://www.deltares.nl/app/uploads/2022/09/Rapport-Bouwstenen-en-Adaptatiepaden-Zeespiegelstijging-final.pdf>, september 2022.
- ⁶⁸⁵ <https://www.tagesschau.de/inland/atommuellendlager-suche-benchmark-2046-100.html>, 23 juli 2023.
- ⁶⁸⁶ <https://www.base.bund.de/SharedDocs/Interviews/BfE/DE/2023-24-07-zeitindex-koenig.html>, 23 juli 2023.
- ⁶⁸⁷ <https://www.covra.nl/nl/de-cijfers/>
- ⁶⁸⁸ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 11 januari 2013.
- ⁶⁸⁹ <http://www.covra.nl/jaarrapport-2013>, pp. 56 en 57.
- ⁶⁹⁰ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 12 december 2014.
- ⁶⁹¹ <http://www.covra.nl/downloads>, Kernegegevens COVRA, Inlegvel bij Jaarrapport 2014.
- ⁶⁹² <http://www.covra.nl/jaarrapport-2015>, 23 september 2016, pp 3 en 69.
- ⁶⁹³ <https://www.covra.nl/app/uploads/2020/05/Covra-jaarverslag2019-definitief.pdf>, 7 mei 2020.
- ⁶⁹⁴ <file:///D:/Downloads/Covra-jaarrapport2021.pdf>, 10 mei 2022.
- ⁶⁹⁵ <https://www.covra.nl/app/uploads/2023/05/COVRA-jaarrapport-2022.pdf>, 9 mei 2023.
- ⁶⁹⁶ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 11 januari 2013.
- ⁶⁹⁷ <http://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ez/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2010/02/24/nota-naar-aanleiding-van-het-verslag.html>, 24 februari 2010, p.6.
- ⁶⁹⁸ Damveld Herman et.al. “Kernafval in zee of zout? Nee fout!”, Greenpeace Amsterdam, 1994, p.14
Bij een kerncentrale van 1000 MW komen jaarlijks 35 m³ aan gebruikte brandstofelementen beschikbaar; door opwerking ontstaat daaruit 120 m³ afval, waarvan de helft als hoogradioactief afval behandeld moet worden; het kernsplijtingsafval is 6 m³ en daardoor is het verhaal ontstaan dat door opwerking het volume van radioactief afval zou verminderen (zie: Tijdschrift Wetenschap en Samenleving, 78, nummer 7, oktober 1978, pp. 10 – 13).
- ⁶⁹⁹ <http://sites.utexas.edu/prp-mox-2018/downloads/>, oktober 2018.
- ⁷⁰⁰ <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/46845246/475250-1.pdf>, augustus 1996.
- ⁷⁰¹ Tweede Kamer, vergaderjaar 1985-1986, 19200 Hoofdstuk XIII, nr. 25, 5 november 1985, p 30.
- ⁷⁰² Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991, Aanshangsel nr 545, antwoorden Minister EZ, Andriessen op vragen Feenstra en Zijlstra, 1 mei 1991.
- ⁷⁰³ <http://www.avea.com/EN/news-10671/avea-wins-contract-to-dismantle-the-vessel-internals-of-the-superphenix-reactor.html>, 1 december 2015.
- ⁷⁰⁴ Mededeling van Gedeputeerde Staten van Zeeland, 18 mei 1979.
- ⁷⁰⁵ Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 20999, nr 1, 18 januari 1989, p3.
- ⁷⁰⁶ <https://publicaties.ecn.nl/ECN-C--97-031>
- ⁷⁰⁷ <https://www.orano.group/en/news/local-news/actualites-la-hague/2019/novembre/arrival-of-the-19th-transport-of-used-nuclear-fuel-from-the-netherlands-to-orano-la-hague-plant-for-recycling>, 20 november 2019.
- ⁷⁰⁸ <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/mixed-oxide-fuel-mox.aspx>, 2020.
- ⁷⁰⁹ <https://epz.nl/themas/kernenergie/de-herkomst-van-epzs-splijstof>,

- ⁷¹⁰ Nuclear Energy Agency van OECD, Plutonium Fuel, Parijs, 1989, p 37.
- ⁷¹¹ Idem. p 70
- ⁷¹² Idem, p 99.
- ⁷¹³ K. Abrahams e.a., Transmutatie van kernafval, Statusrapport programma recyclage van actiniden en splijtingsproducten (RAS), juli 1993, p 67. Dit rapport verscheen op 15 november 1993 als bijlage bij het Dossier kernenergie.
- ⁷¹⁴ <https://www.nrc.nl/nieuws/2021/11/26/na-duizenden-jaren-is-het-kernafval-uitgestraald-wat-doen-we-al-die-tijd-a4066949>, 26 november 2021.
- ⁷¹⁵ <https://www.pzc.nl/wetenschap/wachten-op-een-kerncentrale-die-bijna-geen-afval-oplevert~a6593c25/>, 16 september 2023.
- ⁷¹⁶ https://www.france.tv/france-2/complement-d-enquete/5288631-dechets-nucleaires-quand-nos-poubelles-debordent.html#at_medium=7&at_compte=france2&at_genre=info, 12 oktober 2023.
- ⁷¹⁷ www.ladocumentationfrancaise.fr%2Fvar%2Fstorage%2Frapports-publics%2F054000069.pdf&usg=AOvVaw12ig8eXy52XWuv7XSr6bdK, 25 januari 2015.
- ⁷¹⁸ https://www-pub.iaea.org/MTCDD/Publications/PDF/Pub1411_web.pdf, 2009.
- ⁷¹⁹ <https://www.wise-uranium.org/erepu.html>, 10 september 2018.
- ⁷²⁰ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Urenco-to-enrich-reprocessed-uranium>, 5 juli 2018.
- ⁷²¹ <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26500/merits-and-viability-of-different-nuclear-fuel-cycles-and-technology-options-and-the-waste-aspects-of-advanced-nuclear-reactors>, pagina 36, 2023.
- ⁷²² https://fissilematerials.org/blog/2022/08/troubles_with_frances_clo.html, 28 augustus 2022.
- ⁷²³ <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx>, december 2022.
- ⁷²⁴ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/France-confirms-long-term-recycling-plans>, 8 maart 2024.
- ⁷²⁵ <https://www.grs.de/de/aktuelles/wiederaufarbeitungsanlage-la-hague-ausbau-und-weiterbetrieb-bis-mindestens-2100>, 12 maart 2024.
- ⁷²⁶ https://fissilematerials.org/blog/2022/08/troubles_with_frances_clo.html, 8 augustus 2022.
- <https://www.french-nuclear-safety.fr/asn-informs/news-releases/new-year-s-greetings-to-the-press>, 19 januari 2022.
- ⁷²⁷ <https://www.french-nuclear-safety.fr/asn-informs/publications/asn-s-annual-reports/asn-report-on-the-state-of-nuclear-safety-and-radiation-protection-in-france-in-2021>, 7 juni 2022.
- ⁷²⁸ <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Rokkasho-start-up-delayed-to-2016-0311144.html>, 3 november 2014.
- ⁷²⁹ <http://www.world-nuclear-news.org/RS-Major-work-required-at-Rokkasho-for-new-regulations-1711151.html>, 17 november 2015.
- ⁷³⁰ <https://thebulletin.org/2023/12/rokkasho-redux-japans-never-ending-reprocessing-saga/#post-heading>, 26 december 2023.
- ⁷³¹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2023/02/07/bijlage-1-onderliggende-beslisnota-kamerbrief-toezegging-met-betrekking-tot-opwerking-van-radioactief-afval>, 7 februari 2023.
- ⁷³² <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2023/02/07/bijlage-1-onderliggende-beslisnota-kamerbrief-toezegging-met-betrekking-tot-opwerking-van-radioactief-afval>, 7 februari 2023, pagina 19 en 20.
- ⁷³³ https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/045/45045692.pdf, juni 2010.
- ⁷³⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2023/02/07/bijlage-1-onderliggende-beslisnota-kamerbrief-toezegging-met-betrekking-tot-opwerking-van-radioactief-afval>, 7 februari 2023, pagina 32.
- ⁷³⁵ <https://www.covra.nl/app/uploads/2022/10/Nationale-Radioactief-Afval-Inventarisatie.pdf>, oktober 2022.
- ⁷³⁶ Herman Damveld, "Touwtrekken om kernafval", Groningen, juni 2001, p 10.
- ⁷³⁷ Tweede Kamer, vergaderjaar 2006-2007, stuk 30.000, nr. 42, 25 oktober 2006.
- ⁷³⁸ <http://www.world-nuclear-news.org/ENF-Kazakhstan-tops-uranium-league-2701147.html>, 27 januari 2014.
- ⁷³⁹ <https://world-nuclear-news.org/Articles/Remediation-work-begins-at-Kyrgyz-legacy-uranium-s>, 28 juli 2020.
- ⁷⁴⁰ <https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/broschueren/bfe/atomausstieg-in-deutschland.html>, 11 november 2022, pagina 50-53.
- ⁷⁴¹ 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 en 363.
- ⁷⁴² <https://www.natuurkunde.nl/artikelen/745/nucleaire-geneeskunde>
- ⁷⁴³ <https://www.rivm.nl/publicaties/productie-en-gebruik-van-medische-radio-isotopen-in-nederland-huidige-situatie-en>, 3 juli 2017.
- ⁷⁴⁴ <https://www.pzc.nl/zeeuws-nieuws/een-kerncentrale-die-nucleair-afval-verbrandt-in-plaats-van-produceert-over-15-jaar-kan-hij-in-borssele-staan~a256e674/>, 15 november 2022.
- ⁷⁴⁵ <http://laka.org/docu/catalogus/auteur/anton-vsugonyako>.
- ⁷⁴⁶ Zie onder meer Universiteitskrant Groningen, 29 maart 2007, pagina 6, over een proefschrift van Anton Sugonyako, een medewerker van Den Hartog.

-
- ⁷⁴⁷ http://laka.org/docu/catalogus/publicatie/6.01.5.51/16_straling-en-zout.
- ⁷⁴⁸ Van Hattum en Blankevoort, "Locatie-onafhankelijke studie inzake aanleg, bedrijfsvoering en afsluiting van mogelijke faciliteiten voor de definitieve opberging van radioactief afval in steenzoutformaties in Nederland.", bijlage bij het OPLA-Eindrapport Fase 1, 1989.
- ⁷⁴⁹ Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ⁷⁵⁰ 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.
- ⁷⁵¹ Christa Garms-Babke, 'Die Unvereinbarkeit nicht-rückholbarer Endlagerung radioaktiver Abfälle mit dem Grundgesetz', Frankfurt, 2002.
- ⁷⁵² Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ⁷⁵³ http://www.sp.nl/onderzoek/normen_waarden_radioactiefafval.pdf, 2003.
- ⁷⁵⁴ 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.
- ⁷⁵⁵ http://www.cowam.com/IMG/pdf_cowam2_WP4.pdf, Long term governance WP4 Long term governance for radioactive waste Management, december 2006.
- ⁷⁵⁶ <http://endlagerdialog.de/2018/10/endlagersuche-der-dachverband-geowissenschaften-mischt/>, 14 oktober 2018.
- ⁷⁵⁷ <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/diapir>.
- ⁷⁵⁸ Vgl. onder andere G. Richter-Bernburg, Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins (1953). In: Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, 105, pp. 843-854; (https://www.schweizerbart.de/papers/zdgg_alt/detail/105/49953/Stratigraphische_Gliederung_des_deutschen_Zechsteins); <https://www.zechsteininside.com/nl/download/> <https://zechsteininside.com/wp-content/uploads/2018/05/NL-Artikel-Magnesiumzout-Prof.-J.-Urai.pdf> <https://www.geologievannederland.nl/ondergrond/afzettingen-en-delfstoffen/steenzout>
- ⁷⁵⁹ <https://wibnet.nl/natuur/bodem/wat-is-een-zoutkoepel>
- ⁷⁶⁰ Vgl. onder andere T. Csengő, Enkele wetenswaardigheden over zoutafzettingen, (1976). G. Richter-Bernburg, Sicher im Salz. In: Bild der Wissenschaft, 12, 1977, pp. 98-100. W.C. McClain en A.L. Bloch, Disposal of radioactive waste in bedded saltformations. In: Nuclear Technology (--), 29, pp. 398-408.
- ⁷⁶¹ Vgl. onder andere G. Richter-Bernburg, Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins (1953). In: Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, 105, pp. 843-854; (https://www.schweizerbart.de/papers/zdgg_alt/detail/105/49953/Stratigraphische_Gliederung_des_deutschen_Zechsteins); <https://www.zechsteininside.com/nl/download/> <https://zechsteininside.com/wp-content/uploads/2018/05/NL-Artikel-Magnesiumzout-Prof.-J.-Urai.pdf> <https://www.geologievannederland.nl/ondergrond/afzettingen-en-delfstoffen/steenzout>
- ⁷⁶² Vgl. Commissie Opberging te Land (OPLA), Eindrapport aanvullend onderzoek Fase 1 (1993), Samenvatting van de deelstudies, 4A, p. 3.
- ⁷⁶³ OPLA, Bijlage rapport (1993), p.24.
- ⁷⁶⁴ <https://research.tudelft.nl/en/publications/salt-diapir-movements-using-sar-interferometry-in-the-lisan-penin>, september 2002.
- ⁷⁶⁵ Hoefnagels, voorzitter van RAS-ICK werkgroep C in de Universiteitskrant van de Rijksuniversiteit Groningen (RUG), (12 september 1979).
- ⁷⁶⁶ A.G. Hermann, Radioaktive Abfälle, (1983), pp. 187 en 188.
- ⁷⁶⁷ Interdepartementale Commissie voor Kernenergie (ICK), Rapport over de mogelijkheden van opslag van radioactieve afvalstoffen in zoutvoorkomens in Nederland, (1979). Dit rapport werd op 29 mei 1979 door de minister van Economische Zaken Gijs van Aardenne aan de Tweede Kamer aangeboden.
- ⁷⁶⁸ <https://www.nlog.nl/kaart-boringen>
- ⁷⁶⁹ <https://historiek.net/gaswinning-in-groningen-geschiedenis-gevolgen/74692/>
- ⁷⁷⁰ <https://www.nogepa.nl/brief-aan-informateur-mariette-hamer-nederlands-aardgas-uit-kleine-velden-onmisbaar-in-de-energietransitie/>, 26 mei 2021.
- ⁷⁷¹ <https://www.iaea.org/bulletin/when-nuclear-waste-is-an-asset-not-a-burden>, IAEA Weekly News, 10 mei 2024.
- ⁷⁷² https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/fachinfo/fa/factsheet-partitionierung-und-transmutation.pdf?__blob=publicationFile&v=3, 8 mei 2024.

⁷⁷³ “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.

⁷⁷⁴ Europese Commissie, “Proceedings of the Workshop on Partitioning and Transmutation of Minor Actinides”, Karlsruhe, 16-18 oktober 1989, p V.

⁷⁷⁵ Stan Gordelier, hoofd Nucleaire Ontwikkeling, Nuclear Energy Agency, in: Technisch Weekblad, 25 april 2009, pagina 5.

⁷⁷⁶

https://filelist.tudelft.nl/TNW/Afdelingen/Radiation%20Science%20and%20Technology/Research%20Groups/RPNM/Publications/PhD_Bultman.PDF, 17 januari 1995.

⁷⁷⁷ Gerhard Schmidt, Öko-Institut e.V., Gerald Kirchner, Universität Hamburg, und Christoph Pistner, Öko-Institut e.V., “Endlagerproblematik – Können Partitionierung und Transmutation helfen?” http://www.tatup-journal.de/tatup133_scua13a.php, Nr. 3, 22. Jahrgang, S. 52-58, november 2013.

⁷⁷⁸ https://www.bfe.bund.de/SharedDocs/Faktencheck/BfE/DE/2018-02-02-transmutation.html;jsessionid=0F2109EC682209DA9BBAE9BF57BD3509.3_cid482, 28 februari 2018.

⁷⁷⁹ https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/cta-deutschland/p_und_t/partitionierung-transmutation_node.html, 11 maart 2021.

⁷⁸⁰ https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/fachinfo/fa/factsheet-partitionierung-und-transmutation.pdf?__blob=publicationFile&v=3, 8 mei 2024.

⁷⁸¹ <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26500/merits-and-viability-of-different-nuclear-fuel-cycles-and-technology-options-and-the-waste-aspects-of-advanced-nuclear-reactors>, pagina's 5 en 108 tot 112, 2023.

⁷⁸² Leo H. Baetslé, Partitioning and Transmutation of Actinides and Fission Products; in Atomwirtschaft, april 1993, p 266-270.

⁷⁸³ Wolf-Dieter Krebs en Peter Schmiedel, Rückführung von Uran und Plutonium in den Brennstoffkreislauf; in Atomwirtschaft, april 1993, p 272.

⁷⁸⁴ Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991, Aanhangsel nr 545, antwoorden Minister EZ, Andriessen op vragen Feenstra en Zijlstra, 1 mei 1991.

⁷⁸⁵ <http://www.nucnet.org/all-the-news/2014/05/06/france-and-japan-announce-cooperation-on-generation-iv-astrid-fbr>, 6 mei 2014.

⁷⁸⁶ <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByType.aspx>.

⁷⁸⁷ <https://www.wiseinternational.org/rss-feed?page=403>, 8 april 1993.

⁷⁸⁸ <http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull222/22204883033.pdf>.

⁷⁸⁹ <http://www.world-nuclear-news.org/WR-USAs-Experimental-Breeder-Reactor-II-now-permanently-entombed-01071501.html>, 1 juni 2015.

⁷⁹⁰ <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Dounreay-completes-first-phase-of-breeder-shipments-2905155.html>, 29 mei 2015.

⁷⁹¹ <http://world-nuclear-news.org/WR-Coolant-removed-from-Dounreay-Fast-Reactor-0508164.html>, 5 augustus 2016.

⁷⁹² <http://www.avea.com/EN/news-10671/avea-wins-contract-to-dismantle-the-vessel-internals-of-the-superphenix-reactor.html>, 1 december 2015.

⁷⁹³ <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/japan-nuclear-power.aspx>.

⁷⁹⁴ <http://www.world-nuclear-news.org/NP-Local-opposition-to-dismantling-of-Japanese-fast-reactor-1912165.html>, 19 december 2016.

⁷⁹⁵ <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.

⁷⁹⁶ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Fuel-loading-begins-at-fast-reactor-0302147.html>, 3 februari 2014.

⁷⁹⁷ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Russia-celebrate-two-industry-firsts-at-Beloyarsk-and-Obninsk-2706141.html>, 27 juni 2014.

⁷⁹⁸ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Russia-connects-BN800-fast-reactor-to-grid-11121501.html>, 11 december 2015.

⁷⁹⁹ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Russia-postpones-BN-1200-in-order-to-improve-fuel-design-16041502.html>, 16 april 2015.

⁸⁰⁰ <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Russian-fast-reactor-reaches-full-power-1708165.html>, 17 augustus 2016.

⁸⁰¹ <http://www.atomic-energy.ru/>; world nuclear news, 15 april 2015.

⁸⁰² <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Russia-postpones-BN-1200-in-order-to-improve-fuel-design-16041502.html>, 16 april 2015.

⁸⁰³ <http://www.nucnet.org/all-the-news/2015/04/15/russia-postpones-construction-of-generation-iv-bn-1200-reactor> 15.04.2015_No82.

⁸⁰⁴ <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/08/293/8293980.pdf>.

805 <http://www.world-nuclear-news.org/WR-UK-considers-options-for-unreprocessed-foreign-fuel-0403144.html>, 4 maart 2014.

806 https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_autre_document_travail_service_part1_v10.pdf, 4 april 2016.

807 <http://www.no2nuclearpower.org.uk/wp/wp-content/uploads/2015/03/Briefing-THORP-21.pdf>, maart 2015.

808 <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/UK-reprocessing-plant-to-end-operations>, 17 mei 2022.

809 <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel.aspx>.

810 <https://www.atommuellreport.de/daten/datenliste/wak-karlsruhe.html>.

811 <https://www.atommuellreport.de/daten/detail/wiederaufarbeitungsanlage-wackersdorf.html>.

812 <https://www.base.bund.de/DE/themen/ne/zwischenlager/kurzinfo-zwl/kurzinfo-zwl.html>.

813 <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/japan-nuclear-fuel-cycle.aspx>.

814 <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Rokkasho-start-up-delayed-to-2016-0311144.html>, 3 november 2014.

815 <https://www.asahi.com/ajw/articles/15183716>, 1 april 2024.

816 <https://fissilematerials.org/library/rr04.pdf>, april 2008.

817 <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel.aspx>.

818 “De geschatte kosten voor het realiseren van een eindberging worden door COVRA middels haar tarieven en bijdragen-stelsel doorberekend aan de aanbieders van afval volgens het principe van ‘de vervuiler betaalt’. Een deel van de tarieven wordt belegd, zodat dit gedurende de periode van bovengrondse opslag kan renderen. Het doel is om hiermee de kosten te dekken voor het voorbereiden, aanleggen, exploiteren en sluiten van een geologische eindberging na de periode van bovengrondse opslag.” Bron: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/ah-584336.pdf>, 18 september 2015.

819 <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/ah-584336.pdf>, 18 september 2015.

820 <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/ah-584336.pdf>, 18 september 2015.

821 <http://www.covra.nl/downloads>, Jaarrapport 2013, p 26.

822 <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/straling/documenten/kamerstukken/2017/06/29/aanbieding-beantwoording-vragen-van-de-europese-commissie-over-het-nationale-programma-radioactief-afval>, 29 juni 2017.

823 <https://www.covra.nl/app/uploads/2023/05/COVRA-jaarrapport-2022.pdf>, 9 mei 2023.

824 http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2013/07/12/convention-on-nuclear-safety-cns.html?ns_campaign=documenten-en-publicaties-over-het-onderwerp-kernenergie&ns_channel=att, 12 juli 2013, p 17.

825 OPERA-PG-COV002 Meerjarenplan Opera, 5 juli 2011; figuur 3, blz. 6.

826 <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-28165-182.html>, 26 maart 2015.

827 <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/straling/documenten/kamerstukken/2017/06/29/aanbieding-beantwoording-vragen-van-de-europese-commissie-over-het-nationale-programma-radioactief-afval>, 29 juni 2017.

828 <http://www.laka.org/info/afval/alles-klein-vijfxvijf.pdf>, 16 april 2015.

829 <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/ah-586260.pdf>, 18 september 2015.

830 OPERA-PG-COV002 Meerjarenplan Opera, 5 juli 2011; figuur 3, blz. 6.

831 <http://www.covra.nl/downloads>, Jaarrapport 2013, p 27 en Jaarrapport 2014, p 27.

832 <http://www.covra.nl/downloads>, Inlegvel bij Jaarrapport 2014.

833 <http://www.laka.org/nieuws/2015/geen-subsidie-voor-kernafval-3525/>

834 <http://www.covra.nl/jaarrapport-2015>, 23 september 2016, p 3.

835 <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/straling/documenten/kamerstukken/2017/06/29/aanbieding-beantwoording-vragen-van-de-europese-commissie-over-het-nationale-programma-radioactief-afval>, 29 juni 2017.

836 <https://www.covra.nl/app/uploads/2023/05/COVRA-jaarrapport-2022.pdf>, 9 mei 2023.

837 <https://www.covra.nl/app/uploads/2023/05/COVRA-jaarrapport-2022.pdf>, 9 mei 2023.

838 <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2016/02/10/reactie-op-toetsadvies-cie-m-e-r-en-ingediende-zienswijzen-op-ontwerp-nationaal-programma-beheer-van-radioactief-afval-en-verbruikte-splijststoffen/actie-m-e-r-en-ingediende-zienswijzen-op-ontwerp-nationaal-programma-beheer-van-radioactief-afval-en-verbruikte-splijststoffen.pdf>, p 13 en 15.

839 <http://www.commissiemer.nl/advisering/afgerondeadviezen/2842>, 26 november 2015.

840 <http://api.commissiemer.nl/docs/mer/p28/p2842/a2842ts.pdf>, 26 november 2015.

841 http://api.commissiemer.nl/docs/mer/p28/p2842/2842_ts_persbericht.pdf, 26 november 2015.

842 <http://api.commissiemer.nl/docs/mer/p28/p2842/a2842ts.pdf>, 26 november 2015.

-
- ⁸⁴³ Tweede Kamer, vergaderjaar 1985-1986, 18830, nrs. 46-47.
- ⁸⁴⁴ <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2010/02/25/derde-structuurschema-elektriciteitsvoorziening-deel-4-planologische-kernbeslissing.html>, 25 februari 2010.
- ⁸⁴⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2016/02/10/reactie-op-toetsadvies-cie-m-e-r-en-ingediende-zienswijzen-op-ontwerp-nationaal-programma-beheer-van-radioactief-afval-en-verbruikte-splijststoffen/reactie-op-toetsadvies-cie-m-e-r-en-ingediende-zienswijzen-op-ontwerp-nationaal-programma-beheer-van-radioactief-afval-en-verbruikte-splijststoffen.pdf>, 10 februari 2016, p 8 en 9.
- ⁸⁴⁶ <http://www.autoriteitnvs.nl/actueel/nieuws/2016/06/24/nationale-programma-radioactief-afval-vastgesteld>, 24 juni 2016.
- ⁸⁴⁷ <https://www.laka.org/nieuws/2000/kernafval-en-ethiek-gaan-niet-samen-5382>, 12 januari 2000.
- ⁸⁴⁸ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, Kernafval en Kernethiek.
- ⁸⁴⁹ <http://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9>; <https://www.pv-magazine.de/2017/12/11/indirekte-photovoltaik-emissionen-kein-hindernis-fuer-dekarbonisierung/>, 12 december 2017.
- ⁸⁵⁰ <http://www.dont-nuke-the-climate.org/> Jan Willem Storm van Leeuwen, Climate change and nuclear power. An analysis of nuclear greenhouse gas emissions. Commissioned by the World Information Service on Energy (WISE) Amsterdam 24 oktober 2017.
- ⁸⁵¹ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ⁸⁵² <https://jaspervis.wordpress.com/2019/03/03/hoeveel-co2-kost-al-dat-staal-van-een-windmolen-eigenlijk-2019-update/>, 3 maart 2019.
- ⁸⁵³ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ⁸⁵⁴ Jan Willem Storm van Leeuwen, Nuclear Monitor #886, June 8, 2020; CO2 emissions of nuclear power: the whole picture; <http://nuclearfreenw.org/climate.htm>.
- ⁸⁵⁵ https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-1-42_web.pdf, 20 december 2022.
- ⁸⁵⁶ Reinier de Man, Ondergrondse berging van onverwerkbaar afval, (1991), p. 16. Ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer (Vrom), directoraat-generaal milieubeheer. Publikatiereeks stralenbescherming, 53.
- ⁸⁵⁷ Hamstra, "Veiligheidsaspecten en risico's verbonden aan de opslag van kernsplijtingsafval", in: Atoomenergie, 1974, 7/8, p. 175-180.
- ⁸⁵⁸ <https://www.bge.de/de/asse/meldungen-und-pressemittelungen/meldung/news/2023/1/menge-und-messwerte-der-abtransportierten-zutrittsloesungen-des-jahres-2022/>, 18 januari 2023.
- ⁸⁵⁹ https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/abfallentsorgung_kosten_fina_nzierung_bf.pdf, 12 augustus 2015.
- ⁸⁶⁰ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemittelungen/meldung/news/2022/1/679-schachanlage-asse-ii/>, 10 januari 2022.
- ⁸⁶¹ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemittelungen/meldung/news/2021/9/645-gorleben/>, 17 september 2021.
- ⁸⁶² <https://www.bge.de/de/endlagersuche/bergwerk-gorleben/>
- ⁸⁶³ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemittelungen/meldung/news/2023/8/erster-schritt-zur-schliessung-des-bergwerks-gorleben/>, 15 augustus 2023.
- ⁸⁶⁴ Atomwirtschaft, juni 1986, p 310.
- ⁸⁶⁵ https://www.cardnm.org/backfrm_a.html.
- ⁸⁶⁶ https://curie.pnnl.gov/system/files/EMD-82-64-full-report_Lyons_Kansas.pdf, 23 maart 1982.
- ⁸⁶⁷ Ronnie Lipschutz, "Radioactive Waste: Politics, Technology and Risk", Cambridge USA, 1980.
- ⁸⁶⁸ Department of Energy, Mission Plan for the Civilian Radioactive Waste Management Program, juni 1985, Volume 1, p 41 en 42; <https://www.nrc.gov/docs/ML2232/ML22322A275.pdf>.
- ⁸⁶⁹ <https://www.leg.state.nv.us/Division/Research/Publications/Factsheets/YuccaTimeline.pdf>, september 2018.
- ⁸⁷⁰ 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.
- ⁸⁷¹ Nuclear Energy Agency, "Radioactive Waste Management in Perspective", Parijs, juni 1996.
- ⁸⁷² Herman Damveld, "Atoomafval in Beweging": februari 2012, p.13: <http://www.wisenederland.nl/sites/default/files/images/kernafval%20in%20beweging.pdf>
- ⁸⁷³ <http://www.energiestiftung.ch/files/downloads/energiethemen-atomenergie-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-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.
<https://www.taz.de/Atommuell-Endlager-in-Frankreich!/132874/,13> februari 2014.
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2014-02-12_-_Stockage_dechets_radioactifs_Meuse-Hte_Marne.pdf, 12 februari 2014.
<http://www.debatpublic-cigeo.org/docs/cr-bilan/bilan-cpdp-cigeo.pdf>, 12 februari 2014.
http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/05182/index.html?lang=de&dossier_id=05183, Newsletter Tiefenlager, April 2014 / N°12, Institution: BFE, Erschienen: 15.04.2014.
http://www.posiva.fi/en/final_disposal/general_time_schedule_for_final_disposal#.U1YU1PGKB1s.
<http://www.world-nuclear-news.org/WR-Designing-Cigeo-disposal-site-0206141.html> , 2 juli 2014.
De directeur van het Bundesamt für Strahlenschutz, Wolfram König in:
http://www.asse.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/1_asse_einblicke/asse_einblicke_25.pdf?__blob=publicationFile, juli 2014.
<http://www.endlagerung.de/> .
<http://www.endlagerung.de/language=de/7131/schweden>.
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/nationales_entsorgungsprogramm_aug_bf.pdf, 12 augustus 2015.
<http://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/Global/Publikationer/Rapport/Avfall-transport-fysiskt-skydd/2015/2015-32-Safe-and-responsible-management-of-spent-nuclear-fuel-and-radioactive-waste-in-Sweden-National-Plan.pdf>, p 115, augustus 2015.
<http://www.world-nuclear-news.org/WR-Licence-granted-for-Finnish-used-fuel-repository-1211155.html>, 13 november 2015.
<http://www.world-nuclear-news.org/WR-US-public-views-sought-on-waste-siting-consent-2601167.html>, 26 januari 2016.
http://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Hinkley_Point/1601_Studie_Sicherheitsrisiken_Atomm%C3%BCII_Becker.pdf, januari 2016.
<http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/116/1811647.pdf>, 23 maart 2017.
<http://analysis.nuclearenergyinsider.com/worlds-first-waste-repository-build-contracts-confirm-cost-schedule-targets>, 19 april 2017.
⁸⁷⁴ <http://www.gdfwatch.org.uk/2019/01/02/geological-disposal-2019-international-preview/>, 2 januari 2019.
⁸⁷⁵ https://www.base.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/BASE/DE/2022/zeitplan-zwischenstand.html;jsessionid=4B22E7190E994234AFEE51A34A413C4E.3_cid482, 20 december 2022; keuze locatie uiterlijk in 2068, gevolgd door aanleggen opbergmijn.
⁸⁷⁶ <https://worldnuclearwastereport.org>, 11 november 2019, pagina 119 en 120.
⁸⁷⁷ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/One-year-delay-in-Canadian-repository-site-selecti>, 15 augustus 2022.
⁸⁷⁸ http://www.cardnm.org/nonkarstfrm_a.html.
⁸⁷⁹ http://www.cardnm.org/nonkarstfrm_a.html.
⁸⁸⁰ <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0306312720986609>, 1 juni 2021.
⁸⁸¹ <https://www.covra.nl/nl/downloads/onderzoeksprogramma/>
⁸⁸² <http://world-nuclear-news.org/Articles/Work-starts-on-Finnish-fuel-encapsulation-plant>, 25 juni 2019.
⁸⁸³ <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/finland.aspx>, augustus 2020.
⁸⁸⁴ http://www.posiva.fi/en/nuclear_waste_management/selecting_the_site_the_final_disposal_at_olkiluoto
⁸⁸⁵ http://www.posiva.fi/en/final_disposal/general_time_schedule_for_final_disposal
⁸⁸⁶ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_33711/radioactive-waste-management-and-decommissioning-in-finland, , 2014.
⁸⁸⁷ <https://www.wiseinternational.org/nuclear-monitor/746-747-748/china-czech-republic-finland-france>, mei 2012.
⁸⁸⁸ <https://www.geologievannederland.nl/landschap/vormende-krachten/ijs-koude-kracht>.
⁸⁸⁹ http://www.pog.nu/01research/1-2_fennoscandia.htm ; <http://nonuclear.se/files/morner20080426.pdf>, 26 april 2008.

- ⁸⁹⁰ <https://nonuclear.se/waste2007/10-morner20070428.pdf>, 2007
- ⁸⁹¹ https://nonuclear.se/files/morner201310collapse_of_kbs3.pdf, oktober 2013.
- ⁸⁹² Technisch Weekblad, 21 november 2009.
- ⁸⁹³ https://www.researchgate.net/publication/238140041_Corrosion_of_Copper_by_Water, januari 2007.
- ⁸⁹⁴ <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/deep-borehole-disposal-radioactive-waste-next-steps-and-applicability-national-programs/>, 17 november 2022.
- ⁸⁹⁵ <https://www.laka.org/nieuws/2018/advies-kernafval-in-5-km-diepe-boorgaten-in-borssele-8998>, 14 mei 2018.
- ⁸⁹⁶ <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2022/01/14/norwegian-nuclear-decommissioning-concludes-deep-borehole-disposal-great-option-for-nuclear-waste/?sh=550918160b33>, 14 januari 2022.
- ⁸⁹⁷ <https://www.deepisolation.com/wp-content/uploads/2023/03/Deep-Isolation-Report-for-NDA-20-March-2023.pdf>, 20 maart 2023, pagina 9.
- ⁸⁹⁸ https://www.norskdekkommissionering.no/wp-content/uploads/2021/12/Preliminary-assessment_Deep-Isolation-borehole-repository-as-a-disposal-option-for-nuclear-waste-in-the-ERDO-countries.pdf, 1 december 2021.
- ⁸⁹⁹ <https://www.ing-goebel.de/diskussion-2020/>.
- ⁹⁰⁰ SANDIA REPORT SAND2012-7789 September 2012 Deep Borehole Disposal of Nuclear Waste: Final Report Pat Brady, Bill Arnold, Susan Altman, and Palmer Vaughn <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2012/127789.pdf>
- ⁹⁰¹ http://www.bundestag.de/blob/376822/a489fb1ff3922e24bad396b80f6f7f16/kmat_26-b-data.pdf.
- ⁹⁰² Assessment of Disposal Options for DOE-Managed High-Level Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel <http://www.energy.gov/ne/downloads/assessment-disposal-options-doe-managed-high-level-radioactive-waste-and-spent-nuclear>, oktober 2014.
- ⁹⁰³ http://www.mkg.se/uploads/DB/Deep_borehole_disposal_of_nuclear_waste-engineering_challenges_Beswick_Gibbs_Travis_Proceedings_of_the_Institution_of_Civil_Engineers_April_2014.pdf.
- ⁹⁰⁴ <http://www.nwtrb.gov/press/prl200.pdf>.
- ⁹⁰⁵ <http://www.theengineer.co.uk/news/us-to-trial-pioneering-deep-hole-nuclear-waste-disposal-technique/1020281.article>, 28 april 2015.
- ⁹⁰⁶ <https://arstechnica.com/science/2023/02/could-deep-boreholes-solve-our-nuclear-waste-problem/>, 27 februari 2023.
- ⁹⁰⁷ <https://www.deepisolation.com/wp-content/uploads/2023/02/Deep-Borehole-Demonstration-Center-Strategic-Plan-v1.0.pdf>, 27 februari 2023.
- ⁹⁰⁸ <https://www.deepisolation.com/press/the-deep-borehole-demonstration-center-launches-today-at-waste-management-symposia-in-phoenix-arizona/>, 27 februari 2023.
- ⁹⁰⁹ <https://www.covra.nl/nl/downloads/onderzoeksprogramma/>, 4 november 2020.
- ⁹¹⁰ <https://www.bmu.de/themen/nukleare-sicherheit/endlagerprojekte/standortauswahlverfahren-endlager/das-standortauswahlgesetz>, 12 maart 2012.
- ⁹¹¹ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/>
- ⁹¹² <https://academic.oup.com/pnasnexus/article/3/2/pgae030/7585701>, 23 januari 2024.
- ⁹¹³ <https://nap.nationalacademies.org/catalog/26500/merits-and-viability-of-different-nuclear-fuel-cycles-and-technology-options-and-the-waste-aspects-of-advanced-nuclear-reactors>, pagina's 11 en 123 tot 126, 2023.
- ⁹¹⁴ <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-0ac91e23-f967-4cd9-95e9-abdf872bbf9c/pdf>, 2011.
- ⁹¹⁵ <http://www.theraycatsolution.com/#10000>
- ⁹¹⁶ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_15088/preservation-of-records-knowledge-and-memory-across-generations-final-report, 2019.
- ⁹¹⁷ <https://www.osti.gov/biblio/10117359>, 1 november 1993.
- ⁹¹⁸ Human Interference Task Force, Reducing the Likelihood of Future Human Activities That Could Affect Geologic High-level Waste Repositories Technical Report, May 1984.
- ⁹¹⁹ Expert Judgment on Markers to Deter Inadvertent Human Intrusion into the Waste Isolation pilot Plant. Sandia National Laboratories, December 1991.
- ⁹²⁰ Title 40 CFR Part 191, Compliance Certification Application for the Waste Isolation Pilot Plant, Appendix Passive Institutional Controls, Conceptual Design Report, Revision 0, United States Department of Energy, Waste Isolation Plant, Carlsbad Area Office, Carlsbad, New Mexico, 14 november 1996.
- ⁹²¹ Science magazine: A million year hard-disk, 12 July 2012.
- ⁹²² Multigenerational Warning Signs, Charles Dunn, March 17, 2011. <http://large.stanford.edu/courses/2011/ph241/dunn2/>.
- ⁹²³ Dennis Duncan, "Backwards and Forwards with the Atomic Priesthood," Alluvium, Vol. 1, No. 2 (2012): n. pag. Web. 1 July 2012.

-
- ⁹²⁴ Susan Garfield: "Atomic Priesthood" is Not Nuclear Guardianship, in: Nuclear Guardianship Forum, Issue # 3, Spring 1994.
- ⁹²⁵ C. Pescatore, C. Mays: Geological disposal of radioactive waste: records, markers and people. An integration challenge to be met over millennia. Published in: NEA updates, NEA News 2008 – No. 26, Paris, 2009.
- ⁹²⁶ Die Zeit (Germany), 22 August 2012; <http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2012-08/atommuell-atomsemiotik>.
- ⁹²⁷ Opening address A.J. González in: Retrievability of high level waste and spent nuclear fuel. IAEA Seminar in cooperation with the Swedish National Council for Nuclear Waste. Sweden, 24–27 oktober 1999, IAEA-TECDOC-1187. p.16.
http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1187_prn.pdf.
- ⁹²⁸ Nuclear waste and core ethics, Damveld & Van den Berg, 1999, published as: Nuclear waste and nuclear ethics, Laka Foundation, January 2000; <http://www.laka.org/docu/boeken/pdf/1-01-2-12-15.pdf>.
- ⁹²⁹ No to spent fuel 'disposal', Nuclear Engineering International, 3 juli 2012
www.neimagazine.com/story.asp?sectioncode=188&storyCode=2062682.
- ⁹³⁰ <http://www.co2ntramine.nl/marking-nuclear-waste-disposal-facilities/>, 19 september 2012.
- ⁹³¹ <http://www.oecd-nea.org/rwm/rkm/>.
- ⁹³² <http://www.oecd-nea.org/rwm/docs/2013/rwm-r2013-5.pdf>, december 2013.
- ⁹³³ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_19438/foundations-and-guiding-principles-for-the-preservation-of-records-knowledge-and-memory-across-generations-namely-for-the-post-closure-phase-of-geological-repositories, 26-27 maart 2014.
- ⁹³⁴ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_15088/preservation-of-records-knowledge-and-memory-across-generations-final-report, 2019.
- ⁹³⁵ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_82761/the-medium-and-the-message-challenges-and-solutions-in-selecting-and-preserving-records-of-radioactive-waste, 11 juli 2023.
- ⁹³⁶ https://www.researchgate.net/publication/339102696_Knowledge_Preservation_for_Nuclear_Waste_Repositories, mei 2018.
- ⁹³⁷ https://www.base.bund.de/DE/themen/soa/wissenserhalt/wissenserhalt-langzeitdokumentation_node.html;jsessionid=682C3463ED9B95DDF0F795DBC64B104.internet951, 13 maart 2024.
- ⁹³⁸ Nucleonics Week, 16 december 1982, p 9.
- ⁹³⁹ Atomwirtschaft, juni 1986, p 310.
- ⁹⁴⁰ <https://stateofgreen.com/en/partners/state-of-green/news/a-record-year-wind-and-solar-supplied-more-than-half-of-denmarks-electricity-in-2020/>, 11 januari 2021.
- ⁹⁴¹ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/richtlijnen/2022/01/10/introductiedossier-bewindspersonen-ministerie-van-ezk>, 10 januari 2022.
- ⁹⁴² <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, rapport CORA (Commissie Opberging Radioactief Afval, 1995-2001).
- ⁹⁴³ RIVM en RGD, Inventarisatie van de mogelijkheden van opberging van niet-radioactieve stoffen in een droge zoutmijn, november 1986; aangeboden aan de Tweede Kamer bij brief 25 februari 1987, Tweede Kamer, vergaderjaar 1986-1987, 19707, nr 16.
- ⁹⁴⁴ <https://www.nlog.nl/sites/default/files/2018-11/Ondergrondse+Opslag+in+Nederland+-+Technische+Verkenning.pdf>, 1 november 2018.
- ⁹⁴⁵ <https://www.deingenieur.nl/artikel/nucleaire-batterij-levert-10x-meer-energie>, 1 juni 2018.
- ⁹⁴⁶ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Nuclear-battery-Chinese-firm-aiming-for-mass-mark>, 16 januari 2024.
- ⁹⁴⁷ <https://www.nucleairforum.be/thema/innovatie/diamantbatterijen-vervaardigd-uit-kernafval>, januari 2017.
- ⁹⁴⁸ David Fischer, 'Stopping the Spread of Nuclear Weapons: The Past and the Prospects' Routledge, 1992, pagina 38.
- ⁹⁴⁹ https://www.rathenau.nl/sites/default/files/2024-01/Regels_voor_het_langdurig_beheer_van_radioactief_afval_Rathenau_Instituut.pdf, 25 januari 2024.
- ⁹⁵⁰ https://www.rathenau.nl/sites/default/files/2024-01/Wet-_en_regelgeving_langdurig_beheer_radioactief%20afval_Achtergrondstudie_Rathenau_Instituut.pdf, 25 januari 2024.
- ⁹⁵¹ <http://www.co2ntramine.nl/weerstand-windparken-verklaard/>, 7 februari 2017.
- ⁹⁵² L.C. Scholten, "Inventarisatie en mogelijkheden voor bovengrondse opslag voor 300 jaar van radioactief afval bij COVRA", KEMA Nucleair, 29 juli 1998, Nr 41436-NUC 98-5472.
- ⁹⁵³ <https://www.covra.nl/app/uploads/2019/08/CORA-01-Inventarisatie-en-mogelijkheden-voor-bovengrondse-opslag-voor-300-jaar-van-radioactief-afval-bij-COVRA.pdf>, 29 juli 1998.

⁹⁵⁴ <https://www.rathenau.nl/nl/klimaat/wie-voor-kernenergie-kiest-moet-ook-nadenken-over-het-afval>, 20 december 2023.

⁹⁵⁵ <https://www.ausgestrahlt.de/themen/atommuell/hochradioaktiv/zwischenlagerung/hohere-anforderungen-durch-lange-lagerung/>, 23 juni 2023.

⁹⁵⁶ <https://www.atommuellreport.de/themen/detail/handlungskonzept-statt-weiteres-durchwursteln-gefordert.html>, 23 juni 2023.

⁹⁵⁷ https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/atomkraft/BUNDStudieDeutscheZwischenlager.pdf, 23 juni 2023.

⁹⁵⁸ <https://wetten.overheid.nl/BWBV0001008/1948-12-10/0/informatie>

⁹⁵⁹ De Verklaring van Rio de Janeiro Inzake Milieu en Ontwikkeling, naar aanleiding van de Conferentie van de Verenigde Staten inzake Milieu en Ontwikkeling van 3 tot 14 juni 1992, Beginsel 1 en 2.

⁹⁶⁰ Herman Damveld en Klarisse Nienhuys, Notities over kernafval, (1978), p.2.

⁹⁶¹ Tweede Kamer, zitting 1977-1978, aanhangsel nummer 475, 20 december 1977.

⁹⁶² Tweede Kamer, zitting 1978-1979, 15 100, nr. 16;
https://repository.overheid.nl/frbr/sgd/19781979/0000177521/1/pdf/SGD_19781979_0003525.pdf.

⁹⁶³ <https://research.tue.nl/nl/studentTheses/opwerking-en-hergebruik-van-plutonium-de-problemen-en-gevaren-van>, pagina 17, 31 augustus 1996.

⁹⁶⁴ https://www.laka.org/docu/catalogue/publication/1.01.0.00/09_kernenergie-verlichting-of-conflict, pagina 95, uitgave Milieufederatie Groningen, 1984.

⁹⁶⁵ <https://research.tue.nl/nl/studentTheses/opwerking-en-hergebruik-van-plutonium-de-problemen-en-gevaren-van>, pagina 19 e.v., 31 augustus 1996.

⁹⁶⁶ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/dossier/kst-25422-1.pdf>, 25 juni 1997.

⁹⁶⁷ <http://www.energiefeiten.nl/#Energie>, in dit deel een veel gebruikte bron.

⁹⁶⁸ <https://www.lowtechmagazine.be/2019/03/verwarm-je-huis-met-windenergie-de-warmtemolen.html>, 3 maart 2019.

⁹⁶⁹ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Calorie>; <https://nl.wikipedia.org/wiki/Joule>;
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Kilowattuur>.

⁹⁷⁰ <https://www.voedingscentrum.nl/nl/mijn-gewicht/overgewicht/spelregel-2-minder-eten-om-af-te-vallen.aspx>.

⁹⁷¹ <https://www.ad.nl/wielrennen/een-kijkje-in-de-machinekamer-van-dumoulin-de-data-achter-de-podiumplaatsen~acf408ab/>, 22 september 2018.

⁹⁷² <https://www.energieconsultant.nl/energiemarkt/technische-informatie-energie/tabel-overzicht-verbrandingswarmte-brandstoffen/>.

⁹⁷³ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/16/energieverbruik-gedaald-in-2018>, 17 april 2019.

⁹⁷⁴ Voor dit deel is gebruik gemaakt van verschillende bronnen waaronder
<https://www.gaslicht.com/nieuws/wat-doet-u-met-een-kwh-stroom-en-een-m3-gas>;
<https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/grote-energieslurpers/>
met ook andere pagina's van deze organisatie.

⁹⁷⁵ Voor dit deel is gebruik gemaakt van verschillende bronnen waaronder Milieu Centraal en
http://www.otb.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/Onderzoeksinstituut_OTB/Onderzoek/Onderzoek_en_advies/Onderzoeksthema_s/Nederlands/Duurzame_woningkwaliteit/Duurzaam_en_gezond_wonen/De_onderzoeken_binnen_de_groep_Duurzaam_en_Gezond_wonen/Energie_en_comfort/doc/4_stap1_EH29mrt10.pdf ;
<https://www.hier.nu/themas/huishoudelijke-apparaten/wist-je-dat-deze-4-apparaten-zoveel-stroom-verbruiken>,
11 november 2017.
<https://www.hier.nu/uploads/inline/Shift%20Innovatie%20-%20Analyse%20huishoudelijke%20apparaten%2018-11-16.pdf>.
<https://www.hier.nu/themas/huishoudelijke-apparaten/deze-apparaten-veroorzaken-twee-derde-van-je-stroomrekening>, 21 oktober 2017.

⁹⁷⁶ <https://www.pricewise.nl/energieprijzen/#Energieprijzen>

⁹⁷⁷ https://twitter.com/BM_Visser, 28 maart 2021.

⁹⁷⁸ <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/>; <https://www.gaslicht.com/energiebesparing/energieverbruik/>;

⁹⁷⁹ <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/inzicht-in-je-energierekening/energierekening/>

⁹⁸⁰ <https://www.pricewise.nl/energieprijzen/#Energieprijzen>, 6 oktober 2021.

⁹⁸¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/verkeer/verkeersprestaties-personenautos>, 2023.

⁹⁸² <https://www.unitedconsumers.com/tanken/informatie/brandstof-prijzen.asp#>, 4 maart 2024.

⁹⁸³ <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/>.

⁹⁸⁴ <https://www.ce.nl/publicatie/trends-ict-en-energie-2013-2030/1736>, februari 2016.

- ⁹⁸⁵ <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2020/51/elektriciteit-geleverd-aan-datacenters-2017-2019>, 14 december 2020.
- ⁹⁸⁶ <http://www.digitalgateway.eu/sodd2018.html>, 12 juni 2018.
- ⁹⁸⁷ <https://www.ericsson.com/495d5c/assets/local/about-ericsson/sustainability-and-corporate-responsibility/documents/2020/breaking-the-energy-curve-report.pdf>, 11 maart 2020.
- ⁹⁸⁸ <http://aardgas-in-nederland.nl/nederland-aardgasland/aardgas-in-de-nederlandse-energievoorziening/>.
- ⁹⁸⁹ <http://www.energiein nederland.nl/2016/energieverbruik/huishoudens>.
- ⁹⁹⁰ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/41/energieverbruik-per-inwoner-terug-op-niveau-van-1970>, 10 oktober 2023.
- ⁹⁹¹ <http://statline.cbs.nl/Statweb/>.
- ⁹⁹² <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken/documenten/rapporten/2016/10/14/nationale-energieverkenning-2016>, 14 oktober 2016.
- ⁹⁹³ <http://www.urgenda.nl/visie/rapport-2030/>.
- ⁹⁹⁴ <http://www.pbl.nl/publicaties/nationale-energieverkenning-2017>, 19 oktober 2017
http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-nationale-energieverkenning-2017_2625.PDF, 19 oktober 2017.
- ⁹⁹⁵ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/16/energieverbruik-verandert-nauwelijks-in-2017>, 19 april 2018.
- ⁹⁹⁶ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/16/energieverbruik-gedaald-in-2018>, 17 april 2019.
- ⁹⁹⁷ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/20/minder-steenkool-en-meer-aardgas-verbruikt-in-2019>, 11 mei 2020.
- ⁹⁹⁸ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/14/energieverbruik-met-3-procent-gedaald-in-2020>, 7 april 2021.
- ⁹⁹⁹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/41/energieverbruik-per-inwoner-terug-op-niveau-van-1970>, 10 oktober 2023.
- ¹⁰⁰⁰ <http://www.energiepodium.nl/opinie/item/mik-bij-jacht-op-co2-megatonnen-ook-op-petajoules>, met toestemming van de auteur Martien Visser overgenomen en redactioneel iets aangepast.
- ¹⁰⁰¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/41/energieverbruik-per-inwoner-terug-op-niveau-van-1970>, 10 oktober 2023.
- ¹⁰⁰² <https://joop.bnnvara.nl/opinies/vijftig-kerncentrales-nodig-om-schiphol-op-gang-te-houden>, 7 februari 2021.
- ¹⁰⁰³ Onzichtbaar goud; de betekenis van 50 jaar aardgas voor Nederland, Castel International Publishers, Groningen/Zwolle, 2009, pp 9-16.
- ¹⁰⁰⁴ <https://www.duurzaambo.nl/2-circulaire-economie-ol/2-1-werk-met-duurzame-energie>.
- ¹⁰⁰⁵ <http://www.energiegids.nl/nieuws-details.tiles?doc=/content/energie/nieuws/2010/09/09/MI-CvL.xml>, 9 september 2010.
- ¹⁰⁰⁶ <http://www.ecn.nl/nl/nieuws/item/date/2010/07/01/emissies-van-broeikasgassen-methaan-en-lachgas-onderschat/>, 1 juli 2010.
- ¹⁰⁰⁷ <http://www.zdf.de/ZDFmediathek/kanaluebersicht/aktuellste/228#/beitrag/video/1109928/ZDF-heute-journal-vom-09-August-2010>.
- ¹⁰⁰⁸ <http://nos.nl/dossier/98683-klimaat-en-energie>, 9 augustus 2010.
- ¹⁰⁰⁹ “Nederland warmt op en zal in de toekomst vaker te maken krijgen met extreme weersomstandigheden. Meer droogte, hitte en wateroverlast zullen er onvermijdelijk toe leiden dat bepaalde populaties achteruit gaan of zelfs uit Nederland verdwijnen. Het veranderende klimaat is op termijn ongeschikt voor 15 procent van alle hier voorkomende dier- en plantensoorten.”, Planbureau voor de Leefomgeving, 20 augustus 2010.
- ¹⁰¹⁰ http://www.changemagazine.nl/klimaatkennis/onderzoek/weerextremen_gevolg_van_klimaatverandering, 31 augustus 2010.
- ¹⁰¹¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/37/co2-uitstoot-in-2017-gelijk-aan-die-in-1990>, 10 september 2018.
- ¹⁰¹² <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/19/uitstoot-broeikasgassen-licht-gedaald>, 9 mei 2019.
- ¹⁰¹³ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2022/11/uitstoot-broeikasgassen-2-1-procent-hoger-in-2021>, 16 maart 2022.
- ¹⁰¹⁴ <http://www.energiepodium.nl/opinie/item/rechtelijke-uitspraak-urgenda-is-onterecht-en-dient-ook-het-klimaat-niet>, 17 oktober 2018.
- ¹⁰¹⁵ https://twitter.com/BM_Visser, 8 mei 2019.
- ¹⁰¹⁶ <http://www.technischweekblad.nl/rubrieken/energieserie/kunnen-we-overschakelen-op-duurzame-energie.130162.lynkx>, 24 mei 2011;
http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/Zonnestraling_in_Nederland.pdf;
<http://www.allesoverzonnepanelen.nl/voorwaarden/zonnestraling/>
- ¹⁰¹⁷ <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i35543/350-tot-580-vierkante-kilometer-grond-nodig-voor-zonneparken>, 13 oktober 2023.
- ¹⁰¹⁸ <https://www.tennet.eu/nl/nieuws/klimaatneutraal-energiesysteem-haalbaar-als-we-durven-te-kiezen>, 12 oktober 2023.
- ¹⁰¹⁹ <https://pris.iaea.org/pris/>