

Vijftien wetenswaardigheden over kernenergie

Herman Damveld

(bijgewerkt tot 3 januari 2021)

Inleiding

Regelmatig lezen we dat kernenergie voordelen heeft. We noemen er een paar:
er zou geen broeikasgas CO₂ vrijkomen;
de veiligheid van kerncentrales is sterk verbeterd;
de opslag van kernafval kan veilig;
de voorraden uranium en thorium zijn ruim voldoende;
een kerncentrale heeft weinig ruimte nodig.

Hieronder zullen we de verschillende onderwerpen bespreken.

Inhoudsopgave

1. Kernenergie goed voor 1% energiegebruik Nederland
2. Kernenergie niet broeikasvrij
3. Geen taboe op kerncentrales
4. Kernenergie een onverzekerbaar risico
5. Voorbereiding op kernongeval blijft noodzakelijk
6. Gebied rond Fukushima en Tsjernobyl langdurig onbewoonbaar
7. Kernafval 1 miljoen jaar gevaarlijk, probleem is niet opgelost.
8. Tijdelijke bovengrondse opslag Vlissingen
9. De genoemde opslagplaatsen in zout of klei
10. Nieuwe discussie opslag kernafval
11. Kleine hoeveelheden, groot gevaar
12. Kernenergie kan niet uit
13. Kerncentrales op thorium niet te koop
14. Voorraad uranium snel op bij veel kerncentrales
15. Kernenergie heeft veel ruimte nodig

1. Kernenergie goed voor 1% energiegebruik Nederland

De kerncentrale Dodewaard in de provincie Gelderland met een elektrisch vermogen van 54 Megawatt (MW) kwam in maart 1969 in bedrijf en sloot in 1997.^{1 2} De kerncentrale Borssele (bijna 500 MW) begon in oktober 1973 en mag tot eind 2033 in bedrijf blijven.^{3 4 5} Deze kerncentrale was in 2018 goed voor 1% van het totale Nederlandse energiegebruik (zie tabel 1).⁶ Wereldwijd zorgt kernenergie voor bijna 2% van het totale energiegebruik.^{7 8}

Tabel 1

Energiegebruik Nederland 1980 en 2017, 2018 en 2019; percentages per bron^{9 10 11 12}

| jaar | 1980 | 2017 | 2018 | 2019 |
|-------------|------|------|------|------|
| aardgas | 46,4 | 41 | 42 | 45 |
| olie | 46,5 | 38 | 38 | 36 |
| kolen | 5,7 | 12 | 11 | 8,6 |
| kernenergie | 1,4 | 1 | 1 | 1 |
| zon en wind | 0 | 1,4 | 1,6 | 1,8 |
| biomassa | 0 | 4,0 | 4 | 5,5 |
| overige | 0 | 2,6 | 2,4 | 2,1 |

Noot: overige betekent energie uit afval, waterkracht, bodemwarmte en invoer elektriciteit; in 2019 zorgde zon voor 0,6% en wind voor 1,2% van het totale energiegebruik, samen 1,8%.¹³

2. Kernenergie niet broeikasvrij

Broeikasgassen zoals CO₂ geven een ongewenste klimaatverandering. Kernenergie is echter in tegenstelling tot wat regelmatig beweerd wordt, niet CO₂-vrij.¹⁴ Dit broeikasgas komt namelijk vrij bij de winning en bewerking van uraniumerts, bij de bouw van de kerncentrale, het transport van kernbrandstof, de afbraak van de centrale, enzovoort. Er zijn veel stappen nodig voor er stroom wordt geproduceerd in een kerncentrale. Bij al deze werkzaamheden zijn machines nodig die benzine of diesel gebruiken en zo CO₂-uitstoot veroorzaken.

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 dit gehalte. Bij armere uraniumertsen moet veel meer gesteente afgegraven en verwerkt worden voor eenzelfde hoeveelheid uranium. Daardoor neemt de indirecte CO₂-uitstoot sterk toe. Bij een ertsgehalte van 0,02% gaat het om 300 gram CO₂ per kWh (zie tabel 2).^{15 16 17 18 19 20 21 22 23}

De studies over de CO₂-uitstoot noemen voor de fossiele brandstoffen allemaal vrijwel hetzelfde getal. Bij kernenergie zijn er grote verschillen. Vanwege de grote complexiteit van de kernenergiecyclus is het lastig om heel precies de werkelijke CO₂-uitstoot van kernenergie uit te rekenen. Een toelichting.

In een tabel bij het in 2014 verschenen klimaatrapport van de Verenigde Naties (IPCC) wordt een uitstoot van CO₂ van bijna 4 tot 110 gram CO₂ per kilowattuur (kWh) genoemd, met als gemiddelde 12 gram CO₂ per kWh.^{24 25} Dit gemiddelde werd sindsdien vaak genoemd.

Voor de onderbouwing werd verwezen naar studies van Lenzen en van Warner en Heath.²⁶

Lenzen concludeerde dat het gaat om gemiddeld 65 gram CO₂ per kWh.²⁷ Warner en Heath noemden 12-110 gram CO₂ per kWh.²⁸ Daar komt nog bij dat Warner en Heath wezen op de onvolledigheid van rapporten waarvan ze voor hun studie gebruik maakten.²⁹ Dat zou eerder wijzen op een hogere uitstoot van CO₂. Waarop het getal van 12 gram CO₂ per kWh is gebaseerd, wordt niet navolgbaar uiteengezet. Wel nauwkeurig en navolgbaar beargumenteerd zijn andere hier aangehaalde studies.

In een rapport van de energie-analist Jan Willem Storm van Leeuwen, dat op 8 juni 2020 verschenen is, berekende hij 139-190 gram CO₂ per kilowattuur (kWh).^{30 31} Mark Z. Jacobson, Professor of Civil and Environmental Engineering, directeur van het Atmosphere/Energy Program van de Stanford University, noemde 78-178 gram CO₂ per kilowattuur.³² Met behulp van die studies is tabel 2 samengesteld.

Tabel 2

Totale (directe en indirecte) CO₂-uitstoot in gram per kilowattuur

| 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 | 48 |
| Wind | 10-12 |

Bij zonnepanelen hangt de indirecte CO₂-uitstoot vooral af van de manier waarop ze worden gemaakt, blijkt uit een in oktober 2020 verschenen studie: "Hierbij werd ontdekt dat de grootste milieu-impact voortkomt uit het feit dat de panelen geproduceerd worden met

elektriciteit afkomstig uit centrales. De impact is het grootst als deze centrales nog steeds afhankelijk zijn van steenkool.”³³

3. Geen taboe op kerncentrales

De plaatsen voor de bouw van nieuwe kerncentrales liggen al lange tijd vast: Eemshaven, Maasvlakte en Borssele.³⁴ De Tweede Kamer heeft op 13 oktober 2020 met 81 tegen 69 stemmen een PvdA-motie verworpen om de Eemshaven van de lijst te schrappen; onder meer VVD, CDA en PVV waren tegen.³⁵ Er is dus geen taboe op kernenergie.

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 kunnen aanvragen maar dat niet hebben gedaan.³⁶ 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.^{37 38} Blijkbaar zijn er geen marktpartijen die willen investeren. Daarom kondigde de VVD op 23 september 2020 aan de bouw van kerncentrales te willen subsidiëren.^{39 40} Minister Wiebes schreef op 22 september 2020 aan de Tweede Kamer te zullen onderzoeken “welke publieke ondersteuning nodig is” opdat energiebedrijven kerncentrales willen bouwen.⁴¹

4. Kernenergie een onverzekerd 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.^{42 43} 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).⁴⁴ Het maximale door de exploitant te vergoeden bedrag is 1,2 miljard euro. Voor grotere schades geldt een staatsgarantie tot 2,3 miljard euro.⁴⁵

Ter vergelijking. De schade van het ongeluk in Tsjernobyl in 1986 was zeker 210 miljard euro.⁴⁶ Het Japanse ministerie van Handel schatte in 2016 de schade door het ongeluk met de kerncentrales in Fukushima 168 miljard euro.⁴⁷

5. Voorbereiding op kernongeval blijft noodzakelijk

Over de EPR heeft het onderzoeksbureau Large and Associates in maart 2007 een rapport uitgebracht. 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.⁴⁸ Ook bleek in februari 2016 dat bij een ongeluk met een EPR evenveel cesium kan vrijkomen als bij Fukushima.⁴⁹

Bij een kernongeval met de kerncentrale Borssele in Nederland, Doel en Tihange in België of Lingen in Duitsland moeten mensen tot op 10 kilometer afstand geëvacueerd worden.⁵⁰ Kinderen tot 18 jaar en zwangere vrouwen moeten tot op 100 kilometer jodiumtabletten

slikken om schildklierkanker te voorkomen.⁵¹ Het gaat hier ook om gebieden in Nederland. Volgens de regering kan door een kernongeval een groter gebied getroffen worden dan eerder aangenomen.⁵² De regering schreef op 20 december 2018 dat een ernstig kernongeval “grote gevolgen kan hebben voor Nederland.”⁵³ De Duitse overheidsorganisatie Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) heeft op 12 december 2019 een film uitgebracht over hoe te handelen bij een kernongeval.⁵⁴ Als de veiligheid van kernenergie sterk verbeterd zou zijn, waren deze maatregelen van de Nederlandse en Duitse regering niet nodig.

6. Gebied rond Fukushima en Tsjernobyl langdurig onbewoonbaar

Soms lezen we dat na de kernongevallen bij Tsjernobyl en Fukushima er niet 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 recent 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.⁵⁵

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 140.000.⁵⁶ De economische schade is 210 miljard euro.⁵⁷

Na het ongeluk met de kerncentrale in Fukushima in Japan in maart 2011 werden zo'n 150.000 mensen geëvacueerd; 1800 vierkante kilometer land is vanwege de stralingsbelasting ongeschikt voor bewoning en landbouw.⁵⁸ De kosten van dit ongeluk werden in november 2016 geschat op omgerekend 168 miljard euro.⁵⁹

Ter vergelijking: Nederland heeft een oppervlakte van 41.543 vierkante kilometer.⁶⁰

7. Kernafval 1 miljoen jaar gevaarlijk, probleem is niet opgelost.

Nergens ter wereld is een ondergrondse opslagplaats voor warmte-producerend hoogradioactief afval in bedrijf.⁶¹ Onder meer Zwitserland en Duitsland gaan ervan uit dat geologische stabiliteit, en dus een veilige opslagperiode van een miljoen jaar, gegarandeerd moet zijn.^{62 63}

Al vanaf 1976 zijn zoutkoepels in Noord-Nederland in beeld voor opslag van kernafval. In november 2020 begon de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) een nieuw onderzoek naar opslag in zoutkoepels. Een gedeelte van het radioactieve afval moet namelijk “voor meer dan honderdduizend jaar uit het leefmilieu en de invloedssfeer van de mens worden gehouden.”⁶⁴

Duitsland was het voorbeeld voor Nederland. In de zoutkoepel Asse in de Noord-Duitse deelstaat Nedersaksen zijn tot 1978 zo'n 126.300 vaten radioactief afval opgeslagen. De opslagmijn dreigt nu in te storten en vol water te lopen. Het plan is om de vaten weer op te graven. Dat kost 3,5 miljard euro.⁶⁵ De Duitse overheidsinstantie Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) heeft op 28 september 2020 Gorleben na 40 jaar onderzoek van de lijst geschrapt omdat deze zoutkoepel niet voldoet aan de geologische criteria.⁶⁶ Het onderzoek heeft 1,6 miljard euro gekost.⁶⁷

De laatste jaren wordt vaak verwezen naar Finland waar de opslag in graniet veilig zou zijn. Deze opslag zou volgens de planning in 2023 kunnen beginnen en 3 miljard euro kosten.^{68 69} Finland heeft echter hetzelfde concept voor de eindberging van radioactief afval als Zweden. En in 2018 heeft het Zweedse Hof voor Land en Milieu het opbergplan in twijfel getrokken omdat de veiligheid niet is aangetoond.^{70 71} De Zweedse kernafvalorganisatie MKG bracht in oktober 2020 een rapport uit dat des te duidelijker maakte dat de opslag niet veilig is.⁷² Ook in Nederland is ondanks langjarig onderzoek de veiligheid van de eindberging van kernafval niet

aangetoond. Dat is een van de belangrijkste conclusies uit het boek ‘Radioactief afval – Waar laten we het’ van Peter Löhnberg dat in oktober 2020 verschenen is.⁷³

Naast hoog- is er ook laag- en middelradioactief afval. Uit recent Duits onderzoek blijkt dat de gevaren van licht- en middelradioactief afval worden onderschat: dit afval bevat namelijk radioactieve stoffen met ook een aanzienlijk risico voor de volksgezondheid.⁷⁴

In de kerncentrale Borssele ontstaat bij de splijting van uranium naast warmte onder meer plutonium. EPZ, de exploitant van Borssele, heeft 2800 kilo plutonium verkocht met een verlies van 40 miljoen euro. Tot het jaar 2034 ontstaat nog eens 2800 kilo plutonium, waarvoor een speciaal en kostbaar contract tot 2034 met de Franse opwerkingsfabriek Orano is afgesloten, opdat het plutonium niet in Nederland opgeslagen hoeft te worden. Zo is voorkomen dat Nederland 5.600 kilo plutonium moet opslaan.⁷⁵

8. Tijdelijke bovengrondse opslag Vlissingen

In Nederland gaat het radioactieve afval 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.⁷⁶ De locatie is een gebied buitendijks, net naast de kerncentrale in Borssele.⁷⁷ De COVRA stelt dat de kerncentrale Borssele en de gesloten kerncentrale Dodewaard zorgen voor ruim 90% van de totale radioactiviteit die geproduceerd wordt.⁷⁸

NRG 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 komen. Het gaat om de situatie waarbij alle laag- en middelradioactief afval gedurende een jaar onder water komt te staan. Door beschadiging en uitloging kunnen radioactieve stoffen in het zeewater terecht komen. Het vrijkomende radioactieve materiaal verspreidt zich en dit levert mogelijk een extra gezondheidsrisico op door bijvoorbeeld het eten van vis en schelpdieren, het inademen van verstoven zeewater en het wonen op met zeezand opgehoogd land.⁷⁹

9. De genoemde opslagplaatsen in zout of klei

Op den duur moet het radioactieve afval ondergronds worden opgeborgen in zoutkoepels of kleilagen. Genoemd zijn Ternaard in Friesland, Pieterburen en Onstwedde in de provincie Groningen, Schoonloo en Gasselte-Drouwen in Drenthe en de minder zekere zoutkoepels Hooghalen en Anloo in Drenthe.^{80 81 82} Voor opslag in kleilagen zou de zuidelijke helft van Friesland het meest geschikt zijn: het gaat om gebieden rond Terwispel, Steggerda, Sneek en Bantega.⁸³

10. Nieuwe discussie opslag kernafval

Er zijn al opslagplannen vanaf 1976, maar die zijn telkens uitgesteld. Op 11 juli 2019 besloot Van Veldhoven, op dat moment staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, dat het Rathenau Instituut (RI) tot 1 juli 2024 de tijd krijgt om een nieuwe discussie over de eindberging van radioactief afval te organiseren.⁸⁴ Het RI heeft dat op 11 juli 2019 op zijn website aangekondigd.⁸⁵ Die tekst roept nu al vele vragen op. Daarmee krijgt de discussie over de definitieve berging van kernafval in zoutkoepels of kleilagen meteen al een valse start.⁸⁶

11. Kleine hoeveelheden, groot gevaar

Regelmatig benadrukken voorstanders van kernenergie dat het maar om kleine hoeveelheden radioactief afval gaat. Maar bij kernafval gaat het vooral om het gevaar van zelfs een minieme

hoeveelheid radioactiviteit. Immers, door het ongeluk met de kerncentrale in Tsjernobyl werd een groot deel van Europa besmet. Een berekening aan de hand van rapporten van het Nucleair Energie Agentschap te Parijs laat zien dat slechts 50 kilo langdurig gevaarlijke stoffen als cesium, strontium en plutonium verspreid werd.⁸⁷ 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.

12. Kernenergie kan niet uit

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 heeft ingestemd met het besluit van een groep bedrijven om de bouw van twee kerncentrales te stoppen.⁸⁸ Sinds 1970 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.^{89 90 91 92} Op 16 september 2020 stopte het Japanse bedrijf Hitachi om financiële redenen de bouw van de kerncentrale Wylfa in Engeland.⁹³ Wetenschappers van het Massachusetts Institute of Technology hebben op 18 november 2020 een studie gepubliceerd over de kosten van kernenergie. Op basis van de bouwkosten van kerncentrales in de Verenigde Staten van de afgelopen vijftig jaar komen 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 concluderen echter dat de bouw van de volgende kerncentrales meer kost.⁹⁴ Het Nuclear Energy Agency (NEA) en het International Energy Agency (IEA), beide te Parijs, hebben op 9 december 2020 een rapport uitgebracht over de kosten van elektriciteitsopwekking.⁹⁵ In de samenvatting staat dat kernenergie vanaf het jaar 2025 de goedkoopste manier is om elektriciteit op te wekken. In hoofdstuk 8 over kernenergie blijkt echter dat er aan een hele reeks voorwaarden voldaan moet zijn, wil kernenergie de goedkoopste elektriciteitsbron zijn. De conclusie in de samenvatting is niet zozeer gebaseerd op feiten maar op hoopvolle verwachtingen.

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.

Sinds een paar jaar worden kerncentrales met een vermogen van 70 tot 400 Megawatt genoemd, dit zijn de Small and Medium Reactoren (SMR). Dat zijn reactoren die nu nog in

ontwikkeling zijn. Jean-Bernard Lévy, directeur van het Franse elektriciteitsbedrijf EDF, zei hierover 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. Op dit moment worden alle bestaande SMR-projecten gefinancierd door de overheid en niet gefinancierd via de markt, merkte Levy op. Hij sloot echter niet uit dat een SMR over een jaar of 15 zou kunnen concurreren met grootschalige reactoren.

TNO heeft twee scenario's uitgewerkt voor een klimaatneutraal energiesysteem in 2050 en daarover op 14 mei 2020 een rapport gepubliceerd. Het ene scenario schetst 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 inzet van kernenergie niet uitsluiten, laat het kosten-geoptimaliseerde model geen inzet van kernenergie zien. De kosten van kernenergie zijn structureel hoger dan die van wind- en zonne-energie.⁹⁶ De kerncentrale Borssele kan ook niet uit. De exploitant EPZ stelde hierover in een brief die op 14 september 2020 werd gepubliceerd: "De actuele marktprijzen zijn gemiddeld genomen lager dan de hiervoor genoemde kostprijs." Daarom wil EPZ een overheidsgarantie voor de lange termijn.⁹⁷ WISE is het daar niet mee eens en vroeg op 17 september 2020 in een brief aan de aandeelhouders van Borssele om onderzoek te doen naar de financiële consequenties van een sluiting, zo mogelijk al in 2023.⁹⁸

Daar komt nog bij dat er te weinig geld opzij is gelegd voor de opslag van radioactief afval. Op 29 juni 2017 stelde minister Schultz van Haegen van Infrastructuur en Milieu dat de eindbergings 2 miljard euro gaat kosten, terwijl het fonds voor eindbergings eind 2016 zo'n 89 miljoen euro bevatte.⁹⁹ Twee derde van dit bedrag is nodig voor de opslag van hoogradioactief afval van de kerncentrales Dodewaard en Borssele.¹⁰⁰

13. Kerncentrales op thorium niet te koop

Kernenergie op basis van thorium wordt naar voren geschoven. Dit type centrales is echter op z'n vroegst over 20 tot 30 jaar beschikbaar. Op 9 oktober 2015 concludeerde de vorige minister van Economische Zaken, Kamp: "Benodigde ontwikkelingstijd thoriumreactoren maakt grootschalige toepassing daarvan in 2050 onwaarschijnlijk."¹⁰¹

Medewerkers van de Chinese Academie van Wetenschappen werken nu aan een gesmolten-zoutreactor 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 2017.¹⁰²

14. Voorraad uranium snel op bij veel kerncentrales

Volgens een rapport uit 2020 van het Nucleair Energie Agentschap te Parijs is de geïdentificeerde voorraad uranium (winbaar tegen kosten van 260 dollar per kilo) 8 miljoen ton.¹⁰³ Stel dat alle landen in de jaren 80 het voorbeeld van Frankrijk hadden gevolgd en kernenergie vanaf 2030 zo'n 70% van alle elektriciteit had moeten leveren. We kunnen dan bij benadering uitrekenen dat de totale geïdentificeerde voorraad van 8 miljoen ton in dit voorbeeld al over 15 jaar, in 2036, op zou zijn.¹⁰⁴ Overigens: in mei 2020 was de marktprijs 15,4 dollar per kilo, terwijl deze prijs sinds het jaar 2000 maximaal 45 dollar per kilo is geweest.¹⁰⁵

15. Kernenergie heeft veel ruimte nodig

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.¹⁰⁶ Bovendien geldt sinds 1986 het zogeheten waarborgingsbeleid. Het 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.¹⁰⁷ 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 2020.¹⁰⁸ Al met al is de stelling dat kernenergie weinig ruimte nodig zou hebben, twijfelachtig.

Tot slot

Een energievoorziening zonder kernenergie is mogelijk

De landelijke netbeheerder TenneT (elektriciteit) en Gasunie (gas) publiceerden op 15 februari 2019 hun Infrastructure Outlook 2050 over Nederland en Duitsland.¹⁰⁹ Het gaat over het realiseren van een energievoorziening vanaf nu tot 2050 die veilig, betrouwbaar en betaalbaar is. Daarbij zijn de klimaatdoelen van Parijs het uitgangspunt. Het woord kernenergie komt in dit dikke rapport niet voor.

Op 29 december 2019 verscheen een analyse op basis van 47 studies van 13 van elkaar onafhankelijke groepen van wetenschappers, dat duurzame energie bijna 100% van de energievoorziening kan verzorgen rond 2050.¹¹⁰

Op 14 februari 2020 bracht het Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE een rapport uit over de energievoorziening in Duitsland tot het jaar 2050. Daaruit blijkt dat een betrouwbare en betaalbare energievoorziening mogelijk is zonder kernenergie. Het woord kernenergie komt in dit rapport slechts één keer voor, namelijk bij de vaststelling dat in 2022 alle Duitse kerncentrales gesloten zullen zijn.¹¹¹

Een duurzame energievoorziening in 2050 die grotendeels is gebaseerd op zon en wind is mogelijk. Kerncentrales zijn niet nodig om de Nederlandse energiebalans rond te krijgen. Dat concluderen leden van de afdeling Elektrotechniek van het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs (KIVI) zien in een gedetailleerd energieplan dat in november 2020 is gepresenteerd.¹¹²

Waarvan akte!

- ¹ <http://www.kernenergiein nederland.nl/node/701>
- ² <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19970326-gkn.pdf>, 26 maart 1997.
- ³ <http://epz.nl/kernenergie>.
- ⁴ <http://kernenergiein nederland.nl/node/745>.
- ⁵ <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/vergunningen/2012/10/24/inspraak-verlenging-bedrijfsduur-kerncentrale-borssele.html>, 20 maart 2013.
- ⁶ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1577089989459>, 13 december 2019.
- ⁷ <https://www.iaea.org/publications/13591/energy-electricity-and-nuclear-power-estimates-for-the-period-up-to-2050>, 10 september 2019.
- ⁸ <https://www.worldnuclearreport.org/>, december 2019.
- ⁹ Algemene Energieraad, “Klein vademecum voor de energie 1982”, <https://search.socialhistory.org/Record/996491>.
- ¹⁰ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/16/energieverbruik-gedaald-in-2018>, 17 april 2019.
- ¹¹ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1538899484905>, 2 juli 2018
- ¹² <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/22/verbruik-hernieuwbare-energie-met-16-procent-gegroeid>, 29 mei 2020.
- ¹³ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/22/verbruik-hernieuwbare-energie-met-16-procent-gegroeid>, 29 mei 2020.
- ¹⁴ <https://www.ipcc.ch/sr15/>; http://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf, 8 oktober 2018; volgens dit rapport zijn in sommige scenario's nieuwe kerncentrales nodig opdat in 2050 zo'n 2,5 keer zoveel elektriciteit uit kerncentrales komt als nu. Zie ook: <http://www.world-nuclear-news.org/Articles/UN-report-shows-increased-need-for-nuclear>, 8 oktober 2018.
- ¹⁵ 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.
- ¹⁶ <http://www.peopleplanetprofit.be/beelden/oko-instituut.pdf>, maart 2007.
- ¹⁷ <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>.
- ¹⁸ <http://www.co2ntramine.nl/kernafval-en-opslag-in-zoutkoepels-wat-we-erover-weten/>, de bijlage met een overzicht van de stand van zaken rond kernenergie, 11 juni 2019.
- ¹⁹ <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.
- ²⁰ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ²¹ <https://jaspervis.wordpress.com/2019/03/03/hoeveel-co2-kost-al-dat-staal-van-een-windmolen-eigenlijk-2019-update/>, 3 maart 2019.
- ²² <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ²³ <https://www.leonardodicaprio.org/the-7-reasons-why-nuclear-energy-is-not-the-answer-to-solve-climate-change/>, 20 juni 2020.
- ²⁴ 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. Wiser, 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.
- ²⁵ Het gaat hier om de zogeheten 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.
- ²⁶ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf.
- ²⁷ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ²⁸ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2012.00472.x>, 17 april 2012.
- ²⁹ De mijnbouwmethoden worden in meer dan de helft van de studies niet onderzocht. Meer dan de helft van de studies besteden geen aandacht aan de kwaliteit van het uraniumerts. Dit kan van grote invloed zijn op de CO₂-uitstoot. De ontmanteling van kerncentrales werd onvolledig meegenomen. Het herstellen van mijnen, dat een groot deel van de CO₂-emissies kan veroorzaken, werd in geen enkele studie meegenomen. De methodes werden meestal niet gedetailleerd genoeg omschreven.
- ³⁰ 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>;
- ³¹ <https://www.stormsmith.nl/nuclearco2.html>. Desgevraagd deelt Storm van Leeuwen mee: “Mijn rapporten berusten op een fysische (thermodynamische) analyse van alle processen die deel uitmaken van het nucleaire energiesysteem van cradle to grave, inclusief de eindberging van het radioactieve materiaal, definitieve isolatie van de biosfeer. Voor zover ik weet heeft vrijwel geen enkele andere studie alle processen en alle energiestromen en CO₂ emissies, directe en indirecte, meegenomen. De meeste studies zijn in feite meta-studies waarin de uitkomsten van een klein aantal oorspronkelijke studies via allerlei, vaak ondoorzichtige, modellen bewerkt worden, soms ook met economische modellen. Enkele van de oorspronkelijke analyses berusten op gegevens uit begin jaren 1970. Voor zover ik heb kunnen

beoordelen, hebben alle meta-studies de resultaten van veel andere studies statisch bewerkt alsof het metingen zijn van eenzelfde grootheid gemeten volgens dezelfde meetmethode; dit is niet het geval. Vaak worden daarbij 'outliers' (altijd de hoge waarden) weggelaten, zonder te vermelden op grond waarvan het 'outliers' zijn volgens de auteurs..

³² <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.

³³ <https://www.universiteitleiden.nl/nieuws/2020/10/het-totaalplaatje-de-milieu-impact-van-een-nieuwe-zonneceltechnologie>, 20 oktober 2020. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/EE/D0EE01039A#!divAbstract>,

³⁴ <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2010/02/25/derde-structuurschema-elektriciteitsvoorziening-deel-4-planologische-kernbeslissing.html>, 25 februari 2010.

³⁵ <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2020Z18223&did=2020D39379>, 13 oktober 2020

³⁶ <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.

³⁷ <https://fd.nl/economie-politiek/1357654/energiebedrijven-lopen-niet-warm-voor-nieuwe-nederlandse-kerncentrale>, 18 september 2020.

³⁸ <https://www.ad.nl/economie/energiereuzen-fileren-vvd-voorstel-voor-nieuwe-kerncentrales~a93c015e/>.

³⁹ <https://www.ad.nl/politiek/kerncentrales-geen-windmolens-en-zonnepanelen-nederland-rommelland-dat-wil-ik-niet~a30dcdfa/>, 23 september 2020.

⁴⁰ <https://www.vvd.nl/kernboodschap/>

⁴¹ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/kamerstukken/2020/09/22/aanbiedingsbrief-rapport-over-kernenergie>, 22 september 2020.

⁴² 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.

⁴³ https://www.oecd-nea.org/law/nlparis_conv.html; <https://www.oecd-nea.org/law/paris-convention-protocol.html>.

⁴⁴ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/dossier/31119>

⁴⁵ <https://atoompool.verende.nl/>

⁴⁶ Herman Damveld. "Tsjernobyl, 10 jaar later", Greenpeace Chernobyl Papers No. 4, maart 1996.

⁴⁷ <http://www.reuters.com/article/us-tepco-outlook-idUSKBN13N03G?il=0>, 27 november 2016.

⁴⁸ Large and Associates, ASSESSMENTS OF THE RADIOLOGICAL CONSEQUENCES OF RELEASES FROM EXISTING AND PROPOSED EPR/PWR NUCLEAR POWER PLANTS IN FRANCE, maart 2007.

⁴⁹ 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 40×10^{15} Bq).

⁵⁰ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-volksgezondheid-welzijn-en-sport/nieuws/2017/09/29/vooraankondiging-verspreiding-jodiumtabletten>, 29 september 2017.

⁵¹ <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.

⁵² <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32645-55.html>, 30 september 2013.

⁵³ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2018/12/20/evaluatie-van-de-nationale-nucleaire-oefening-shining-spring-2018>, 20 december 2018.

⁵⁴ www.bfs.de/notfallschutz-film, www.youtube.com/bfsbund, 12 december 2019.

⁵⁵ <http://www.umweltinstitut.org/aktuelle-meldungen/meldungen/2020/atom/schwach-und-mittelaktiver-atommuell-die-unterschaetzte-gefahr.html>, 12 februari 2020.

⁵⁶ http://laka.org/info/publicaties/2011-chernobyl_chronology.pdf, 11 maart 2011.

⁵⁷ https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Hinkley_Point/2017-04-FOES-Kurzanalyse-Atomhaftung.pdf, 25 april 2017.

⁵⁸ <http://www.co2ntramine.nl/ontwerp-kerncentrale-fukushima-niet-berekend-op-de-werkelijkheid/>, 9 oktober 2012; <http://naaic.go.jp/en/>, augustus 2012.

⁵⁹ <http://www.reuters.com/article/us-tepco-outlook-idUSKBN13N03G?il=0>, 27 november 2016.

⁶⁰ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Nederland>.

⁶¹ <https://www.greenpeace.fr/report-the-global-crisis-of-nuclear-waste/>, 30 januari 2019.

⁶² Nagra, Medienmitteilung, 6 november 2008 en

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/endaussagen_sicherheitsanforderungen_bf.pdf, juli 2009

⁶³ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>, 28 september 2020.

⁶⁴ <https://www.covra.nl/nl/organisatie/nieuws/nieuw-onderzoeksprogramma-naar-eindberging-van-start/>, 4 november 2020.

⁶⁵ <https://www.bge.de/de/asse/themenschwerpunkte/themenschwerpunkt-ruueckholung/fragen-und-antworten-ruueckholplan-asse/>.

⁶⁶ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/zwischenbericht-teilgebiete/>, 28 september 2020.

⁶⁷ <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/aus-fuer-gorleben-endlager-suche-ohne-ende/26225632.html>, 20 september 2020.

⁶⁸ <http://world-nuclear-news.org/Articles/Work-starts-on-Finnish-fuel-encapsulation-plant>, 25 juni 2019.

- ⁶⁹ <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/finland.aspx>, augustus 2020.
- ⁷⁰ <http://www.greenpeace.org/sweden/se/press/pressmeddelanden/Greenpeace-welcomes-court-decision-on-nuclear-waste/>, 23 januari 2018.
- ⁷¹ <https://www.greenpeace.fr/report-the-global-crisis-of-nuclear-waste/>, 30 januari 2019;
- ⁷² <http://www.nonuclear.se/szkalos-et-al20180426analys-av-karnbransleforvarsfragan>
- ⁷³ <http://www.mkg.se/en/scientificallly-inferior-skb-report-on-copper-corrosion-in-lot-project-shows-that-copper-is-not>, 1 oktober 2020.
- ⁷⁴ <https://www.laka.org/nieuws/2020/radioactief-afval-waar-laten-we-het-14112>, 2 november 2020.
- ⁷⁵ <http://www.umweltinstitut.org/aktuelle-meldungen/meldungen/2020/atom/schwach-und-mittelaktiver-atommuell-die-unterschaetzte-gefahr.html>, 12 februari 2020.
- ⁷⁶ <http://www.co2ntramine.nl/de-kerncentrale-borssele-en-de-verliesgevende-handel-in-plutonium/#more-3542>, oktober 2020.
- ⁷⁷ <http://www.covra.nl/over-covra/organisatie>.
- ⁷⁸ <https://radioactiefafval.nl/>.
- ⁷⁹ Milieu-effect rapport (behorende bij de aanvraag tot wijziging van de Kew-vergunning van COVRA NV), COVRA, 1995, samenvatting p. 5 en 13.
- ⁸⁰ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, CORA eindrapport, pagina 35.
- ⁸¹ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, rapport CORA (Commissie Opberging Radioactief Afval, 1995-2001).
- ⁸² <http://www.kernenergieinederland.nl/files/19760618-brief.pdf>, 18 Juni 1976.
- ⁸³ <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).
- ⁸⁴ <http://www.laka.org/nieuws/2014/tno-rapport-friese-klai-best-voor-opslag-kernafval-2745/>, 11 juli 2014;
- ⁸⁵ <http://www.no-a.nl/files/11072014-vp.pdf>.
- ⁸⁶ <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2019Z14972&did=2019D30740>.
- ⁸⁷ <https://www.rathenau.nl/nl/kennisgedreven-democratie/definitieve-veilige-opslag-van-radioactief-afval-vereist-maatschappelijke>, 11 juli 2019.
- ⁸⁸ <http://www.co2ntramine.nl/valse-start-nieuwe-discussie-opslag-kernafval/>, 5 augustus 2019.
- ⁸⁹ NEA, "Chernobyl Ten Years On. Radiological and Health Impact", Parijs, 1996, p 29.
- ⁹⁰ 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.
- ⁹¹ <https://www.gov.uk/government/speeches/statement-on-suspension-of-work-on-thewylfa-newyddnuclear-project>, 17 januari 2019.
- ⁹² Antony Frogatt et al., Mythos Atomkraft, Heinrich Böll Stiftung, 2010, pp 38-42.
- ⁹³ <http://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/201407msc-worldnuclearreport2014-hr-v1.pdf>, 29 juli 2014, p 8.
- ⁹⁴ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_autre_document_travail_service_part1_v10.pdf, 4 april 2016.
- ⁹⁵ 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.
- ⁹⁶ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Hitachi-withdraws-from-UK-new-build-project>, 16 september 2020.
- ⁹⁷ <https://news.mit.edu/2020/reasons-nuclear-overruns-1118>, 18 november 2020.
- ⁹⁸ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_51110/projected-costs-of-generating-electricity-2020-edition, 9 december 2020.
- ⁹⁹ <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2020/5/scenario-s-toekomstig-duurzaam-en-betaalbaar-energiesysteem/>, 14 mei 2020.
- ¹⁰⁰ <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.
- ¹⁰¹ <https://wisenederland.nl/oproep-aandeelhouders-pzem-onderzoek-sluiting-van-verlieslijdende-kerncentrale-borssele/>, 17 september 2020.
- ¹⁰² <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.
- ¹⁰³ <http://www.covra.nl/downloads>, Jaarrapport 2013, p 26.
- ¹⁰⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2015/10/09/nationale-energieverkenning-2015>, 9 oktober 2015.
- ¹⁰⁵ <https://www.deingenieur.nl/artikel/thorium-reactor-heeft-nodige-haken-en-ogen#.Wif69YkWNae.twitter>, 6 december 2017.
- ¹⁰⁶ 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.
- ¹⁰⁷ Volgens het IAEA was het totale energiegebruik in 2007, uitgedrukt in ExaJoule (EJ) 510 EJ, waarvan kernenergie 5,9%, dat is 30EJ. Voor 2030 verwacht het IAEA een wereldwijd energiegebruik van 826EJ, waarvan 39% elektriciteit ofwel 322EJ. Stel kernenergie zorgt voor 70% van het elektriciteitsgebruik in 2030, overeenkomend met 225EJ. Kernenergie gaat dan van 30EJ naar 225EJ, dat is 7,5 keer zoveel. Er is dan ook 7,5 zoveel uranium nodig in 2030,

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.

¹⁰⁵ <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/uranium-markets.aspx>, juni 2020.

¹⁰⁶ C. Andriess, "Kernenergie in beweging", Amsterdam, 1982, hoofdstuk 4.

¹⁰⁷ https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/18/076/18076239.pdf.

¹⁰⁸ <https://world-nuclear-news.org/Articles/Remediation-work-begins-at-Kyrgyz-legacy-uranium-s>, 28 juli 2020.

¹⁰⁹ <https://www.gasunie.nl/nieuws/in-het-nieuwe-energiesysteem-moeten-het-stroom-en-gasnet-meer-gaa>, 15 februari 2019.

¹¹⁰ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/CombiningRenew/100PercentPaperAbstracts.pdf>, 29 december 2019.

¹¹¹ <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2020/klimaschutzziele-in-der-energieversorgung-erreichbar.html>, 14 februari 2020.

¹¹² <https://www.deingenieur.nl/artikel/2050-voldoende-energie-zonder-fossiele-brandstoffen>, 9 november 2020; <https://www.kivi.nl/afdelingen/elektrotechniek/energieplan> .