

Kernenergieplannen Zeeuws elektriciteitsbedrijf EPZ doorgelicht

Herman Damveld
zelfstandig onderzoeker en publicist

Groningen

9 oktober 2023

Aanleiding

Het Zeeuwse elektriciteitsbedrijf EPZ heeft op 7 juli 2023 een Publieksverslag uitgebracht.¹ In de inleiding van dit Publieksverslag noemt het EPZ als doel “in 2035 twee nieuwe kerncentrales in bedrijf te nemen.” Volgens het EPZ is kernenergie “een klimaatneutrale oplossing” die ook “betaalbaar” is. Daarnaast denkt het EPZ na “over kleine reactoren. Die gaan een belangrijke rol spelen om van het gas (en de kolen) af te komen. Ze gaan ons ook helpen om de klimaatdoelen van 2050 te halen.” Ook wil het EPZ de bestaande kerncentrale Borssele “minimaal tot 2034 en mogelijk nog lang daarna” in bedrijf houden.

In dit rapport geef ik een reactie op deze visies en argumenten van het EPZ, te meer daar de tijdelijke en permanente opslag van kernafval niet genoemd worden door het EPZ.

Inhoudsopgave

| | |
|---|-----------|
| Hoofdstuk 1: Vier thema’s aangestipt..... | 2 |
| Hoofdstuk 2: Nieuwe, kleinere kerncentrales (SMR)..... | 4 |
| Hoofdstuk 3: Opslag kernafval, bovengronds, zoutkoepels, kleilagen.... | 8 |
| Hoofdstuk 4: Kernenergie geen duurzame oplossing broeikaseffect.... | 11 |
| Bijlage: (Kern)energie in Nederland..... | 14 |
| Bronnen..... | 15 |

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.

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.

Hoofdstuk 1

Vier thema's aangestipt

In dit hoofdstuk worden vier thema's aangestipt: het langer in bedrijf houden van de kerncentrale Borssele dan tot eind 2033, de bouw van nieuwe (grote of kleinere) kerncentrales, kernenergie als oplossing voor het broeikas-effect en de opslag van kernafval.

De kerncentrale Borssele

1. De officiële start van de kerncentrale Borssele was 25 oktober 1973.^{2 3 4} Op 25 oktober 2023 zal de kerncentrale 50 jaar in bedrijf zijn.^{5 6} De oorspronkelijk voorziene bedrijfsduur was echter veertig jaar.⁷ De kerncentrale was in 2022 goed voor 1,5% van het totale Nederlandse energiegebruik en zowel in 2021 als in 2022 voor 3% van de elektriciteitsproductie.^{8 9}
2. Er zijn plannen om de kerncentrale ook na 2033 in bedrijf te houden. Maar hoe reëel is een bedrijfsduur van meer dan 60 jaar? In september 2023 waren volgens het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) wereldwijd drie kerncentrales 54 jaar oud en is geen enkele kerncentrale ouder. Er zijn dan ook geen voorbeelden van kerncentrales die meer dan 60 jaar in bedrijf zijn.
3. In de kerncentrale Borssele hebben zich in totaal 457 bedrijfsstoringen voorgedaan. Daarbij vielen op gezette tijden belangrijke veiligheidsvoorzieningen uit, maar gelukkig is er geen ernstig ongeluk gebeurd.^{10 11 12}
4. De overheden gaan uit van een mogelijke ramp met de kerncentrale. Daarvoor is een rampenplan gemaakt.¹³ 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.
5. Bovendien is kernenergie een onverzekerbaar risico.^{14 15} In de visie van verzekeringsmaatschappijen onveilig, concluderen we dan ook.

Nieuwe kerncentrales

1. Sinds 1970 zijn de investeringskosten per kilowatt van kerncentrales in de Verenigde Staten met een factor 5 en in Frankrijk met een factor 3 gestegen. De investeringskosten van zonne- en windenergie zijn daarentegen gedaald.^{16 17 18 19 20}
 2. Nieuwe kerncentrales worden dan ook niet gebouwd zonder financiële steun van de regering.²¹ De regering wentelt de kosten vervolgens af op de bevolking. Bijvoorbeeld: via de elektriciteitsrekening betaalt men een extra bedrag vanaf het begin van de bouw, dus jaren voordat een kerncentrale in bedrijf komt. De exploitant hoeft zo minder geld te lenen. Dat geeft lagere financieringskosten, die zo'n 70% uitmaken van de totale bouwkosten.²² Zo zou investeren in kernenergie aantrekkelijker kunnen worden.
 3. Sinds een paar jaar wordt de bouw van kleinere kerncentrales met een vermogen van 30 tot 470 megawatt (MW) naar voren geschoven. Ze heten Small Modular Reactor (SMR). 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 MW.²³ Het elektrisch vermogen van de SMR's is vergelijkbaar met kerncentrales die tussen 1960 en 1975 gebouwd werden, staat in een in december 2021 verschenen rapport van het Oostenrijkse Forum Wissenschaft & Umwelt.²⁴
- In maart en juli 2023 verschenen rapporten van het Nucleair Energie Agentschap (NEA) in Parijs met een overzicht van 24 resp. 27 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.^{25 26} Of dat zal lukken is zeer de vraag, blijkt uit studies die in 2023 zijn verschenen 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.^{27 28}

Kernenergie en het broeikas effect

Volgens Rob Jetten, demissionair minister voor 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 (tabel 1).^{29 30 31 32 33 34 35 36 37}

Tabel 1

Totale (directe en indirecte) CO₂-uitstoot in gram per kilowattuur^{38 39 40 41 42 43 44 45 46 47}

| 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 |

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 en Onstwedde in de provincie Groningen; Schoonloo, Gasselte-Drouwen, Hooghalen en Anloo in Drenthe).^{48 49 50} Daarnaast worden kleilagen genoemd vlak onder Schiermonnikoog, de zuidelijke helft van Friesland, Gelderland, Noord-Brabant, Limburg, de Noordoostpolder en Noord-Holland.^{51 52 53 54 55}
2. Kerncentrales produceren radioactief afval dat een miljoen jaar gevaarlijk blijft.⁵⁶ Is het ethisch verantwoord om eerst kernafval te maken en pas later te zoeken naar een veilige opberging?^{57 58} 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 COVRA om een opslag voor honderd jaar.⁵⁹ De vraag blijft hoe een veilige opslag de resterende 999.900 jaar gewaarborgd wordt.
4. 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.⁶⁰ Komt de COVRA onder water te staan?
5. De Duitse zoutkoepel Asse in de deelstaat Nedersaksen was hét voorbeeld voor Nederland om ook kernafval in zoutkoepels op te slaan.^{61 62} In de zoutkoepel Asse stroomt echter jaarlijks 4,4 miljoen liter water naar binnen.⁶³ Het kost de belastingbetaler 5 miljard euro om de vaten in Asse weer op te graven.^{64 65} 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.^{66 67 68 69} 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.⁷⁰ De ervaringen met opslag in buitenlandse zoutkoepels geven niet bepaald vertrouwen in de Nederlandse plannen.

Hoofdstuk 2

Nieuwe, kleinere kerncentrales (SMR)

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.⁷¹ 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. Een besluit tot de bouw van een SMR in Nederland is niet voor het jaar 2033 te verwachten, terwijl het ook onduidelijk 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.⁷² Ter vergelijking: de kernreactor in Borssele is 485 MW.⁷³ Een voorbeeld van een kleine reactor die elektriciteit produceerde, is de 58 MW kerncentrale die van 1969 tot 1997 in Dodewaard draaide.⁷⁴ 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 van de centrale.

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 60 mogelijke kerncentrales

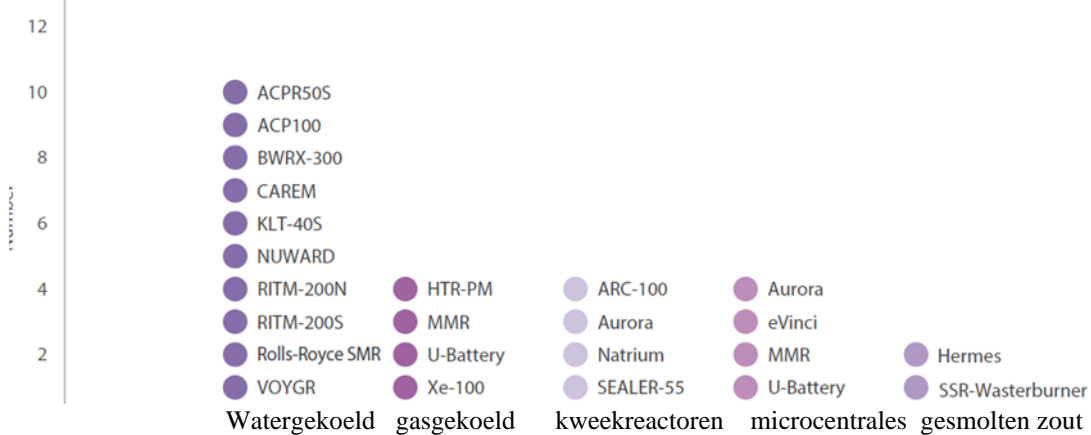
Het International Atomic Energy Agency (IAEA) in Wenen gaf in 2020 een overzicht van 60 mogelijke SMR's met een vermogen tussen 30 en 300 Megawatt (MW).⁷⁵ Wat betreft het vermogen zijn ze vergelijkbaar met kerncentrales die tussen 1960 en 1975 gebouwd werden, staat in een in december 2021 verschenen 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.⁷⁶

In maart en juli 2023 verschenen rapporten van het Nucleair Energie Agentschap (NEA) in Parijs met een overzicht van 24 resp. 27 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 en 2).^{77 78} 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.⁷⁹

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.⁸⁰ Dat werd op 21 juli 2023

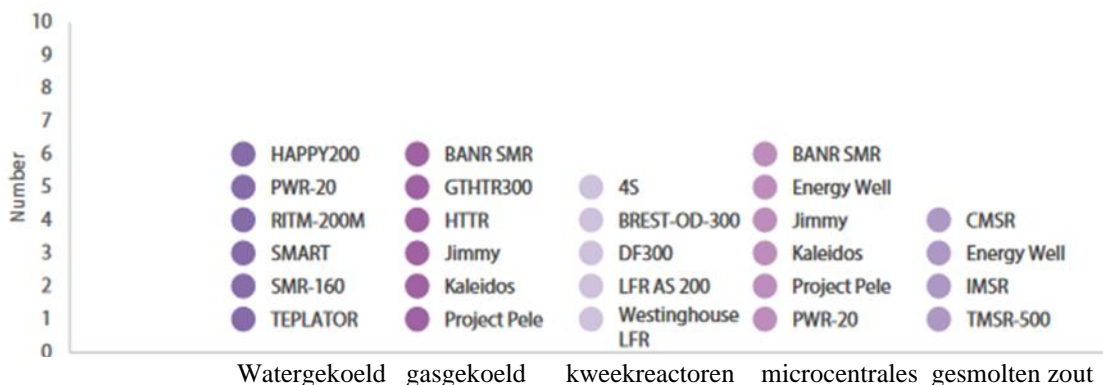
bevestigd door Allison Macfarlane, van 2012 tot 2014 voorzitter van de Amerikaanse Commissie voor Nucleaire Regelgeving. Macfarlane gaf aan dat geen enkele SMR te koop is, laat staan dat er een vergunning voor is afgegeven.⁸¹

Figuur 1
Overzicht 24 kleine tot grotere kerncentrales in ontwikkeling



Bron: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_78743/the-nea-small-modular-reactor-dashboard, 13 maart 2023.

Figuur 2
Overzicht 27 nog eens kleine tot grotere kerncentrales in ontwikkeling



Bron: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_83555/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-volume-ij, 20 juli 2023.

Drie veel genoemde concepten

Uit een overzichtsartikel van Wim Turkenburg van juli 2023 blijkt dat drie concepten vaak genoemd worden in de media: de Rolls-Royce reactor, de Nuscale reactor en de Hitachi BWRX-300.⁸² Een toelichting.

Rolls-Royce is de producent van reactoren voor de Engelse kernonderzeeërs. 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.⁸³ 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. Het ontwerp moest na 5 jaar rijp zijn voor een bouwvergunning, was het plan. Deze eerste kleinere kerncentrale gaat omgerekend 2,4 miljard euro kosten.⁸⁴ Dat is 5.100 euro per kilowatt. In maart 2023 bleek dat Rolls-Royce verwachtte dat de eerste reactor begin jaren 2030 in bedrijf zou kunnen komen.⁸⁵

Rolls-Royce SMR Ltd heeft in februari 2017 aangegeven dat zelfs 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.⁸⁶ Vandaar het zoeken naar verkoop aan andere landen, zoals Nederland.

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.⁸⁷

Pas dan komen we te weten hoe het gesteld is met de veiligheid en de kosten van dit type kerncentrale. In afwachting van de noodzakelijke extra subsidie zette Rolls-Royce op 24 februari 2023 de verdere ontwikkeling van de kerncentrale op een lager pitje wegens financiële problemen en tegenvallende orders.⁸⁸

De **Nuscale** reactor is een drukwaterreactor (PWR) met een vermogen van ca. 77 MW. Het is 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 2003.⁸⁹ In januari 2023 bleek dat de reactor 53% duurdere stroom zou leveren.⁹⁰ Toch heeft het Amerikaanse ministerie 1,4 miljard dollar subsidie toegekend.⁹¹ De bouwaanvraag voor een eerste centrale in Idaho (USA) zal naar verwachting begin 2024 ingediend en medio 2026 goedgekeurd worden.⁹²

In december 2021 heeft het Canadese bedrijf Ontario Power Generation (OPG) besloten bij Darlington een kerncentrale van 300 MW te gaan bouwen, de **BWRX-300**, een ontwerp van GE Hitachi Nuclear Energy.⁹³ OPG hoopte snel een bouwvergunning te krijgen, opdat de kerncentrale in 2028 in bedrijf zou kunnen komen.⁹⁴ 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).⁹⁵ In februari 2023 verwachtte OPG in 2024 een bouw- en bedrijfsvergunning te krijgen, waarna OPG definitief tot de bouw zal besluiten.⁹⁶

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.⁹⁷

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.⁹⁸

Bouwbesluit in Nederland niet voor 2033

In de westerse wereld zullen de eerste SMR's naar verwachting pas rond 2030 in bedrijf komen, stelt Turkenburg, 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."⁹⁹

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.”¹⁰⁰

Hoeveel kernafval per kilowattuur?

Onderzoekers van Stanford University concludeerden in mei 2022 in het tijdschrift PNAS dat SMR's wat betreft volume mogelijk 2 tot 30 keer meer 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 meer kernafval), de natrium-gekoelde Toshiba 4S reactor (5 x meer kernafval), en de Terrestrial Energy IMSR (30 x meer kernafval).¹⁰¹ 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”.¹⁰² Om hoeveel kernafval per SMR het gaat, zal nog moeten blijken.

Koelwater en klimaatverandering

Een kwestie die te weinig aandacht krijgt, 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. Een SMR in Limburg of Gelderland zal gebruik maken van koelwater uit de Maas of de Rijn. Door klimaatverandering komt minder koelwater beschikbaar, met als gevolg een gedeeltelijke afschakeling van de centrales.

Over de gevolgen van klimaatverandering voor de Rijn zijn in 2022 onderzoeksrapporten verschenen, gemaakt door de Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR).^{103 104} 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 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.¹⁰⁵

De Rijn is een gemengde rivier (smelt- en regenwater). De Maas is een regenrivier, die volgens het KNMI directer en sneller op neerslag reageert.¹⁰⁶ Als het lang weinig regent in Nederland of onze buurlanden, ontstaan volgens Rijkswaterstaat lage afvoeren waardoor minder water door de rivieren stroomt dan normaal. De Maas heeft hier als echte regenrivier vaak last van.¹⁰⁷ Dit heeft gevolgen voor de plannen om een SMR te bouwen. Immers, als er minder koelwater beschikbaar is, kan er minder elektriciteit geproduceerd worden. Het idee dat kerncentrales altijd op vol vermogen kunnen draaien, is ook wat deze kwestie betreft onjuist. 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 3

Opslag kernafval, bovengronds, zoutkoepels, kleilagen

1. Op 30 mei 2023 maakte de regering bekend dat er een routekaart gaat komen voor de eindberging (definitieve opslag) van kernafval.^{108 109} 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.
2. 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.
3. De regering wil al vanaf 1976 opslag van kernafval in de noordelijke zoutkoepels realiseren (Ternaard in Friesland; Pieterburen en Onstwedde in de provincie Groningen; Schoonloo, Gasselte-Drouwen, Hooghalen en Anloo in Drenthe).^{110 111 112} 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.^{113 114 115 116 117} Zie figuur 3 en 4. Een besluit is echter nooit genomen, het bleef bij de aankondiging van plannen en een herhaling van zetten.
4. 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.¹¹⁸ Is het ethisch verantwoord om eerst kernafval te maken en pas later te zoeken naar een veilige opberging?^{119 120} De regering gaat voorbij aan deze vraag.
5. 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.¹²¹ De vraag blijft hoe een veilige opslag de resterende 999.900 jaar gewaarborgd wordt.
6. 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.¹²² Komt de COVRA onder water te staan?
7. De Duitse zoutkoepel Asse in de deelstaat Nedersaksen was hét voorbeeld voor Nederland om ook kernafval in zoutkoepels op te slaan.^{123 124} In de zoutkoepel Asse stroomt echter jaarlijks 4,4 miljoen liter water naar binnen.¹²⁵ Het kost de belastingbetaler 5 miljard euro om de vaten in Asse weer op te graven.^{126 127} Op 17 september 2021 heeft de Duitse overheid na veertig jaar onderzoek (kosten 1,6 miljard euro) de zoutkoepel Gorleben ongeschikt verklaard.^{128 129} 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.¹³⁰ De ervaringen met opslag in buitenlandse zoutkoepels geven niet bepaald vertrouwen in de Nederlandse plannen.
8. 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.¹³¹ 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."¹³² 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.^{133 134 135 136 137} 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 rekt met die modellen.¹³⁸

9. 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.¹³⁹ 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.¹⁴⁰ Voor een behandeling is slechts een minieme hoeveelheid van een radioactieve stof nodig, kunnen we uitrekenen met behulp van gegevens van het RIVM.¹⁴¹ 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.

10. Jaarlijks wordt in Nederland ongeveer 1.100 kubieke meter (m³) radioactief afval geproduceerd.¹⁴² 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.^{143 144 145 146 147 148 149 150}

Het bedrijfsafval van de kerncentrale Borssele bestaat jaarlijks uit 32-33 m³.¹⁵¹ 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

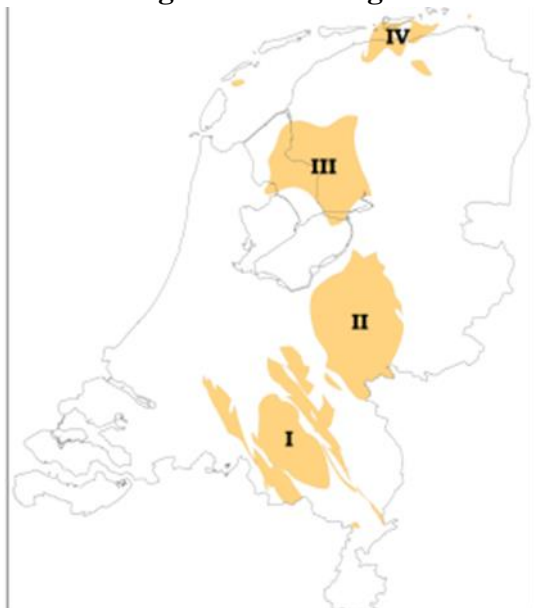
kernsplijtingsafval en naar schatting 11 m³ overig radioactief afval.^{152 153} Het gaat hier om volumes zonder de verpakking in vaten. In werkelijkheid gaat het daarom om grotere volumes.

11. 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.¹⁵⁴

Figuur 3
Zoutkoepels Noord-Nederland



Figuur 4
Vier meest geschikte kleilagen in Nederland



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

Hoofdstuk 4

Rob Jetten, demissionair minister voor Klimaat en Energie en lijsttrekker van D66, wil kerncentrales “om klimaatverandering een halt toe te roepen.”¹⁵⁵ 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.”¹⁵⁶ Op 7 juli 2023 noemde de eigenaar van de kerncentrale Borssele, de Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ), “kernenergie een klimaatneutrale oplossing.”¹⁵⁷ 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 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 1976.¹⁵⁸ In het tijdschrift “Bulletin of the Atomic Scientists” van februari 1978 stond een analyse van tien pagina’s over de opwarming van de aarde.¹⁵⁹ 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.¹⁶⁰ 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.^{161 162} 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 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.”¹⁶³

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).^{164 165} 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. 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.¹⁶⁶

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.^{167 168} Dit gemiddelde wordt sindsdien vaak genoemd. Voor de onderbouwing werd verwezen naar studies van Lenzen en van Warner en Heath.¹⁶⁹ Lenzen concludeerde dat het ging om gemiddeld 65 gram CO₂ per kWh.¹⁷⁰ Warner en Heath noemden 12-110 gram CO₂ per kWh.¹⁷¹

In een artikel in *The Ecologist* wordt de conclusie van Warner en Heath tot in de details nader onderzocht.^{172 173} 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).^{174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185} 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.¹⁸⁶

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.^{187 188 189}

Met behulp van onder meer deze studies is tabel 2 samengesteld.

Tabel 2

Totale (directe en indirecte) CO₂-uitstoot in gram per kilowattuur^{190 191 192 193 194 195 196 197 198 199}

| 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.

Bijlage: (Kern)energie in Nederland

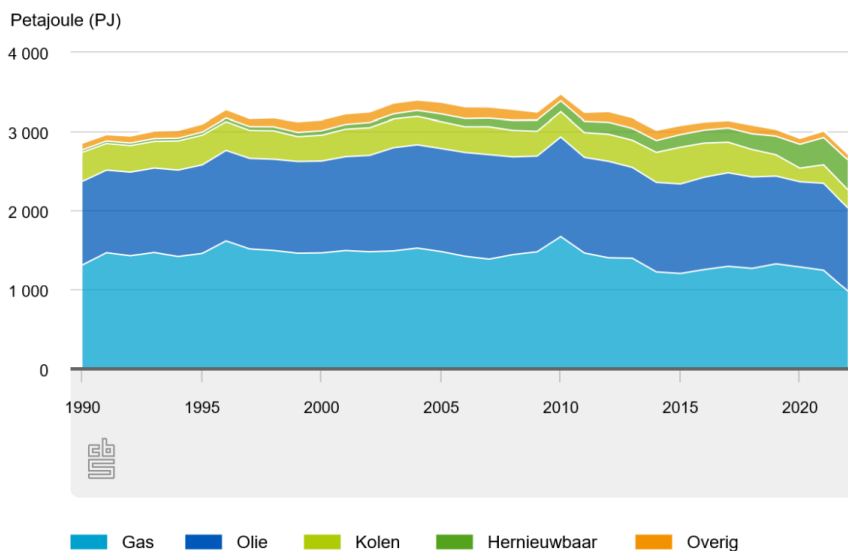
In 2022 is in Nederland 10 procent minder energie gebruikt dan in 2021. In totaal ging het om 2732 PJ (petajoule) energie, het laagste niveau sinds 1990. Dat komt vooral door de daling van het gebruik van aardgas met 21% vanwege de hoge energieprijzen. Dit heeft het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) op 5 juli 2023 gepubliceerd (zie figuur 5).²⁰⁰

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 3). De tabel kan de indruk geven dat er meer kernstroom gemaakt is, maar dat is onjuist. Uit tabel 4 blijkt dat de kerncentrale Borssele goed is voor 3% van het Nederlandse elektriciteitsgebruik.

Op de website van het Zeeuws Energieakkoord staat dat de kerncentrale Borssele jaarlijks zo'n 3,6 miljard kWh levert, wat overeen zou komen met 13 PJ.²⁰¹ Als dat juist is, zou de kerncentrale goed zijn voor 0,5% van het totale energiegebruik. Maar dat is niet het geval. 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.²⁰² 1 petajoule 1.000.000.000.000.000 joule, een 1 met 15 nullen.

Figuur 5

Energieverbruik Nederland, naar energiedrager



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

Tabel 3

Energiegebruik Nederland 1980 en 2017 t/m 2022 in percentages ^{203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213}

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

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**Elektriciteitsproductie Nederland 2000, 2010, 2020, 2021 en 2022; percentages per bron**^{214 215 216 217}

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

¹ <https://www.epz.nl/actueel/100-positieve-energie/>, 7 juli 2023.

² Directie Provinciale Zeeuwse Energie Maatschappij, Kernenergiecentrale Borssele, voorjaar 1983, p 21.

³ <https://www.kernvisie.com/actueel/nieuws/borssele-is-straks-vijftig-en-had-in-2022-een-uitmuntend-jaar.html>, januari 2023.

⁴ Directie Provinciale Zeeuwse Energie Maatschappij, Kernenergiecentrale Borssele, voorjaar 1983, p 21.

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 <http://laka.org/info/publicaties/anderen/2015-07-KCB-storingen.pdf>, 13 juli 2015.

¹¹ <https://www.autoriteitnvs.nl/ongewone-gebeurtenissen/kerncentrale-borssele>.

¹² <https://stroomnaardetekomst.nl/web/2023/03/20/vestigingsplaatsen-kerncentrales-en-kernafval/>, 20 maart 2023, pagina 23.

¹³ Nationaal Plan voor de Kernongevallenbestrijding, Implementatie Kernenergiecentrale Borssele; Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21015. nr. 7.

¹⁰ 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.

¹⁵ https://www.oecd-nea.org/law/nlparis_conv.html; <https://www.oecd-nea.org/law/paris-convention-protocol.html>.

¹⁶ Antony Frogatt et al., Mythos Atomkraft, Heinrich Böll Stiftung, 2010, pp 38-42.

¹⁷ <http://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/201407msc-worldnuclearreport2014-hr-v1.pdf>, 29 juli 2014, p 8.

¹⁸ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_autre_document_travail_service_part1_v10.pdf, 4 april 2016.

¹⁹ <https://www.ft.com/content/2b5e0a50-dcf7-4932-a293-6fa82cebc027>, 17 augustus 2023.

²⁰ <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/rpg2.12840>, 3 september 2023.

²¹ <https://open.overheid.nl/repository/ronl-bd63fed5ed0a01178ce57b9feb74cd088b5b8b/1/pdf/financing-models-for-nuclear-power-plants.pdf>, 26 september 2022.

²² <https://www.oecd.org/fr/publications/unlocking-reductions-in-the-construction-costs-of-nuclear-33ba86e1-en.htm>, 17 augustus 2020.

²³ https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf

²⁴ https://fwu.at/wp-content/uploads/OeSMR_FWU-2021_final.pdf, december 2021.

²⁵ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_78743/the-nea-small-modular-reactor-dashboard, 13 maart 2023.

²⁶ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_83555/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-volume-ii, 20 juli 2023.

²⁷ <https://www.samuellawrencefoundation.org/post/first-friday-series-june-2nd-2023>, 2 juni 2023.

²⁸ <https://iai.tv/articles/the-end-of-oppenheimers-energy-dream-auid-2549>, 21 juli 2023.

²⁹ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf.

- ³⁰ <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.
- ³¹ <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.
- ³² http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ³³ <https://jaspervis.wordpress.com/2019/03/03/hoeveel-co2-kost-al-dat-staal-van-een-windmolen-eigenlijk-2019-update/>, 3 maart 2019.
- ³⁴ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ³⁵ Jan Willem Storm van Leeuwen, Nuclear Monitor #886, June 8, 2020; CO2 emissions of nuclear power: the whole picture; <http://nuclearfreenw.org/climate.htm>.
- ³⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421521002330?via%3Dihub>, Energy Policy, Volume 155, August 2021, 112363 Nuclear energy - The solution to climate change?
- ³⁷ <https://www.tno.nl/whitepaper-duurzaamheid-zonne-energie>, december 2021.
- ³⁸ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf.
- ³⁹ <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.
- ⁴⁰ <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.
- ⁴¹ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ⁴² <https://jaspervis.wordpress.com/2019/03/03/hoeveel-co2-kost-al-dat-staal-van-een-windmolen-eigenlijk-2019-update/>, 3 maart 2019.
- ⁴³ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ⁴⁴ Jan Willem Storm van Leeuwen, Nuclear Monitor #886, June 8, 2020; CO2 emissions of nuclear power: the whole picture; <http://nuclearfreenw.org/climate.htm>.
- ⁴⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421521002330?via%3Dihub>, Energy Policy, Volume 155, August 2021, 112363 Nuclear energy - The solution to climate change?
- ⁴⁶ <https://www.tno.nl/whitepaper-duurzaamheid-zonne-energie>, december 2021.
- ⁴⁷ <https://www.stormsmith.nl/nuclearco2.html>.
- ⁴⁸ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, rapport CORA (Commissie Opberging Radioactief Afval, 1995-2001).
- ⁴⁹ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19760618-brief.pdf>, 18 Juni 1976.
- ⁵⁰ <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 I (1A), (1993).
- ⁵¹ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/20010221-cora.pdf>, 21 februari 2001.
- ⁵² <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>.
- ⁵³ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, 21 februari 2001.
- ⁵⁴ <https://www.greenpeace.org/static/planet4-netherlands-stateless/2018/06/TASurveyrapport.pdf>, 22 december 2010.
- ⁵⁵ <https://www.covra.nl/nl/downloads/opera/>, OPERA-PU-TNO411-1.pdf, rapport is uit 2014, gepubliceerd in 2018.
- ⁵⁶ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/>
- ⁵⁷ <https://www.laka.org/nieuws/2000/kernafval-en-ethiek-gaan-niet-samen-5382>, 12 januari 2000.
- ⁵⁸ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, Kernafval en Kernethiek.
- ⁵⁹ <https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/onderzoek-eindberging/>
- ⁶⁰ <https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p35/p3546/a3546ts.pdf>, 9 maart 2023.
- ⁶¹ 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.
- ⁶² Hamstra, "Veiligheidsaspecten en risico's verbonden aan de opslag van kernsplijtingsafval", in: Atoomenergie, 1974, 7/8, p. 175-180.
- ⁶³ <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.
- ⁶⁴ https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/abfallentsorgung_kosten_fina nzierung_bf.pdf, 12 augustus 2015.

-
- ⁶⁵ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2022/1/679-schachtanlage-asse-ii/>, 10 januari 2022.
- ⁶⁶ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2023/8/erster-schritt-zur-schliessung-des-bergwerks-gorleben/>, 15 augustus 2023.
- ⁶⁷ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2021/9/645-gorleben/>, 17 september 2021.
- ⁶⁸ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/bergwerk-gorleben/>
- ⁶⁹ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemitteilungen/meldung/news/2023/8/erster-schritt-zur-schliessung-des-bergwerks-gorleben/>, 15 augustus 2023.
- ⁷⁰ Atomwirtschaft, juni 1986, p 310.
- ⁷¹ <https://wisenederland.nl/kerncentrales-in-de-provincie/?cn-reloaded=1>, 1 september 2023.
- ⁷² <https://milieu.vvm.info/milieu-2023-3-kernenergie/>, juli 2023, nr. 3.
- ⁷³ <http://epz.nl/kernenergie>.
- ⁷⁴ <http://www.kernenergiein nederland.nl/node/701>
- ⁷⁵ https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf
- ⁷⁶ https://fwu.at/wp-content/uploads/OeSMR_FWU-2021_final.pdf, december 2021.
- ⁷⁷ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_78743/the-nea-small-modular-reactor-dashboard, 13 maart 2023.
- ⁷⁸ https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_83555/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-volume-ii, 20 juli 2023.
- ⁷⁹ <https://www.sgr.org.uk/publications/responsible-science>, 14 maart 2023.
- ⁸⁰ <https://www.samuellawrencefoundation.org/post/first-friday-series-june-2nd-2023>, 2 juni 2023.
- ⁸¹ <https://iai.tv/articles/the-end-of-oppenheimers-energy-dream-auid-2549>, 21 juli 2023.
- ⁸² <https://milieu.vvm.info/milieu-2023-3-kernenergie/>, juli 2023, nr. 3.
- ⁸³ <https://www.rolls-royce.com/innovation/small-modular-reactors.aspx#/>
- ⁸⁴ www.no2nuclearpower.org.uk/wp/wp-content/uploads/2021/11/nuClearNewsNo135.pdf, 11 november 2021.
- ⁸⁵ <https://www.neimagazine.com/news/newsrolls-royce-smr-faces-financial-problems-10648145>, 3 maart 2023.
- ⁸⁶ <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.
- ⁸⁷ <https://www.rolls-royce-smr.com/press/rolls-royce-smr-shortlists-locations-for-first-factory>, 4 juli 2022.
- ⁸⁸ <https://www.telegraph.co.uk/business/2023/02/24/rolls-royce-freezes-hiring-mini-nukes-team/>, 24 februari 2023.
- ⁸⁹ https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/oregonpsrorg/pages/21/attachments/original/1600287829/EyesWideShut_Report_Final-30August2020.pdf.
- ⁹⁰ <https://ieefa.org/resources/eye-popping-new-cost-estimates-released-nuscale-small-modular-reactor>.
- ⁹¹ <https://seekingalpha.com/article/4569771-nuscale-smr-technology-costs-problematic>.
- ⁹² <https://www.nuscalepower.com/en/projects>,
- ⁹³ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/OPG-chooses-BWRX-300-SMR-for-Darlington-new-build>, 2 december 2021.
- ⁹⁴ <https://nuclear.gepower.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/bwrx-300>
- ⁹⁵ https://aris.iaea.org/PDF/BWRX-300_2020.pdf.
- ⁹⁶ <https://www.kernvisie.com/actueel/nieuws/canada-krijgt-in-2028-al-een-kleine-modulaire-kokendwaterreactor.html>, februari 2023.
- ⁹⁷ https://www.diw.de/de/diw_01.c.867801.de/neue_kernkraftprojekte_technisch_riskant_und_unrentabel.html, 7 maart 2023.
- ⁹⁸ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223015980?s=09>, 27 juni 2023.
- ⁹⁹ <https://milieu.vvm.info/milieu-2023-3-kernenergie/>, juli 2023, nr. 3.
- ¹⁰⁰ <https://wisenederland.nl/wp-content/uploads/2023/05/SmallModularReactors2023-Marktanalyse-2.pdf>, mei 2023.
- ¹⁰¹ <https://doi.org/10.1073/pnas.2111833119>
- ¹⁰² https://fuelcycleoptions.inl.gov/SiteAssets/SitePages/Home/SMR_Waste_Attributes_Report_Final.pdf, 18 november 2022.
- ¹⁰³ <https://www.chr-khr.org/de/veroeffentlichung/auswirkungen-des-klimawandels-auf-die-abflussanteile-aus-regen-schnee-und?from=publications>, 1 juni 2022.
- ¹⁰⁴ https://www.chr-khr.org/sites/default/files/chrpublications/ASG-II_Synthese_EN_mit-Links.pdf, 1 juni 2022.
- ¹⁰⁵ <https://www.chr-khr.org/en/news/when-melt-water-missing-more-often-low-water-expected-rhine-future>, 11 juli 2022.
- ¹⁰⁶ <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/hoogwaterberichten>.
- ¹⁰⁷ <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/maas>

- ¹⁰⁸ <https://www.platformparticipatie.nl/kerncentraleborssele/documenten+kerncentrale+borssele/default.aspx>, 31 mei 2023.
- ¹⁰⁹ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stert-2023-15014.html>, 30 mei 2023.
- ¹¹⁰ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, rapport CORA (Commissie Opberging Radioactief Afval, 1995-2001).
- ¹¹¹ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/19760618-brief.pdf>, 18 Juni 1976.
- ¹¹² <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).
- ¹¹³ <http://www.kernenergiein nederland.nl/files/20010221-cora.pdf>, 21 februari 2001.
- ¹¹⁴ <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>.
- ¹¹⁵ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, 21 februari 2001.
- ¹¹⁶ <https://www.greenpeace.org/static/planet4-netherlands-stateless/2018/06/TASurveyrapport.pdf>, 22 december 2010.
- ¹¹⁷ <https://www.covra.nl/nl/downloads/opera/>, OPERA-PU-TNO411-1.pdf, rapport is uit 2014, gepubliceerd in 2018.
- ¹¹⁸ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/>
- ¹¹⁹ <https://www.laka.org/nieuws/2000/kernafval-en-ethiek-gaan-niet-samen-5382>, 12 januari 2000.
- ¹²⁰ <https://www.covra.nl/nl/downloads/cora/>, Kernafval en Kernethiek.
- ¹²¹ <https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/onderzoek-eindberging/>
- ¹²² <https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p35/p3546/a3546ts.pdf>, 9 maart 2023.
- ¹²³ 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.
- ¹²⁴ Hamstra, "Veiligheidsaspecten en risico's verbonden aan de opslag van kernsplijtingsafval", in: Atoomenergie, 1974, 7/8, p. 175-180.
- ¹²⁵ <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.
- ¹²⁶ https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nukleare_Sicherheit/abfallentsorgung_kosten_finanzierung_bf.pdf, 12 augustus 2015.
- ¹²⁷ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemittelungen/meldung/news/2022/1/679-schachtanlage-asse-ii/>, 10 januari 2022.
- ¹²⁸ <https://www.bge.de/de/aktuelles/meldungen-und-pressemittelungen/meldung/news/2021/9/645-gorleben/>, 17 september 2021.
- ¹²⁹ <https://www.bge.de/de/endlagersuche/bergwerk-gorleben/>
- ¹³⁰ Atomwirtschaft, juni 1986, p 310.
- ¹³¹ Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ¹³² 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.
- ¹³³ Christa Garms-Babke, 'Die Unvereinbarkeit nicht-rückholbarer Endlagerung radioaktiver Abfälle mit dem Grundgesetz', Frankfurt, 2002.
- ¹³⁴ Commissie Opberging te Land (OPLA), Onderzoek naar de geologische opberging van radioactief afval in Nederland. Eindrapport Aanvullend onderzoek van Fase 1 (1A), (1993).
- ¹³⁵ http://www.sp.nl/onderzoek/normen_waarden_radioactiefafval.pdf, 2003.
- ¹³⁶ 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.
- ¹³⁷ http://www.cowam.com/IMG/pdf_cowam2_WP4.pdf, Long term governance WP4 Long term governance for radioactive waste Management, december 2006.
- ¹³⁸ <http://endlagerdialog.de/2018/10/endlagersuche-der-dachverband-geowissenschaften-mischt/>, 14 oktober 2018.
- ¹³⁹ 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.
- ¹⁴⁰ <https://www.natuurkunde.nl/artikelen/745/nucleaire-geneeskunde>

-
- ¹⁴¹ <https://www.rivm.nl/publicaties/productie-en-gebruik-van-medische-radio-isotopen-in-nederland-huidige-situatie-en>, 3 juli 2017.
- ¹⁴² <https://www.covra.nl/nl/de-cijfers/>
- ¹⁴³ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 11 januari 2013.
- ¹⁴⁴ <http://www.covra.nl/jaarrapport-2013>, pp. 56 en 57.
- ¹⁴⁵ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 12 december 2014.
- ¹⁴⁶ <http://www.covra.nl/downloads>, Kernegegevens COVRA, Inlegvel bij Jaarrapport 2014.
- ¹⁴⁷ <http://www.covra.nl/jaarrapport-2015>, 23 september 2016, pp 3 en 69.
- ¹⁴⁸ <https://www.covra.nl/app/uploads/2020/05/Covra-jaarverslag2019-definitief.pdf>, 7 mei 2020.
- ¹⁴⁹ <file:///D:/Downloads/Covra-jaarrapport2021.pdf>, 10 mei 2022.
- ¹⁵⁰ <https://www.covra.nl/app/uploads/2023/05/COVRA-jaarrapport-2022.pdf>, 9 mei 2023.
- ¹⁵¹ Email Dr. Ir. Ewoud V. Verhoef, Plaatsvervangend directeur COVRA aan Herman Damveld dd. 11 januari 2013.
- ¹⁵² <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.
- ¹⁵³ 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).
- ¹⁵⁴ <http://www.co2ntramine.nl/de-kerncentrale-borssele-en-de-verliesgevende-handel-in-plutonium/#more-3542>, oktober 2020.
- ¹⁵⁵ <https://d66.nl/nieuws/nieuwe-energie-voor-nederland/>, 2 september 2023.
- ¹⁵⁶ <https://www.vvd.nl/wp-content/uploads/2023/09/Verkiezingsprogramma-VVD-2023-2027.pdf>, 1 september 2023.
- ¹⁵⁷ <https://www.epz.nl/actueel/100-positieve-energie/>, 7 juli 2023.
- ¹⁵⁸ https://www.laka.org/docu/catalogus/publicatie/1.01.1.50/03_uraan-of-kolen-een-kernbeslissing, 1976.
- ¹⁵⁹ <https://thebulletin.org/2014/04/the-bulletins-authoritative-climate-change-coverage-from-1978>, 2 april 2014.
- ¹⁶⁰ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-30000-42.html>, 1 november 2006.
- ¹⁶¹ https://www.wisenederland.nl/sites/default/files/images/WISE_klimaat-energie-rapport_A4%20definitief_0.pdf, 9 november 2018.
- ¹⁶² <https://wisenederland.nl/wp-content/uploads/2020/05/Fact-sheet-Kerncentrale-Borssele.pdf>, mei 2020.
- ¹⁶³ <https://www.rli.nl/publicaties/2022/advies/splijstof?advies=samenvatting>, pagina 46, 7 september 2022.
- ¹⁶⁴ <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>, 2014.
- ¹⁶⁵ <https://unece.org/sites/default/files/2021-10/LCA-2.pdf>, november 2021.
- ¹⁶⁶ <https://www.globalresearch.ca/the-health-risks-of-nuclear-radiation-toxic-link-the-who-and-the-iaea/13767>, 28 mei 2009.
- ¹⁶⁷ 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.
- ¹⁶⁸ 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.
- ¹⁶⁹ https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-ii.pdf.
- ¹⁷⁰ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ¹⁷¹ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2012.00472.x>, 17 april 2012.
- ¹⁷² <https://theecologist.org/2015/feb/05/false-solution-nuclear-power-not-low-carbon>, Keith Barnham, 5 februari 2015.
- ¹⁷³ 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.
- ¹⁷⁴ 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>;
- ¹⁷⁵ 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.
- ¹⁷⁶ <http://www.peopleplanetprofit.be/beelden/oko-instituut.pdf>, maart 2007.
- ¹⁷⁷ <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>.
- ¹⁷⁸ <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.
- ¹⁷⁹ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ¹⁸⁰ <https://jaspervis.wordpress.com/2019/03/03/hoeveel-co2-kost-al-dat-staal-van-een-windmolen-eigenlijk-2019-update/>, 3 maart 2019.
- ¹⁸¹ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ¹⁸² <https://www.leonardodicaprio.org/the-7-reasons-why-nuclear-energy-is-not-the-answer-to-solve-climate-change/>, 20 juni 2020.
- ¹⁸³ 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>;
- ¹⁸⁴ <https://www.stormsmith.nl/nuclearco2.html>.
- ¹⁸⁵ <https://www.anales.org/re/2023/re111/2023-07-09.pdf>, 9 juli 2023.
- ¹⁸⁶ <https://www.samuellawrencefoundation.org/post/first-friday-series-june-2nd-2023>, 2 juni 2023.
- ¹⁸⁷ 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.
- ¹⁸⁸ <http://www.peopleplanetprofit.be/beelden/oko-instituut.pdf>, maart 2007.
- ¹⁸⁹ 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>;
- ¹⁹⁰ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf.
- ¹⁹¹ <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.
- ¹⁹² <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.
- ¹⁹³ http://energiasostenible.org/mm/file/GCT2008%20Doc_ML-LCE%26Emissions.pdf, 8 april 2008.
- ¹⁹⁴ <https://jaspervis.wordpress.com/2019/03/03/hoeveel-co2-kost-al-dat-staal-van-een-windmolen-eigenlijk-2019-update/>, 3 maart 2019.
- ¹⁹⁵ <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/NuclearVsWWS.pdf>, 15 juni 2019.
- ¹⁹⁶ Jan Willem Storm van Leeuwen, Nuclear Monitor #886, June 8, 2020; CO2 emissions of nuclear power: the whole picture; <http://nuclearfreenw.org/climate.htm>.
- ¹⁹⁷ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421521002330?via%3Dihub>, Energy Policy, Volume 155, August 2021, 112363 Nuclear energy - The solution to climate change?
- ¹⁹⁸ <https://www.tno.nl/whitepaper-duurzaamheid-zonne-energie>, december 2021.
- ¹⁹⁹ <https://www.anales.org/re/2023/re111/2023-07-09.pdf>, 9 juli 2023.
- ²⁰⁰ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/27/laagste-energieverbruik-in-nederland-sinds-1990>, 5 juli 2023.
- ²⁰¹ <https://www.zeeuwsenergieakkoord.nl/bibliotheek/kernenergie>,
- ²⁰² <https://www.energieconsultant.nl/energiemarkt/technische-informatie-energie/tabel-overzicht-verbrandingswarmte-brandstoffen/>.
- ²⁰³ Algemene Energieraad, “Klein vademecum voor de energie 1982”, <https://search.socialhistory.org/Record/996491>.
- ²⁰⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/16/energieverbruik-gedaald-in-2018>, 17 april 2019.
- ²⁰⁵ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1665322596165>
- ²⁰⁶ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1538899484905>, 2 juli 2018
- ²⁰⁷ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/22/verbruik-hernieuwbare-energie-met-16-procent-gegroeid>, 29 mei 2020.
- ²⁰⁸ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/14/energieverbruik-met-3-procent-gedaald-in-2020>, 7 april 2021.
- ²⁰⁹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/22/11-procent-energieverbruik-in-2020-afkomstig-uit-hernieuwbare-bronnen>, 31 mei 2021.
- ²¹⁰ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1665322596165>
- ²¹¹ <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2022>, 1 november 2022.

-
- ²¹² <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/10/aandeel-hernieuwbare-elektriciteit-met-20-procent-gestegen-in-2022>, 6 maart 2023.
- ²¹³ <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/83140NED?q=energieproductie%20kerncentrale>, 15 juni 2023.
- ²¹⁴ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80030NED/table>
- ²¹⁵ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2022/10/meer-elektriciteit-uit-hernieuwbare-bronnen-minder-uit-fossiele-bronnen>, 7 maart 2022
- ²¹⁶ <https://www.epz.nl/actueel/>, 31 januari 2022.
- ²¹⁷ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/10/aandeel-hernieuwbare-elektriciteit-met-20-procent-gestegen-in-2022>, 6 maart 2023.