

Factsheet

Kernenergie

Auteurs: Deutman, Floriske Hiddink, Willem
Versie 6, mei 2021

Duurzaam

D66

Inleiding

De concrete invulling van het gekozen klimaatbeleid zoals onder meer beschreven in de plannen van de klimaattafels wordt langzaam zichtbaar. Er wordt tot 2030 grootschalig ingezet op elektrificering en energie efficiëntie in alle aangewezen sectoren, gecombineerd met een verviervoudiging van het aandeel van duurzaam opgewekt stroom.

Kernenergie was tot nu toe geen onderdeel van het gekozen beleid en eigenlijk ook niet van de overleggen om tot klimaatbeleid te komen.

Recentelijk is de optie kernenergie echter weer terug in het Nederlandse debat rondom klimaatverandering, energietransitie en verdere verduurzaming.

De D66 WEK wil met deze factsheet een feitelijke en actuele weergave presenteren van de kenmerken van kernenergie, met als doel om de discussie een mogelijke rol van kernenergie in de toekomstige –circulaire- Nederlandse energievoorziening van een feitelijke basis te voorzien. Wat is kernenergie, hoe werkt het, wat is straling en radioactiviteit, wat doen we met het afval en wat zijn de kosten nu eigenlijk?

Eerst een stukje achtergrond. Kernenergie bestaat al 73 jaar: op 3 september 1948 werd in Tennessee (VS) voor het eerst door een kernreactor elektriciteit opgewekt. In de jaren zestig en zeventig werden er veel kernreactoren gebouwd en in gebruik genomen met als doel het opwekken van elektriciteit. In 1974 besloot Frankrijk vol in te zetten op kernenergie, wat erin resulteerde dat 75% van de Franse elektriciteit afkomstig is van kernreactoren. Naar aanleiding van verschillende operationele incidenten, waaronder de ongevallen die plaats vonden bij Three Mile Island in 1979, Tsjernobyl in 1986 en Fukushima in 2011, zijn de veiligheidsvoorschriften enorm aangescherpt en de kosten navenant gestegen. Diverse projecten zijn tussen 1970 en 2019 opgeschort.

In de afgelopen 50 jaar heeft het gebruik van kernenergie geleid tot een vermindering van de CO₂-uitstoot met meer dan 60 gigaton, wat gelijk staat aan de totale wereldwijde uitstoot van bijna twee jaar.

Sinds mei 2020 zijn er 441 kernreactoren in bedrijf 31 landen, met in totaal 389.994 MW aan geïnstalleerd vermogen, iets meer dan 10% van de wereldwijde electriciteitsopwekking. Nog eens 54 kernreactoren zijn in aanbouw, met een totaal van 57.444 MWe aan netto geïnstalleerde capaciteit.¹

Op basis van de feiten kan de discussie gevoerd worden over de wenselijkheid van het al dan niet opnemen van kernenergie in de toekomstige, CO₂-vrije energiemix.

Wat is kernenergie?

Energie en splijtingsproces

¹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/09/22/possible-role-of-nuclear-in-the-dutch-energy-mix-in-the-future>
Werkgroep Energie & Klimaat, Essay&Factsheet [Kernenergie] [Versie 1a (2018-12-19)]

- Kernenergie maakt gebruik van het kunstmatig te initiëren splijtingsproces van bepaalde atomen (Uranium en Plutonium Isotopen) en daarbij komt een grote hoeveelheid energie vrij en ontstaan verschillende typen restproducten.
Isotopen zijn atomen van hetzelfde chemische element, en dus met hetzelfde aantal protonen, waarin de aantallen neutronen in de atoomkern verschillend zijn. Er zijn een heleboel elementen op aarde die voorkomen in niet-stabiele toestand die vervallen op natuurlijke wijze onder uitstraling van radioactiviteit, zoals Radium, Technetium, Thorium en ook Uranium.
Door in een kernreactor gebruik te maken van de eigenschappen van met name de uranium isotopen U-235 & U233 is het mogelijk om een kleine hoeveelheid hiervan op een constante en beheersbare manier te laten splijten.
De energie die hierbij vrijkomt verwarmt water in een water-stoom cyclus waarmee tenslotte m.b.v. een turbinegenerator elektriciteit wordt gemaakt.
Ook kan restwarmte uit deze cyclus van kerncentrales net als bij kolen/gas centrales worden gebruikt in warmtenetten, maar dat wordt relatief weinig toegepast omdat kerncentrales gewoonlijk op enige afstand van grote steden worden gebouwd.
- De energiedichtheid van kernenergie is heel erg hoog, oftewel kernsplijting haalt heel veel energie uit heel weinig splijtstof. 1 kg uranium (U-235) bevat ongeveer 24 GWh aan energie.
- In de praktijk wordt in de huidige types reactoren door complexe fysische oorzaken niet alle uranium gesplitst. Het is echter mogelijk om een groot deel van de gebruikte splijtstofelementen te recyclen tot nieuwe kernsplijtstof. Dit gebeurt met de restproducten uit de Kerncentrale Borssele in Frankrijk.
Hierdoor kan er nog meer energie gehaald worden uit de splijtstof en wordt benodigde hoeveelheid te delven Uranium gereduceerd. Ook de levensduur van het afval wordt danig verkort, aangezien juist het langlevende Plutonium opnieuw cyclisch verspleten kan worden gedurende de leeftijd van dezelfde reactor waarin het initieel is geproduceerd (KC Borssele: 70 kg/jr) en daarmee niet hoeft te worden opgeslagen.
Hierbij valt bovendien op te merken dat het Plutonium net als Uranium een zgn alfastraler is die afgeschermd kan worden met een laag papier en daarmee geen stralingsbeschadiging kan aanrichten. De stof is wel chemisch-toxisch en bij inname wel een risicofactor.

Radioactief (Kern)afval

- Nagenoeg alle splijtingsproducten zijn zeer instabiel en hebben een relatief korte halveringstijd. Dat betekent dat ze snel uiteenvallen en daarbij dus meestal ook sterke straling afgeven. Daarom is het van belang deze materialen goed afgeschermd op te slaan.
Enkele jaren na verwijdering uit de reactor zijn de isotopen die de belangrijkste stralingsbijdrage geven de stoffen ¹³⁷Cs en ⁹⁰Sr (beide een halveringstijd van ongeveer 30 jaar).
Deze meest stralende stoffen vormen slechts een relatief klein deel van de splijtingsproducten, maar veroorzaken wel een groot deel van de radioactiviteit.
Daarom worden deze elementen afgescheiden en apart opgeslagen. De rest wordt opgeslagen als zogenaamd laag en midden radioactief afval, maar met aanzienlijk minder eisen aan de opslag qua afscherming, bescherming en met een bewaartijd van slechts enkele tientallen jaren. Hoe lang je kernafval gevaarlijk kan noemen wordt bepaald door de radiotoxiciteit te vergelijken met natuurlijk op aarde voorkomende radioactieve stoffen.
Na 300 jaar zijn de hoogradioactieve splijtingsproducten voor meer dan 99,9% vervallen ofwel uitgestraald en minder radioactief dan natuurlijke delfstoffen².
- Daarnaast zijn er zware atomen die in de reactor als nevenproduct ontstaan uit het uranium. Deze stoffen (de transuranen) zijn niet alleen chemisch giftig (net als natuurlijk uranium en andere zware metalen), maar ze zijn ook instabiel (en dus radioactief) met een heel lange vervaltijd. Dit zorgt ervoor dat deze stoffen voor zeer lange tijd veilig moeten worden opgeborgen

buiten een biologisch/hydrologisch milieu. Door de grote halveringstijd vallen er dus weinig van deze atomen uit elkaar met weinig stralingsintensiteit. Het merendeel is daarvan is alfastraling, wat met een dunne afscherming al is tegen te houden, zie ook het hoofdstuk over radioactiviteit en straling. Deze zware atomen zijn net als andere natuurlijke radioactieve elementen zoals uranium enkel schadelijk voor de mens als je ze zou binnenkrijgen.

Voor de meeste transuranen duurt het 10.000 jaar tot de radiotoxiciteit voldoende is gedaald, voor Plutonium is dit zo'n 300.000 jaar³.

- Een methode om deze opslag te organiseren is het bouwen van een geologische eindberging. Het afval wordt dan zodanig verpakt en opgesloten in ondergrondse stabiele formaties dat het niet actief beheerd hoeft te worden. In Finland en Zweden is men begonnen met de inrichting van een dergelijke eindberging.⁴
- De verzameling van deze twee groepen heel verschillende stoffen noemt men kernafval.
- Er zijn heel veel industrieën die radioactief afval produceren naast kerncentrales, bijvoorbeeld de medische industrie, mijnbouw in het algemeen en de offshore olie- en gaswinning.
- Met de delfstoffen komen namelijk ook natuurlijke radioactieve stoffen naar boven. Ook ziekenhuizen produceren radioactief afval, onder andere in laboratoria en bij radiologisch onderzoek.⁵
- In Nederland ligt een sedert 1975 aangegroeide hoeveelheid van ongeveer 110 m³ aan verglaast hoogradioactief afval opgeslagen (qua volume vergelijkbaar met de inhoud van 1,5 grote zeecontainer). Jaarlijks komt er ongeveer 4,5 m³ aan hoogradioactief verglaast afval bij, waarvan ongeveer 1,5 m³ afkomstig van kerncentrale Borssele.
- Aan laag- en middelradioactief afval ligt er ongeveer 34.000 m³ opgeslagen (ongeveer 10 sporthallen vol).
- Aan laag- en middelradioactief afval komt er jaarlijks 1.100 m³ bij (vergelijkbaar met de inhoud van 16 zeecontainers).⁶
- Het hoogradioactief afval uit een kerncentrale is afkomstig van de splijtstofelementen die als brandstof in de reactor zijn gebruikt. Omdat 'uitgewerkte' reactorbrandstof nog zeer veel bruikbare splijtstoffen (uranium en plutonium) bevat, wordt vaak gebruik gemaakt van recycling. 95% van deze 'uitgewerkte' brandstof kan opnieuw de reactor in.
- De 5% hoogradioactief afval wordt door glas gemengd en in een rvs-vat gegoten waarin het stolt. Radioactieve stoffen zitten daarna opgesloten in de structuur van het glas.
- Het Nederlandse beleid is om het radioactieve afval honderd jaar opgeslagen te houden in speciale gebouwen bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA) in Vlissingen. In COVRA wordt voldoende afval bij elkaar verzameld om een eindberging kosteneffectief te kunnen bouwen, wordt er via een fonds gespaard voor een mogelijke eindberging en wordt internationaal onderzoek gedaan naar de meest optimale manier om de eindberging veilig en effectief uit te voeren. Na de vastgelegde 100 jaar wordt het afval waarschijnlijk naar een terugneembare eindberging in een diepe aardlaag gebracht, tenzij een betere oplossing wordt gevonden in de tussentijd.
- Concluderend, het korte- en middellange termijn afval van laag-, en hoogradioactief afval is goed geregeld in Nederland, maar de eindberging is nog niet concreet in beeld.

³ [Radiotoxicity - an overview | ScienceDirect Topics](#)

⁴ <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/First-disposal-tunnel-under-construction-at-Finnis>

⁵ <https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/soorten-radioactief-afval/>

⁶ <https://www.covra.nl/nl/veelgestelde-vragen/radioactief-afval/>

*Radioactiviteit en straling*⁷

- Natuurlijke straling oftewel achtergrondstraling is de straling afkomstig van natuurlijke radioactieve stoffen. Deze stoffen vind je dichtbij in de aarde (bijvoorbeeld uranium) of in het beton dat we gebruiken om gebouwen te maken. Zelfs in ons eigen lichaam zitten natuurlijke stralingsbronnen. Sommige natuurlijke straling komt ook van heel ver, zoals de zon, andere sterren en supernova's. De achtergrondstraling is niet overal op aarde gelijk. Op sommige plaatsen komen van nature meer radioactieve stoffen in de bodem voor en is de achtergrondstraling veel hoger dan andere plaatsen. Ook de hoogte speelt daarbij een belangrijke rol: hoe hoger je zit, hoe minder atmosfeer je overhoudt om de kosmische straling tegen te houden. In Finland zit er bijvoorbeeld veel graniet in de bodem. Graniet bevat flink wat uranium. Een Fin loopt gemiddeld 7,5 mSv (milliSievert) op aan achtergrondstraling tegenover een Nederlander, die gemiddeld 1,6 mSv per jaar krijgt⁸. De hoogste achtergrondstraling wordt gemeten in Ramsar, een stad in het noorden van Iran. De mensen krijgen daar een achtergrond dosis die kan oplopen tot wel 260 mSv per jaar: ruim honderdzestig keer meer dan in Nederland.
- Naast achtergrondstraling uit de bodem, gebouwen en onszelf ontvangt de gemiddelde Nederlander ook zo'n 1,3 mSv uit medische toepassingen van straling. Voor medische doeleinden zoals röntgenfoto's, CT-scans etc, lopen mensen tot tientallen mSv aan dosis op. Voor kankerbestralingen worden nog hogere dosissen toegepast. De norm voor de nucleaire industrie ligt zeer laag: op maximaal 0,01 mSv voor de hypothetische burger die continu op de terreingrens van een vergunninghouder zou verblijven.
- Radioactieve stoffen zenden verschillende soorten straling uit: alfa-, bèta-, en gammastralen. Straling kan worden tegengehouden door afscherming. Alfastralen hebben een zeer gering doordringend vermogen. Deze straling kan niet verder komen dan 5 á 6 cm in lucht en kan al met een papiertje volledig worden tegengehouden. Bètastralen hebben een iets groter doordringend vermogen, maar worden al gestopt door een paar millimeter metaal of een laagje water van 1 cm. Gamma- en röntgenstralen hebben een groot doordringend vermogen. Om deze straling tegen te houden is tientallen centimeters beton of meerdere meters water nodig.
- Een kenmerk van radioactiviteit is dat de straling met de tijd op natuurlijke wijze afneemt. Dat komt doordat de straling vrijkomt bij het radioactief verval, waarna de originele stof er dus niet meer is. Hoe lang dat duurt, drukken we uit met halveringstijd: de tijd die nodig is om telkens de helft van de radioactiviteit kwijt te raken. Iedere radioactieve stof heeft een eigen vaste halveringstijd. Voor de ene stof zijn dat secondes, voor andere stoffen zijn dat duizenden jaren.

Technologie evolutie en nucleaire installaties

- Er zijn verschillende soorten nucleaire installaties. Naast kerncentrales zijn er onderzoeksreactortypes in onderzoekslaboratoria. In de kernbrandstofcyclus treft men opwerkingsfabrieken, verrijkingsinstallaties en opslagfaciliteiten aan.
- Vaak heeft men het over verschillende generaties/ typen kerncentrales. Onder de eerste generatie reactoren worden de prototypen verstaan die in de jaren '50 en '60 zijn gebouwd, waaronder de reactoren van Chernobyl, die niet meer in bedrijf zijn. Vrijwel alle kerncentrales in het Westen, dus ook kerncentrale Borssele, zijn van de tweede generatie die zijn ontworpen en gebouwd in de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw en gebaseerd zijn op lichtwaterreactortechnologie (LWR). De derde generatie kerncentrales is ontworpen in de jaren '90 als evolutionaire opvolger van de tweede generatie.
Voorbeelden zijn de Advanced Boiling Water Reactor (ABWR) in Japan en Taiwan, de APR-1400 in Korea en UAE, de Hualong-One in China en de VVER in Rusland. Wel zijn vrijwel alle tweede generatie centrales inmiddels door herhaald upgraden van vergelijkbaar veiligheidsniveau als de

⁷ <https://www.rivm.nl/straling-en-radioactiviteit>

⁸ [Blootstelling aan ioniserende straling samengevat | RIVM](#)

derde generatie. Momenteel worden generatie-III+ reactoren op de markt gebracht, bijvoorbeeld de European Pressurized Water Reactoren (EPR) in Finland, Frankrijk en Engeland en in Taishan, China, en de vernieuwde Russische VVER, die in grote mate gebruik maken van passieve veiligheidssystemen.⁹ Dit geldt ook voor de AP-1000 in de USA.

De Nederlandse nucleaire sector speelt wereldwijd een belangrijke rol met onderzoekscentra in Delft en Petten, de medische isotopen uit Petten (zo'n 70% van de Europese en 30% van de wereldproductie), de verrijkingsactiviteiten van Urenco (ongeveer 10% van de wereldcapaciteit), en hoogstaand nucleair medisch onderzoek bij verscheidene universiteiten.

Thorium

- Er wordt veel gesproken over energie uit Thorium, vaak in combinatie met een gesmolten zout reactor (MSR of LFTR). Dit type reactor behoort tot de Generatie IV.¹⁰ Het gebruik van thorium in kerncentrales is, hoewel het in de jaren zestig al in de USA is bedacht, nog in een experimenteel stadium. Er is nog veel ontwikkeltijd en -kapitaal nodig voordat er een kerncentrale voor energievoorziening op thorium draait. Volgens TU Delft hoogleraar Kloosterman zal het nog zo'n dertig jaar aan ontwikkeltijd kosten voordat er thoriumreactoren op grote schaal gebouwd kunnen worden.¹¹ In China echter wil men al een commerciële Thorium reactor op de markt hebben in 2030.¹²
- Er is een vrijwel onuitputtelijke bron van Thorium op de wereld, in een MSR kan geen meltdown plaatsvinden en een MSR geeft significant minder afvalstoffen die bovendien veel minder lang hoog radioactief blijven.¹³ In een gesmolten zout reactor zit de grondstof (thorium) welke na opname van een start-neutron tot splijtstof U-233 wordt opgewaardeerd in een vloeibaar zoutmengsel dat tevens als warmtetransportvloeistof naar een warmtewisselaar en stoomturbinegenerator wordt gevoerd. Bij toenemende temperatuur stopt de splijtingsreactie boven de nominale limiet vanzelf (negatieve reactiviteits co-efficient) en stroomt het zout met de opgeloste elementen in een opvangvat in een configuratie (kritische massa te gering) die niet geschikt is om de splijting weer aan de gang te krijgen en juist makkelijk passief gekoeld kan worden. Ook wordt er bij gebruik van thorium als kweekstof voor U-233 in een reactor nauwelijks plutonium geproduceerd.
- In Nederland doen de TU Delft en NRG in Petten onderzoek naar de werking en het veilig gebruik van een MSR. Wereldwijd zijn diverse organisaties betrokken bij onderzoek en ontwikkeling van de technologie.¹⁴

Ontmanteling van een kerncentrale

- Er zijn twee strategieën om een kerncentrale te ontmantelen: direct ontmantelen of een periode wachten. Direct ontmantelen heeft als voordeel dat de installatie ook weer snel weg is en dat er gebruik gemaakt kan worden van de kennis van de bedrijfsvoerders. Het nadeel is dat de radioactieve materialen nog maximaal aanwezig zijn en aldus het werk complex en duur maken vanwege de stralingsbeschermingsmaatregelen.

⁹ Overzicht van nieuwe kerncentrales door J.L. Kloosterman

<http://www.janleenkloosterman.nl/reports/pnr-131-2006-003-rev1.pdf>

¹⁰ http://www.janleenkloosterman.nl/thematech_200612.php

¹¹ https://stralenpracticum.nl/wp-content/uploads/sites/71/2020/07/website_info_thoriumreactor.pdf

¹² <https://sg.news.yahoo.com/amhtml/china-hopes-play-leading-role-220307940.html>

¹⁴ <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/molten-salt-reactors.aspx>

- Als je een periode van enkele tientallen jaren wacht met de ontmanteling, verdwijnt het grootste deel van de radioactiviteit door natuurlijk verval. Het is dan goedkoper en minder complex om de centrale te ontmantelen. Ook is de directe afvalinventaris kleiner.
- De ontmantelingsstrategie met de kerncentrale Dodewaard die in 1997 uit bedrijf ging bestaat uit wachten. Na sluiting werd de brandstof afgevoerd en zijn alle niet nucleaire gebouwen afgebroken en de vloeistoffen verwijderd. Daarna is de resterende radioactiviteit bevattende installatie in een veilige toestand gebracht en het gebouw in 2005 afgesloten. Na 2045 wordt Dodewaard ontmanteld. De kerncentrale Borssele wordt direct ontmanteld.¹⁵
- In Nederland wordt het ontmantelingsplan van Borssele elke 5 jaar getoetst aan de stand der techniek wereldwijd, en worden ook het financieringsplan en de -voortgang getoetst.

Investering

- Terwijl de prijs van een in de OESO gebouwde kerncentrale ongeveer €1700/kWe bedroeg aan het einde van de jaren negentig, is dat nu opgelopen naar rond de €6000/kWe. Oftewel, een kerncentrale van 1,5GW zal momenteel ongeveer een investering van €8 - €10 miljard vereisen.
- Die investeringen worden over een lange looptijd terug verdiend door de investeerders. Een centrale als de nieuwe European Pressurized Reactor (EPR) heeft een levensduur van 60-80 jaar, maar de economische levensduur (afschrijvingstijd incl terugbetalen financiering) is meestal maar 20-35 jaar. Tijdens de daaropvolgende 25 - 45 jaar levert een kerncentrale zeer goedkope stroom van tussen de €0.03 en €0.06/kWh.¹⁶
- De hoge upfront bouwkosten in combinatie met niet altijd stabiel overheidsbeleid maken het riskant voor investeerders om te investeren in nieuwe centrales. Dit drijft gewenste investeringsrendementen op, waardoor de kapitaalkosten uiteindelijk tot wel tweederde van de kostprijs van het project oplopen. In Engeland bijvoorbeeld is door de investeerders van de nieuwe EPR centrale Hinkley Point C een gegarandeerde prijs van ca. €0.11/kWh (strike price) bedongen gedurende 35 jaar. Deze strike price is zowel een minimum als een maximum. Zie figuur 1 voor een kosten breakdown van de centrale Hinkley Point C.
- Zonder faciliterend overheidsbeleid worden geen nieuwe kerncentrales gebouwd. MIT heeft een studie gedaan naar de rol van kernenergie in een toekomstige energiemix en de rol van de overheid daarin en concludeerde dat nieuwe beleids- en bedrijfsmodellen, evenals innovaties in kosteneffectiviteit van kerncentrales nodig zijn om te kunnen voldoen aan de groeiende wereldwijde vraag naar energieopwekking en tegelijkertijd de uitstoot kunnen verminderen.¹⁷ De Britse overheid heeft zijn CO₂ arme elektriciteitsvoorziening nu en in de toekomst gewaarborgd dmv diverse beleidsdocumenten, met optimalisatiestudies waarin ook kernenergie een rol speelt.¹⁸

¹⁵ <https://epz.nl/themas/ontmanteling/twee-scenario's-ontmanteling-kerncentrales>

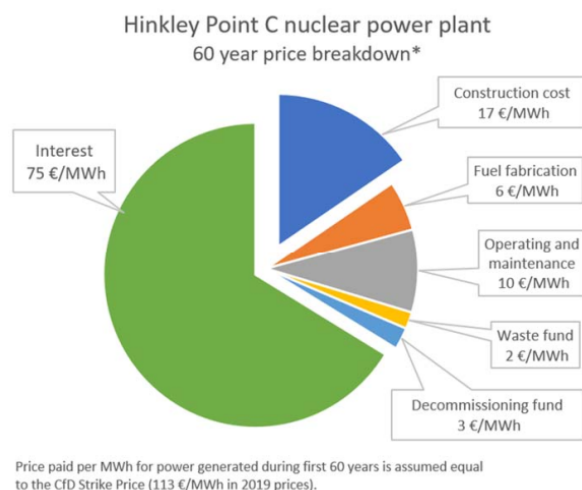
¹⁶ <https://www.ecn.nl/publications/PdfFetch.aspx?nr=ECN-B--07-015>, p. 78

¹⁷ <https://news.mit.edu/2018/mitei-releases-report-future-nuclear-energy-0904>

¹⁸ UK White paper on Nuclear Power (<https://www.gov.uk/government/publications/meeting-the-energy-challenge-a-white-paper-on-nuclear-power>) . National Policy Statement for Nuclear Power Generation (https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/47859/2009-nps-for-nuclear-volume1.pdf)

Consultation Document THE ROLE OF NUCLEAR POWER IN A LOW CARBON UK ECONOMY, 2007

(<https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/http://www.berr.gov.uk/files/file39197.pdf>)



Figuur 1. Breakdown van kosten kerncentrale Hinkley Point C

- De LCOE (Levelized Cost of Electricity, oftewel totale kostprijs per opgewekte eenheid elektriciteit over de gehele levensduur) van kernenergie varieert enorm per centrale en per land. Aangezien ongeveer 60% van de LCOE van kernenergie bestaat uit kapitaalkosten,¹⁹ levert een afgeschreven kerncentrale veel goedkopere elektriciteit dan een nieuwe centrale. Een bestaande, afgeschreven kerncentrale produceert elektriciteit tegen een gemiddelde kostprijs van nog geen 4 cent/kWh.²⁰ In de LCOE zijn normaliter ook de kosten voor het ontmantelen van de centrale en de afvalverwerking inbegrepen.²¹
- Voor nieuw te bouwen centrales komt de prijs door de grote financieringslasten en langdurige bouw en vergunningstrajecten in de Westerse wereld tussen de 6 en 12 cent/kWh uit. De verwachting is dat bredere inzet op nucleaire nieuwbouw, vanuit een Europese gestandaardiseerde ontwerpbasis en vergunningsverlening, gecombineerd met stabiel beleid en eventuele overheidsgaranties om de financieringskosten te drukken, ervoor kan zorgen dat dit weer 5-7 cent/kWh kan worden.
- Kerncentrales kunnen flexibele stroom leveren.²² Technisch kunnen kerncentrales binnen een bepaalde, voor de netbeheerder acceptabele, bandbreedte (50-100%) zeer snel op- en afschakelen en regelbaar vermogen leveren, zoals al tientallen jaren gebeurt in Frankrijk. Uit economisch oogpunt draaien kerncentrales echter liever op base-load.

CO₂ uitstoot Kernenergie

- Volgens het IPCC worden over de gehele levenscyclus van wind- en kernenergie ongeveer 12 g CO₂/kWh uitgestoten en bij zonne-energie is dat zelfs 45 g CO₂/kWh.²³ Hierbij valt nog op te merken dat in het geval van weersafhankelijke bronnen de benodigde overcapaciteit en back-up/opslagmiddelen deze waarde flink negatief kunnen beïnvloeden, net zoals het niet op maximale capaciteit inzetten van een kerncentrale ook tot hogere waardes zal leiden.

Veiligheid kernenergie

- Van alle stroomopwekkers is kernenergie vergelijkbaar met hernieuwbare bronnen op het gebied van aantal doden of andere gezondheidsschade per geproduceerde kilowattuur (inclusief de rampen in Tsjernobyl en Fukushima), zie figuur 2.²⁴

¹⁹ <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>

²⁰ <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2020/09/22/possible-role-of-nuclear-in-the-dutch-energy-mix-in-the-future/POSSIBLE+ROLE+OF+NUCLEAR+IN+THE+DUTCH+ENERGY+MIX+IN+THE+FUTURE.pdf>

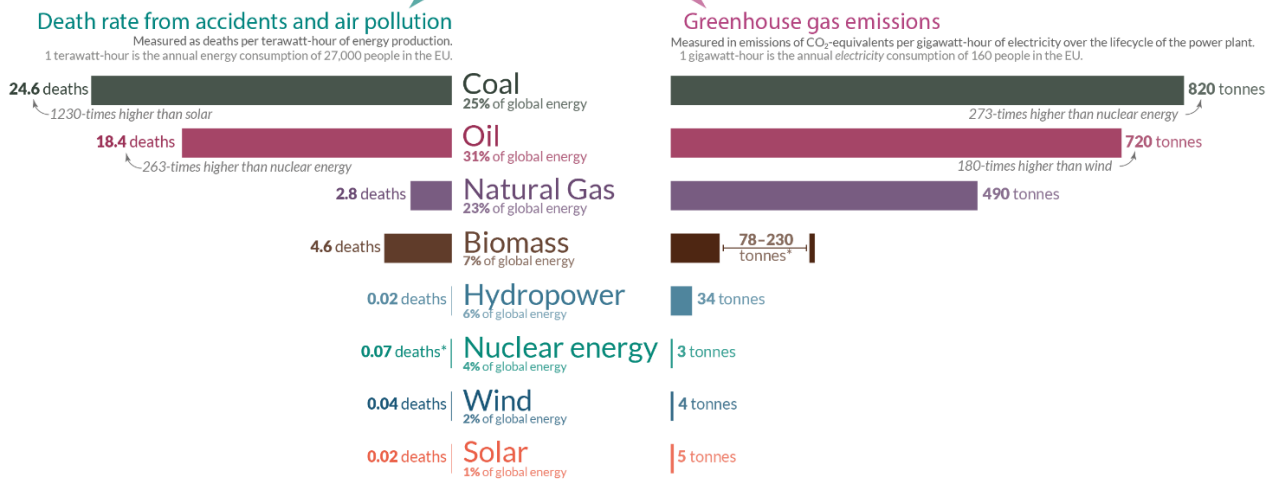
²¹ <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>

²² <http://www.world-nuclear-news.org/NP-Foratom-highlights-nuclears-load-following-abilities-0805185.html>

²³ <https://www.nature.com/articles/s41560-017-0032-9>

²⁴ <https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>

What are the safest and cleanest sources of energy?



- De centrale in Tsjernobył (generatie 1) is niet te vergelijken met de type III en III+ centrales die tegenwoordig gebouwd worden.
- Het grootste risico rond kernongevallen ontstaat door angst en stress, bijvoorbeeld door de evacuatie²⁵ en niet door de verspreiding van radioactiviteit.
- In Fukushima, waar een drievoudige meltdown in een generatie II containment-ontwerp en zonder allerlei updates en systemen die tegenwoordig standaard zijn, is geen meetbare gezondheidsschade voor de bevolking aangetoond, op zowel korte als lange termijn.²⁶
- De opgeschroefde veiligheidsgaranties van kerncentrales hebben ook een prijs, waardoor kernenergie de belofte van 'too-cheap-to-meter' uit de jaren '70 niet heeft kunnen waarmaken.

Bronnen

- UK aanpak met studies en white papers:

<https://www.gov.uk/government/publications/meeting-the-energy-challenge-a-white-paper-on-nuclear-power>

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/47859/2009-nps-for-nuclear-volume1.pdf

<https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.berr.gov.uk/files/file39197.pdf>

- Analyse over de relocation na de ongevallen in Chernobyl en Fukushima Daiichi

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582017300782#!>

- Vergelijking van de uitstoot bij verschillende vormen van elektriciteitsopwekking

[http://www.bighthunderwindpower.ca/files/resources/Electricity_generation_and_health_\(The_Lancet_2007\).pdf](http://www.bighthunderwindpower.ca/files/resources/Electricity_generation_and_health_(The_Lancet_2007).pdf)

25 [November: nuclear accident | News and features | University of Bristol](#)

26 [Fukushima \(unscear.org\)](#)

- Uranium properties
<http://www.plux.co.uk/energy-density-of-uranium/>
- ENTSOE Statistical Factsheet 2017
https://docstore.entsoe.eu/Documents/Publications/Statistics/Factsheet/entsoe_sfs_2017.pdf
- J.L. Kloosterman, 'Overzicht van nieuwe kerncentrales' (2006)
<http://www.janleenkloosterman.nl/reports/pnr-131-2006-003-rev1.pdf>

Contactgegevens

Dit factsheet is opgesteld in de Werkgroep Energie & Klimaat die onderdeel is van de landelijke thema-afdeling D66 Duurzaam.

Floriske Deutman floriske.deutman@dutchsino.com

Willem Hiddink w.hiddink@planet.nl

Appendix A

Essay	NL-Elec	NL-Electricity Supply										Information Structure	
Essay	En-Res	Energy Resources											
		Fossil (FOS)			Nuclear (NUC)			Renewables (RES)			Renewables (RES)		
		Coal	Gas	Biomass	U-235			Sun; Wind; Water			Sun		
Essay	En-CT A; B; C; D	Conversion Technology											
Level Playing Field Management	Boiler Turbine / Generator CCS A		Reactor Steam-Turbine Generator B			Windturbine(L & Z); Hydro-dam Generator PVPanel C			Concentrated Solar Power (CSP) Steam-Turbine Generator D				
	Project Management			Licensing Operation (50 y)			Engineering Waste Handling & Storage			Manufacturing		Construction Decommissioning	
Capex (€ .. /MW)	???? ????	E- Plant CCS	6750			UK HPC							
Opex (€ .. /kWh)	???? ????	E- Plant CCS	11			UK HPC							
# Life Cycle # Levelised Cost (LCO-E)													
Essay	El-Net	Electricity Networks											
		Regional			Regional			Regional / Long Distance			Long Distance		
Essay	El-Cons	Electricity Consumers											
2017	119 TWh/y	Industrie 40%			Gebouwde omgeving 30%			Mobiliteit 15 %			Land-bouw&-gebruik 10%		
EZ&K Sector Tafels													