

KERNENERGIE

Wel Duur, niet Duurzaam

*Over de betekenis van kerncentrales
Voor het afremmen van klimaatverandering*



Boelie Elzen en Rob Geerts

Over de auteurs

De auteurs zijn onafhankelijk onderzoeker. Zij publiceerden over de maatschappelijke effecten van techniekontwikkeling, in het bijzonder over kernenergie, en over de gevolgen van kerncentrale-ongevallen. Dat speelde vooral in de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw, toen er een breed maatschappelijk debat was over de wenselijkheid en problemen van kernenergie. De auteurs zijn inmiddels gepensioneerd.

Dr.ir. Boelie Elzen was onderzoeker op het terrein van Wetenschap, Technologie en Samenleving aan de Universiteit Twente. Hij was tevens voorzitter van het toenmalige Twents Energie Komitee dat zich onder meer bezighield met voorlichting over energie in brede zin en over de problemen van kernenergie.

Ir. Rob Geerts was tijdelijk verbonden aan de faculteit Wijsbegeerte van Wetenschap, Technologie en Samenleving van de Universiteit Twente. Daarna was hij werkzaam als toegepast wetenschappelijk adviseur bij AVIV: kenniscentrum voor industriële veiligheid en ruimtelijke ordening. Hij was eindredacteur van het voormalig vakblad Ruimtelijke Veiligheid & Risicobeleid. Hij schreef met J. Heitink het winnende essay over veiligheid en risico's: De Kracht van Taal, 2018.

Belangrijkste eerdere publicaties over kernenergie:

A.S. Krass, P. Boskma, B. Elzen en W.A. Smit. "Uranium Enrichment and Nuclear Weapon Proliferation". SIPRI publicatie, London: Taylor and Francis, 1983.

W.A. Smit, R. Geerts en G. Tiemessen. "Ahaus, Lingen en Kalkar: Westduitse nucleaire installaties en de gevolgen voor Nederland". WRR publicatie V31, 1983.

E-mailadressen

boelie.elzen@gmail.com

r.geerts@aviv.nl

KERNENERGIE

Wel Duur, niet Duurzaam

Over de betekenis van kerncentrales

Voor het afremmen van klimaatverandering

Dr.ir. Boelie Elzen en ir. Rob Geerts

Update februari 2026

Dankwoord

Wij bedanken em. prof. dr. Th. Palstra, dr. W.A. Smit en A. Witte voor hun kritische en nuttige inhoudelijke commentaren op eerdere versies van dit rapport. Onze dank gaat ook uit naar Ingrid Blans en Yolande Samwel voor de tekstredactie.

Illustratie voorkant: De in 2024 gereedgekomen kerncentrale in Flamanville, Frankrijk.¹ Deze centrale is gebouwd door EDF (Electricité de France), dat ook kandidaat is voor de bouw van de geplande Nederlandse kerncentrales.

¹ Flamanville Nuclear Power Plant, Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Flamanville_Nuclear_Power_Plant#/media/File:Flamanville_Nuclear_Plant_2023.jpg

INHOUDSOPGAVE

INLEIDING.....	4
WEDEROPSTANDING VAN KERNENERGIE	5
ENERGIEZEKERHEID	6
<i>Energieflauwte.....</i>	<i>6</i>
<i>Diversificatie en (on)afhankelijkheid</i>	<i>9</i>
BROEIKASGASEMISSIES	11
KOSTEN VAN KERNENERGIE	14
<i>Kostenposten</i>	<i>14</i>
<i>Bouw- en financieringskosten kerncentrales</i>	<i>14</i>
<i>Kosten van ontmanteling.....</i>	<i>16</i>
<i>Kosten radioactief afval.....</i>	<i>16</i>
<i>Totale kosten kernenergie</i>	<i>17</i>
<i>Vergelijking met zon en wind.....</i>	<i>19</i>
<i>Toekomstige energiemarkt.....</i>	<i>19</i>
<i>Maatschappelijke kosten.....</i>	<i>20</i>
<i>Slotbeschouwing over kosten</i>	<i>21</i>
VEILIGHEID VAN KERNCENTRALES.....	22
RADIOACTIEF AFVAL.....	25
KERNENERGIE EN DE VERSPREIDING VAN KERNWAPENS	26
KWAKKELENDE INDUSTRIE	27
SLOTBESCHOUWING – WEERLEGGING VAN MISLEIDENDE CLAIMS	29
BIJLAGE A: KOSTEN VAN KERNENERGIE.....	32
<i>Bouw- en financieringskosten van kerncentrales</i>	<i>32</i>
<i>Financiering van kerncentrales.....</i>	<i>35</i>
<i>Kosten van ontmanteling.....</i>	<i>36</i>
<i>Kosten radioactief afval.....</i>	<i>37</i>
<i>Totale kosten kernenergie</i>	<i>39</i>
BIJLAGE B: MOGELIJKE GEVOLGEN VAN EEN KERNSMELTING OP DE MAASVLAKTE.....	41
BIJLAGE C: GEVAAR VAN HACKEN EN ONTREGELLEN VAN EEN KERNCENTRALE	44
BIJLAGE D: EINDBERGING VAN RADIOACTIEF AFVAL	46
BIJLAGE E: KERNENERGIE EN DE VERSPREIDING VAN KERNWAPENS	49

INLEIDING

Het laatste kabinet Rutte was van plan om twee nieuwe kerncentrales te bouwen en had voor de planningsfase €5 miljard uitgetrokken.² Het kabinet Schoof wilde vier centrales bouwen en had daarvoor in het Klimaatfonds €9,5 miljard extra gereserveerd.³ Het coalitieakkoord van D66, VVD en CDA spreekt begin 2026 van ten minste vier kerncentrales. Onder het kabinet Schoof is inmiddels gestart met onderzoek naar zeven mogelijke locaties in vier gebieden: twee in het Sloegebied (de omgeving van Borssele), één in Terneuzen, één op Maasvlakte II en drie in de Eemshaven.⁴

De belangrijkste argumenten voor de bouw van de kerncentrales zijn om gaten op te kunnen vangen in het aanbod van wind- en zonne-energie en om eraan bij te dragen dat Nederland in 2035 CO₂-neutraal elektriciteit kan produceren.^{5,6} In dit rapport tonen we aan dat nieuwe kerncentrales de doelstelling van CO₂-reductie echter juist belemmeren en daarnaast dat ze niet bijdragen aan de energiezekerheid. Ze vertragen veel effectievere en goedkopere transitie-ontwikkelingen en maken die deels zelfs onmogelijk. We zullen dit uitwerken door de volgende vijf conclusies te onderbouwen:

- Kernenergie helpt niet om de uitstoot van broeikasgassen terug te dringen. Weliswaar vinden bij de centrale zelf geen CO₂-emissies plaats, maar elders in de brandstofketen gebeurt dat wel. Kernenergie verergert daardoor juist het probleem.
- De kerncentrales dragen niet bij aan energiezekerheid. De benodigde investeringen belemmeren dat op korte termijn duurzame, aanzienlijk goedkopere en meer effectieve oplossingen voor energiezekerheid kunnen worden ontwikkeld.
- Elektriciteit uit kerncentrales is veel duurder dan elektriciteit uit alternatieve bronnen als zon en wind. Tegen de tijd dat de centrales gaan produceren, zal in de geliberaliseerde energiemarkt niemand de duurdere kernenergie willen afnemen. De belastingbetaler moet uiteindelijk voor de enorme meerkosten opdraaien.

² Website Rijksoverheid. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/kernenergie>

³ Regeerprogramma kabinet Schoof. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-f525d4046079b0beabc6f897f79045ccf2246e08/pdf>

⁴ Voortgangsbrief Minister van Klimaat en Groene Groei aan de Tweede Kamer, 16 mei 2025. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2025/05/16/voortgangsbrief-nieuwbouw-kernenergie-mei-2025>

⁵ Kamerstuk kernenergie sept 2024. <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32645-131>

⁶ Website Ministerie van Klimaat en Groene Groei over kernenergie. <https://www.overkernenergie.nl/actueel/nieuws/2024/11/15/minister-hermans-informeert-kamer-over-stand-van-zaken-nieuwbouw-kerncentrales>

- Door kernenergie zadelen we onze kleinkinderen en achterkleinkinderen op met een radioactief afvalprobleem, waar geen definitief veilige oplossing voor bestaat.
- Door in te zetten op kernenergie stellen we de welvaart en het welzijn van de Nederlandse samenleving in de waagschaal. Eerdere catastrofale ongelukken met kerncentrales laten zien dat de kans op een alles ontwrichtende ramp niet achteloos kan worden weggewuifd of gebagatelliseerd.

WEDEROPSTANDING VAN KERNENERGIE

Na decennialange afwezigheid wordt kernenergie in Nederland weer volop gepromoot. Plannen voor kerncentrales waren er ook in de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw. Onder druk van maatschappelijk protest zijn die toen in de ijskast gezet. Dat verzet was mede gebaseerd op wetenschappelijke studies, die de maatschappelijke schaduwzijden van kernenergie belichtten. De schrijvers van dit rapport waren indertijd betrokken bij een aantal van die studies die aantoonde dat de risico's van kernenergie zich vooral laten samenvatten als: "kleine kansen, grote gevolgen". De kansen op catastrofale ongelukken zijn weliswaar klein, maar de gevolgen kunnen leiden tot grootschalige en langdurige maatschappelijke ontwrichting. In de jaren '80 ontstond de breed gedragen opvatting - mede gevoed door de kernramp in Tsjernobyl - dat de maatschappij dat soort ontwrichtende gevolgen niet accepteerde, ook al was de (berekende) kans daarop klein. Daarmee was het idee van nieuwe kerncentrales in Nederland doodverklaard.

In de jaren daarna is de kernenergiesector sterk voor zijn belang blijven opkomen. Dat is begrijpelijk want de sector verkeert economisch al heel lang in zwaar weer.^{7,8} De klimaatcrisis is nu zijn reddingsboei geworden. De sector profileert kernenergie als onmisbare en noodzakelijke techniek, die bovendien economisch en milieutechnisch concurrerend zou zijn met zon en wind. Het Kabinet blijkt gevoelig voor deze beeldvorming en neemt een aantal argumenten over, waaronder:⁹

- Kernenergie draagt bij aan energiezekerheid (door diversificatie van de energievoorziening en door minder afhankelijkheid van het buitenland);

⁷ De internationale branchevereniging van de kernenergie-industrie, de World Nuclear Association, riep bij monde van haar voorzitter op tot nauwe samenwerking om te kunnen overleven. World Nuclear Association, 2023, World Nuclear Performance Report 2023, 5. Director General's Concluding Remarks.

⁸ "70+ Years of Nuclear Power World Nuclear Power Reactors 1951 – 2024". The World Nuclear Industry Status Report Interactive Data. <https://www.worldnuclearreport.org/reactors.html#tab=iso>

⁹ Overheidspagina kernenergie. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/kernenergie#anker-2-waarom-het-kabinet-kiest-voor-meer-kernenergie>

- Kernenergie helpt om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen.

Beide argumenten zijn echter op drijfzand gebouwd, zoals we in dit rapport duidelijk zullen maken. Voorts gaat het Kabinet volledig voorbij aan de conclusies uit eerdere studies, terwijl die meer dan ooit relevant zijn. Is kernenergie nu wel veilig toepasbaar zonder de risico's van langdurige maatschappelijke ontwrichting door een groot ongeluk? In dit rapport zullen we beargumenteren dat dit niet het geval is en dat in bepaalde opzichten de risico's zelfs zijn toegenomen.

We gaan eerst in op de argumenten die het Kabinet noemt: energiezekerheid en vermindering van broeikasgassen. Vervolgens worden de kosten bij de invoering van kernenergie voor de samenleving besproken. Tot slot gaan we in op de opslag van radioactief afval en de risicoaspecten.

Voor de berekeningen wordt uitgegaan van centrales met een vermogen van 1.600 MWe.¹⁰ Hoewel nog niet vaststaat wat het vermogen van de nog te bouwen centrales zal zijn, worden de conclusies van dit onderzoek niet anders.

ENERGIEZEKERHEID

Voor energiezekerheid spelen twee soorten argumenten: (1) het opvangen van dalen in het fluctuerende aanbod van wind- en zonne-energie (energieflauwte) en (2) het verkleinen van het risico op onvoldoende energieaanbod door verschillende energiebronnen te gebruiken en door minder afhankelijk te worden van andere landen (risicospreiding).

Energieflauwte

In 2050 zal onze energievoorziening klimaatneutraal moeten zijn. Het Kabinet wil dat realiseren door een combinatie van wind- en zonne-energie, kernenergie en een klein aandeel overige bronnen. Een kerncentrale van 1.600 MWe draagt ongeveer 1,3% bij aan het huidige Nederlandse energiegebruik.¹¹ Voor de geplande vier centrales gaat het dus om ongeveer 5%. De overige bronnen leveren hooguit een paar

¹⁰Die waarde gebruikt het ministerie van Economische Zaken en Klimaat bij zijn opdracht voor het onderzoek van TenneT. <https://www.tennet.eu/nl/nieuws/netinpassing-nieuwe-kerncentrales-borssele-en-maasvlakte-onderzocht>

¹¹ Het totale energieverbruik in Nederland ligt de laatste jaren tussen de 3.000 en 3.500 PJ per jaar, ofwel zo'n 900 TWh per jaar. Een kerncentrale van 1.600 MWe levert per jaar ongeveer 11,5 TWh (bij een capaciteitsfactor van 82%, een praktijkgemiddelde over alle westerse kerncentrales), ofwel een kleine 1,3 % van het totale verbruik.

procent, zodat 85-90% van wind- en zonne-energie zal moeten komen.¹² Kortom, of we in de toekomst wel of geen kernenergie gebruiken, wind en zon zullen verreweg de belangrijkste energiebronnen gaan vormen voor een klimaatneutrale energievoorziening.

Een probleem daarbij is dat zon en wind het soms gelijktijdig laten afweten ('energieflauwte' genaamd). Het Kabinet en de kernenergielobby beweren dat kernenergie nodig is om die tekorten op te vangen. Dat suggereert dat de kerncentrales worden aangeschakeld bij gebrek aan zon en wind en weer worden uitgeschakeld bij voldoende aanbod. In de praktijk gaat echter iets heel anders gebeuren, en de geplande kerncentrales zijn helemaal niet bedoeld om zo'n tijdelijk tekort op te vangen. Is het idee energieflauwte alleen door kerncentrales op te vangen, dan zouden die op zo'n moment vrijwel de hele Nederlandse energievoorziening moeten overnemen. Daar zouden dan zo'n 80 kerncentrales voor nodig zijn. Dat is ondenkbaar; energieflauwte kan alleen worden opgelost door een combinatie van energieopslag en uitwisseling van elektriciteit tussen Europese landen. Dat gebeurt nu al, maar de capaciteit daarvan moet fors worden uitgebreid.

De geplande kerncentrales zullen dan ook een heel andere rol spelen in het energiesysteem. Een commerciële kerncentrale is ontworpen om zoveel mogelijk continu te werken, als basisvoorziening. Dit vooral om de kosten te beheersen, maar ook vanuit het oogpunt van veiligheid. Dat is echter moeilijk uitvoerbaar in een systeem dat gedomineerd wordt door wind- en zonne-energie. Stel, je hebt een periode met volop zon en veel wind. Het energieaanbod is dan veel groter dan de vraag. In een open energiemarkt kiest de gebruiker dan voor wind- en zonne-energie omdat die verreweg het goedkoopst zijn (zie het hoofdstuk over 'kosten'). De elektriciteit die de kerncentrale produceert, wordt dan niet afgenomen en de centrale zou dan uit productie moeten gaan. Omdat zon en wind fluctuerend energie leveren zal er een overcapaciteit moeten zijn waarbij de helft van het jaar meer wordt geproduceerd dan nodig is en de andere helft juist te weinig. Als kerncentrales de energieflauwte moeten opvangen kunnen ze dus de helft van het jaar worden uitgeschakeld. Het gevolg is dat de kosten per nucleair geleverde MWh flink stijgen.

Het is dan economisch gezien veel verstandiger om ook voor kernenergie extra mogelijkheden te creëren om energie op te slaan, en zo zit het ook in de plannen.¹³ Er

¹² Dat wil niet zeggen dat we alleen nog maar elektriciteit zullen gebruiken. Voor een deel zal ook gebruik worden gemaakt van synthetische brandstoffen als bijv. waterstof. Maar die moeten worden gemaakt met behulp van duurzame bronnen en daarvoor zal meer dan 90% van de primaire bronnen uit wind- en zonne-energie moeten bestaan.

¹³ Op het "Dashboard Klimaatbeleid" wordt de productie van waterstof d.m.v. kernenergie als een optie genoemd. <https://dashboardklimaatbeleid.nl/mosaic/mosaic/kernenergie>

zijn plannen om kernenergie in te zetten om waterstof te produceren. Die waterstof kan dan op andere momenten worden ingezet om elektriciteit te produceren, of als aandrijving voor voertuigen door middel van brandstofcellen. Kernenergie zal dus helemaal niet ingezet worden om energieflawwtes op te vangen maar vooral om energie te bufferen, bijv. in de vorm van waterstof.

Kerncentrales zijn technisch ook helemaal niet geschikt om vaak aan en af te schakelen, en erg inflexibel als het gaat om snel te kunnen reageren op overschotten of tekorten op het elektriciteitsnet.¹⁴ De praktijk wijst dit inmiddels al uit. In Finland was er in 2023 gedurende enige tijd een overschot aan de productie van elektriciteit. De nieuwe Finse kerncentrale Olkiluoko-3 kon echter niet snel genoeg worden afgeschakeld om de productiekosten te beheersen.¹⁵

Of we nu wel of geen kerncentrales bouwen, we zullen een flinke opslagcapaciteit voor energie nodig hebben om energieflawwtes te kunnen overbruggen. De capaciteit die hiervoor nodig is, is af te leiden uit een recente scenariostudie van het KNMI. Over een periode van 30 jaar gemeten blijkt het hoogste tekort in een aaneengesloten periode 8 maal het gemiddelde dagverbruik te zijn. Een opslagcapaciteit voor 8 dagen, ofwel ongeveer 2% van het jaarverbruik, is dan toereikend om de energievoorziening voldoende zeker te stellen. In de praktijk zal dat zelfs aanmerkelijk minder zijn. De KNMI-studie gaat uit van windenergie op land terwijl veruit de meeste windenergie op zee wordt opgewekt, waar het vaker en harder waait.¹⁶ De periodes van energieflawwte zullen dus korter zijn dan het KNMI heeft afgeleid uit de weerstatistiek. Verder is van belang dat Nederland deel uitmaakt van een Europees netwerk waarbij internationaal stroom wordt uitgewisseld. Een groot deel van de Nederlandse energieflawwtes wordt daardoor effectief opgevangen door energieopwekking in andere landen. Noordelijke Europese landen profiteren op die manier

¹⁴ ENGIE - zelf exploitant van kerncentrales - geeft aan dat het uit veiligheidsoverwegingen niet gewenst is een kerncentrale geregeld te moduleren (de productie af- en op te schalen). Deze ingrepen in het productieproces zijn zelfs officieel in aantal en in tijdsduur fors beperkt. <https://nuclear.engie-electrabel.be/nl/kernenergie/kernvragen-over-de-kerncentrales/kunnen-kerncentrales-niet-opgestart-worden-enkel>

¹⁵ In Finland was een overschot aan elektriciteit ontstaan door de overvloedige regenval en de waterkrachtcentrales die Finland heeft voor de elektriciteitsproductie. Die moesten in werking blijven en zo werd de Olkiluoko-3 centrale tijdelijk overbodig. De producent moest zelfs betalen voor de geleverde overtollige stroom. <https://www.blocktrainer.de/blog/neues-atomkraftwerk-sorgt-fuer-negative-strompreise-in-finnland-fehler-oder-fortschritt>

¹⁶ Uit cijfers van het CBS valt af te leiden dat het rendement van windenergie op zee 40-50% hoger ligt dan bij windenergie op land. <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/rapportages/2023/hernieuwbare-energie-in-nederland-2022/4-windenergie>

van de meer overvloedige zonneshijn in Zuid-Europa, en windstilte in het ene land wordt deels opgevangen door meer wind in andere landen. De benodigde opslagcapaciteit zal dan eerder in de buurt van 1% van het Nederlandse jaarverbruik liggen.

Het argument dat kernenergie nodig is als reserve voor fluctuaties in het aanbod van zon en wind snijdt dan ook geen hout. Willen we kernenergie kosteneffectief toepassen, dan blijft extra opslagcapaciteit nodig. En of die opslagcapaciteit nu wordt gevuld met zon en wind of met kernenergie maakt niets uit voor de energiezekerheid. Het is dan ook uiterst kortzichtig dat het Kabinet een verhoging van het budget voor kernenergie met €9,5 miljard ‘compenseert’ met een verlaging van €1,2 miljard van het budget voor energieopslag met accu’s en waterstof.¹⁷

Diversificatie en (on)afhankelijkheid

Diversificatie van energiebronnen kan bijdragen aan energiezekerheid omdat daardoor de (tijdelijke) uitval van één van de bronnen kan worden opgevangen. De levering van brandstoffen, grondstoffen en materialen uit het buitenland kan om politieke of technische redenen worden beperkt, en het is dan nuttig dat er andere opties zijn. Kan de energiezekerheid dan ook worden verhoogd door pakweg 5% van de energievoorziening in ons land te vervangen door kernenergie? Theoretisch gezien lijkt dat zo te zijn, maar in de praktijk is het tegendeel het geval.

Zonder die 5% kernenergie zou de energiezekerheid ook met zon en wind kunnen worden bereikt. Verder kan de energiezekerheid worden verhoogd door energie te besparen. Ten opzichte van de huidige situatie draagt grootschalige toepassing van wind- en zonne-energie veel bij aan de energiezekerheid omdat die bijdraagt aan een verminderde afhankelijkheid van buitenlandse leveranties van olie en gas.

Bij grootschalig gebruik van zon en wind zal het risico van technische mankementen toenemen. Omdat dit echter decentrale energiesystemen zijn, zal een technisch falen maar een klein deel van het opgestelde vermogen betreffen. Verder maken zonnepark- en windturbine-installaties noodzakelijkerwijs al gebruik van grootschalige energieopslag zodat een tijdelijke uitval van een deel van het productiesysteem goed kan worden opgevangen. Een kerncentrale met een vermogen van 1.600 MWe is een grootschalige installatie. De uitval van zo’n centrale betekent direct een verlies van ruim 1% aan capaciteit.

Voor energiezekerheid is er nog een tweede factor van belang, namelijk dat we met kernenergie voor de behandelingsprocessen afhankelijk worden van verschillende

¹⁷ Regeerprogramma kabinet Schoof. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-f525d4046079b0beabc6f897f79045ccf2246e08/pdf>

buitenlanden voor het benodigde uranium, de verwerking daarvan tot brandstofstaven en het verwerken van het radioactief afval. Voor de kerncentrale in Borssele gaat het om Kazachstan, Duitsland en Frankrijk.¹⁸ Kazachstan heeft één van de grootste uraniumvoorraden in de wereld en het Kazachse bedrijf Kazatomprom is de grootste producent van uranium. Tot eind 2024 had het Russische bedrijf Rosatom¹⁹ een 49,9% aandeel in Kazatomprom maar heeft dat aandeel verkocht aan het Chinese staatsbedrijf voor de winning van uranium.²⁰ Meer inzetten op kernenergie betekent dat we ons meer afhankelijk maken van deze landen. Dat draagt zeker niet bij aan de Nederlandse energiezeekerheid.

Vergelijken we een situatie van 100% door zon en wind opgewekte energie met de situatie waarin 5% door kernenergie is vervangen dan is de eerste situatie minder kwetsbaar en meer energiezeeker. Beide situaties hebben technische risico's van uitval maar de situatie met kernenergie is daarnaast politiek kwetsbaar door afhankelijkheid van landen met een weinig stabiele reputatie of landen waar we een gespannen relatie met hebben.

Als men vast wil houden aan het diversiteitsaspect door kerncentrales te bouwen, dan zal het tenminste 20 jaar duren voordat deze diversiteit is gerealiseerd. In de tussentijd zal de energiezeekerheid op peil moeten worden gehouden maar het tegendeel wordt bereikt door langer afhankelijk te blijven van diverse landen voor de levering van olie en gas. En als de centrales in bedrijf komen wordt die afhankelijkheid vervangen door een andere afhankelijkheid, namelijk van de buitenlandse leveranciers van uranium en diverse diensten die nodig zijn om de centrales te laten draaien. Deze vorm van diversificatie levert meer afhankelijkheid en juist minder energiezeekerheid op.

Door de oorlog in Oekraïne is duidelijk geworden hoe kwetsbaar energiesystemen kunnen zijn, maar daardoor is ook aangetoond hoe met relatief geringe inspanning veel energie kan worden bespaard. De vele tientallen miljarden euro's, nodig voor de kerncentrales, kunnen ook worden besteed aan energiebesparing, energieopslag voor ongeveer 1% van het Nederlandse jaarverbruik, verzwaring van het elektriciteitsnet en een klein deel extra capaciteit voor wind- en zonne-energie. Dan wordt met gemak en tegen veel lagere kosten die 5% gehaald die de kerncentrales kunnen

¹⁸ Herman Damveld, "Kernenergie geen oplossing voor het broeikaseffect". <https://milieu.vvm.info/milieu-2023-5-clean-air-for-europe/reacties/>

¹⁹ Rosatoom speelt een centrale rol in diverse delen van het Europese kernenergieprogramma. Zie "Die Nuklearfalle: Putins Deals mit dem Westen". ZDF/ARTE documentaire.

²⁰ Persbureau Reuters: https://www.voanews.com/a/russia-sells-out-of-vast-kazakh-uranium-deposits-to-china-/7904119.html?utm_source=copilot.com

bijdragen aan onze energiebehoefte.²¹ Omdat door de bouw van kerncentrales grote hoeveelheden belastinggeld worden weggezogen, die ook voor meer permanente oplossingen te gebruiken zouden zijn, verlagen de kerncentrales juist de energieze-kerheid.

BROEIKASGASEMISSIES

Er is een wereldwijde politieke overeenstemming om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Als tussenstap moet Nederland in 2030 55% minder broeikasgassen uitstoten vergeleken met 1990, en voorts zet de Nederlands regering in op netto nul uitstoot van het elektriciteitssysteem in 2035.²²

In oktober 2024 verscheen een rapport van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) dat concludeert dat Nederland de doelstelling voor 2030 waarschijnlijk niet zal halen.²³ Kan kernenergie helpen om het tij te keren? Integendeel, kernenergie vormt juist een extra struikelblok, ook voor de doelen van nul-emissies van het elektrici-teitssysteem in 2035 en van het gehele energiesysteem in 2050. Een belangrijke oor-zaak is de lange tijd die nodig is voordat een kerncentrale in bedrijf komt.

Sinds het jaar 2000 is in Europa en Noord-Amerika de bouw gestart van slechts zes kerncentrales. Daarnaast zijn twee bouwstarts in de VS na enkele jaren gestaakt na-dat de geschatte bouwkosten waren gestegen van \$9,8 miljard tot \$25 miljard.²⁴ De praktijk van afgelopen twintig jaar toont aan, dat de bouw van een kerncentrale in de westerse wereld zo'n 10 tot 17 jaar duurt (zie Tabel 1).²⁵ Nemen we ook de voor-bereidingsfase mee (doorlopen van alle vergunningenprocedures, de tenderfase en het financieringstraject) dan duurt het in de praktijk 15-20 jaar voor een kerncen-trale operationeel is.

²¹ De 5% bijdrage is gebaseerd op het huidige energiegebruik. Mocht dat de komende de-cennia toenemen, dan wordt rond 2040-2045 de procentuele bijdrage van de kerncentrales kleiner.

²² Nationaal Plan Energiesysteem. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/12/01/nationaal-plan-energiesysteem>

²³ PBL, Klimaat- en Energieverkenning 2024. <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2024>

²⁴ Potter 2023. <https://ifp.org/nuclear-power-plant-construction-costs/>

²⁵ World Nuclear Power Reactors 1951-2024. <https://www.worldnuclearreport.org/reactors.html#tab=iso>

Tabel 1: Bouwtijden kerncentrales

Kerncentrales met bouwstart na 2000		Bouwstart	Voltooiing ^{a)}	Bouwduur (excl. voortraject)
1	Hinkley Point C1 (Engeland)	2018	na 2030 ^{b)}	meer dan 12 jaar
2	Hinkley Point C2 (Engeland)	2018	na 2031 ^{b)}	meer dan 13 jaar
3	Flammanville 3 (Frankrijk)	2007	eind 2024	17 jaar
4	Vogtle-3 (USA)	2013	2023	10 jaar
5	Vogtle-4 (USA)	2013	2024	11 jaar
6	Olkiluoto-3 (Finland)	2006	2023	17 jaar

^{a)} Jaar van aansluiting op het elektriciteitsnet

^{b)} Schatting door de bouwers van medio 2024

Het dichtbevolkte Nederland kent lange vergunningprocedures, en het is daarom waarschijnlijk dat Nederland eerder aan de bovengrens dan aan de ondergrens van de 15-20 jaar zal zitten. Uitgaande van de meest recente ervaringen zullen de geplande Nederlandse centrales op zijn vroegst in 2040, maar waarschijnlijk pas in 2045 operationeel kunnen zijn. Echter, ook verdere vertragingen zijn niet ongebruikelijk, waardoor het eventueel ook 2050 zou kunnen worden voordat de eerste centrale in Nederland in werking treedt. In de voortgangsbrief aan de Kamer van mei 2025 van de toenmalig Minister van Klimaat en Groene Groei, Sophie Hermans, geeft ze aan dat het eerdere doel van 2035 onrealistisch is en dat men nu mikt op eind jaren '30.²⁶ Maar ook die termijn lijkt niet erg realistisch.

Een wezenlijke vraag is, hoe groot de bijdrage aan de CO₂-vermindering zal zijn. In de beeldvorming is het geloof ontstaan dat bij het gebruik van kernenergie geen CO₂ vrijkomt. De Nederlandse overheid spreekt daarom van 'CO₂ vrije elektriciteit'.²⁷ Dat is een misleidende voorstelling van zaken. Bij de productie van elektriciteit komt bij de centrale zelf inderdaad geen CO₂ vrij. Maar voor de productie van verrijkt uranium (de 'brandstof' van de kerncentrale) en de verwerking van het radioactief afval zijn diverse fysische en chemische processen nodig die wél CO₂ uitstoten. Die processen vinden in verschillende landen plaats, maar voor de opwarming van de aarde maakt

²⁶ Voortgangsbrief Minister van Klimaat en Groene Groei aan de Tweede Kamer, 16 mei 2025. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2025/05/16/voortgangsbrief-nieuwbouw-kernenergie-mei-2025>

²⁷ Dashboard Klimaatbeleid. <https://dashboardklimaatbeleid.nl/mosaic/mosaic/kernenergie>

het niet uit waar de uitstoot plaatsvindt. Daarnaast worden er ook flinke hoeveelheden CO₂ uitgestoten bij de bouw en de uiteindelijke ontmanteling van de kerncentrales.

Met zoveel schakels in de keten is het niet verwonderlijk dat diverse studies een ruime spreiding aangeven voor de CO₂-emissies van kernenergie.²⁸ Een aantal onafhankelijke onderzoeksrapporten noemen een spreiding van 78 tot 190 gram CO₂ per kWh.²⁹ Daarbij gaat men uit van uraniumerts met een concentratie die de afgelopen decennia gebruikelijk was. Echter, de voorraden met hoge concentraties raken langzamerhand uitgeput. Dat betekent dat meer energie nodig zal zijn om het erts te winnen en het uranium eruit te halen. Daardoor zullen de CO₂-emissies van de uraniumwinning op termijn fors gaan toenemen. Tegen de tijd dat de Nederlandse centrales in bedrijf komen, kan dat al gauw leiden tot een extra toename van zo'n 30 gram CO₂ per kWh.³⁰ Tegen 2045 zullen de CO₂-emissies van het gebruik van kernenergie dan waarschijnlijk in de range van 110-220 gram CO₂ per kWh liggen. Ter vergelijking: voor wind is dit 10-12 gram en voor zon, afhankelijk van diverse omstandigheden, 15-55 gram. Bij kernenergie wordt dus ruwweg 5-10 keer zoveel CO₂ uitgestoten als bij wind- en zonne-energie.

Kiezen voor de kerncentrales betekent dan dat we nog 20 jaar lang energie moeten blijven opwekken met fossiele bronnen met emissies van omstreeks 480 gram CO₂ per kWh. Die emissies worden nog verder verhoogd omdat de bouw van een kerncentrale aanzienlijke extra emissies van CO₂ veroorzaakt. Gebruiken we dezelfde investeringen om zon en wind op korte termijn te stimuleren (inclusief energieopslag) dan zitten we na een beperkt aantal jaren op enkele tientallen grammen CO₂ per kWh, een factor 10-20 lager dan voor de fossiele brandstoffen die nodig blijven tijdens de bouw van een kerncentrale. Als we tegelijkertijd flink investeren in energiebesparing dan levert dat voor dat deel zelfs 100% vermindering van CO₂-uitstoot.

²⁸ Dat hangt onder andere af van het uraniumgehalte van het erts, gebruik van een open of gesloten cyclus, gebruik van afgedankt militair hoogverrijkt uranium, etc.

²⁹ Herman Damveld, "Kernenergie geen oplossing voor het broeikaseffect". <https://milieu.vvm.info/milieu-2023-5-clean-air-for-europe/reacties/>

³⁰ J.W. Storm van Leeuwen, 8 juni 2020. "CO₂-emissions of Nuclear Power: the whole picture." Nuclear Monitor 886. De auteur noemt een spreiding van 7,1 gr CO₂/kWh voor erts met een hoog uraniumgehalte (Canadese mijnen met 7% en meer) tot 57,4 CO₂/kWh voor laag gehalte (o.a. Namibië met 0,03%). Door uitputting van mijnlocaties met een hoog uraniumgehalte zal een verschuiving optreden naar erts met een lager uraniumgehalte waardoor de kosten oplopen en de CO₂-emissies stijgen.

De volgende bron geeft een inzicht in de voorraden economisch winbaar uranium, afhankelijk van de aangenomen kostprijs. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium#appendice>

Zoals eerder gemeld, rapporteerde het PBL dat Nederland zijn reductiedoelstellingen voor 2030 zeer waarschijnlijk niet gaat halen. Als we inzetten op kernenergie is ook de Nederlandse doelstelling van 0% emissies voor elektriciteit in 2035 een illusie, omdat we veel langer aan olie en gas vastzitten. Nederlandse kerncentrales vormen dus een groot struikelblok om de korte termijn reductiedoelstellingen voor broeikasgassen te halen. Ook op lange termijn kan kernenergie maar een beperkte bijdrage leveren en zijn wind- en zonne-energie 5-10 keer zo efficiënt.

KOSTEN VAN KERNENERGIE

Kostenposten

Om de kosten van kernenergie te kunnen bepalen moeten we niet alleen naar de kosten van de centrales kijken maar óók naar de kosten van de gehele brandstofketen. Bijlage A geeft een overzicht van de kosten die daarbij meegenomen moeten worden.

Een probleem bij het maken van een schatting van de kosten is dat voor sommige posten geen publiekelijk toegankelijke cijfers bestaan. Verder liggen sommige activiteiten in de toekomst (bijv. ontmanteling; berging afval) of strekken zich over een lange toekomst uit (stijgende kosten uraniumwinning) waardoor we alleen maar ruwe schattingen kunnen geven. Daarnaast zijn er kosten die een tijdsperiode beslaan van meer dan anderhalve eeuw, inclusief de berging van radioactief afval.³¹ Met zoveel verschillende factoren en onzekerheden verbaast het niet dat de kosten-schattingen sterk uiteenlopen.

Hieronder bespreken we kort een aantal kostenposten. Verschillende onderdelen worden in Bijlage A verder uitgewerkt.

Bouw- en financieringskosten kerncentrales

De bouw- en financieringskosten van westerse kerncentrales vertonen al decennia-lang een sterk stijgende trend. Belangrijke oorzaken zijn de steeds verder toegenomen veiligheidseisen, de prijs van de grondstoffen voor de bouw en stijgende kosten voor financiering door de steeds langere bouwduur en hogere rentes vanwege toenemende zorgen bij financiers over rentabiliteit. In Europa en Noord-Amerika zijn de afgelopen 25 jaar slechts zes centrales gebouwd of in aanbouw. Daarbij blijkt dat er

³¹ Volgens EPZ zal pas begin volgende eeuw een besluit worden genomen over de eindberging van het afval van de huidige centrale in Borssele, honderdvijftig jaar na de planning van de centrale.

een ruime spreiding zit in de (geschatte) bouwkosten voor die centrales. Die zijn voor een belangrijk deel te verklaren doordat de belanghebbenden bij kernenergie bepaalde kosten buiten beschouwing laten en misleidende cijfers presenteren (zie Bijlage A). Minister Hermans noemde in haar voortgangsrapportage van mei 2025 een bedrag van €15 miljard voor één centrale van 1.600 MW, exclusief rente. Inclusief financieringskosten komt dat waarschijnlijk neer op een bedrag van meer dan €30 miljard voor elke Nederlandse centrale (zie Bijlage A).

Dat betekent dat de vier geplande Nederlandse centrales €120 miljard kunnen gaan kosten. Het kabinet heeft daar tot op heden €14,5 miljard voor gereserveerd, wat betekent dat men verwachtte dat de private sector de overige €100 miljard zou financieren. Er is echter grote terughoudendheid bij private investeerders om in kernenergie te investeren. Volgens Vattenfall, zelf mede-eigenaar en exploitant van vijf kerncentrales in Zweden, is de bouw van een klein aantal nieuwe kerncentrales in Zweden financieel niet levensvatbaar.³² Ook het Duitse EnBW, eigenaar van vijf gesloten Duitse kerncentrales, geeft aan dat kernenergie verreweg de duurste energiebron is.³³ De Europese Investeringsbank en de Wereldbank hebben zich zelfs uitgesproken tégen financiering van de kernenergiesector vanwege de complexiteit en de hoge risico's, maar ook "vanwege de problemen die deze energie oplevert vanuit het oogpunt van milieu-, sociale en bestuursnormen".³⁴

De recente praktijk laat zien dat private investeerders alleen willen meefinancieren als de overheid harde garanties geeft voor de financiële risico's zoals de dekking van tegenvallers en kostenoverschrijdingen.³⁵ Men kan ook een rendementsgarantie vragen, bijvoorbeeld een door de overheid gegarandeerde minimum elektriciteitsprijs, zoals bij de Engelse Hinkley Point C kerncentrale.

Eind 2024 gaf Minister Hermans aan dat "het onwaarschijnlijk is dat een substantieel deel van de investering voor de bouw van vier centrales gedekt kan worden door financiering van marktpartijen."³⁶ Inmiddels blijkt dat de pogingen om private investeerders te vinden volledig zijn mislukt. Commerciële partijen zijn niet bereid het

³² Vattenfall, "Working for Fossil Freedom". Annual and Sustainability Report 2023, p. 27.

³³ EnWB Unternehmen. <https://www.enbw.com/unternehmen/themen/klimaschutz/kernkraft-kosten.html>

³⁴ Financial Times, 30 September 2024.

³⁵ University of Groningen, Centre for Economics Energy Research, 2022. Policy Papers nr. 12.

³⁶ Brief aan de 2e Kamer, 22 november 2024. <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-klimaat-en-groene-groei/documenten/kamerstukken/2024/11/22/stand-van-zaken-van-de-nieuw-te-bouwen-kerncentrales>

grote risico te nemen dat gepaard gaat met de bouw en exploitatie van een kerncentrale. De benodigde €120 miljard zal daarom volledig van de Staat moeten komen. Die rekening komt uiteindelijk bij de belastingbetaler terecht, en in de loop der jaren gaat alleen al de bouw van de geplande kerncentrales een Nederlands huishouden gemiddeld ruim €14.000 kosten.³⁷

Kosten van ontmanteling

Ontmanteling houdt in dat de kerncentrale uit bedrijf wordt genomen. De enige representatieve ervaring met ontmanteling en afbraak van een middelgrote commerciële kerncentrale is de Duitse 640 MWe Würgassen-centrale, die door het energiebedrijf E.ON werd geëxploiteerd. De ontmanteling en verdere verwijdering heeft 20 jaar geduurd, ongeveer gelijk aan de bouwtijd, en kostte €1,2 miljard.³⁸ Bijlage A geeft een aantal overige schattingen die in de range van €1,5-3 miljard per ontmanteling liggen.

Exploitant EPZ van de huidige kerncentrale in Borssele reserveert voor de ontmantelingskosten slechts circa 600 miljoen euro. Gelet op ervaringen elders lijkt dat veel te weinig; wanneer EPZ zijn centrale sluit, zal er nog een forse rekening voldaan moeten worden door de toekomstige belastingbetaler.

Kosten radioactief afval

De permanente eindopslag van radioactief afval is een technisch complex proces en om die reden omgeven met grote onzekerheden. Er bestaan heel verschillende opvattingen over of en hoe dat veilig zou kunnen. Hoewel er nu al 70 jaar radioactief afval in kerncentrales wordt geproduceerd, is er nog nergens een permanente opslag in gebruik. Wel is in Finland onlangs een technisch voorzieningcomplex voor de geologische opslag van hoogradioactief afval gereedgekomen.³⁹ De joint venture firma Posiva verwierf de bouwopdracht in 2015 voor 3,5 miljard.⁴⁰ De opslag is bedoeld als permanente opslagvoorziening en de ingebruikname is gepland voor 2026. De Finse staatsonderneming ONKALO zal de opslag exploiteren, die bedoeld is voor

³⁷ Volgens het CBS telt Nederland 8,37 miljoen huishoudens.

³⁸ E.ON heeft een buitengewoon verhelderend verslag-rapport geschreven van de ontmanteling en verdere afbraak. Het rapport is voor een breed publiek geschreven. E.ON Kernkraftwerk Würgassen, 12 Jahre erfolgreicher Rückbau. <https://www.atommuellreport.de/daten/detail/akw-wuergassen.html>

³⁹ Website Vattenfall. <https://group.vattenfall.com/press-and-media/newsroom/2023/finland-to-open-the-worlds-first-final-repository-for-spent-nuclear-fuel>

⁴⁰ Website Ingenieur.de. <https://www.ingenieur.de/wirtschaft/finland-genehmigt-weltweit-erstes-endlager-fuer-atommuell/>

het radioactief afval van de eigen centrales. In Zweden is in 2022 groen licht gegeven voor de bouw van een geologische opslagvoorziening waarvoor de kosten worden geschat op 2 miljard dollar.⁴¹

In Zwitserland heeft Stenfo, de nationale onderneming voor het uit bedrijf nemen van kerncentrales en de verwijdering en opslag van radioactief afval, in 2021 een kostenstudie uitgevoerd. Men schatte de kosten op ruim €4 miljard per centrale.⁴² De Duitse regering verwacht dat de kosten voor de berging van radioactief afval tot het jaar 2100 €170 miljard gaan bedragen.⁴³ Dat komt neer op ongeveer €15 miljard per kerncentrale. De Britse rekenkamer verwacht dat de gezamenlijke kosten van ontmanteling en de opslag van radioactief afval uit Britse centrales omstreeks €18 miljard per centrale zullen bedragen.⁴⁴

Er zit een flink verschil tussen de verschillende schattingen. Hierbij is relevant dat de lagere bedragen van belanghebbende organisaties komen, terwijl de Britse schatting van een onafhankelijke maar gezaghebbende bron komt. We mogen daarom aannemen dat een schatting van €5 miljard per centrale voor de berging van radioactief afval eerder aan de lage dan aan de hoge kant zal zijn.

Totale kosten kernenergie

De totale kosten van de elektriciteitsproductie worden meestal uitgedrukt in euro's per opgewekte MWh (€/MWh). We gaan uit van een centrale van 1.600 MWe die 30 jaar draait met een gemiddelde belasting van 85%. Op basis van het voorgaande nemen we voor de bouw- en financieringskosten een bedrag van €30 miljard, voor de ontmantelingskosten €2 miljard en voor afvalberging €5 miljard, waardoor het totaal op €37 miljard per centrale komt. Deze vaste kosten leveren daarmee een bijdrage aan de productiekosten van elektriciteit van ruim 100€/MWh.⁴⁵

⁴¹ Website Power. <https://www.powermag.com/trial-run-at-finlands-onkalo-repository-sets-stage-for-worlds-first-spent-nuclear-fuel-disposal/>

⁴² Website Stenfo. <https://www.stenfo.ch/kosten-beitraege/>

⁴³ Deutscher Bundestag, Drucksache 20/7300. "Kosten des Rückbaus und der Entsorgung radioaktiver Abfälle".

⁴⁴ Nuclear Decommissioning Authority. Annual Reports and Accounts 2023-2024. <https://www.gov.uk/government/publications/nuclear-decommissioning-authority-annual-report-and-accounts-2023-to-2024/nuclear-decommissioning-authority-annual-report-and-accounts-2023-to-2024#case-studies-for-202324>

⁴⁵ We gaan uit van een productie van 12 TWh/jaar door een centrale van 1.600 MWe (capaciteitsfactor c.q. productieniveau van 85%) en een bedrijfsperiode van 30 jaar. Dit resulteert in $37 \cdot 10^9$ € gedeeld door $30 \cdot 12 \cdot 10^6$ MWh = 103€/MWh

Daar komen echter nog een aantal posten bij voor uraniumwinning en -verwerking en voor de exploitatie van de centrale (personeel, onderhoud, reparaties; zie Bijlage A). De kerncentrale te Borssele produceert elektriciteit tegen een kostprijs van €58 per MWh.⁴⁶ Deze prijs is uitsluitend gebaseerd op de operationele kosten. Omdat de centrale inmiddels tot de oudsten in Europa behoort (53 jaar), drukken de bouwkosten niet meer op de exploitatie. Die operationele kosten kunnen we dus optellen bij de eerdere berekening, waardoor we op een totale schatting van 158 €/MWh komen voor nieuw te bouwen kerncentrales. Overigens wil het Kabinet de centrale in Borssele na 2033 in bedrijf houden.⁴⁷ Daar zullen extra investeringen voor nodig zijn om de noodzakelijke revisies te kunnen bekostigen. De kosten per MWh zullen hierdoor stijgen.

De geraamde kosten van 158 €/MWh zijn in lijn met een aantal andere schattingen van onafhankelijke bronnen (zie Bijlage A). Het is ook in overeenstemming met de meest recente gegevens over de kerncentrale Hinkley Point C, die nu in Engeland wordt gebouwd. Daarvoor geldt van overheidswege een prijsgarantie voor de exploitant in het geval dat de energie uit de kerncentrale duurder is dan de marktprijs. Die prijsgarantie loopt mee met inflatie en andere onvoorziene kosten. In september 2023 werd daarom een prijs gegarandeerd van 128,09 £/MWh,⁴⁸ ofwel 151 €/MWh.

Bij onze berekening van 158 €/MWh zijn een aantal zaken laag ingeschat. Wij gingen uit van een relatief lage rente van 4%. Gegeven de enorme financiële risico's van investeringen in kernenergie lijkt dat eerder te laag dan te hoog geschat. Verder zijn de kosten voor ontmanteling en afvalberging ook laag ingeschat. Het lijkt dan ook realistisch om aan te nemen dat de kosten van elektriciteitsproductie door de nieuw te bouwen Nederlandse kerncentrales ruim bóven de 160 €/MWh uitkomen.

⁴⁶ De financiële jaarverslagen van 2022 en 2023 laten zien dat bij een omzet van ruim 203 miljoen euro een break-even point ligt voor de winst. Uitgaande van een gerealiseerde jaarproductie 3,5 TWh resulteert dat in een kostprijs van 58 €/MWh.

⁴⁷ Voor de verlenging van de bedrijfsvoering van de kerncentrale Borssele is het nodig om de Kernenergiewet te wijzigen. In dit kader is de Commissie van de MER om advies gevraagd om de effecten op het milieu te beoordelen. Zie ook: NRG en ARCADIS, 14 juni 2024, Samenvatting milieueffectrapport *Wijziging van de kernenergiewet Ministerie van Economische Zaken en Klimaat*.

⁴⁸ Elektriciteit uit nieuwe Britse kerncentrale kost meer dan 15 cent per kilowattuur. <https://www.renewablepress.com/energy/press-release-7986-hinkley-point-c-strom-aus-neuem-britischem-atomkraftwerk-kostet-ueber-15-cent-pro-kilowattstunde-nl>

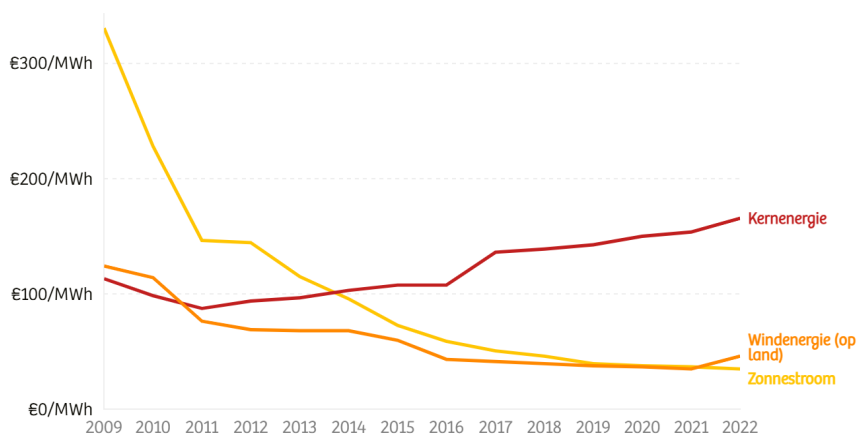
Vergelijking met zon en wind

Laten we deze kostprijs vergelijken met de kosten van energie uit andere bronnen. Voor offshore windenergie ligt dat in de orde van 80 €/MWh en voor zonneparken in de orde van 30-40 €/MWh (zie Bijlage A). Voor zonnepanelen op daken varieert dat van 65-175 €/MWh waarbij het hoge cijfer vooral geldt voor grote daken die versterkt moeten worden. Voor geïntegreerde nieuwbouw is het geen probleem om onder de 100 €/MWh te komen. Daarmee is kernenergie dus zeker een factor anderhalf tot tweemaal duurder dan wind- en zonne-energie.

Toekomstige energiemarkt

Om voor de nieuw te bouwen Nederlandse kerncentrales een goede kostenvergelijking te kunnen maken, moeten we niet naar de huidige energiemarkt kijken maar naar de energiemarkt rond 2045, wanneer de centrales in gebruik komen. Die blik is uiteraard speculatief, maar een recente trendanalyse geeft wel een bruikbare indicatie. Figuur 1 geeft de kostenontwikkeling van kernenergie in het recente verleden en vergelijkt die met wind- en zonne-energie. Op grond van de trend in figuur 1 kunnen we verwachten dat tegen 2045 het prijsverschil tussen wind- en zonne-energie en kernenergie verder zal zijn toegenomen.

Figuur 1: Kostenontwikkeling kernenergie in vergelijking met zon en wind.⁴⁹ De figuur is een versimpelde weergave uit het origineel van LAZARD.⁵⁰



⁴⁹ Kernenergie: niet nodig, niet slim en niet te betalen. <https://decorrespondent.nl/15355/kernenergie-niet-nodig-niet-slim-en-niet-te-betalen/a95a368a-57e8-0a02-3771-a37846ed2fba>

⁵⁰ LAZARD Levelized Cost of Energy analysis. <https://www.lazard.com/media/sptlfats/lazards-levelized-cost-of-energy-version-150-vf.pdf>

De trend van de afgelopen jaren maakt het voor financiers extra risicovol om te investeren in kernenergie. Voor de Hinkley Point C -kerncentrale heeft EDF, de bouwer en tevens financier, daarom een prijsgarantie bedongen die fors hoger ligt dan de huidige en de in de toekomst te verwachten marktprijs voor elektriciteit.

Er ligt een wereldwijd commitment om vóór 2050 klimaatneutraal te worden, en vrijwel alle landen zetten volop in op de verdere ontwikkeling van wind- en zonne-energie om dat te bereiken. Dat betekent dat rond 2045, wanneer de Nederlandse centrales in bedrijf kunnen komen, het overgrote deel van de energievoorziening op zon en wind zal zijn gebaseerd om in 2050 op 85-90% te kunnen uitkomen. De marktprijs voor elektriciteit zal dan naar alle waarschijnlijkheid ruim onder de 100€/MWh liggen, zelfs als de kosten van wind- en zonne-energie niet verder zouden dalen. In een geliberaliseerde energiemarkt zullen er dan nauwelijks nog klanten zijn die kern-energie willen afnemen waarvan de prijs hoger dan 160 €/MWh ligt.

Energieaanbieders zien die trend en zullen daarom alleen in kernenergie stappen als de overheid waterdichte garanties geeft voor de afname van kernenergie, met een gegarandeerde minimumprijs en het afdekken van kostenoverschrijdingen, zoals beschreven voor Hinkley Point C. Het is veelzeggend dat Minister Hermans in haar voortgangsbrief van mei 2025 een financieringsmodel bespreekt voor een Britse kerncentrale. In dat model moeten Britse eindgebruikers een opslag op de energierekening betalen om de meerkosten van kernenergie te dekken.⁵¹ Ongeacht de constructie die de overheid kiest voor de Nederlandse kerncentrales: duidelijk is dat de energiegebruiker of belastingbetaler uiteindelijk structureel en decennialang fors zal moeten bijbetalen voor het gebruik van nucleaire elektriciteit.

Maatschappelijke kosten

Behalve de financiële kosten zijn er ook nog de maatschappelijke kosten voor de directe omgeving. Tijdens de bouwperiode van 15 jaar krijgt de woonomgeving te maken met zwaar bouwverkeer en moeten duizenden mensen tijdelijk worden gehuisvest. Volgens Minister Hermans kan dit oplopen tot 10.000 werklieden. De bouw van de kerncentrale Hinkley Point C geeft een indruk van wat dat betekent. Het terrein is zo groot dat het een volwaardig wegennet heeft, compleet met stoplichten en zebrapaden. Honderden bussen rijden elke dag naar en van het terrein, en er is een constante stroom van vrachtwagens met bouwmaterialen.⁵² Tijdens de sloop

⁵¹ Voortgangsbrief Minister van Klimaat en Groene Groei aan de Tweede Kamer, 16 mei 2025. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2025/05/16/voortgangsbrief-nieuwbouw-kernenergie-mei-2025>

⁵² Jaap Tielbeke, "Komt er nu wel een Borssele 2?", De Groene Amsterdammer, Jrg. 148, nr.12 (21 maart 2024), pp.22-29.

van de centrale, die ook 15-20 jaar kan duren (zie Bijlage A), wordt dat proces herhaald. De omgeving krijgt dus in totaal ruim 30 jaar te maken met een grote bouw- en sloopput. Geen enkele andere bouwactiviteit veroorzaakt zoveel en zo lang overlast voor de omgeving.

Slotbeschouwing over kosten

Eind zestiger jaren bleek al dat kernenergie aanmerkelijk duurder was dan elektriciteit geproduceerd door conventionele kolen- en gascentrales. Die situatie is tot op heden verder veranderd in het nadeel van kernenergie.⁵³ Dat kernenergie desondanks een gunstig imago heeft bij een overgrote meerderheid van de Tweede Kamerleden en een flink deel van de samenleving, komt mede doordat men geen goed beeld heeft van de kostenstructuur. Bij de besluitvorming worden bepaalde kosten buiten beeld gelaten en gaat men uit van onrealistisch lage ramingen (zie Bijlage A). Vooral het weglaten van de financieringskosten kan het beeld erg vertekenen.

Een bijkomend probleem is dat veel van die ramingen van belanghebbende instanties en bedrijven komen. Die hebben uiteraard een groot belang bij de bouw van de Nederlandse centrales. Zij zullen daarom zo laag mogelijke of zelfs onrealistische schattingen presenteren. De geschiedenis van grote, miljarden kostende projecten laat zien dat de kosten van dergelijke projecten structureel met tientallen procenten worden onderschat. Veelal blijken de uiteindelijke kosten van megaprojecten, zoals de bouw van kerncentrales, het dubbele of meer te bedragen van de ramingen die bij de besluitvorming zijn gehanteerd. Omdat die projecten alleen maar van start gaan met forse overheidsgaranties, zal uiteindelijk de belastingbetaler opdraaien voor de meerkosten.

De les die we daaruit kunnen trekken is dat een goede besluitvorming over de financiële aspecten alleen gebaseerd kan worden op ramingen die door onafhankelijke instanties moeten worden gemaakt of moeten worden beoordeeld. Die kosten moeten niet alleen op zich worden beoordeeld, maar ook worden vergeleken met recente ervaringen elders. Anders is niet te beoordelen hoe realistisch de gepresenteerde ramingen zijn. Politieke besluitvormers, die het brede maatschappelijke belang voor ogen hebben, zullen contra-expertise analyses moeten verlangen als voorwaarde om tot een afgewogen besluit te kunnen komen.

⁵³ Het World Nuclear Industry Status Report 2023 geeft een goed overzicht van de ontwikkeling van de kernenergie. Het rapport baseert zich op openbare gegevens die door de kernenergie-industrie zelf geleverd worden. <https://www.worldnuclearreport.org/-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2023-.html>

VEILIGHEID VAN KERNCENTRALES

De huidige plannen voor nieuwe kerncentrales gaan volledig voorbij aan de risico's die verbonden zijn aan het gebruik van kernenergie. In de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw vormde dat juist de kern van de discussie, en terecht. De praktijk liet namelijk zien dat die risico's groot zijn. Zó groot dat een catastrofe kan leiden tot ontworteling van de Nederlandse samenleving. We zullen die aspecten daarom opnieuw tegen het licht houden.

Uit een aantal zware ongevallen met kerncentrales blijkt hoe omvangrijk de gevolgen kunnen zijn. In 1979 werd voor de eerste keer duidelijk dat het met een kerncentrale grondig mis kan gaan. In het Amerikaanse Harrisburg smolt toen, door een combinatie van menselijke fouten en technisch falen, de reactorkern van de Three Miles Island-centrale. Hierdoor kwam een grote hoeveelheid radioactief gas in de atmosfeer terecht. Latere analyse leerde dat door meer geluk dan wijsheid een veel omvangrijper ramp was voorkomen. In 1986 gebeurde de volgende ramp toen de kernsmelting en -brand in Tsjernobyl in Oekraïne leidde tot een enorme radioactieve wolk over grote delen van Europa, waardoor tot in Nederland, op 2.000 km afstand, werd gewaarschuwd voor het consumeren van voedingsgewassen. Na 40 jaar is een groot gebied rond de centrale nog steeds onbewoonbaar. In 2011 trad een kernsmelting op van de kerncentrale in het Japanse Fukushima. Een groot gebied werd radioactief besmet en 150.000 mensen moesten worden geëvacueerd. Volgens gegevens van de Japanse regering uit 2019 waren er tot die tijd door het ongeval 2.268 mensen omgekomen.⁵⁴ De totale kosten werden in 2019 geraamd op €215 tot €500 miljard.⁵⁵ Waarschijnlijk zouden deze cijfers voor Nederland een zware onderschatting zijn omdat Nederland veel dichter bevolkt is dan het achterland van Fukushima. Hoewel dat soort cijfers niet nauwkeurig zijn te bepalen, maakt dit wel duidelijk dat het aantal dodelijke slachtoffers gemakkelijk in de duizenden kan lopen en dat de maatschappelijke en financiële kosten onvoorstelbaar hoog kunnen zijn.

Nederland is een klein en dichtbevolkt land. Bij een zwaar ongeval met een kerncentrale in Borssele of op de Maasvlakte zullen de vrijkomende radioactieve stoffen, bij

⁵⁴ Volgens het regeringsrapport was het leeuwendeel van deze doden het gevolg van de chaotische evacuatie, stress, medische onderbrekingen en slechte opvangomstandigheden. Er waren weinig directe doden door radioactieve straling maar door de lange incubatietijd van kanker door lage stralingsdoses kan dat in de toekomst nog aanzienlijk oplopen. Voor het ongeval in Tsjernobyl, dat 40 jaar geleden is, schat de WHO het aantal doden op langere termijn op 4.000 - 9.000. Andere bronnen noemen veel hogere schattingen.

⁵⁵ Volgens het Japan Center for Economic Research geschat op 35-80 biljoen yen (koers 21 jan 2025: 1 yen = 0,0062€). <https://www.jcer.or.jp/english/accident-cleanup-costs-rising-to-35-80-trillion-yen-in-40-years>

de overheersende westelijke of noordwestelijke windrichting, zich verspreiden over een groot deel van het land, waaronder dichtbevolkte agglomeraties als Rotterdam, Den Haag of de Brabantse stedenband. Een gebied ter grootte van circa 600 km² zal voor meer dan een jaar niet toegankelijk zijn omdat de stralingsdosis ver boven de veiligheidsnorm zal liggen.

In Bijlage B is beschreven wat men zich ruimtelijk kan voorstellen bij een kerncentrale-ongeval op de Maasvlakte, wanneer een flink deel van de inhoud van de reactorkern zou vrijkomen bij een westelijke wind zoals die in Nederland vaak voorkomt. De besmetting die de Fukushima-centrale heeft veroorzaakt na de kernsmelting in 2011 geeft een goede indicatie hoe catastrofaal die gevolgen kunnen zijn. Door de hoge bevolkingsdichtheid zullen in korte tijd een miljoen of meer bewoners elders een veilig heenkomen moeten vinden, en dat voor lange tijd. Daar hebben we in Nederland simpelweg de mogelijkheden niet toe. De mensen in de ‘veilige gebieden’ zullen de binnenlandse vluchtelingen lang niet allemaal kunnen of willen opvangen. De Rotterdamse haven zal jarenlang platliggen, waardoor een groot deel van het economisch verkeer tot stilstand komt. De door radioactieve besmetting onbewoonbaar en economisch onbruikbaar geworden gebieden zullen de samenleving volkomen en langdurig ontwrichten. De export van agrarische producten wordt onmogelijk omdat het buitenland deze niet zal accepteren.

Volgens de kernenergiesector is de nieuwe generatie kerncentrales veiliger dan de oudere generatie. Dat betreft alleen de kans op het technisch falen van de centrale. De belangrijkste oorzaken van grote ongevallen met kerncentrales zijn echter niet die van technisch falen, hoewel dat kan meespelen. Op basis van een analyse van de ongevallen in Harrisburg en Tsjernobyl wees het rapport “Herbezinning Kernenergie” van de Gezondheidsraad er in 1989 al op, dat oorzaken vooral liggen in het (falend) functioneren van organisaties (gebrekkige veiligheidscultuur, communicatieproblemen, enz.), van instituties (regelgeving en toezichthouders) en in het falend menselijk handelen (bijvoorbeeld door misinterpretatie van of onkunde over alarmerende signalen). Ook het over het hoofd zien of negeren van mogelijk bedreigende externe gebeurtenissen bij het ontwerp van kerncentrales (zoals de tsunami bij Fukushima) kan ertoe leiden dat daar onvoldoende bescherming tegen geboden wordt.

Het kernongeval van Fukushima heeft nogmaals bevestigd dat het vooral menselijk falen was dat de omvang van de ramp bepaalde. De drie eerdergenoemde ongevallen maken ook pijnlijk duidelijk wat de langetermijngevolgen zijn. De berekende kansen op zulke ongevallen blijken in feite van zeer weinig waarde; het zijn de grote

gevolgen van maatschappelijke ontwrichting die het risico bepalen. Het is in dit verband veelzeggend dat de verzekeringsbranche geen waarde toekent aan de berekende kansen op een zwaar kerncentraleongeval.

Kerncentrales in het dichtbevolkte Nederland vormen daarmee een continue bedreiging voor onze samenleving als geheel. Dat is zelfs wettelijk vastgelegd omdat de kerncentrale exploitant een zeer beperkte risicoaansprakelijkheid heeft wat betreft mogelijke vervolgschade. Zou de kerncentrale exploitant volledig risicoaansprakelijk zijn dan zou door de risicopremie de prijs van nucleaire elektriciteit onbetaalbaar worden.

Het is belangrijk dat deze risico's mee worden genomen bij de vraag of kerncentrales nodig of wenselijk zijn. Waarom zouden we dit risico willen lopen? Temeer, als er duurzamere en goedkopere alternatieven zijn die kerncentrales overbodig maken.

Een andere belangrijke veiligheidsfactor is het terrorisme dat de afgelopen decennia steeds sterker en 'intelligenter' is geworden. Ook in de vorige eeuw was het gevaar van terrorisme een punt van discussie, waarbij men alleen aandacht had voor gevaar 'van buiten'. Gedacht werd aan een mogelijke aanslag met explosieven op kerncentrales of andere installaties in de kernenergieketen. Door de toegenomen afhankelijkheid van computersystemen bestaat er tegenwoordig echter een veel groter gevaar. Dat is het gevaar 'van binnenuit' door het hacken van de computers die een kerncentrale besturen en die essentieel zijn om de energieproductie te regelen. De recente geschiedenis van de ultracentrifuge-installatie in Iran laat zien dat zelfs de meest beveiligde en geavanceerde nucleaire systemen gehackt en ontregeld kunnen worden. Ook hier was het zwakke punt de menselijke factor, waarbij een undercover werknemer het zogeheten Stuxnet-virus binnenbracht dat door Israël en de VS is ontwikkeld. Hierdoor sloegen de centrifuges op hol met de vernietiging van de installatie tot gevolg. Dergelijke sabotagerisico's zijn zeer reëel. Onze minister-president zal zich daarvan op grond van zijn eerdere rol als Nationaal Coördinator Terro-risimebestrijding en Veiligheid (NCTV) zeker bewust zijn.

Zoals dat in Iran is gebeurd, kunnen ook de besturingscomputers van een kerncentrale worden gehackt. Omdat technische systemen nooit foolproof zijn, moet het altijd mogelijk blijven voor een menselijke operateur om in te grijpen bij de besturing. En daar zit het zwakke punt. Het is dan in principe ook mogelijk om met een computervirus de centrale dusdanig te ontregelen dat dat leidt tot het grootst denkbare ongeluk, te weten het smelten van de reactorkern. Dat zou leiden tot een ramp vergelijkbaar met Tsjernobyl en Fukushima. Bijlage C laat zien dat de risico's van zo'n computerhack de afgelopen decennia aanmerkelijk groter zijn geworden.

Kijken we tot slot naar het gebruik van kernenergie in de praktijk, dan is duidelijk dat door het toegenomen en geavanceerdere terrorisme kernenergie er de laatste jaren niet veiliger op is geworden. Dit in tegenstelling tot wat de sector beweert.

RADIOACTIEF AFVAL

Kerncentrales produceren kernafval waarvan een klein deel gedurende zeer lange tijd radioactief blijft. Dat afval is niet alleen radioactief maar ook uiterst giftig en mag daarom nooit in het leefmilieu terechtkomen.

Voor de opslag van kernafval wordt onderscheid gemaakt tussen tijdelijke opslag en eindberging. De tijdelijke opslag gebeurt bovengronds, waarbij men ervan uitgaat dat dat minstens honderd jaar moet duren, mede omdat er geen consensus is over de eindberging. De website van de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA), de organisatie die in Nederland verantwoordelijk is voor opslag en verwerking van radioactief afval, meldt dat pas in het jaar 2100 wordt besloten over de eindberging.⁵⁶

Volgens het Nationaal Programma Radioactief Afval mogen wij geen “onredelijke lasten” neerleggen bij latere generaties.⁵⁷ Wij zadelen onze kleinkinderen en achterkleinkinderen rond de komende eeuwwisseling echter op met een enorm en uiterst kostbaar probleem. We laten hun een hoeveelheid radioactief en zeer giftig materiaal na waar zij helemaal niets aan hebben. Het is bovendien negatieve economische waarde. Zullen zij dat tegen die tijd “redelijke lasten” vinden ...?

Laten we, om dat in te schatten, de rol van ‘gever’ en ‘ontvanger’ eens omdraaien. Stel dat onze overgrootouders rond 1900 een industrieel proces hadden gebruikt, waarbij enorme hoeveelheden uiterst gevaarlijk afval zouden zijn geproduceerd, dat aan onze generatie werd nagelaten. Zou de huidige generatie dat “redelijk” van onze voorouders hebben gevonden? Natuurlijk niet! We zouden ons afvragen hoe ze het in hun hoofd hebben kunnen halen om te kiezen voor handelingen waar zij voordeel bij hadden en om - zeer bewust - ons op te zadelen met de ellendige gevolgen daarvan.

Een dergelijke situatie heeft zich in de jaren '80 van de vorige eeuw voorgedaan. In de jaren '50 en '60 daarvoor zijn er, om goedkoop te kunnen produceren, grote hoeveelheden chemisch afval gedumpt op diverse plaatsen in Nederland. In de jaren '80

⁵⁶ Website COVRA. <https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/eindberging/>

⁵⁷ NPRA rapport op website van de rijksoverheid, p.5. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/straling/documenten/rapporten/2016/06/30/rapport-het-nationale-programma-voor-het-beheer-van-radioactief-afval-en-verbruikte-splijtstoffen>

moest een volgende generatie grootschalige bodemsaneringen uitvoeren om dat afval weer op te ruimen. Die latere generatie had echter geen goed woord over voor de oudere generatie die daar verantwoordelijk voor was. Wat wij nu doen met het radioactief afval is niet anders. Wij plukken de vruchten van het energiegebruik en laten onze nazaten met het levensgevaarlijke afval zitten. Laten zij maar zien hoe ze dat oplossen onder het motto: wie dan leeft, wie dan zorgt.

Voorstanders van kernenergie voeren anno 2025 ter verdediging van hun standpunt aan dat voor toekomstige generaties financiële reserveringen worden gemaakt om het afval te kunnen verwerken. Dat gereserveerde kapitaal is voor hen echter volstrekt betekenisloos. Wat voor toekomstige generaties telt is dat wij voor hen de ruimte beperken om zelf te kunnen kiezen waar zij zich mee zullen bezighouden. Wij dwingen hen om op grote schaal hun werkzaamheden af te stemmen op een saneringsoperatie om op die manier van uiterst gevaarlijk afval af te komen. Het is een voorbeeld van een ongehoorde dwang richting latere generaties.

Vervolgens wordt de generatie van de volgende eeuw gedwongen om het risico weer door te schuiven naar de generaties die na hen komen. Voorstanders van kernenergie betogen dat dat risico wel meevalt en dat een veilige eindberging mogelijk is die garandeert dat het kernafval tienduizenden jaren niet in het leefmilieu terecht kan komen. In Bijlage D laten we echter zien dat dat een misleidende aanname is die wetenschappelijk niet te verantwoorden valt. Er is alle reden om aan te nemen dat toekomstige generaties klein- en achterkleinkinderen ook tot de conclusie komen dat een absoluut veilige eindberging niet bestaat. Zij zullen niet meer worden misleid door voordelen van kernenergie omdat dat inmiddels een afgedankte technologie van vroeger is geworden. Wij zadelen hen dus op met een probleem dat in hun ogen fundamenteel onoplosbaar is en waar zij dan maar het beste van moeten zien te maken.

KERNENERGIE EN DE VERSPREIDING VAN KERNWAPENS

Kernenergie en kernwapens zijn nauw met elkaar verweven, omdat ze voor een belangrijk deel dezelfde technologie en dezelfde grondstoffen gebruiken. Het zgn. Non-Proliferatieverdrag probeert daar een kunstmatig onderscheid tussen te maken door het gebruik van kernenergie te stimuleren en de verdere verspreiding van kernwapens aan banden te leggen. Dit heeft echter niet kunnen voorkomen dat daarna toch drie landen kernwapens hebben ontwikkeld (India, Pakistan en Noord-Korea).

Nog veel problematischer is dat recente technologische ontwikkelingen het voor terroristische organisaties gemakkelijker hebben gemaakt om kernwapens te ontwikkelen. Een meer grootschalige toepassing van kernenergie maakt het in potentie

voor die organisaties ook makkelijker om aan het benodigde splijtbaar materiaal te komen. In Bijlage E werken we dit punt verder uit en betogen we dat dit in toenemende mate een serieus te nemen risico is geworden dat terdege in de besluitvorming een rol moet spelen.

KWAKKELENDE INDUSTRIE

In de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw heerste er een groot optimisme over de mogelijkheden van kernenergie, wat leidde tot de bouw van kerncentrales in diverse landen. Vanaf het midden van de jaren '70 keerde het tij en groeide in de westerse wereld de kritiek op kernenergie door de schaduwkanten ervan. Vooral na de ramp in Tsjernobyl in 1986 nam de groei flink af en sinds 2000 zijn er nauwelijks nog kerncentrales bijgekomen. De afgelopen tien jaar is door een effectieve kernenergie-lobby het optimisme over kernenergie teruggedraaid. Nieuwe generaties politici en burgers waren nauwelijks op de hoogte van de inzichten van de vorige eeuw en de (misleidende) belofte van CO₂-vrije elektriciteit maakte dit een aantrekkelijk alternatief.

Tijdens de klimaatconferentie in Dubai in 2023 deden de VS en 21 andere landen, waaronder Nederland, een oproep om het aandeel van kernenergie tegen 2050 te verdrievoudigen t.o.v. de huidige situatie. Dat doel is verre van realistisch omdat de industrie onmogelijk in staat zal zijn om de benodigde centrales zo snel te bouwen.^{58,59} De engineering- en bouwcapaciteit is simpelweg niet beschikbaar om dit te kunnen realiseren.

⁵⁸ Bulletin of the Atomic Scientists. <https://thebulletin.org/2023/12/nuclear-expert-myckle-schneider-on-the-cop28-pledge-to-triple-nuclear-energy-production-trumpism-enters-energy-policy/>

⁵⁹ Anno mei 2025 zijn er wereldwijd in 32 landen rond de 410 kernreactoren in bedrijf. Gezamenlijk produceren die ongeveer 370 GWe aan elektriciteit. Een verdrievoudiging van de nucleaire capaciteit betekent dat er 740 reactoren bijgebouwd moeten worden, als wordt uitgegaan van een capaciteit van 1.000 MWe per stuk. Dit aantal wordt nog hoger omdat de komende 25 jaar een groot aantal verouderde kerncentrales dicht zullen gaan. Van sommige zal waarschijnlijk de levensduur verlengd worden maar ook dat heeft invloed op de bouwcapaciteit voor nieuwe centrales. Dat betekent namelijk dat grote en kostbare revisies van bestaande kerncentrales nodig zullen zijn en dat die daartoe enkele jaren uit bedrijf zullen moeten gaan. Zo wenst de regering de levensduur van de kerncentrale Borssele na 2033 te verlengen tot mogelijk 70 jaar. (zie *ARCADIS en NRG, 14 juni 2024, Milieueffectrapport Wijziging van de kernenergiewet Ministerie van Economische Zaken en Klimaat*). De aan revisies toe zijnde centrales doen een extra beroep op de beperkt beschikbare engineering- en bouwcapaciteit en financiering. Er is weinig rekenkundige verbeeldingskracht nodig om in te zien dat zelf een verdubbeling van de nucleaire capaciteit tegen 2050 niet realistisch is.

Volgens een recent toonaangevend statusrapport over de nucleaire industrie is vanaf 2019 wereldwijd de bouw begonnen van 28 nieuwe kerncentrales, waarvan 17 in China en 11 in diverse andere niet-westerse landen. Die laatste worden allemaal gebouwd door de Russische nucleaire industrie. De westerse industrie, daarentegen, is in de afgelopen 5 jaar aan geen enkel nieuw bouwproject voor een kerncentrale begonnen.⁶⁰

De oproep van de 22 landen, waar China en Rusland overigens geen deel van uitmaakten, is dan ook in belangrijke mate ingegeven door de wens om de zieltogende westerse nucleaire industrie aan nieuwe orders te helpen. De branche zelf spreekt bij monde van zijn voorzitter over een dreigend failliet van de kernenergie als niet alle zeilen worden bijgezet om gezamenlijk op te trekken tegen de concurrerende goedkopere energiesystemen.⁶¹

De oproep tot verdrievoudiging van het aandeel kernenergie en de status van de industrie is voor Nederland op twee manieren relevant, t.w. het effect op de uraniumvoorraden en de status van de industrie.

Mocht de oproep inderdaad leiden tot een drastische toename van het aandeel van kernenergie dan zijn we snel door de bewezen en aannemelijke voorraden uranium heen. Volgens de World Nuclear Association zijn de voorraden uranium, winbaar bij een marktprijs van \$130/kg, toereikend voor 90 jaar bij het huidige aantal kerncentrales.⁶² Verdrievoudigen we het aandeel van kernenergie binnen de komende 25 jaar, dan zullen de economisch winbare bewezen en aannemelijke voorraden uranium voor 2070 op zijn.⁶³ Tegen de tijd dat de Nederlands centrales operationeel zouden kunnen zijn - na 2045 - moet voor een belangrijk deel al erts met een lager uraniumgehalte worden gewonnen. Dat leidt ertoe dat zowel de CO₂-emissies als de kosten per MWh geproduceerde energie, aanmerkelijk hoger zullen liggen dan in de

⁶⁰ World Nuclear Industry Status Report. <https://www.worldnuclearreport.org/-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2024-.html>

⁶¹ World Nuclear Association, 2023, World Nuclear Performance Report 2023, Ch. 5. Director General's Concluding Remarks. <https://world-nuclear.org/our-association/publications/global-trends-reports/world-nuclear-performance-report-2023>

⁶² Het criterium van \$130/kg uranium wordt gezien als een grens waaronder uranium economisch gezien als winbaar wordt beschouwd. De winbare aangetoonde en aannemelijke reserves bedragen 6,1 miljoen ton. Het jaarlijkse verbruik anno 2022 bedroeg 67,5 duizend ton. Daaruit volgt een economisch winbare reserve van 90 jaar bij het huidige aantal kerncentrales. Zou dat worden verdrievoudigd, dan kunnen we nog maar dertig jaar vooruit. <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium#appendices>

⁶³ Dit jaartal is het resultaat van de aanname dat in 2040 de nucleaire capaciteit is verdubbeld en dat in 2050 de verdrievoudiging is gerealiseerd (t.o.v. 2020).

huidige situatie.⁶⁴ Dit houdt in dat de Nederlandse centrales op termijn nog meer verliesgevend zullen zijn dan we hierboven hebben al afgeleid.

Wat betreft de status van de industrie: de centrales zouden gebouwd moeten worden door een industrie die jarenlang geen ervaring heeft onderhouden op het gebied van bouwprojecten voor een kerncentrale (tenzij we ze door Rusland of China laten bouwen). Volgens Vattenfall, de Zweedse exploitant van kerncentrales, heeft die periode van geringe activiteit geleid tot verlies van expertise en routine⁶⁵ die zich zou kunnen uiten in verminderde kwaliteit en/of langere bouwduur. Die langere bouwduur is in het recente verleden al gebleken bij alle kerncentrales die deze eeuw in Europa en de VS gebouwd zijn of gebouwd worden. We leveren ons daarmee uit aan een industrie die een overlevingsstrijd voert wat in het beste geval tot enorme kostenoverschrijdingen en een langere bouwduur zal leiden en in het slechtste geval tot een verminderde kwaliteit. Beide zijn in het licht van veiligheid en urgentie van het CO₂-probleem onacceptabel.

SLOTBESCHOUWING – WEERLEGGING VAN MISLEIDENDE CLAIMS

De meerderheid van de Tweede Kamerleden gelooft dat kernenergie zal bijdragen aan het verlagen van CO₂-emissies en aan energiezekerheid. In dit rapport hebben we laten zien dat deze aanname onhoudbaar is. De CO₂-reductie moet zo snel mogelijk worden gerealiseerd en kerncentrales bouwen betekent een uitstel van 15-20 jaar terwijl de emissies tot die tijd juist hoger worden. Allereerst omdat de maatschappij veel langer aan de hoge emissies van fossiele brandstoffen vastzit én omdat tijdens de bouw van de centrales een aanzienlijke hoeveelheid CO₂ vrijkomt. Daarna zullen de kerncentrales weliswaar binnen Nederland geen CO₂ uitstoten, maar via de activiteiten in de gehele splijtstofketen wél bijdragen aan de mondiale CO₂-emissie. De Nederlandse kerncentrales dragen dus wel degelijk bij aan de opwarming van de aarde. Daardoor zijn de CO₂-emissies van kernenergie 5-10 maal zo hoog als voor wind- en zonne-energie.

Het getuigt dan ook van een bedenkelijke onwetendheid of van cynisme om kernenergie te profileren als middel om CO₂-emissies te reduceren en te financieren vanuit het Klimaatfonds. Nog schrijnender is dat de reservering voor kernenergie van

⁶⁴ De huidige marktprijs van uranium ligt rond de \$80/kg maar dat zal op korte termijn gaan oplopen naar \$130/kg. Dat geeft aan dat het ook in de nabije toekomst al om moeilijker winbare voorraden gaat met hogere CO₂-emissies en hogere kosten dan tot nu toe gebruikelijk waren.

⁶⁵ Vattenfall, “Working for Fossil Freedom”. Annual and Sustainability Report 2023, pp. 26, 27.

9,5 miljard onder het Kabinet Schoof werd 'gecompenseerd' door de reservering voor energieopslag met 1,2 miljard te verlagen. Want juist energieopslag is essentieel voor een CO₂-neutrale energievoorziening met duurzame bronnen, ook als we inzetten op kernenergie.

In de besluitvorming worden de kosten van kernenergie schromelijk onderschat. Het is zeer aannemelijk dat de geplande vier centrales, inclusief de financieringslasten, meer dan €120 miljard zullen gaan kosten. Dat betekent dat kernenergie zeker anderhalf tot tweemaal duurder zal zijn dan wind- en zonne-energie, die in 2050 90% of meer zullen leveren. De overheid zal fors moeten bijbetalen om kernenergie concurrerend te houden en uiteindelijk komt die rekening bij de belastingbetaler terecht.

Kernenergie draagt wel bij aan diversificatie van energiebronnen, maar die diversificatie is geen doel op zich. Diversificatie is alleen zinvol als die bijdraagt aan energiezekerheid, en kernenergie verlaagt juist de energiezekerheid. Want ook bij kerncentrales blijven we afhankelijk van het buitenland voor het benodigde uranium, de fabricage van brandstofstaven en de verwerking van radioactief afval. Dat maakt Nederland afhankelijk van diverse buitenlanden terwijl het Kabinet juist bepleit dat we meer onafhankelijk moeten worden.

Het is zowel voor de CO₂-reductie als voor de energiezekerheid dan ook veel verstandiger om de voor kernenergie gereserveerde miljarden in te zetten voor het versnellen van het gebruik van zon en wind, voor energieopslag, voor verzwaring van het elektriciteitsnet en zeker voor grootschalige energiebesparingsprogramma's. Door deze prioriteiten nu daadkrachtig aan te pakken doen we direct iets aan het urgente probleem van de uitstoot van broeikasgassen en niet pas over 15-20 jaar. Dan zullen tegen die tijd de geplande kerncentrales compleet overbodig blijken te zijn en in plaats daarvan wordt op fundamentele wijze bijgedragen aan energiezekerheid.

De optie kernenergie is ook uit maatschappelijk oogpunt zeer problematisch. Met radioactief afval zadelen we toekomstige generaties op met een probleem dat wij zelf niet kunnen oplossen. De ongevallen van Harrisburg, Tsjernobyl en Fukushima laten zien dat catastrofale ongelukken met kerncentrales reëel zijn. Met het toenemend terrorisme is de kans daarop - door de mogelijkheid van hacken van een kerncentrale - er de laatste decennia zeker niet kleiner op geworden. Dat betekent dat we daarmee de welvaart en sociale samenhang in Nederland als geheel op het spel zetten. Dat risico is onverantwoord, zeker omdat er aanzienlijk betere en goedkopere alternatieven zijn.

Het World Nuclear Industry Status Report uit 2024 komt ook tot de conclusie dat kernenergie een achterhaalde technologie is en schrijft: “Contrary to widespread perception, nuclear power remains irrelevant in the international market for electricity generating technologies. Solar plus storage might be the game changer for the adaptation of policy decisions to current industrial realities.”⁶⁶

De maatschappij staat daarmee voor een fundamentele keuze: investeren in de technologie van het verleden of in de technologie van de toekomst? Investeren we in kerncentrales die pas over 15-20 jaar elektriciteit produceren en die tot die tijd het emissieprobleem juist verergeren? Of investeren we in toekomstbestendige oplossingen die op kortere termijn al bijdragen aan de energie-omwenteling om de opwarming van de aarde te beperken?

Die keuze zou niet moeilijk moeten zijn. Want, kort samengevat: kerncentrales in Nederland zijn volkomen overbodig, maatschappelijk uiterst onwenselijk, buitengewoon duur en belemmeren de ontwikkeling van een fundamenteel duurzame energievoorziening.

⁶⁶ World Nuclear Industry Status Report. <https://www.worldnuclearreport.org/-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2024-.html>

BIJLAGE A: Kosten van kernenergie

Om de kosten van kernenergie te kunnen bepalen moeten we niet alleen naar de kosten van de centrales kijken, maar naar de kosten van de gehele brandstofketen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de kosten die dan meegenomen moeten worden.

Tabel A1: Kostenposten voor kernenergie

Hoofdposten	Subposten
Kerncentrale	Planning en benodigde procedures (locatiekeuze, inspraak, vergunningen)
	Ontwerp- en bouwkosten (excl. financiering bouw)
	Personeel, onderhoud en reparaties
	Financieringskosten (die over de levensduur van de centrale nog hoger zijn dan de bouwkosten)
	Ontmanteling, verwerking sloopafval en installatierestanten (die deels radioactief zijn).
Brandstofketen	Uraniumwinning
	Benodigde chemische omzettingen van uranium, uraniumverrijking en productie brandstofstaven
	Opwerking van radioactief afval dat uit de centrale komt (scheiding van diverse bestanddelen)
	Berging van radioactief afval (eerst tijdelijke berging en later eindberging)

Hieronder bespreken we kort een aantal kostenposten en maken we aan het eind een vergelijking van de totale kosten met de kosten van energieopwekking door zon en wind.

Bouw- en financieringskosten van kerncentrales

Tabel A2 geeft een overzicht van de kapitaalkosten van westerse kerncentrales met een bouwstart vanaf 2000. Een probleem van vrijwel alle kostenramingen is dat onduidelijk is of de financiering van de bouw daarin is meegenomen. Voor de totale kosten maken we onderscheid tussen de kale bouwkosten ('overnight costs' genaamd; het bedrag dat aan de bouwers moet worden betaald) en de financieringskosten (het geleende bedrag van de financiers om de bouwers te kunnen betalen plus de daarover te betalen rente). Die financieringskosten zijn in de regel nog hoger

dan de bouwkosten. Nemen we bijvoorbeeld een rente van 4% en een centrale met €10 miljard bouwkosten die, na inbedrijfname, in 30 jaar worden afgelost, dan komt daar in totaal nog eens ruim €13 miljard aan rentekosten bij.⁶⁷ Als men bij de besluitvorming aangeeft dat een centrale €10 miljard bouwkosten vraagt, dan moet daar uiteindelijk dus €23 miljard voor worden betaald.

Tabel A2: Kapitaalkosten (bouw + financiering) van recente westerse kerncentrales

Kerncentrales na 2000 gebouwd of nog in aanbouw		Vermogen MWe	Voltooiing ^{a)}	Kosten in miljarden euro
1	Hinkley Point C1 (Engeland)	1.630	na 2030 ^{a)}	50 ^{b)}
2	Hinkley Point C2 (Engeland)	1.630	na 2031 ^{a)}	
3	Flammanville 3 (Frankrijk)	1.630	dec. 2024	19,1 ^{c)}
4	Vogtle-3 (USA)	1.000	2023	35,3 ^{d)}
5	Vogtle-4 (USA)	1.000	2024	
6	Olkiluoto 3 (Finland)	1.600	2023	11,1 ^{e)}

^{a)} Gepland jaar van aansluiting op het elektriciteitsnet.

^{b)} Schatting door bouwer EDF medio 2024.

^{c)} Vastgesteld door de Franse Rekenkamer (Cour des Comptes) in juni 2020.

^{d)} Voor beide centrales samen: <https://thirdact.org/georgia/2024/06/09/plant-vogtle-the-true-cost-of-nuclear-power-in-the-u-s/> (koers \$1 = €0,96).

^{e)} Oorspronkelijk geraamde kosten in 2005 3,2 miljard. <https://www.worldnuclear-report.org/Europe-s-First-EPR-13-Years-Behind-Schedule-Olkiluoto-3-in-Finland-Starts-Up>

Alleen voor Vogtle hebben we een bron kunnen vinden die expliciet onderscheid maakt tussen ‘overnight costs’ en financieringskosten. Daarin wordt een bedrag van \$8 miljard voor de bouwkosten per reactor genoemd.⁶⁸ Met een rente van 4% komt dat neer op totale kosten van ongeveer €18 miljard per reactor, ruwweg overeenkomend met het bedrag in Tabel A2 voor beide reactoren samen.

⁶⁷ Daar is geen simpele formule voor maar moet worden berekend met een annuïteitentabel. Tijdens de bouw loopt daarbij de schuld jaarlijks steeds verder op, mede door rente op rente omdat nog niets wordt afgelost. Nemen we een bouwtijd van 15 jaar en directe bouwkosten van €10 miljard, dan is na 15 jaar de totale schuld opgelopen tot bijna €14 miljard. Na inbedrijfname wordt de schuld jaarlijks deels afgelost en nemen de jaarlijkse rentebetalingen af omdat de schuldrest steeds lager wordt.

⁶⁸ Brian Potter, “Why does nuclear power plant construction cost so much?” <https://ifp.org/nuclear-power-plant-construction-costs/>

In tabel A2 valt op dat de kosten van de Finse centrale aanmerkelijk lager zijn dan die van de overige centrales. Wij vermoeden dat het Finse bedrag exclusief financieringskosten is, wat gegeven de financieringsconstructie ook plausibel is.⁶⁹

Wat betreft de Franse centrale is opvallend dat die aanmerkelijk goedkoper is dan de Britse terwijl het om hetzelfde type gaat; beide worden gebouwd door het Franse staatsbedrijf EDF. Hier manifesteert zich het gegoochel met bouwkosten. EDF zelf publiceerde een bedrag van €13,2 miljard voor de bouwkosten van Flammanville 3, een bedrag dat door de krant Le Monde is overgenomen.⁷⁰ De Franse rekenkamer heeft echter becijferd dat daar nog financieringskosten bij komen en komt tot een bedrag van €19,1 miljard. Dan zijn de financieringskosten wel relatief laag, wat verklaard kan worden doordat EDF, dat zowel de bouwer als de opdrachtgever van de centrale is, een staatsbedrijf is dat sterk gesteund wordt door de Franse overheid. Het bedrag van de Franse centrale is daarom lager dan elders moet worden betaald. Voor hetzelfde type Britse centrale schat EDF dat die €25 miljard per stuk gaan kosten.

Voor de Nederlandse kerncentrales gaf Minister Hermans aan dat de eerste twee samen naar schatting €20-30 miljard zullen gaan kosten.⁷¹ De ondergrens is voor een centrale van 1.000 MW, de bovengrens voor 1.650 MW. In dit rapport gaan we uit van een centrale van 1.600 MW wat dan neer zou komen of €15 miljard per centrale. Dat is echter exclusief rentelasten, zoals de minister expliciet aangeeft. Gaan we uit van 4% rente dan kunnen we ervan uitgaan dat de Nederlandse kerncentrales uiteindelijk meer dan €30 miljard per stuk zullen gaan kosten.

We komen dan op €120 miljard als schatting voor de vier geplande Nederlandse kerncentrales. Het kabinet heeft daar tot nu toe (juni 2025) €14,5 miljard voor uitgetrokken. Dus verwachtte het kabinet bij aantreden dat de private sector de overige ruim 100 miljard euro zou financieren. Inmiddels is gebleken dat het niet lukt

⁶⁹ De Finse centrale wordt voor een belangrijk deel gefinancierd door grootafnemers die tevens aandeelhouder in de centrale zijn. Rentekosten kunnen daardoor in de financieringsopzet buiten beschouwing blijven. De aandeelhouders zullen die kosten echter wel in hun respectievelijke eigen jaarrekeningen moeten opnemen, waardoor het grootste deel van de kosten van de centrale voor de buitenwacht verborgen blijft. <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/finland>

⁷⁰ Website Le Monde. https://www.lemonde.fr/en/france/article/2024/12/21/france-s-most-powerful-nuclear-reactor-connected-to-grid-after-17-year-build_6736344_7.html

⁷¹ Voortgangsbrief Minister van Klimaat en Groene Groei aan de Tweede Kamer, 16 mei 2025. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2025/05/16/voortgangsbrief-nieuwbouw-kernenergie-mei-2025>

om private investeerders te vinden en blijft alleen de Nederlandse overheid over als financier. De volledige €120 miljard zal dus uit de rijksbegroting moeten komen.

Financiering van kerncentrales

Er is al jaren een grote terughoudendheid van private investeerders om in kernenergie te investeren; zij zijn daar alleen toe bereid als de overheid harde garanties geeft voor de dekking van tegenvallers en kostenoverschrijdingen. De Britse regering heeft daartoe bijv. een overeenkomst met de exploitant EDF gesloten voor een prijsgarantie voor de geleverde elektriciteit die aanmerkelijk boven de huidige marktprijs ligt.

Private investeerders vinden de investeringsrisico's voor kerncentrales veel te hoog omdat investeringen in kerncentrales vrijwel altijd verliesgevend blijken te zijn.⁷² Veelzeggend is dat diverse kernenergie-marktpartijen recent aangekondigd hebben zich uit de kernenergie terug te trekken.⁷³ Ook Vattenfall, mede-eigenaar van zes kernreactoren in Zweden, liet onlangs weten dat de bouw van kerncentrales financieel niet levensvatbaar is.⁷⁴ Volgens Vattenfalls Hoofd Nucleair, Comstedd, gaat de bouw van een infrastructuur van nucleaire elektriciteitsproductie gepaard met aanzienlijke financiële risico's. Dat vereist overheids garanties en -investeringen om de risico's voor private grote investeerders op een acceptabel niveau te brengen. Dit maakt een kerncentrale tot een van de duurste vormen van elektriciteitsproductie, aldus Comstedd.

De Belgische tak van de Franse elektriciteitsmaatschappij ENGIE liet onlangs weten geen brood te zien in een levensduurverlenging van Doel 4 en Tihange 3 met twintig jaar, noch in een levensduurverlenging van de oudste kerncentrales. ENGIE wil de levensduur met hooguit 10 jaar verlengen. Volgens ENGIE zal dit het grootste industriële project ooit in België zijn. Geraamde kosten: 1,5 tot 2 miljard euro. Volgens de

⁷² University of Groningen, Centre for Economics Energy Research, 2022. Policy Papers nr. 12.

⁷³ De Franse elektriciteitsleverancier ENGIE kondigde in juni 2023, bij monde van baas Adrei Stinu, aan dat kernenergie geen corebusiness meer zal zijn. De onderneming gaat zich richten op zonne- en windenergietechnieken. Kerncentralebouwer Siemens heeft zich teruggetrokken uit de kernenergie. De Japanse kerncentralebouwer Hitachi trok zich in 2021 terug uit de voorgenomen bouw van een nieuwe kerncentrale kerncentrale te Wylfa op het eiland Anglesey, behorend tot Wales. De financiële risico's werden Hitachi te groot en de onderneming nam liever zijn 2,4 miljard euro verlies dan verder te gaan met het project.

⁷⁴ Vattenfall, "Working for Fossil Freedom". Annual and Sustainability Report 2023.

CEO van ENGIE zal de bouw van nieuwe kerncentrales te duur uitpakken om elektriciteit tegen concurrerende prijs te kunnen leveren.⁷⁵

Opvallend is dat veel kerncentrales in de VS uit bedrijf zijn genomen ruim vóór het einde van hun technische levensduur. Tussen 2009 en 2023 zijn 12 centrales in de VS stilgelegd.⁷⁶ In 2017 was 1/3 van de kerncentrales onrendabel geworden door een verliesgevende exploitatie. De federale overheid moet inmiddels faillissementen voorkomen van tal van kerncentrale-exploitanten. De regering Biden stelde in 2021 een subsidiefonds beschikbaar van \$6,5 miljard om faillissementen te voorkomen. De kosten van onrendabele kerncentrales worden dus uiteindelijk verhaald op de burger.

Kosten van ontmanteling

Ontmanteling houdt in dat de kerncentrale uit bedrijf wordt genomen. Een aantal jaren later worden de brandstofstaven verwijderd en het radioactief afval afgevoerd naar een opslagvoorziening van tijdelijke aard. Vervolgens wordt de gehele centrale afgebroken en wordt het terrein weer teruggebracht naar een nieuwe landschappelijke staat.

De kosten van ontmanteling beginnen nu pas duidelijk te worden. Medio 2023 zijn inmiddels 212 reactoren permanent uit bedrijf genomen, waarvan 130 in Europa. Slechts 22 reactoren zijn volledig ontmanteld. Het overgrote deel hiervan betrof reactoren met een klein vermogen.

De enige representatieve ervaring met ontmanteling en afbraak van een middelgrote commerciële kerncentrale is de Duitse 640 MWe Würgassen-centrale, die door het energiebedrijf E.ON werd geëxploiteerd. De kosten bedroegen 1,2 miljard euro die door E.ON zijn betaald. De ontmanteling en verdere verwijdering heeft 20 jaar geduurd,⁷⁷ ongeveer gelijk aan de bouwtijd. Mede daardoor zijn de ontmantelingskosten aanzienlijk. De ontmanteling van een kleinere commerciële centrale van

⁷⁵ Vincent Verbeke de CEO van ENGIE in het blad Trends van 24-01-2025: “Kernenergie maakt geen deel meer uit van de strategie van ENGIE. Kernenergie is door de strenge regelgeving een dure technologie om elektriciteit op te wekken. De verhouding tussen return en risico zit niet goed voor private investeerders. Over de voorbije twintig jaar hebben we per saldo verlies gemaakt met kernenergie in België.”

⁷⁶ World Nuclear Industry Status Report 2023, p 223. <https://www.worldnuclearreport.org/World-Nuclear-Industry-Status-Report-2023>

⁷⁷ E.ON heeft een buitengewoon verhelderend verslag-rapport geschreven van de ontmanteling en verdere afbraak. Het rapport is voor een breed publiek geschreven. E.ON Kernkraftwerk Würgassen, 12 Jahre erfolgreicher Rückbau. <https://www.atommuellreport.de/daten/detail/akw-wuergassen.html>

236 MWe, Gundremmingen A, was pas na 23 jaar voltooid. De kosten bedroegen 2,2 miljard euro.^{78,79}

Vattenfall, die zijn kerncentrale Brunsbüttel ontmantelt, schat de kosten van ontmanteling van zijn centrales in Duitsland op circa 1,5 miljard euro per centrale. De Britse rekenkamer heeft de kosten voor ontmanteling van een 1.000 MWe-centrale geraamd op £1,8 miljard, bijna €2,2 miljard.

De World Nuclear Association (internationale branchevereniging van de nucleaire industrie) geeft als schatting van de ontmantelingskosten een waarde van 9% tot 15% van de initiële kapitaalkosten van een centrale. Met bouwkosten per centrale van rond de €20 miljard komt dat neer op een bedrag van twee tot drie miljard. Dat is in lijn met bovenstaande voorbeelden.

Kosten radioactief afval

De kosten van permanente opslag van het hoogradioactief afval zijn hoog. Die opslag is een technisch zeer complex proces en om die reden ook omgeven met grote onzekerheden. In Duitsland blijken de opslagkosten van radioactief afval in zoutlagen inmiddels opgelopen tot minstens tientallen miljarden euro's. Dit is deels te wijten aan problemen veroorzaakt door de corrosieve aantasting van de speciaal ontworpen containers waarin het afval is verpakt.

In Finland is een uitgebreid technisch voorzieningencomplex voor opslag van hoogradioactief afval vrijwel gereed. De voorziening is gesitueerd in de granietformaties bij Olkiluoto en moet dienen als permanente opslag.⁸⁰ De Finse staatsonderneming ONKALO zal de opslag exploiteren, die bedoeld is voor het radioactief afval van de eigen centrales. De bouwopdracht voor de opslagvoorziening is voor 3,5 miljard gegund aan de joint venture Posiva.⁸¹

In Zwitserland heeft Stenfo, de wettelijk ingestelde onderneming voor het uit bedrijf nemen van kerncentrales en de verwijdering en opslag van radioactief afval, in 2021 een kostenstudie uitgevoerd. De totale kosten voor de vijf Zwitserse reactoren

⁷⁸ Website Atommüllreport. <https://www.atommuellreport.de/daten/detail/akw-gundremmingen-a.html>

⁷⁹ Het "World Nuclear Waste Report 2019" meldt dat de Duitse ontmantelingskosten een jaarlijkse stijging van 6% gemiddeld ondergingen (p.81). Deze stijging is beduidend hoger dan de reële inflatie en dan de kostenstijging waar de kernenergiesector nog steeds van uitgaat. <https://worldnuclearwastereport.org/>

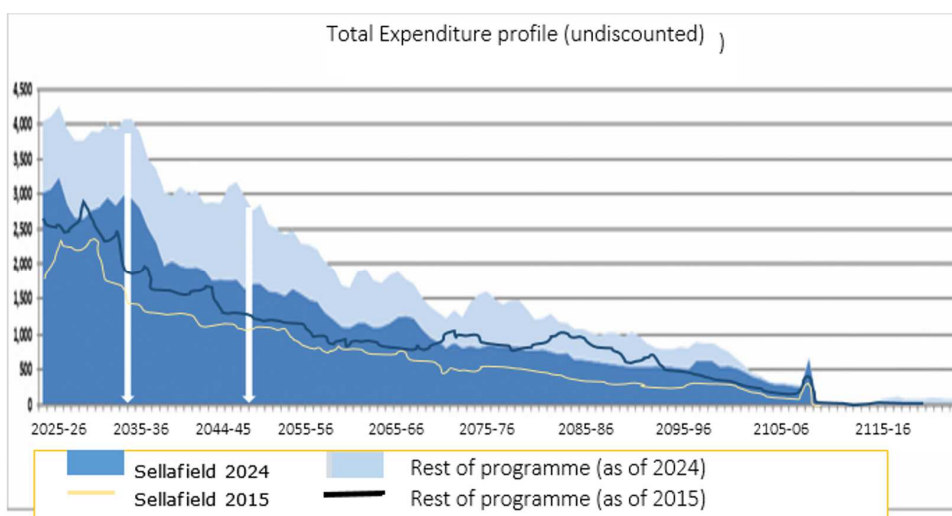
⁸⁰ Posiva website. <https://www.posiva.fi/en/index/finaldisposal/encapsulationplant.html>

⁸¹ Website Ingenieur.de. <https://www.ingenieur.de/wirtschaft/finnland-genehmigt-weltweit-erstes-endlager-fuer-atommuell/>

werden geschat op CHF 23,9 miljard. Daarvan is CHF 3,8 miljard voor het uit bedrijf nemen en CHF 20,1 miljard voor de verwijdering en tussentijdse opslag (gedurende 100 jaar) in de opslagvoorziening Würenlingen.⁸² Omgerekend is dit ruim €4 miljard per centrale, maar dat is nog exclusief de definitieve opslag, over 100 jaar.

In 2005 werden alleen de ontmantelingskosten van alle 17 Britse kerncentrales tezamen geschat op £51 miljard, ofwel £3 miljard per centrale. In 2017 ging de National Decommission Authority (NDA) uit van £150 miljard voor de kosten van ontmanteling plus de opslag van radioactief afval voor de komende 100 jaar.⁸³

Figuur A1: Kostenraming ontmanteling en afvalopslag volgens de Engelse NDA Rekenkamer. Jaarlijkse kosten voor de komende 100 jaar (in £).⁸⁴



Het lichtblauwe gebied (raming 2024) en de donkere lijn (raming 2015) geven de jaarlijkse totalen voor alle Britse nucleaire installaties. Het donkerblauwe gebied (raming 2024) en de lichte lijn (raming 2015) geven alleen de kosten voor Sellafield waar een groot aantal nucleaire installaties geconcentreerd zijn.

In 2024 verwachtte de NDA dat de kosten verder zullen stijgen naar tenminste £260 miljard (zie figuur A1).⁸⁵ Per Britse centrale is dat een extra kostenpost van ruim £15

⁸² Stenfo website. <https://www.stenfo.ch/kosten-beitraege/>

⁸³ Nuclear Decommission Authority. Nuclear Decommission Costs. Extract from the July 2017 Fiscal risks report. <https://www.google.com/search?client=firefox-b-e&q=Nuclear+Decommission+Agency+report+costs>

⁸⁴ Website UK Government. <https://www.gov.uk/government/publications/nuclear-decommissioning-authority-annual-report-and-accounts-2023-to-2024>

⁸⁵ Nuclear Decommission Authority. Annual Reports and Accounts 2023-2024. <https://www.gov.uk/government/publications/nuclear-decommissioning-authority-annual->

miljard. Halen we daar de hiervoor genoemde £3 miljard voor ontmanteling vanaf dan worden de kosten voor de opslag van radioactief afval geschat op £12 miljard, ofwel €14,5 miljard per centrale. Opvallend is hierbij dat de NDA de schattingen in zeven jaar met 75% heeft verhoogd.

Er zit een flink verschil tussen de Britse en Zwitserse schattingen. Een relevant onderscheid is dat de Zwitserse schatting van een belanghebbende organisatie komt, terwijl de Britse schatting door een onafhankelijke maar gezaghebbende bron is opgesteld. We mogen daarom aannemen dat een schatting van €5 miljard per centrale voor de berging van radioactief afval eerder aan de lage dan aan de hoge kant zal zijn.

Totale kosten kernenergie

De totale kosten van elektriciteitsproductie worden meestal uitgedrukt in euro's per opgewekte MWh (€/MWh). We gaan uit van een centrale van 1.600 MWe die 30 jaar draait met een gemiddelde belasting van 85%. Op basis van het voorgaande gaan we voor de bouw- en financieringskosten uit van een bedrag €30 miljard. Voor de ontmantelingskosten nemen we €2 miljard en voor afvalberging €5 miljard, waardoor het totaal op €37 miljard per centrale komt. Dan zijn de productiekosten van elektriciteit alleen door deze vaste kosten gelijk aan ruim 100€/MWh.⁸⁶

Daar komt echter nog een aantal posten uit Tabel A1 bij: uraniumwinning en -verwerking en exploitatie van de centrale (personeel, onderhoud, reparaties). De huidige kerncentrale te Borssele produceert volgens eigen informatie elektriciteit tegen een kostprijs van ruim 58 euro per MWh.⁸⁷ Dit is uitsluitend gebaseerd op de operationele kosten, omdat de centrale inmiddels zo oud is dat de bouwkosten niet meer op de exploitatie drukken. Die kunnen we dus optellen bij de eerdere berekening, waardoor we op een totale schatting van 158 €/MWh komen voor de nieuw te bouwen kerncentrales.

Laten we dat vergelijken met een aantal andere schattingen. LAZARD is een grote vermogensbeheerder en investeringsadviseur voor institutionele investeerders zo-

[report-and-accounts-2023-to-2024/nuclear-decommissioning-authority-annual-report-and-accounts-2023-to-2024#case-studies-for-202324](#)

⁸⁶ We gaan uit van een productie van 12 TWh/jaar door centrale van 1.600 MWe (capaciteitsfactor c.q. productieniveau van 85%) en een bedrijfsperiode van 30 jaar. Dit resulteert in $37 \cdot 10^9$ € gedeeld door $30 \cdot 12 \cdot 10^6$ MWh = 103€/MWh.

⁸⁷ De financiële jaarverslagen van 2022 en 2023 laten zien dat bij een omzet van ruim 203 miljoen euro een break-even point ligt voor de winst. Uitgaande van een gerealiseerde jaarproductie 3,5 TWh resulteert dat in een kostprijs van 58 €/MWh.

als pensioenfondsen. De onderneming voert eigen onderzoek uit naar o.a. beleggingsaspecten van kernenergie en wind- en zonne-energie. De analyse van LAZARD geeft een bandbreedte aan van de kosten per geproduceerde MWh voor kernenergie van €126 tot €196. Voor wind- en zonne-energie zijn die aanmerkelijk lager (zie Tabel A4, omgerekend naar euro's).⁸⁸

Ook de Technische Universiteit Berlijn maakte in samenwerking met anderen een analyse van de kosten van de productie van elektriciteit door kerncentrales.⁸⁹ Daarbij is de hele keten in beschouwing genomen, dus ook de ontmantelingskosten, met uitzondering van de definitieve eindopslag. Voor zon en wind neemt men de gegevens van LAZARD over. Hun bevindingen leiden eveneens tot de conclusie dat kernenergie beduidend duurder is (zie Tabel A3).

Tabel A3: Genormaliseerde kosten zonne-, wind- en kernenergie volgens twee bronnen (gegevens LAZARD omgerekend met 0,96 euro per dollar).⁹⁰

Energiebron	LCOE in €/MWh (LAZARD 2021)	LCOE in €/MWh (TU Berlin 2023)
Kernenergie	126 tot 196 ^{a)}	ca 152
Zonnepaneelparken	29 tot 39 ^{a)}	29 tot 39 ^{b)}
Zonnepanelen op daken	64 tot 173 ^{a)}	64 tot 173 ^{b)}
Windparken offshore	80 ^{a)}	80 ^{b)}

^{a)} Kosten exclusief overheidssubsidies

^{b)} TU Berlin neemt waarden over van LAZARD

Vergelijken we onze eigen schattingen met die van LAZARD en TU Berlin dan zitten wij in dezelfde orde van grootte. Onze schattingen zijn echter aan de voorzichtige kant. Wij gaan uit van een relatief lage schatting voor de rente van 4%. Gegeven de grote terughoudendheid van private partijen om in kernenergie te investeren, lijkt ook dat eerder te laag dan te hoog geschat. Ook de kosten van uranium zullen tegen 2045 fors zijn gestegen, omdat steeds laagwaardiger ertsen moeten worden gewonnen. Verder zijn de kosten voor ontmanteling en afvalberging ook laag ingeschat. Het is dan ook realistisch om aan te nemen dat de kosten van elektriciteitsproductie door de nieuw te bouwen kerncentrales, ruim boven de 160 €/MWh zullen liggen.

⁸⁸ LAZARD, oct. 2021. Lazard's leveled cost of energy analysis-version 15.0.

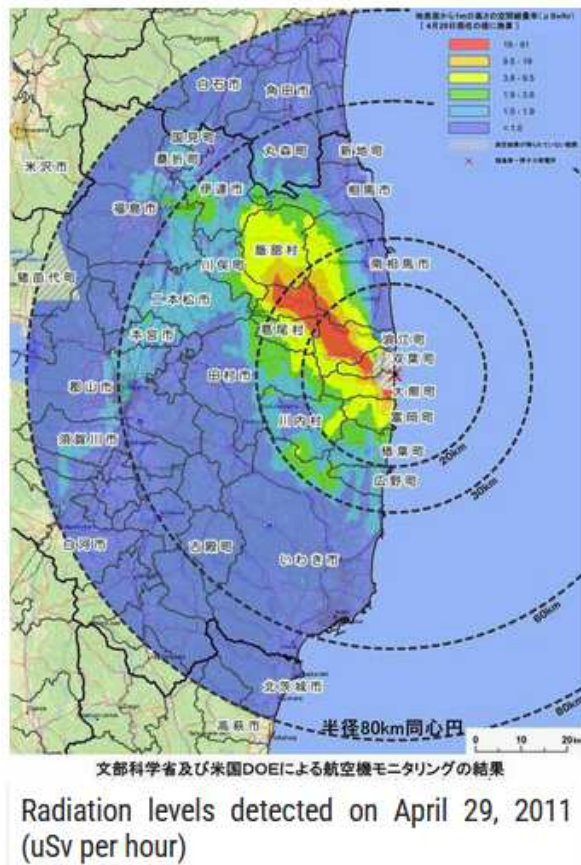
⁸⁹ Wimmers, A. Göke, L., Von Hirschhausen, C., Kemfert, C., 2023. Ökonomische Aspekte der Atomkraft.

⁹⁰ Omdat het over langjarige activiteiten gaat gebruiken we een langjarig gemiddelde voor de dollarkoers en niet de huidige koers (februari 2026) die vooral wordt bepaald door recente maatregelen van de regering Trump.

BIJLAGE B: Mogelijke gevolgen van een kernsmelting op de Maasvlakte

Op 11 maart 2011 vond voor de Japanse kust een zeebeving plaats die resulteerde in een tsunami die grote schade aanrichtte in het kustgebied. Dat had catastrofale gevolgen voor de kerncentrale in Fukushima waar diverse noodvoorzieningen het één voor één lieten afweten. Dit leidde tot het smelten van de reactorkern en de instorting van het omhullende gebouw. Grote hoeveelheden radioactiviteit werden over het achterland verspreid en de grond werd radioactief besmet. Figuur B1 schetst de gemeten stralingsniveaus ruim twee weken na de ramp op verschillende afstanden van de centrale.

Figuur B.1: Stralingscontouren na de kernsmelting in Fukushima.⁹¹



⁹¹ "Eight Years After: No End in Sight for Clearing the Fukushima Nuclear Disaster". <https://mronline.org/2019/04/26/eight-years-after-no-end-in-sight-for-clearing-the-fukushima-nuclear-disaster/>

De verdeling heeft de vorm van een sigaarvormige pluim als gevolg van de overheersende windrichting. De binnenste cirkel ligt op 20 km van de centrale, de buitenste op 80 km. De rode, oranje, gele, groene en lichtblauwe gebieden worden alle in meerdere of mindere mate als een gevaar voor de gezondheid beschouwd. Vanaf ongeveer 75 km is het gebied overal donkerblauw, wat overeenkomt met een stralingsbelasting van minder dan 1 $\mu\text{Sv/h}$. Dit is de internationaal geaccepteerde veilige norm. De rode pluim met de hoogste intensiteit (20-90 $\mu\text{Sv/h}$) reikt tot ruim 30 km.

Figuur B2: Stralingscontouren Fukushima geprojecteerd op het Rotterdamse havengebied voor een 1.600 MWe centrale op de Maasvlakte (witte stip).⁹²



Volgens de huidige stralingsnormen voor veiligheid heeft het blauw omliggende gebied na een jaar nog steeds een te hoge dosis om daar langdurig te verblijven.

In Figuur B2 hebben we een aantal stralingscontouren van Fukushima geprojecteerd op het Rotterdamse havengebied. Die geven aan wat de stralingsniveaus zouden kunnen zijn als er een kernsmelting plaats zou vinden bij een 1.600 MWe⁹³ kerncentrale op de Maasvlakte bij een overheersende westelijke windrichting. In Fukushima

⁹² Het weergegeven radioactief besmette gebied is ontleend aan het rapport van het “Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire” (IRSN) “Fukushima, one year later Initial analyses of the accident and its consequences”, IRSN/DG/2012-003, March 12, 2012, en aan het essay van Lau Kin Chi & He Zhixiong: Eight Years After: No End in Sight for Clearing the Fukushima, in Monthly Review Essays, Apr 26, 2019. <https://mronline.org/2019/04/26/eight-years-after-no-end-in-sight-for-clearing-the-fukushima-nuclear-disaster/>

⁹³ Bij de ramp in Fukushima waren meerdere reactoren betrokken met een totaal vermogen van ongeveer 2.000 GWe. Dat is iets meer dan de 1.600 MWe aan capaciteit die voor Nederlandse centrales wordt overwogen. Het gaat ons hier echter over een grove indicatie wat kán gebeuren. Door andere neerslagpatronen zouden de gevolgen ook erger kunnen zijn dan wat er in Fukushima is gebeurd.

was na het eerste jaar nog steeds een gebied van ruwweg 600 km² te veel besmet voor permanente bewoning of werk. Zeven jaar na de besmetting van het land was dat gebied circa 300 km², dat is ruwweg een strook van 6 bij 50 km die het hele Rotterdamse havengebied en een deel van de stad kan omvatten.

De internationaal vastgelegde norm die als voldoende veilig wordt beschouwd bij blootstelling aan straling door niet-natuurlijke achtergrond, is een stralingsbelasting van 1 mSv/yr (millisievert per jaar) ofwel μ Sv/h (1 microsievert per uur). Deze gezondheidsnorm is in 2017 door de Japanse autoriteit echter 20x verhoogd om eerdere terugkeer voor de bewoners mogelijk te maken. Hier werd dus de gezondheid van bewoners duidelijk ondergeschikt gemaakt aan de kosten en de acceptatie van de opvang van de geëvacueerde bewoners. Gezien het feit dat overheden geneigd zijn in geval van nood hun eerder gestelde normen naar beneden af te schalen, is het te verwachten dat men ook in Nederland de normen af zal zwakken als door een groot ongeluk met een kerncentrale het achterland zwaar besmet zou raken.

Het Japan Center for Economic Research schatte in 2019 dat de kosten van opruimen en schadeherstel als gevolg van de ramp 35-80 biljoen yen zouden bedragen (ongeveer 215-500 miljard euro) en dat het herstel naar verwachting 40 jaar in beslag zou nemen.⁹⁴ Voor de Nederlandse situatie zullen de kosten waarschijnlijk veel hoger zijn, omdat de besmette omgeving van Fukushima veel dunner bevolkt is en er veel minder industriële bedrijvigheid was. Het Rotterdamse havengebied speelt een cruciale rol in de Nederlandse economie. Door de radioactieve besmetting zal het gebied jarenlang ontoegankelijk worden en een groot deel van de economie zal tot stilstand komen.

⁹⁴ Japan Center for Economic Research. <https://www.jcer.or.jp/english/accident-cleanup-costs-rising-to-35-80-trillion-yen-in-40-years>

BIJLAGE C: Gevaar van hacken en ontregelen van een kerncentrale

Om de risico's te kunnen bespreken geven we eerst een korte uitleg over de functie van computers voor het besturen van een kerncentrale.

In een kerncentrale wordt uranium-235 gespleten om energie te produceren. Zouden we dat proces zijn gang laten gaan, dan zou dat tot een explosie leiden zoals dat gebeurt in een atoombom. Om dat te voorkomen worden regelstaven gebruikt die fungeren als een rem op het splijtingsproces. Door die rem meer of minder in te drukken, kan meer of minder energie worden geproduceerd.

Die rem wordt bestuurd door een computerprogramma dat in een automatische stand kan staan of door een operateur kan worden aangestuurd. Mocht die rem wegvallen, dan slaat het kernsplijtingsproces op hol zoals dat ook bij de ongelukken in Tsjernobyl en Fukushima is gebeurd. Daarbij wordt zoveel energie geproduceerd dat het reactorvat smelt, explosies optreden en het reactorgebouw instort. Met als gevolg dat rampzalige hoeveelheden radioactiviteit in de atmosfeer komen en over honderden tot duizenden kilometers kunnen worden verspreid.

Dat maakt duidelijk hoe cruciaal de rol van de computerprogrammatuur is. Deze eeuw zien we echter dat bedrijfscomputers en andere systemen steeds vaker van buiten worden gehackt, d.w.z. dat ze van buitenaf worden overgenomen, waarbij de hacker zich aan de andere kant van de wereld kan bevinden. Tot nu toe gebeurt dat vaak om de eigenaar af te persen, maar ook industriële spionage via hacken begint toe te nemen. Daarover wordt om begrijpelijke redenen weinig openbaar gemaakt. Het is echter niet voor niets dat de NCTV en diverse organisaties hier in toenemende mate voor waarschuwen.

Het is dan ook een kwestie van tijd voor hack-praktijken worden ingezet voor terroristische doeleinden. Natuurlijk zal een eigenaar van een door computers bestuurd installatie proberen zich zo goed mogelijk te beveiligen tegen deze praktijken, maar die inspanningen zullen nooit waterdicht zijn. De eerste grote ontregeling van een nucleaire installatie door een ingebracht virus - het Stuxnet-virus - was in 2007 in de ultracentrifuge verrijkingsinstallatie in Iran, waarbij honderden ultracentrifuges 'op hol sloegen' en vernietigd werden. In de westerse wereld vreesde men dat Iran het met de installatie verrijkte uranium zou willen gebruiken om een kernwapen te produceren. Hoewel er geen officiële mededelingen over zijn gedaan, wordt breed aangenomen dat het Stuxnet-virus door Israël en de VS is ontwikkeld en door een undercover werknemer de installatie is binnengesmokkeld. Het voorbeeld laat zien dat men een installatie nog zo goed technisch kan beveiligen, maar dat de menselijke factor altijd een zwakke schakel blijft.

Het voorbeeld laat ook zien dat zelfs de zwaarst beveiligde kernenergie-installaties te hacken en te ontregelen zijn. Wat een terroristische organisatie nodig heeft, is de wil om het te doen, voldoende middelen, een groep goede programmeurs en kennis van de software van de installatie. Die kennis is in principe geheim maar het Iraanse voorbeeld laat zien dat daar via spionage achter te komen is, al vereist dat soms een jarenlange voorbereiding. De vereiste goede programmeurs zijn in Rusland, China en andere landen ruimschoots te vinden, zoals de recente geschiedenis van het hacken van een groot aantal computersystemen laat zien. De belangrijkste drempel is dat een terroristische organisatie met voldoende middelen bereid is om zo'n aanslag jarenlang voor te bereiden. De aanslagen op het WTC in New York laten zien dat een goed georganiseerde terroristische organisatie daartoe in staat is.

Voor een terroristische aanslag via het hacken van computersystemen is een kerncentrale in een dichtbevolkt gebied een uitgelezen doel omdat die tot miljoenen slachtoffers kan leiden. Gegeven de recente praktijk van het hacken van computersystemen en het stelen van geheime informatie over zelfs de meest beveiligde systemen, is het uiterst naïef om aan te nemen dat zo iets onmogelijk zou zijn.

BIJLAGE D: Eindberging van radioactief afval

Radioactief afval wordt in Nederland minstens tot het jaar 2100 bovengronds opgeslagen. De verantwoordelijkheid voor het realiseren van de eindberging schuiven wij dus af naar onze klein- en achterkleinkinderen.

Er zijn verschillende opvattingen over de vereiste garantieperiode waarbinnen de eindberging geen gevaarlijke stoffen in het leefmilieu mag afscheiden. Door natuurlijk verval wordt de radioactiviteit van het afval in de loop der tijd steeds minder. Na ongeveer 250.000 jaar is die weer terug op het niveau van het oorspronkelijke uraniumerts en daarmee op het niveau van de huidige natuurlijke achtergrondstraling. Voorstanders van kernenergie betogen dat de levensduur van het afval echter sterk kan worden gereduceerd door die te verglazen. Dan zou het stralingsniveau buiten de glazen containers na 10.000 jaar al veilig zijn. De aanname daarbij is dat die verglazing gedurende al die tijd intact blijft. Men neemt aan dat dat het geval is, omdat op aarde gevonden glasachtige substanties miljoenen jaren oud kunnen zijn.

Dat is echter niet te vergelijken met verglaasd kernafval, omdat dat gedurende duizenden jaren blootstaat aan een continu radioactief bombardement van binnenuit. Zo'n situatie bestaat niet in de natuur. Van diverse materialen weten we dat ze op den duur bros worden onder invloed van radioactiviteit en dan kunnen afbrokkelen. We hebben dan ook geen idee of verglaasd radioactief afval duizenden jaren of misschien zelfs maar honderden jaren intact blijft omdat we geen enkele ervaring hebben met zulke situaties. De claim dat dit 10.000 jaar goed gaat, is dan ook niet gebaseerd op onderzoekservaring maar is een blinde gok.

Willen we dat toekomstige generaties geen extra gevaar ondervinden van het afval, dan moeten we daarom zekerstellen dat het gedurende enkele honderdduizenden jaren niet in het leefmilieu terecht kan komen. Dan hebben we het echter alleen nog maar over de risico's van radioactiviteit. In het afval bevindt zich verder ook nog een aantal extreem giftige componenten en de giftigheid dáárvan vermindert niet in de loop der tijd. Dat betekent dat het afval voor altijd veilig opgeborgen moet blijven. Kunnen we dat redelijkerwijs garanderen?

Voor Nederland wordt hierbij gedacht aan opslag in kleilagen of zoutkoepels. Volgens studies daarover zou dat kunnen omdat die lagen gedurende honderdduizenden of miljoenen jaren stabiel zijn gebleven. Echter, door daar radioactief afval in op te slaan worden juist bronnen voor instabiliteit geïntroduceerd, allereerst door daar tunnels en gaten in te boren en verder door de warmteproductie van het afval. Daarmee wordt direct de hoofdaanname voor dergelijke studies onderuitgehaald. Wetenschappelijke onderzoek biedt dan ook geen enkele garantie dat een veilige ondergrondse opslag mogelijk is. Duitsland levert hierbij de praktijkvoorbeelden. De

opslag in zoutlagen bij Asse en later bij Gorleben bleken een kostbare vergissing en zijn dan ook gestaakt.⁹⁵

Verder is de opslagperiode dusdanig lang dat klimatologische veranderingen een grote rol kunnen gaan spelen. Kijken we naar de afgelopen 100.000 jaar dan zijn er perioden geweest dat de Noordzee droog lag en we over land naar Engeland konden lopen. Ook zijn er ijstijden geweest waarin Scandinavië onder een laag van drie kilometer ijs lag en ook Nederland was bedolven onder een ijslaag van enkele honderden meters dikte.⁹⁶ Dat kan ook in de toekomst weer gebeuren, en over een dergelijke lange periode is dat zelfs waarschijnlijk. Nederland zou dan compleet onbewoonbaar worden en alle bovengrondse structuren zouden grotendeels verdwijnen.

Zo'n ijstijd kan gemakkelijk in de orde van 10.000 jaar lang zijn, en informatie over radioactief afval dat daaronder zit opgeborgen, kan dan eenvoudig verloren gaan omdat die 'verdrinkt' in de overdaad aan andere informatie. Dat proces zien we nu al optreden in een informatiemaatschappij die zich nog maar enkele tientallen jaren aan het ontwikkelen is. Informatie is er wel maar wordt niet meer herkend in de enorme hoeveelheden data die in een groeiend aantal datacenters ligt opgeslagen. Ook ongelukken met computersystemen, die over een dergelijke periode zeer waarschijnlijk zijn, kunnen tot dataverlies leiden, waardoor informatie die van levensbelang is verdwijnt. Dat kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door een 'zonnestorm' zoals die in 1859 heeft plaatsgevonden.⁹⁷ Die leidde tot het zgn. Carrington Event dat het telegraafstelsel in grote delen van de wereld platlegde.⁹⁸ Een wat lichtere zonnestorm in 1989 zorgde er al voor dat een groot deel van Canada 9 uur zonder stroom kwam te zitten.⁹⁹ We kunnen gevoeglijk aannemen dat heftiger zonnestormen, die over een periode van duizenden jaren veelvuldig plaats zullen vinden, tot veel grotere schade aan computersystemen zullen leiden, waardoor informatie over opgeslagen radioactief afval gemakkelijk kan verdwijnen.

⁹⁵ Germany to shut Gorleben nuclear waste facility. <https://www.dw.com/en/germany-to-shut-controversial-gorleben-nuclear-waste-facility/a-59211763>

⁹⁶ Website "Geologie van Nederland". <https://www.geologievannederland.nl/land-schap/vormende-krachten/ijs-koude-kracht#head3>

⁹⁷ "Vulnerability to Solar Storms", Website Bulletin of the Atomic Scientists. https://thebulletin.org/2024/04/spent-nuclear-fuel-mismanagement-poses-a-major-threat-to-the-united-states-heres-how/?utm_source=Newsletter&utm_medium=Email&utm_campaign=ThursdayNewsletter04042024&utm_content=Nuclear-Risk_NuclearFuelMismanagement_04022024

⁹⁸ "Carrington Event". https://en.wikipedia.org/wiki/Carrington_Event

⁹⁹ "Zonnestormen in het verleden", Website IsGeschiedenis. <https://isgeschiedenis.nl/nieuws/zonnestormen-in-het-verleden>

Het is dus heel goed mogelijk dat Nederland in een toekomstige ijstijd onbewoonbaar wordt en dat informatie over daaronder opgeslagen radioactief afval verdwijnt. Na verloop van tijd kan het landijs zich echter weer terugtrekken, zoals dat ook in het verleden is gebeurd; de getroffen regio kan dan weer bewoonbaar worden. De nieuwe bewoners hebben dan geen idee dat er levensgevaarlijk radioactief en giftig afval ondergronds is opgeslagen. Daar zouden ze op kunnen stuiten als ze in de grond gaan boren, net zoals wij dat om diverse redenen doen, bijv. voor het winnen van delfstoffen, winnen van zout, warmte-koude opslag, oogsten van aardwarmte, wetenschappelijk onderzoek. Omdat ze niet weten wat ze aanboren kunnen ze met het radioactief afval omgaan op een wijze die tot kleinere of grotere rampen kan leiden.

De claim dat veilige opslag over 100.000 jaar mogelijk is, kan niet worden gebaseerd op enige ervaring in het verleden, maar wordt afgeleid uit wetenschappelijke modellen. Vergelijkbare modelanalyses zijn gebruikt voor de veiligheid van kerncentrales. De rampen uit het verleden leren echter dat die modellen er drastisch naast kunnen zitten. Ook voor bewegingen in de aardkorst is dat het geval, zoals blijkt rond de gaswinning in Groningen. Modelanalyses lieten aanvankelijk zien dat dat veilig kon, maar binnen 50 jaar blijkt het gebied te zijn veranderd in een aardbevingsgebied. Het bleek dat toch niet alle relevante factoren en processen waren (en konden worden) voorzien.

De grootste zwakte van dergelijke modellen is dat ze geen rekening houden met grillig menselijk gedrag en met macro-effecten als extreme klimaatverandering of hevige zonnestormen. Over een dergelijke lange periode zijn zulke effecten echter zeer waarschijnlijk en halen daarmee de betrouwbaarheid van die modellen compleet onderuit. De claim dat radioactief afval gedurende 100.000 jaar veilig kan worden opgeborgen heeft dan ook niets meer met wetenschap te maken. Het is pure speculatie, die voorbijgaat aan complexe maatschappelijke processen en grootschalige invloeden waarvan het over een dergelijke lange periode zeker is dat die in meer of mindere mate op zullen treden. Daarmee zeggen we in feite tegen toekomstige generaties: "We hopen er het beste van en verder is het jullie probleem."

BIJLAGE E: Kernenergie en de verspreiding van kernwapens

De relatie tussen kernenergie en kernwapens is al vroeg onderkend en heeft in 1970 geleid tot het in werking treden van het Non-Proliferatieverdrag (NPV), dat door verreweg de meeste landen in de wereld is geratificeerd. De niet-kernwapenstaten verklaren daarbij af te zien van de ontwikkeling van kernwapens maar tegelijkertijd zal het gebruik van kernenergie bevorderd worden. Echter, kernenergie en kernwapens zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden (daarom ook wel een Siamese tweeling genoemd) omdat ze in belangrijke mate van dezelfde kennis, technologie en grondstoffen gebruik maken. Zo heeft Pakistan een kernwapen kunnen ontwikkelen dankzij in Nederland gestolen kennis over uraniumverrijking. Ook ondertekening van het NPV biedt geen garantie: Noord-Korea heeft zich daar 20 jaar geleden weer uit teruggetrokken en heeft inmiddels ook kernwapens ontwikkeld.

De technologie over het produceren van kernwapens is wijd verbreid en op het internet te vinden. Het probleem is vooral om splijtbaar materiaal (verrijkt uranium of plutonium) te bemachtigen en kennis te hebben van de technologie voor verrijking of opwerking. Wat het eerste punt betreft wordt onder het NPV een boekhouding bijgehouden van het splijtbaar materiaal op de wereld, maar daarin ontbreken aanzienlijke hoeveelheden waarvan onbekend is waar die zijn, voldoende voor honderden atoombommen. Inlichtingendiensten van diverse landen proberen daar zicht op te krijgen maar doen daar officieel geen mededelingen over. Op basis van een aantal 'informatielekken' zijn er echter sterke aanwijzingen dat er zwarte markten bestaan waarop die materialen verhandeld worden.

Het tweede punt, het verspreiden van technologie voor verrijking en opwerking, is door vele vormen van restricties gereguleerd, maar de geschiedenis heeft aangetoond dat restricties altijd omzeild kunnen worden. De technologie is bovendien in de afgelopen decennia geperfectioneerd, waardoor die beter op kleine schaal, in goed verborgen laboratoria, kan worden gebruikt. Als kernenergie in de toekomst op grotere schaal gebruikt gaat worden, komt de technologie op meer plaatsen beschikbaar, wat de kans vergroot dat die 'weglekt' naar kwaadwillenden. Dat kunnen staten zijn, maar door de 'miniaturisering' van de technologie komt die technologische kennis ook onbedoeld binnen het bereik van terroristische organisaties. Wat men nodig heeft is voldoende kapitaal, geschoolde technici en een plek om een geheim laboratorium te runnen. Juist in de huidige tijd waarin terrorisme een belangrijke rol speelt, mede gesteund door een aantal landen, kan die combinatie wel eens heel dichtbij zijn. Inzetten op kernenergie bevordert de kans dat een terroristische organisatie in de toekomst een kernwapen zal kunnen ontwikkelen. Zolang kernenergie op grote schaal wordt gebruikt, is de vraag niet óf terroristen een kernwapen zullen ontwikkelen, maar wanneer dat zal gebeuren.