

Analyse, inform and activate

LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie

De Laka-bibliotheek

Dit is een pdf van één van de publicaties in de bibliotheek van Stichting Laka, het in Amsterdam gevestigde documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie.

Laka heeft een bibliotheek met ongeveer 8000 boeken (waarvan een gedeelte dus ook als pdf), duizenden kranten- en tijdschriften-artikelen, honderden tijdschriftentitels, posters, video's en ander beeldmateriaal. Laka digitaliseert (oude) tijdschriften en boeken uit de internationale antikernenergie-beweging.

De [catalogus](#) van de Laka-bibliotheek staat op onze site. De collectie bevat een grote verzameling gedigitaliseerde [tijdschriften](#) uit de Nederlandse antikernenergie-beweging en een verzameling [video's](#).

Laka speelt met oa. haar informatie-voorziening een belangrijke rol in de Nederlandse anti-kernenergiebeweging.

The Laka-library

This is a PDF from one of the publications from the library of the Laka Foundation; the Amsterdam-based documentation and research centre on nuclear energy.

The Laka library consists of about 8,000 books (of which a part is available as PDF), thousands of newspaper clippings, hundreds of magazines, posters, video's and other material. Laka digitizes books and magazines from the international movement against nuclear power.

The [catalogue](#) of the Laka-library can be found at our website. The collection also contains a large number of digitized [magazines](#) from the Dutch anti-nuclear power movement and a [video-section](#).

Laka plays with, amongst others things, its information services, an important role in the Dutch anti-nuclear movement.

Appreciate our work? Feel free to make a small [donation](#). Thank you.



www.laka.org | info@laka.org | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294

Het klimaat rond kernenergie

**Hebben we kernenergie
nodig om klimaatverandering
tegen te gaan?**

Publicatie ter ere van het
40-jarig bestaan van WISE

Colofon

WISE (World Information Service on Energy)

WISE is een milieuorganisatie die campagne voert tegen kernenergie en vóór schone energie.

w www.wisenederland.nl

e info@wisenederland.nl

t 020-6126368

🐦 @jagraag

Het klimaat rond kernenergie

Hebben we kernenergie nodig om klimaatverandering tegen te gaan?

Publicatie ter ere van het 40-jarige bestaan van WISE, november 2018.

Auteurs: Markus Schmid & Peer de Rijk (WISE)

Inhoudelijk advies: Jan Haverkamp

Eindredactie: Rob van Ballegoij

Vormgeving: Roger Peters, www.massiveatrack.nl

Inleiding



WISE (World Information Service on Energy) bestaat 40 jaar.

De organisatie speelde gedurende vier decennia een leidende rol in de internationale strijd tegen kernenergie. Ook vandaag de dag is WISE een levendige club die niet weg te denken is uit het landschap van ngo's en milieclubs. Of misschien toch wel?

Klimaatverandering

Het energiedebat wordt de laatste jaren in toenemende mate bepaald door de urgentie van de klimaatverandering. Alle pijlen zijn gericht op het versneld sluiten van vervuilende kolen-centrales, energiebesparing en het bevorderen van duurzame energie. Alles draait hierbij om de vermindering van de CO₂-uitstoot. Andere milieuproblemen die onze energiehonger met zich meebrengt verschuiven naar de achtergrond. Zo is te verklaren dat de roep om kern-energie als een grootschalige en relatief CO₂-arme vorm van energieopwekking weer luider klinkt. Mensen en organisaties die een aantal jaren geleden nog fel tegen kernenergie waren lijken in toenemende mate onverschillig te worden.

Oude en nieuwe activisten

Ondertussen vergrijst de antikernenergiebeweging. Er groeit een nieuwe generatie op die nauwelijks meer kennis heeft van kernenergie, vooral hoort over klimaatverandering en daarom wellicht vatbaarder is voor de beloften van de nucleaire industrie. De thoriumreactor wordt bijvoorbeeld steeds vaker genoemd als een schone en veilige oplossing. De grote problemen die ook deze technologie met zich meebrengt worden gebagatelliseerd, lessen uit het verleden worden weggewuifd als ideologisch ingegeven verzinselen. In de ogen van de eco-modernisten blokkeren ouderwetse halsstarrige antikernenergie-activisten de vooruitgang. Ze moesten maar eens plaats maken voor de nieuwe generatie die een stuk positiever tegen de problemen aankijkt en met innovatieve oplossingen komt.

Zelfonderzoek

WISE onderzocht in het jubileumjaar 2018 of het tijd is voor een nieuwe kijk op kernenergie. Oude argumenten werden getoetst aan de nieuwe realiteit. De overkoepelende vraag was hierbij: "Hebben we kernenergie nodig om klimaatverandering tegen te gaan?"

WISE nam de oude argumenten van de antikernenergiebeweging onder de loep en onderzocht of deze nog voldoen om de nieuwe vragen te beantwoorden. Dit leidde tot dit dossier met achtergrondinformatie over kernenergie en klimaat.

Regelmatig wordt WISE door journalisten, geïnteresseerden en mensen uit de eigen achterban gevraagd om stelling te nemen ten opzichte van een aantal kritische vragen die van belang zijn voor de energietransitie. Vragen zoals bijvoorbeeld:

- Zijn de klimaatdoelen van Parijs te halen zonder kernenergie, met alleen zon en wind?
- Hebben we kernenergie in een CO₂-arm energiesysteem niet nodig om de leveringszekerheid te garanderen?
- Zijn kolencentrales niet erger dan kerncentrales?
- Worden de gevaren van kernenergie niet overdreven?
- Als nieuwe kernreactoren inherent veilig worden, is het dan niet slim om die technologie te omarmen?

We hebben de antwoorden op deze en meer vragen samengebracht in dit dossier. De artikelen worden ook online aangeboden via wisenederland.nl.

Inhoudsopgave

Colofon	2
Inleiding	4
1. De CO ₂ -emissies van kernenergie	5
2. Kernenergie en klimaatverandering	9
3. Leveringszekerheid zonder kernenergie	17
4. Bestaande kerncentrales langer open houden voor het klimaat?	21
5. De kosten van kernenergie	23
6. Thorium – een goed idee?	28
7. Radioactieve straling en gezondheid	34
8. Kernrampen en de zin van evacuaties	37
9. Kernaafval	40
10 Is de anti-kernenergiebeweging medeverantwoordelijk voor de klimaatverandering?	45

1. De CO₂-emissies van kernenergie

Kernenergie is de meest complexe manier om elektriciteit op te wekken die de mensheid ooit bedacht heeft. Er zijn veel stappen nodig voor er stroom wordt geproduceerd in een kerncentrale. Als we kijken naar de hele levenscyclus van kernenergie, beginnend bij uraniummijnbouw en eindigend bij de ontmanteling van een centrale en opslag van het kernaafval, dan blijkt dat er toch nog heel wat CO₂-uitstoot plaatsvindt.¹

De reis van het Borssele uranium

Het uranium voor de kerncentrale in Borssele wordt bijvoorbeeld in mijnen in Kazachstan gedolven. Ter plekke wordt in een chemische fabriek het bruikbare deel uranium geëxtraheerd. Vanaf daar gaat het per vrachtwagen naar de haven vanwaar het per schip naar Engeland wordt vervoerd om daar per vrachtwagen naar een fabriek te worden gebracht waar het 'verhext' wordt (gasvormig gemaakt). Per vrachtwagen, per schip en vervolgens weer per vrachtwagen gaat het product naar de verrijkingsfabriek van Urenco in Almelo waar het verrijkt wordt. Dan gaat het per vrachtwagen naar de splijtstofstavenfabriek in Duitsland of Frankrijk vanwaar de splijtstofstaven dan eindelijk per vrachtwagen of trein naar de kerncentrale in Borssele/Zeeland gaan. Als de splijtstofstaven uitgewerkt zijn gaan ze per trein of vrachtwagen naar een opwerkingsfabriek in Frankrijk. Het kernaafval, hoog, middel- en laagactief, wordt zowel in Frankrijk als in Nederland 'tijdelijk' opgeslagen in bunkers. Niemand weet hoelang, want er is nog nergens ter wereld een definitieve berging gerealiseerd. Uiteindelijk zal al het afval dus ook nog vervoerd moeten worden naar een definitieve bergplaats.

Hoeveel CO₂ per kWh?

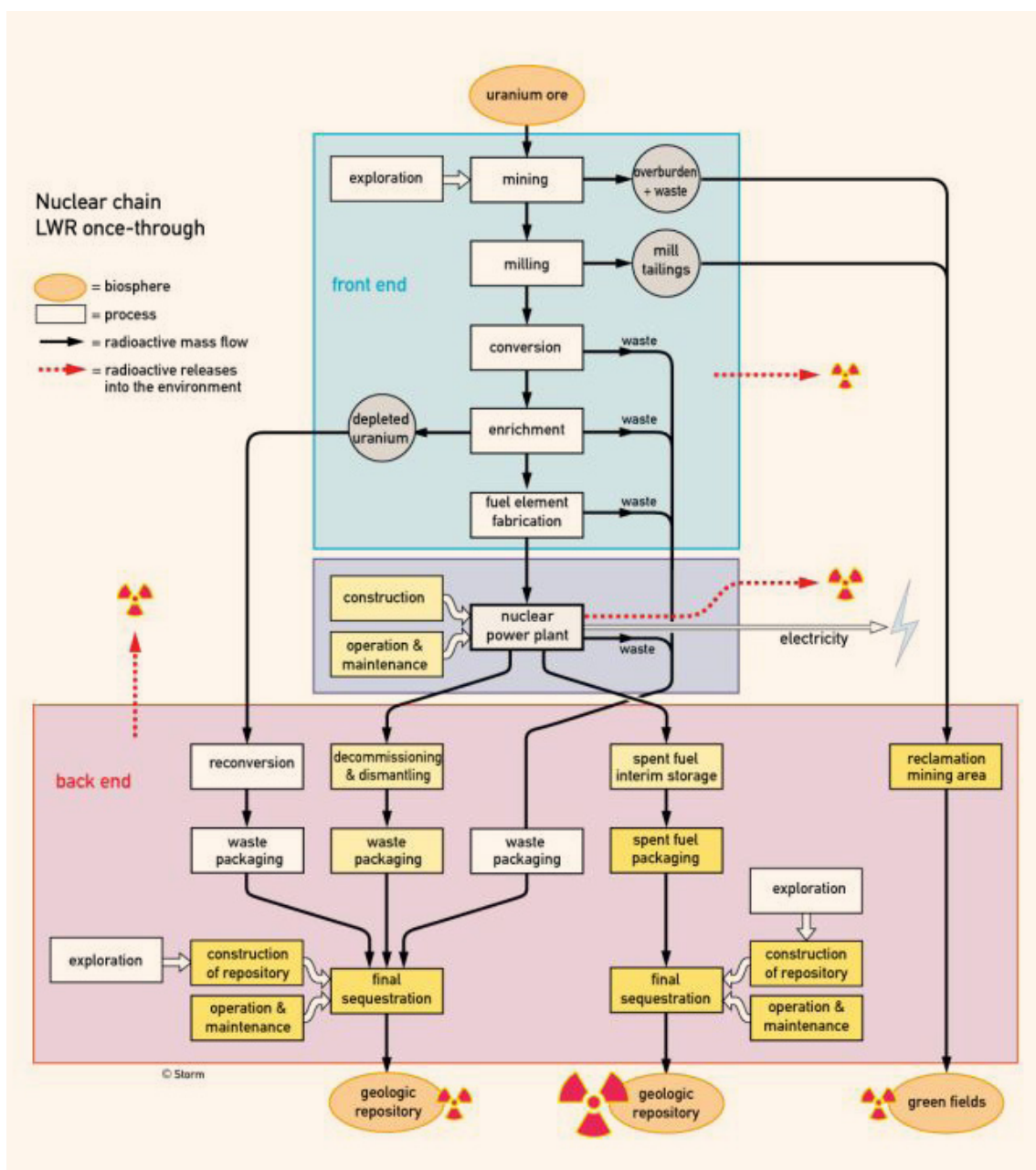
Hoe kun je de CO₂-uitstoot van de verschillende manieren van stroomopwekking berekenen? Hiervoor moet voor elke stap die nodig is om uiteindelijk stroom op te kunnen wekken worden berekend hoeveel CO₂ hierbij wordt uitgestoten. Deze zogenaamde Life Cycle Analyses (LCA's) zijn ingewikkeld: de CO₂-uitstoot die er uiteindelijk uitrolt hangt af van óf en hoe alle stappen die bij een techniek horen in de analyse meegenomen worden. Om recht te doen aan de verschillende zienswijzen worden er daarom 'metastudies' gemaakt waarin per energiebron de verschillende publicaties worden geanalyseerd en samengevat. Als één van de resultaten van zo'n metastudie wordt het bereik aangegeven tussen studies die tot een minimale CO₂-uitstoot komen en studies die juist een grote CO₂-uitstoot hebben berekend.

In het meest recente IPCC-rapport werden de volgende getallen, afkomstig van verschillende metastudies, gepubliceerd²:

-
- 1 Bron: Jan Willem Storm van Leeuwen: Nuclear power – the energy balance, Part B (October 2007) The reference reactor. <https://www.stormsmith.nl>
 - 2 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fifth Assessment Report (2014), Working Group III Report "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change", chapter 7 "Energy Systems" http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml

Elektriciteit uit	Emissies in gram CO ₂ equivalent per kWh (gCO ₂ eq/kWh)
Kolencentrale	710-950
Gascentrale (incl WKK)	410-650
Zonnepanelen (PV)	5-212
Kerncentrale	4-110
Wind	7-56

Vanwege de grote complexiteit van de kernenergiecyclus is het lastig om heel precies de werkelijke CO₂-uitstoot van kernenergie uit te rekenen. Voorstanders van kernenergie hebben de neiging om kernenergie als nagenoeg CO₂-vrije energie voor te stellen, tegenstanders gebruiken weer cijfers die de CO₂-uitstoot van kernenergie overdrijven.



Het IPCC refereert voor de cijfers rond kernenergie naar een metastudie van Warner en Heath uit 2012.³ In deze metastudie uiten de onderzoekers nog de nodige kritiek op de afzonderlijke LCA's waarop hun metastudie is gebaseerd:

- De mijnbouwmethoden worden in meer dan de helft van de LCA's niet onderzocht.
- Meer dan de helft van de LCA's besteedde geen aandacht aan de kwaliteit van het uraniumerts. Dit kan van grote invloed zijn op de CO₂-uitstoot (zie verderop).
- De ontmanteling van kerncentrales werd onvolledig meegenomen in de LCA's.
- Het herstellen van mijnen, dat een groot deel van de CO₂-emissies kan veroorzaken, werd in geen enkele LCA meegenomen.
- De primaire energie die voor de vele stappen in het kernenergieproces wordt gebruikt, verschilt enorm per land. Om een goede, gemiddelde LCA te maken zouden dus voor alle onderzochte landen die cijfers meegenomen moeten worden. In de meeste studies was dit niet het geval.
- De methodes die voor de verschillende LCA's zijn gebruikt werden meestal niet gedetailleerd genoeg omschreven. Hierdoor is het moeilijk om in te schatten welk effect de gebruikte methodes op de LCA's hadden.

Uraniummijnbouw

De grondstof voor kernenergie is uraniumerts dat in grote mijnen wordt gedolven. 1.000 kg gesteente moet worden afgegraven om er uiteindelijk een halve kilo bruikbaar uranium aan over te houden. Daarom veroorzaakt de mijnbouw de meeste CO₂-uitstoot van de kernenergiecyclus.

De rijkste uraniumertsen zullen bij het huidige verbruik binnen een mensenleven al schaarser worden. Als de ertskwaliteit achteruit gaat moeten er steeds grotere volumes gesteente worden gedolven. Het gevolg is dat het energiegebruik dat met de uraniumwinning gepaard gaat flink stijgt. En zolang de machines op fossiele brandstoffen draaien stijgt dus ook de CO₂-uitstoot.

Andere CO₂-intensieve processen

Het uraniumerts moet worden vernalen. Het uranium moet chemisch worden geëxtraheerd, vergast en verrijkt. Met name verrijking is een zeer energie-intensief proces en deze stap draagt dus ook fors bij aan de CO₂-emissies van kernenergie.

In een volgende fabriek worden de brandstofstaven gemaakt. Deze gaan dan naar de kerncentrale waar zonder CO₂-uitstoot de stroomopwekking plaatsvindt.

Als de brandstofstaven verbruikt zijn blijft er laag-, middel- en hoogradioactief afval over waarmee zeer zorgvuldig moet worden omgegaan. Al het afval wordt nu wereldwijd bovengronds tijdelijk opgeslagen in grote bunkercomplexen, "in afwachting van een definitieve oplossing". De CO₂-uitstoot die de eindberging van alle soorten kernafval met zich mee zal brengen zal waarschijnlijk ook aanzienlijk zijn. Harde cijfers hierover zijn er niet omdat er wereldwijd nog geen eindberging gerealiseerd is. Hoogradioactief afval moet voor tienduizenden jaren volledig geïsoleerd worden opgeborgen.

3 Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Nuclear Electricity Generation, Ethan S. Warner Garvin A. Heath (2012)

Sovacool

Naast de metastudie van Warner en Heath wordt ook het werk van Benjamin Sovacool, professor voor energiebeleid aan de universiteit van Sussex⁴ vaak aangehaald. Hij heeft een metastudie⁵ gedaan waarin hij 19 eerdere studies van anderen doorspitte en de gevonden waarden voor CO₂-uitstoot analyseerde. Hij kwam tot een gemiddelde uitstoot van 66 gCO₂ eq/kWh.

Benjamin Sovacool berekende de CO₂-uitstoot van de verschillende stappen uit de kern-energiecyclus als volgt:

	g CO ₂ e/kWh	%
Frontend	25,09	38
Bouw	8,2	12
Exploitatie	11,58	18
Backend	21,21	32
total	66,08	

- Frontend: Uraniumwinning, verhexing, verrijking, splijtstofstavenfabricage.
- Backend: Ontmanteling van de kerncentrale; verwerking, tijdelijke opslag en (toekomstige) permanente opslag van kernafval.

⁴ <http://www.sussex.ac.uk/profiles/373957>

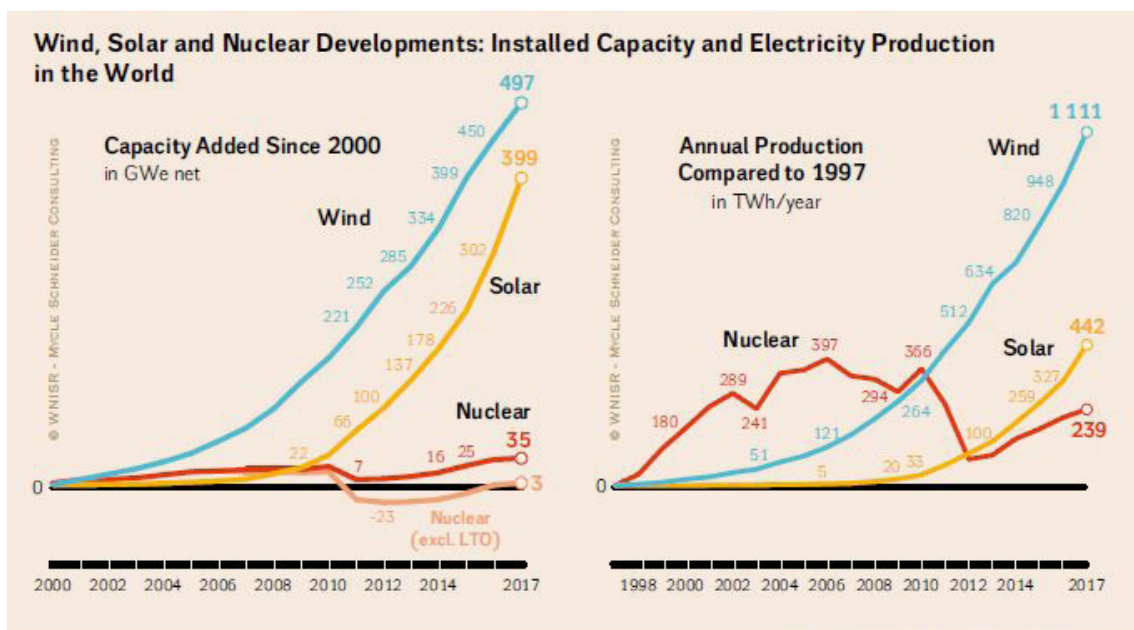
⁵ Sovacool, Benjamin K., Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey, Energy Policy 36 (2008) 2940-2953; http://www.grid.unep.ch/FP2011/step1/pdf/003_Sovacool_2008.pdf

2. Kernenergie en klimaatverandering

Om de klimaatverandering te stoppen is het noodzakelijk om volledig over te gaan op hernieuwbare energie met zo min mogelijk CO₂-uitstoot. Energie uit zon en wind, maar ook andere hernieuwbare energiebronnen zoals biomassa, aardwarmte en getijdenenergie zullen de globale energiemix in toenemende mate gaan bepalen. Er kleven te veel nadelen aan kernenergie. Daarom zal deze manier om stroom te produceren geen rol van betekenis kunnen spelen in het energiesysteem van de toekomst.

Keer op keer blijkt dat de technologische ontwikkelingen rond hernieuwbare energieproductie veel sneller gaan dan was voorspeld. Tegelijk dalen de prijzen van deze duurzame technologieën in een razend tempo. Windenergie op land, fotovoltaïsche energie (PV) en sinds kort zelfs offshore windenergie zijn nu al goedkoper dan energie uit conventionele, fossiele energiebronnen en veel goedkoper dan kernenergie. En de prijzen blijven door technische en organisatorische innovaties voortdurend zakken.

Dat de capaciteitsuitbreiding van wind- en zonne-energie nu al veel sneller gaat dan die van kernenergie laat deze grafiek zien:



Op basis van deze ontwikkelingen is WISE ervan overtuigd dat we de klimaatverandering kunnen beperken tot 2 graden of zelfs tot 1,5 graden, terwijl we tegelijkertijd kernenergie en niet-duurzame energiebronnen als kolen, olie, gas en niet-duurzame biomassa uitfaseren.⁶

We hebben haast

Los van de vraag of men nu voor of tegen kernenergie is moet ook bekeken worden of kernenergie überhaupt een serieuze rol kan spelen in de strijd tegen klimaatverandering. De reden is banaal: we hebben enorme haast en het duurt te lang om kerncentrales te bouwen.

6 Grafiek: Mycle Schneider, World Nuclear Industry status report 2018

Om de opwarming van de aarde te beperken tot 2 graden kan er wereldwijd nog slechts een beperkte hoeveelheid CO₂ worden uitgestoten.⁷

Als we in het huidige tempo doorgaan met de CO₂-uitstoot, is het wereldwijde 'koolstofbudget' snel opgebruikt. Hoe sneller de emissies naar beneden gaan, hoe langer we nog door kunnen gaan met een beperkte CO₂-uitstoot. De meeste studies laten zien dat we rond 2020 het moment van maximale CO₂-uitstoot achter ons moeten laten. Vanaf dan moet de wereldwijde uitstoot snel omlaag om de klimaatdoelen van Parijs te halen.⁸

Het is dus noodzakelijk om de CO₂-vriendelijke alternatieven zo snel mogelijk te realiseren. Het ontwikkelen van een kerncentrale duurt hiervoor te lang. Een windpark kan vele malen sneller worden gerealiseerd.

Hoe lang duurt het om een kerncentrale te bouwen?

Hoe lang de bouw van een kerncentrale kan duren zien we bij recente projecten:

- De bouw van de supermoderne 'generatie drie plus' kerncentrale In Olkiluoto/Finland, begon in 2005. De centrale had in mei 2012 aan het net moeten gaan maar is nu, 6 jaar later, nog steeds niet af. De centrale zal een vermogen van 1600 MW hebben en volgens prognoses⁹ in 2019 de eerste stroom leveren. Bouwtijd: 14 jaar.
- In Flamanville/Frankrijk, wordt sinds 2007 een nieuwe reactor met een vermogen van 900 MW gebouwd. En ook hier valt het tegen: volgens schattingen van experts kan de centrale pas in 2019 stroom leveren.¹⁰ Bouwtijd: 12 jaar.
- In China en Pakistan zijn in 2017 wel kerncentrales opgeleverd met een bouwtijd van bijna vijf jaar. Maar dat is zeer uitzonderlijk. Onderstaande grafiek¹¹ laat zien dat het merendeel van de kerncentrales die de laatste jaren wereldwijd aan het stroomnet gingen een bouwtijd van 8 tot 11 jaar hadden. Waar het tot in de jaren '80 nog vrij goed te voorspellen was hoe lang het zou duren om een kerncentrale te bouwen is dit de laatste jaren veel moeilijker geworden. In totalitaire, niet-democratische landen gaat het sneller. Inspraak is er niet en milieu- en veiligheidswetten worden minder rigoreus nageleefd.

7 The total carbon budget remaining figure of 2900 GtCO₂-e (within a range of 2550 to 3150 depending on various factors) is the value required to limit total human-induced warming to less than 2°C relative to the period 1861–1880 with a probability of >66%. Full details are in the IPCC Synthesis Report here.

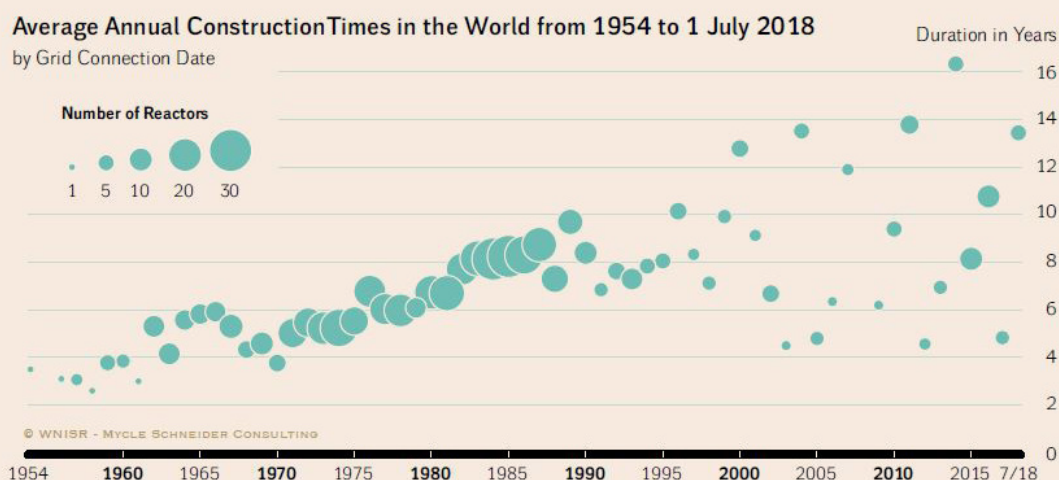
8 <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>

9 <https://www.reuters.com/article/us-finland-nuclear-olkiluoto/arevas-finland-reactor-to-start-in-2019-after-another-delay-idUSKBN1CE1ND>

10 <https://www.theguardian.com/business/2018/apr/10/edf-warns-of-faults-at-nuclear-power-station-it-is-building-in-france>

11 Grafiek: Mycle Schneider, World Nuclear Industry status report 2018

Figure 7 | Average Annual Construction Times in the World



Sources: WNISR, with IAEA-PRIS, 2018

Hierbij is nog een aantekening op z'n plaats: Hierboven kijken we alleen naar bouwtijden. Maar voordat er überhaupt met de bouw van een kerncentrale kan worden begonnen moet er vanwege de grote veiligheidsrisico's een zeer uitgebreid voortraject worden doorlopen. Zo kondigde de Britse regering in 2010 de bouw van de nieuwe kerncentrale 'Hinkley Point C' aan. De bouw is in 2018, acht jaar later, op voorbereidende werkzaamheden na, nog steeds niet begonnen.

Bouwtijd van een megawindpark

Het Gemini windpark, het meest recente windpark in de Nederlandse Noordzee met een vermogen van 600 MW, werd in mei 2017 geopend. De bouw startte in januari 2015. Het realiseren van het windpark – toch één van de grootste windparken wereldwijd – duurde slechts twee jaar.

Uiteraard moet ook bij een windpark rekening worden gehouden met een aanzienlijke voorlooptijd i.v.m. de ontwikkeling en vergunningenprocedures.

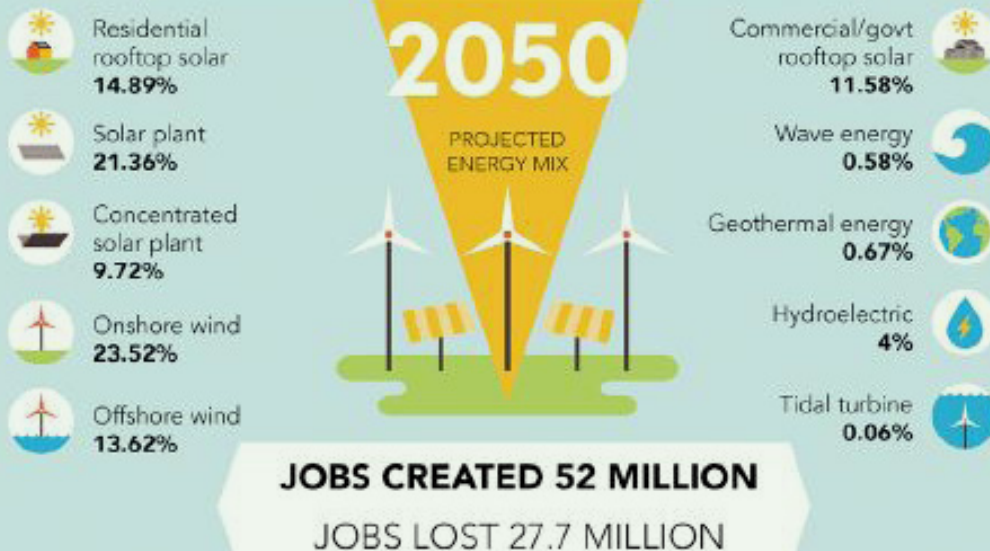
100% hernieuwbaar scenario

Kan het dan, technisch gezien, met alleen maar duurzame energie? Een gezaghebbende studie die dit beaamt is geschreven door wetenschappers van de Stanford Universiteit (USA).¹² Voor 139 landen ontwikkelden zij strategieën om voor 2050 over te schakelen op 100% wind, water en zon.

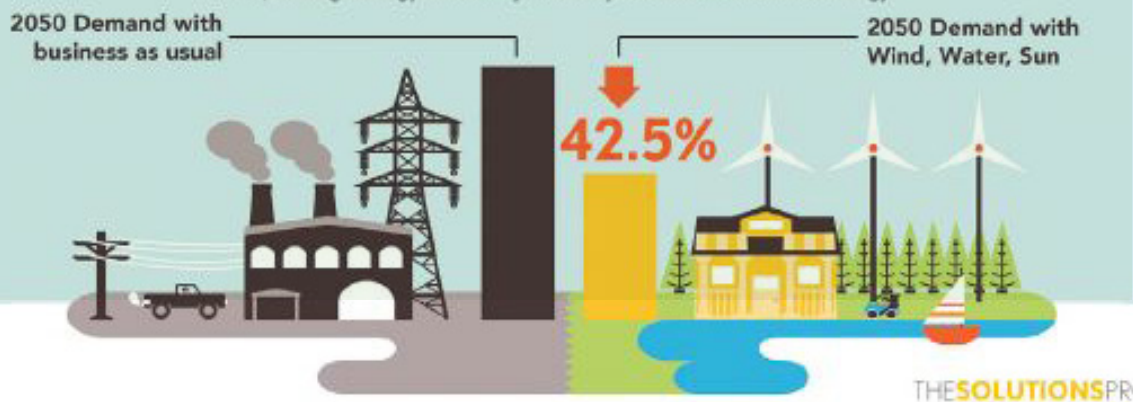
¹² Jacobson, Mark Z., Mark A. Delucchi, e.a., 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World, Joule 1, 108–121, September 6, 2017 108–121; <http://www.cell.com/joule/abstract/S2542-4351%2817%2930012-0>

100% IN 139 COUNTRIES

Transition to 100% wind, water, and solar (WWS) for all purposes
(electricity, transportation, heating/cooling, industry)



Using WWS electricity for everything, instead of burning fuel, and improving energy efficiency means you need much less energy.



Maar de overgang naar een 100% duurzame energievoorziening zal niet makkelijk gaan. Naast alle technologische uitdagingen hebben we ook te maken met tal van landen waar grote maatschappelijke en economische problemen spelen. Armoede, oorlog, geweld, ignorante wereldleiders en dictatoriale regimes staan een snelle en eerlijke energietransitie in veel landen nog in de weg. En, niet te vergeten, de grote financiële en politieke belangen die de fossiele en nucleaire sector hebben om niet te snel te willen veranderen. Het 'meestribbelen' door de nucleaire en fossiele industrie heeft veel invloed op het tempo waarin we omschakelen naar écht duurzame energie.

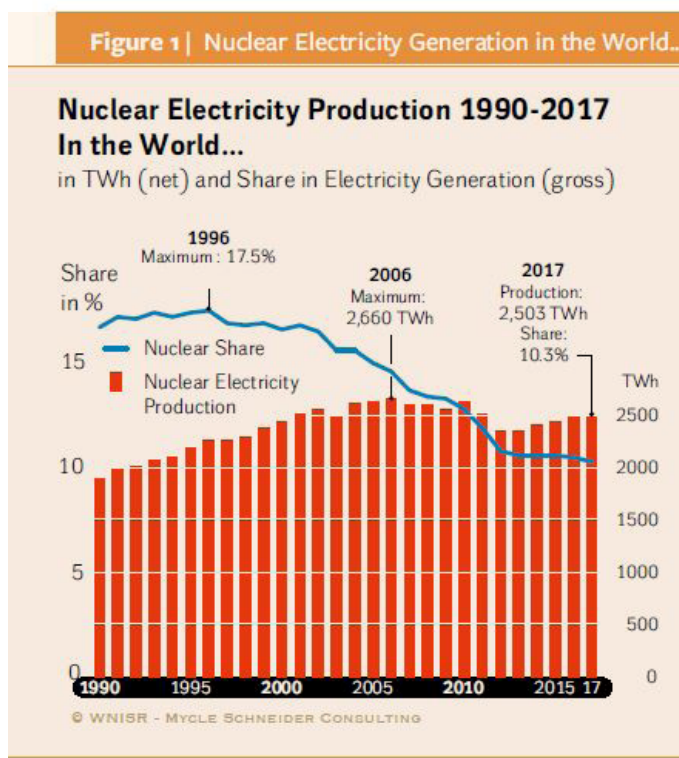
WISE vindt het realistisch om ervan uit te gaan dat ook gascentrales – die ongeveer de helft van de CO₂ van een kolencentrale uitstoten – voor een bepaalde tijd nog ingezet moeten worden voor de grootschalige productie van elektriciteit.

Scenario's met kernenergie stellen teleur

Kerncentrales produceren uitsluitend elektriciteit en bieden dus geen oplossing voor bijvoorbeeld de transportsector en de zware industrie, waar olie en andere brandstoffen worden gebruikt. Elektrisch vervoer is sterk in opmars maar wereldwijd rijden voorlopig nog miljarden auto's op benzine en diesel. Ook voor warmte die bijvoorbeeld voor de verwarming in woningen of de staalproductie nodig is, is stroom uit een kerncentrale geen oplossing. Vloeibare brandstoffen en warmte maken momenteel circa 2/3 van de wereldwijde energievraag uit.¹³

Elektriciteit het resterende derde deel. Van die 33% wordt ruim 10% door kerncentrales opgewekt.¹⁴

Het aandeel kernenergie in de mondiale elektriciteitsmix was in 1996 op z'n top. De langjarige trend is sindsdien dalende.



¹³ <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=32912>

¹⁴ 10,3 % in 2017. Mycle Schneider, World Nuclear Industry status report 2018

IPCC 1,5°C rapport

Het verschil tussen 1,5°C of 2°C opwarming is qua impact op de planeet desastreus volgens een rapport dat het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) van de Verenigde Naties in oktober 2018 publiceerde. Het rapport laat zien dat er meerdere scenario's mogelijk zijn waarbij de opwarming van de aarde daadwerkelijk tot 1,5°C beperkt wordt. In vier scenario's neemt de rol van kernenergie fors toe.

Beschouwt het IPCC kernenergie als een deel van de oplossing?

Het erkent kernenergie als een van de mogelijke manieren om meer koolstofarme elektriciteit te produceren in vergelijking met fossiele brandstoffen als kolen en olie. Het maakt deel uit van de (relatief) koolstofarme stroommix waar landen uit kunnen kiezen.

Ziet de IPCC een toename van kernenergie in de stroommix als een noodzakelijk onderdeel van de oplossing?

Nee. Het IPCC heeft ongeveer 90 verschillende modellen en scenario's die leiden tot een maximale opwarming van 1,5°C bekeken en beoordeeld en komt tot de conclusie dat er grote verschillen zijn binnen die modellen als het gaat om de verwachte, gewenste of noodzakelijk geachte ontwikkeling van kernenergie. In de meeste zogeheten 1,5°C-paden wordt aangenomen dat het aandeel kernenergie in 2050 toeneemt, maar niet in allemaal. Er zijn studies die zeggen dat in 2050 40% van de stroom wordt opgewekt in kerncentrales en er zijn studies die de rol van kernenergie op 1% zetten.

In alle vier scenario's die in de 'samenvatting voor beleidsmakers' zijn opgenomen speelt kernenergie een (groeïende) rol. Hoe zit dat?

Klopt. De onderhandelingen over de samenvattingen hebben er toe geleid dat in alle vier de scenario's die als voorbeelden worden meegegeven kernenergie een (grotere) rol speelt. Het blijft interessant om ook naar de andere scenario's te kijken. De scenario's zijn belangrijk omdat ze laten zien hoe stevig er ingegrepen moet gaan worden om de doelstellingen van Parijs te halen. Daarnaast is er de echte wereld. Daarin – dit erkent ook de IPCC – zijn de politieke, economische, sociale en technische haalbaarheid van zonne-energie, windenergie en opslagtechnologieën voor elektriciteit de afgelopen jaren dramatisch verbeterd, terwijl die van kernenergie niet zijn verbeterd of zelfs zijn afgenomen.

Adviseert het IPCC om meer kerncentrales te bouwen?

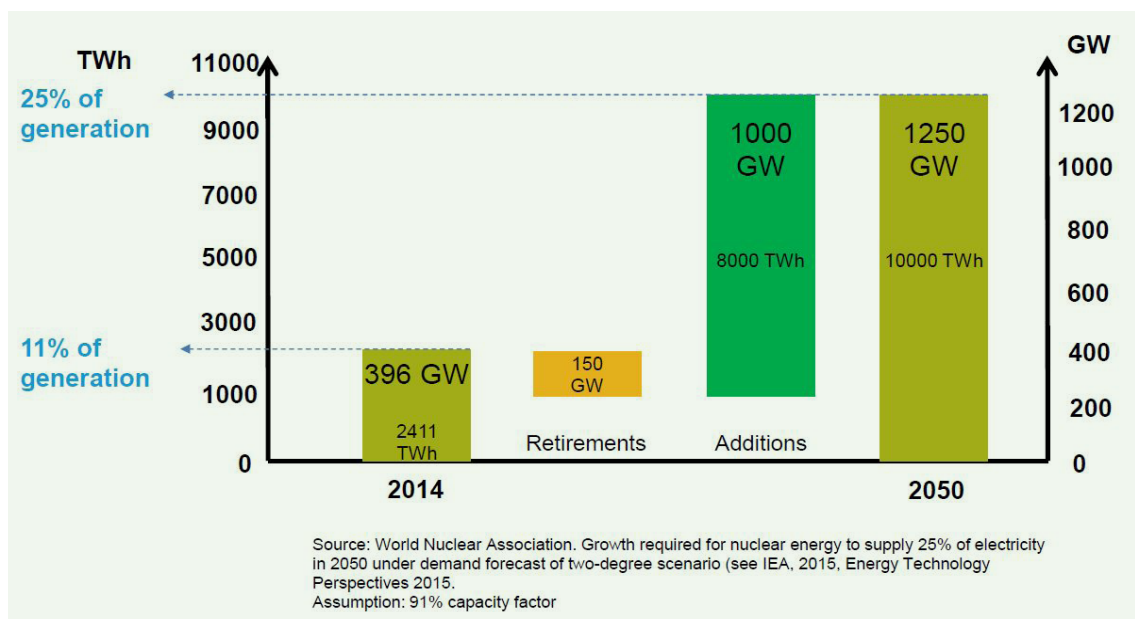
Het IPCC doet geen (beleids)aanbevelingen. Het rapport is een wetenschappelijk onderbouwd overzicht van de keuzes die er zijn om het 1,5°C-doel te halen. Zo geven ze bijvoorbeeld aan dat kerncentrales minder CO₂ uitstoten dan kolencentrales. Vervolgens laten ze het aan de politieke en maatschappelijke krachten om daar conclusies uit te trekken.

<http://www.ipcc.ch/report/sr15/>

Mogelijke bijdrage van kernenergie aan het klimaatmitigatie

Stel, we zouden vol inzetten op het gebruik van kernenergie met het doel om het klimaat te redden. Welke bijdrage zou kernenergie dan kunnen leveren?

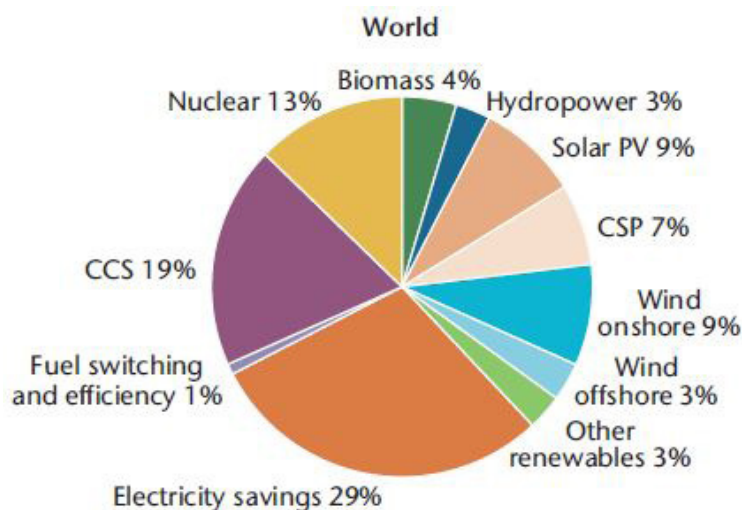
De wereldwijde koepelorganisatie van de atoomlobby, de World Nuclear Association (WNA), lanceerde in 2015 een plan om kernenergie een sterke impuls te geven: het Harmony-scenario. Volgens dit scenario zou er tot 2050 ieder jaar zo'n 30 GW aan kernenergievermogen aan het stroomnet moeten worden toegevoegd. Een nieuwe kerncentrale heeft een gemiddeld vermogen van 1 GW (1000 MW). Er zouden dus jaarlijks zo'n 30 centrales gebouwd moeten worden, in totaal circa 960 centrales. Na deze mega-operatie zou het aandeel kernenergie aan de mondiale elektriciteitsmix gegroeid zijn tot 25%.¹⁵



¹⁵ World Nuclear Association, Harmony - The global nuclear industry's vision for the future of electricity, London (2017); <http://world-nuclear.org/harmony>

De realiteit is dat er de laatste 5 jaar jaarlijks hooguit 5 bouwstarts van kerncentrales werden gerealiseerd, de meeste daarvan in China.¹⁶ Vanaf 2021 zou het tempo van aanbouw ruim moeten verviervoudigen om het doel te halen. Vanaf 2031 zou er zelfs zes keer zoveel vermogen uit de grond moeten worden gestampt. Dit lijkt niet realistisch aangezien de langjarige trends juist een daling van het kernenergievermogen voorspellen.

Maar als het Harmony-scenario van de kernenergie-industrie op wonderbaarlijke wijze toch zou uitkomen: welke bijdrage zou kernenergie dan kunnen leveren om de 2 graden-doelstelling van Parijs te halen? Volgens de eigen scenario's zou de CO₂-besparing door gebruik van kernenergie 13% kunnen bijdragen aan de emissiereducties in de elektriciteitssector. Aangezien elektriciteit slechts een derde van het totale energieverbruik uitmaakt is de absolute emissiereductie minder dan 4%. Deze emissiereductie kan naar ons idee ook gerealiseerd worden door nog iets zwaarder in te zetten op een combinatie van energiebesparende maatregelen en technieken die al bewezen hebben te werken zoals wind, water en zon.



Grafiek:

- Er wordt uitgegaan van het 2 graden-scenario, CO₂-reducties worden berekend ten opzichte van een 6 graden-scenario (business as usual).
- Er wordt uitgegaan dat kerncentrales kolencentrales vervangen
- Er moeten tussen nu en 2050 circa 960 kerncentrales worden gebouwd.
- Alléén de elektriciteitssector: zoals eerder omschreven zorgt de elektriciteitssector slechts voor 1/3 van alle energieregerelateerde CO₂-uitstoot. Als we naar alle CO₂-uitstoot kijken zal het percentage daarom niet veel meer dan 4 bedragen.
- Bron: Technology Roadmap nuclear energy, 2015 (NEA/iea). Het Harmony-scenario is gebaseerd op deze studie.

Kernenergie kan ook volgens deze extreem 'optimistische' – in onze ogen ronduit onrealistische - scenario's slechts beperkt bijdragen aan een oplossing voor het klimaatprobleem.

¹⁶ Mycle Schneider, World Nuclear Industry status report 2018, pag. 34

3. Leveringszekerheid zonder kernenergie

In Denemarken zorgde windenergie in 2017 al voor 44% van de totale elektriciteitsvoorziening. Tegelijk is het Deense elektriciteitsnet een van de meest betrouwbare ter wereld.¹⁷ Om dit voor elkaar te krijgen heeft Denemarken een innovatief stroomnet ontwikkeld waarin flexibiliteit voorop staat. En kernenergie? De productie van kernenergie is in Denemarken bij wet verboden.

De mondiale energiehonger stijgt

De wereldbevolking groeit en vele miljoenen mensen die nu nog met energiearmoede kampen hebben recht op toegang tot schone, betrouwbare en veilige energie. De stroomproductie zal mondiaal fors moeten stijgen. Maar dat hoeft niet te gebeuren met kolen- of kerncentrales. Laat de landen waarin het energieverbruik de komende decennia sterk gaat groeien niet de fouten herhalen die wij in de rijke, westerse landen hebben gemaakt maar laat ze direct inzetten op decentrale, schone energiebronnen.

Elektrificatie

Ook in de zware industrie en de transportsector wordt hard gewerkt aan de vervanging van olie en kolen door écht duurzame energiebronnen. In die sectoren moet allereerst veel energie worden bespaard. Tegelijk zullen er door de toenemende elektrificatie van het energiesysteem steeds grotere hoeveelheden elektriciteit beschikbaar moeten komen. Deze moeten deels non-stop beschikbaar zijn en moeten daarom op allerlei manieren worden opgeslagen. De eerste grootschalige voorbeelden van nieuwe energiesystemen, waarin ook de zware industrie op groene stroom kan draaien, worden nu gerealiseerd: in Australië is de staalmiljardair Gupta bezig om 10 GW aan zonne-energie neer te zetten. Met zijn megaplan gaat hij onder andere zijn eigen staalfabrieken van stroom voorzien. De zonne-energie wordt hierbij gecombineerd met grootschalige energieopslag en waterkracht. De verwachte besparing voor de verbruikers ten opzichte van hun huidige energieprijzen bedraagt 20 tot 50%.¹⁸

Dit soort ontwikkelingen zullen de komende jaren steeds sneller gaan dankzij dalende prijzen van duurzame energie. Toch vindt WISE het realistisch om ervan uit te gaan dat ook gascentrales – die ongeveer de helft van de CO₂ van een kolencentrale uitstoten – voor een bepaalde tijd nog ingezet moeten worden voor de grootschalige productie van elektriciteit.

Base-load, peak-load en marginale kosten

Het elektriciteitsnetwerk werd vroeger gemanaged volgens het base-load en peak-load principe: vaste, gecentraliseerde stroombronnen als kolen- en kerncentrales leverden een basisstroomvoorziening die 24/7 hetzelfde was. Alles daarboven (de piekvraag) werd geleverd door flexibel bij te regelen elektriciteit uit, met name, gascentrales. Sinds de intrede van

¹⁷ <https://cleantechnica.com/2018/01/06/44-wind-denmark-smashed-already-huge-wind-energy-records-2017/>

¹⁸ <https://reneweconomy.com.au/guptas-stunning-deal-to-supply-cheap-solar-to-south-australian-industry-54849/>

variabele, hernieuwbare energiebronnen als wind- en zonne-energie wordt het netwerk in toenemende mate anders gemanaged. Er wordt hierbij voorrang gegeven aan de levering van bronnen met lage marginale kosten.¹⁹ Windturbines, waterkrachtcentrales en zonnepanelen hebben de laagste marginale kosten, gevolgd door respectievelijk: kernenergie, kolencentrales en gascentrales.²⁰

Los hiervan is het in veel landen ook een politieke keuze om schone energie voorrang te geven op het elektriciteitsnet.

Het fluctuerende duurzame energieaanbod wordt stabiel als een steeds groter aantal relatief kleine bronnen gedecentraliseerd elektriciteit leveren. Deze flexibele bronnen worden aangevuld met duurzame bronnen die wel 24/7 stroom leveren zoals waterkracht, biogas en geothermie en, waar nodig, stroom uit batterijen en andere vormen van opslag.

Aanpassingen stroomnet

Om een flexibele mix van alle mogelijke duurzame bronnen mogelijk te maken wordt het stroomnet overal ter wereld gemoderniseerd en steeds verder uitgebreid. Het Nederlandse stroomnet reikt bijvoorbeeld nu al ver over alle grenzen van ons relatief kleine land. Er worden grote hoeveelheden stroom over de grens verhandeld. De ontwikkelingen richting een flexibeler stroomnet waarin decentraal opgewekte elektriciteit slim wordt geïntegreerd vindt niet alleen in de rijke, westerse landen plaats. Ook in China wordt het stroomnet gemoderniseerd. De grote fossiele en nucleaire energiecentrales maakten er decennialang de dienst uit. Sinds kort komt er versneld steeds meer kleinschalige, duurzame en decentrale stroomproductie bij. Het Chinese stroomnet wordt hierop aangepast.²¹

Slimme combinatie van technologieën en batterijen

Duurzame energiebronnen vullen elkaar aan. Overdag is er veel zon en als het donker wordt, en er juist een piek in de vraag is, is er vaak weer meer wind. In de winter, als er weinig zon is, is er juist veel meer windenergie beschikbaar. Het is wel een grote uitdaging om energievraag en -aanbod met een groeiend aantal variabele energiebronnen als zon en wind gedurende het hele jaar in balans te houden. In alle serieuze toekomstscenario's speelt energiebesparing daarom een cruciale rol. Efficiëntieverbeteringen gaan hierbij gepaard met slimme prijsmechanismen om de piekbelasting van het energiesysteem terug te brengen (peak shaving). Er zullen ook grote hoeveelheden elektriciteit moeten worden opgeslagen voor de perioden waarin er te weinig aanbod is. Hiervoor staat een scala aan technieken ter beschikking, zoals bijvoorbeeld: pumped storage (water in stuwmuren of lucht in ondergrondse geologische reservoirs pompen), warmteopslag, waterstof en – last but not least - batterijen. De ontwikkeling van batterijen neemt momenteel een enorme vlucht. Bloomberg New Energy Finance (BNEF) concludeert in maart 2018 dat er een duizelingwekkende daling van 79% in

¹⁹ Marginale prijs

Elektriciteitsproducenten bepalen hun productprijs op basis van de variabele kosten. Elk uur van de dag berekent een producent wat het zou kosten om één extra eenheid (MWh) elektriciteit te produceren. Die prijs geeft hij door aan de markt. Dit is het principe van 'marginal pricing'.

Elke elektriciteitscentrale heeft daarmee zijn eigen kostprijs. Die kostprijs is bijvoorbeeld afhankelijk van de brandstof- en CO₂ kosten. Windturbines en zonnepanelen hebben de laagste marginale kosten gevolgd door respectievelijke kernenergie, kolencentrales en gascentrales. Bron: <https://www.vemw.nl/Elektriciteit/Elektricitetsmarkt/Prijsvorming.aspx>

²⁰ De marginale kosten zijn sterk afhankelijk van de kosten voor brandstof. Brandstof bij zon en wind = 0.

²¹ <http://energypost.eu/china-takes-steps-to-stimulate-distributed-renewable-energy-generation/>

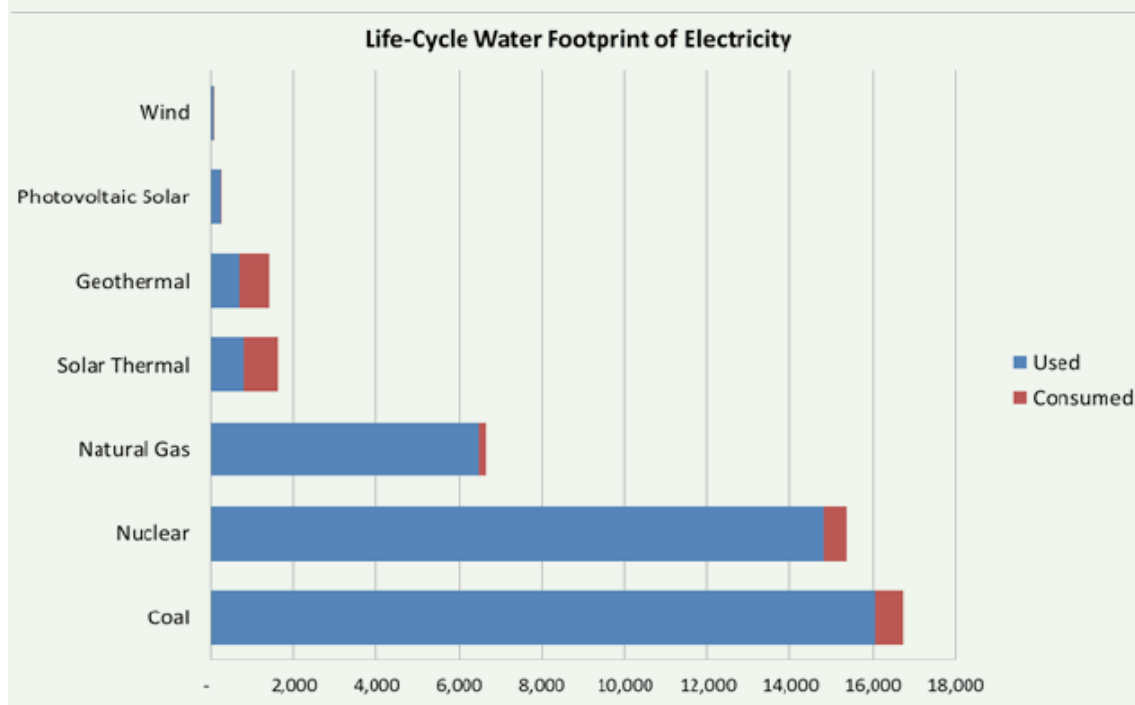
de kosten van lithium-ion-batterijen sinds 2010 heeft plaatsgevonden. Volgens Bloomberg zijn investeringen in fossiele energiecentrales, bedoeld om de leveringszekerheid te garanderen, nu al niet meer rendabel.²²

Mooi weer, seizoenen en technische problemen

Voor nieuwe kerncentrales wordt vaak een beschikbaarheidsfactor van 90% of meer geadverteerd. In realiteit halen de meeste kerncentrales slechts 80%. Maar 254 van de 413 kerncentrales wereldwijd zijn meer dan 31 jaar oud, 77 zelfs meer dan 41 jaar en ouder.²³ Van deze oude reactoren neemt de mate van beschikbaarheid af. En wanneer er een probleem in een kerncentrale is, valt er in één klap een grote hoeveelheid stroom weg. Om dit risico te voorkomen hebben kerncentrales ook altijd back-up-capaciteit nodig die snel ingebracht moet kunnen worden. Meestal gaat het hierbij om waterkracht, gascentrales of op 'stand-by' draaiende kolencentrales.

Kerncentrales zijn soms ook weersafhankelijk. Dit heeft te maken met de enorme hoeveelheden koelwater die nodig zijn om de reactor constant te koelen.²⁴ Als dit uit een rivier komt waarin de waterstand door aanhoudende droogte te laag is of de watertemperatuur te hoog wordt (tijdens een hittegolf), moet zo'n centrale tijdelijk worden stilgelegd. In India is dit een groot probleem.²⁵ Maar ook Europese centrales hebben er steeds vaker last van.²⁶

Chart 1. Lifecycle Water Use of Electricity (Gallons/MWh)



22 <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-03-28/fossil-fuels-squeezed-by-plunge-in-cost-of-renewables-bnef-says>

23 World Nuclear Industry Status report 2018, pag. 41

24 Life cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates, J Meldrum et al, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/1/015031/pdf>

25 Parched Power: Water Demands, Risks, and Opportunities for India's Power Sector <http://www.wri.org/publication/parched-power>

26 <https://www.theguardian.com/environment/2006/jul/30/energy.weather>

Zonne- en windenergie zijn weersafhankelijk maar de energieopbrengst is tegenwoordig zeer goed voorspelbaar. Technische problemen in één windturbine hebben vrijwel geen gevolgen voor de totale geleverde capaciteit van een windpark. In die zin geeft een windpark juist een grote leveringszekerheid.

Kernenergie flexibel inzetbaar?

Over het algemeen worden kerncentrales als te inflexibel gezien om een grote rol te kunnen spelen in het moderne elektriciteitsnetwerk waarin een grote en steeds groeiende fractie variabele hernieuwbare energiebronnen de hoofdrol spelen. Toch beweren kernenergieproducenten de laatste jaren dat ze kerncentrales ook flexibel kunnen inzetten om de elektriciteitsvraag te volgen. De stroomproductie van een kerncentrale zou snel omlaag en omhoog te regelen zijn; dat zou kerncentrales dus geschikt maken voor het samenspel met variabele, duurzame energiebronnen als zon en wind.

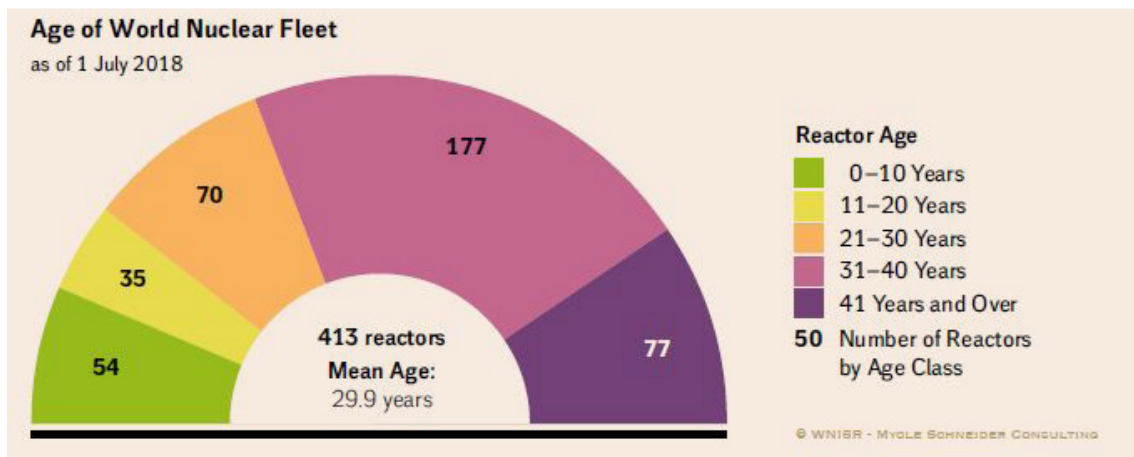
Het klopt dat kerncentrales hun stroomproductie kunnen laten afnemen als er minder vraag is. Tot zo'n 30% capaciteitsvermindering is dit relatief eenvoudig, daarna wordt het problematisch. De hoofdreden: het is extra belastend voor de kernreactor. Iedere keer dat een kerncentrale snel haar productie moet verminderen, ontstaat er een tijdelijke toename van de snelle neutronenstroom. Dit leidt tot een versnelde verbrossing van het stalen reactorvat en de lasnaden. In de praktijk zien we dat kernenergieproducenten de reactoren zo veel mogelijk non-stop laten draaien, zelfs wanneer dat tot hele lage of zelfs negatieve elektriciteitsprijzen leidt (waarbij de afnemer geld krijgt om elektriciteit af te nemen). Onderzoek van Craig Morris wijst uit dat kerncentrales uiteindelijk niet compatibel zijn met het snel fluctuerende elektriciteitsaanbod uit zon en wind.²⁷

²⁷ Craig Morris, Can reactors react? <https://www.iass-potsdam.de/en/output/publications/2018/can-reactors-react-de-carbonized-electricity-system-mix-fluctuating>
Samenvatting: <https://twitter.com/ppchef/status/970668691745583105>

4. Bestaande kerncentrales langer open houden voor het klimaat?

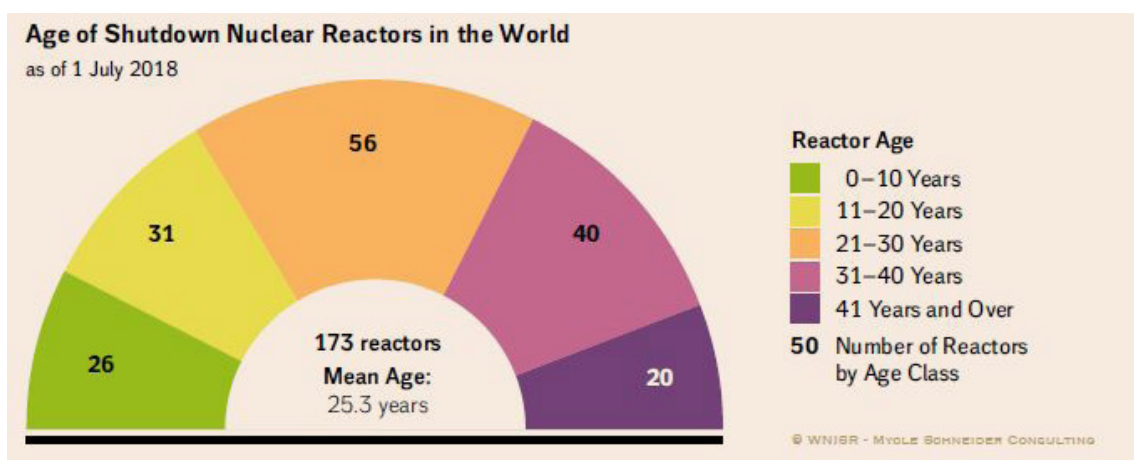
Als het om allerlei redenen niet haalbaar en/of onwenselijk is om nieuwe kerncentrales te bouwen, is het dan niet verstandig om op z'n minst *bestaande* kerncentrales langer open te houden? Wij denken van niet.

Het merendeel van de reactoren op de wereld is al meer dan 30 jaar oud.²⁸ De laatste Nederlandse kerncentrale (kerncentrale Borssele/Zeeland) is zelfs 44 jaar oud. Een auto van die leeftijd noemen we een oldtimer!



Door de klimaatverandering neemt de druk toe om de relatief CO₂-arme, oude kerncentrales steeds langer open te houden. De exploitanten gebruiken het klimaatargument uiteraard ook. Vaak om onzuivere redenen: omdat de centrales zijn afgeschreven wordt er gehoopt op maximale winst voor de aandeelhouders. Meestal valt dit tegen. Met de ouderdom komen namelijk de gebreken; de benodigde investeringen in onderhoud en veiligheid lopen op en de winsten blijven uit.

De onderstaande grafiek laat zien dat de meeste reactoren tot nu toe zijn gesloten na een gemiddelde levensduur van 25 jaar.²⁹



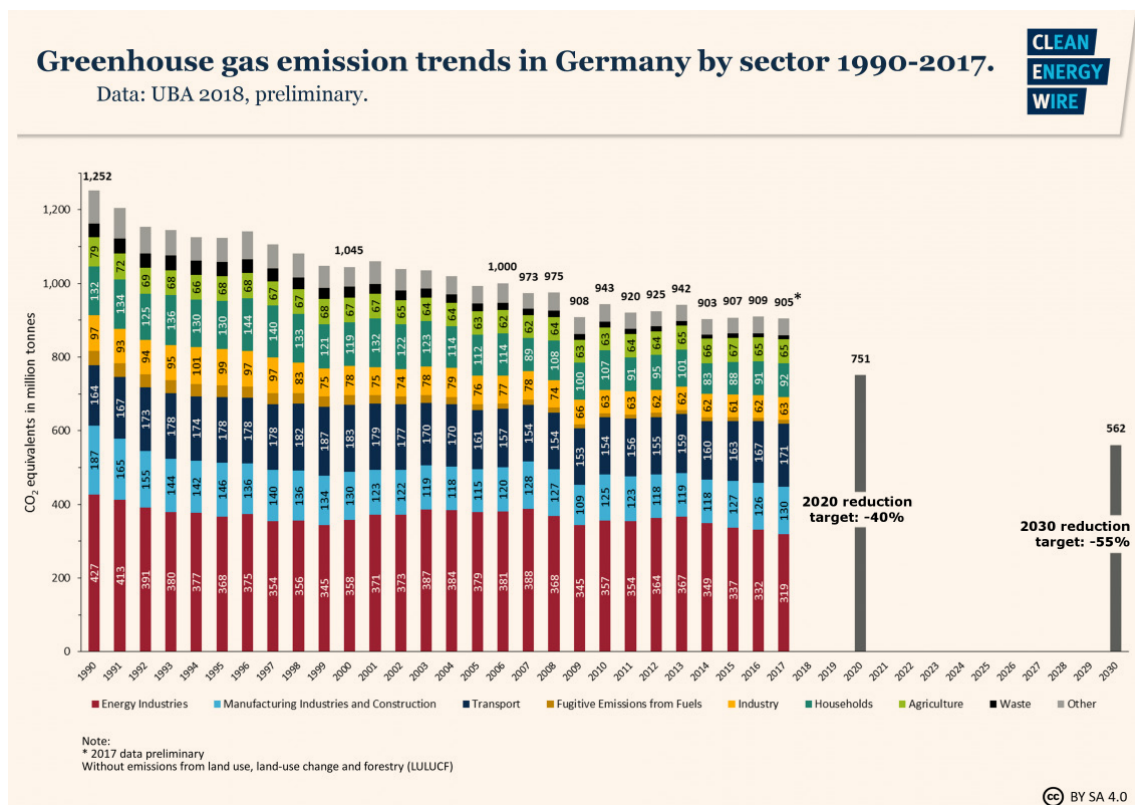
28 Grafiek: World Nuclear Industry Status Report 2018, Mycle Schneider

29 Grafiek: World Nuclear Industry Status Report 2018, Mycle Schneider

'Atomausstieg' in Duitsland

De Duitse 'Atomausstieg', het versneld uitfaseren van kernenergie na de kernramp in Fukushima, laat zien dat dit niet automatisch leidt tot meer inzet van kolen en gas. Het besluit om te stoppen met kernenergie bracht in Duitsland een ongeëvenaarde golf van duurzame energie-innovaties op gang en maakte Duitsland tot een internationale koploper op het gebied van wind- en zonne-energie. Zonder deze impulsen was de druk om met schone, duurzame energie óók kolencentrales uit te faseren nooit op gang gekomen.

Het veel gehoorde argument dat de Duitse CO₂-uitstoot is toegenomen omdat er kerncentrales dicht zijn gegaan is onjuist. De CO₂-uitstoot van de elektriciteitssector daalt elk jaar.³⁰ Dat de CO₂-uitstoot in Duitsland sinds kort toeneemt is te wijten aan de transportsector en de industrie.



Kern of kolen, een vals dilemma

Het klopt: een kerncentrale veroorzaakt veel minder CO₂-uitstoot dan een kolencentrale. Maar kernenergie is veel meer dan alleen een manier om stroom te produceren. De risico's en nadelen van kernenergie liggen op een heel ander vlak: denk aan kernrampen (Tsjernobyl, Fukushima), kernwapens, de milieu-impact van uraniummijnbouw en het haast onoplosbare probleem van het kernafval. Er is wereldwijd nog geen plek gevonden waar hoogradioactief afval voor 240.000 jaar veilig kan worden opgeslagen.

Wat is erger: kernenergie of kolen? WISE vindt dat met deze vraag een vals dilemma wordt gecreëerd en pleit voor het versneld afbouwen van kolen én kernenergie en voor het invoeren van écht duurzame oplossingen.

30 <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-emission-von-treibhausgasen>

5. De kosten van kernenergie

Levelized costs of electricity (LCOE)

Een uitgebreide vergelijking van de kosten van de verschillende manieren om elektriciteit op te wekken kan worden gemaakt door naar de zogenaamde 'levelized costs of electricity' (LCOE) te kijken. Hierbij wordt er gekeken naar alle kosten die bij een vorm van energie-opwekking horen. In het geval van windturbines worden dan bijvoorbeeld de bouwkosten, de benodigde grondstoffen en bouwmaterialen en de kosten van ontmantelen van windparken over de hele wereld in een gemiddelde prijs per megawattuur verrekend. In het geval van kernenergie wordt er dus ook gekeken naar de prijs van het exploiteren van een kerncentrale, maar ook naar de andere kosten, van de uraniummijnbouw tot aan het opbergen van hoog-radioactief afval en het ontmantelen van afgedankte kerncentrales. De kosten van het ontmantelen van kerncentrales worden hierbij stelselmatig onderschat.³¹ En omdat er wereldwijd nog nergens kernaafval definitief is opgeslagen zijn er hiervoor nog geen betrouwbare kostenanalyses. Op dit punt zijn de meeste LCOE's naar ons idee niet volledig.

Een ander aspect is dat de prijsontwikkelingen rond wind- en zonne-energie razendsnel gaan. Daarom is het noodzakelijk om naar de allernieuwste LCOE's te kijken en niet (wat vaak gedaan wordt) te refereren naar de LCOE van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)³². Het laatste IPCC rapport zelf is uit 2014 en gebruikt voor wind- en zonne-energie zelfs nog bronnen uit 2011.

We kijken daarom liever naar de vergelijkingen van een van 's werelds grootste financiële consultancybureaus, Lazard.³³ Dit publiceerde in november 2017 cijfers waaruit ondubbelzinnig blijkt dat wind- inmiddels goedkoper is dan kernenergie:

	Kosten per MWh ³⁴
Windenergie	€ 25 - € 50
Gas (WKK)	€ 35 - € 66
Zonne-energie op industriële schaal	€ 36 - € 45
Kolen	€ 50 - € 120
Kernenergie	€ 94 - € 154

31 The World Nuclear Industry Status Report 2018, Mycle Schneider, pag. 151

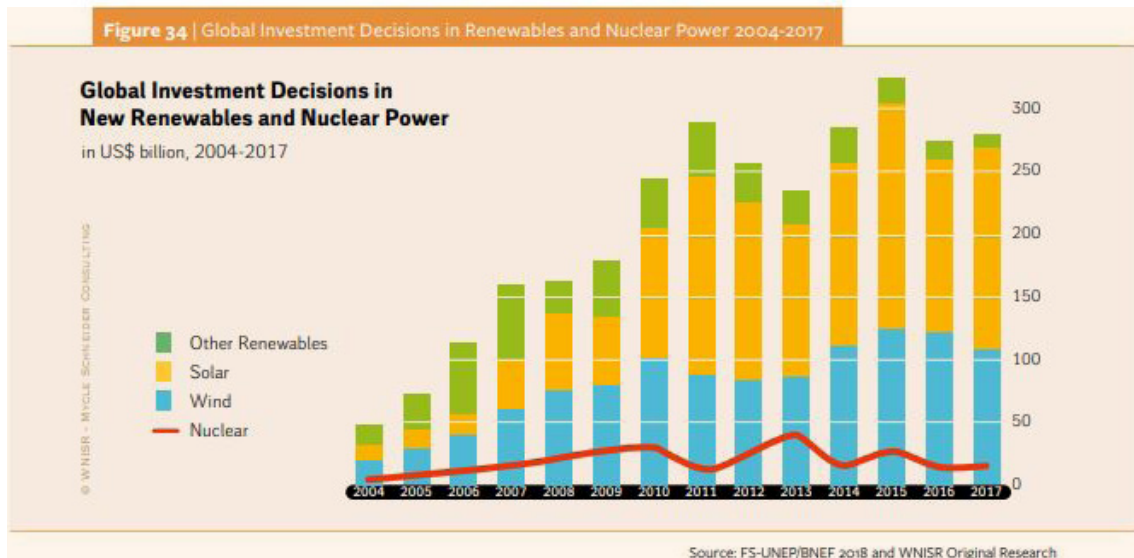
32 <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>

33 <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-2017/>

34 Bedragen omgerekend van Dollar naar Euro's, koers nov. 2017 (publicatie Lazard report): 1 Amerikaanse Dollar = 0,84101 Euro's op 30-11-2017

Prijs duurzame energie denderd naar beneden

Investerings in duurzame energie zijn 'booming' en bedragen al lang een veelvoud van de investeringen in kernenergie.



De reden is overduidelijk: duurzame energie wordt steeds goedkoper. Recent onderzoek van Bloomberg New Finance naar de kosten van verschillende technieken illustreert de doorbraak van duurzame energiesystemen.³⁵ Seb Henbest, directeur van Bloomberg Europa, Midden Oosten en Afrika, vat het samen: *“Dankzij steeds efficiëntere technologieën zien we ongekend lage prijzen voor wind- en zonne-energie. En die prijzen zullen blijven dalen en elke keer opnieuw records breken. Dit heeft een krachtig effect - het verandert onze perceptie.”*

Voorbeeld wind NL

De kostprijs voor wind op zee is de afgelopen jaren spectaculair gedaald. Ten opzichte van de 12,4 cent/kWh waarvan in het Energieakkoord 2013 werd uitgegaan is in 2018 een kostenreductie van 55% bereikt, waardoor het mogelijk werd een windpark geheel zonder subsidie te bouwen en te exploiteren. Nuon kreeg de vergunning voor dit eerste subsidievrije windpark Hollandse Kust Zuid dat straks voldoende duurzame stroom voor één miljoen huishoudens levert.



35 <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-03-28/fossil-fuels-squeezed-by-plunge-in-cost-of-renewables-bnef-says>

Kernenergie, kostenoverschrijdingen en faillissementen

Het is niet meer mogelijk om een kerncentrale te bouwen die voldoet aan de huidige, westerse veiligheidseisen en die in de bouw goedkoper is dan circa 5 miljard euro voor een 1000 MW-centrale. Dit zorgt voor een kostprijs voor stroom die binnen de OECD-landen ruim boven de huidige marktprijs ligt, ook boven die van bijvoorbeeld offshore windenergie. Drie actuele voorbeelden laten zien dat deze bewering op het westelijke halfrond vaak nog behoudend is.

- 1. Olkiluoto:** De bouw van de supermoderne 'European Pressurized Reactor' (EPR), een 'generatie drie plus'-kerncentrale in Olkiluoto, Finland, begon in 2005 en is nu, 13 jaar later, nog steeds niet af. De 1600 MW centrale zal volgens prognoses pas in 2019 de eerste stroom leveren. De kosten lopen ondertussen uit de hand: de centrale zou oorspronkelijk voor 3 miljard euro gebouwd worden. Inmiddels worden de uiteindelijke kosten op 11 miljard beraamd.³⁶
- 2. Flamanville:** Ook de bouw van de Franse kernreactor van Flamanville (ook een EPR, met een vermogen van 1600 MW), het nieuwste vlaggenschip van het Franse energiebedrijf EDF, zit diep in de problemen. De bouw zou aanvankelijk 3,5 miljard euro kosten. Inmiddels wordt er gesproken van 10,5 miljard euro.³⁷ Het is overigens nog steeds niet zeker of de centrale ooit stroom gaat leveren; er zijn serieuze problemen met een aantal cruciale onderdelen.
- 3. V.C. Summer Nuclear Generating Station:** In juli 2017 werd de bouw van twee nieuwe kernreactoren in South Carolina/VS, elk met een vermogen van 1100 MW, gestaakt nadat er al 9 miljard dollar was geïnvesteerd. De kostenoverschrijdingen tijdens de bouw liepen zodanig uit de hand dat de bouwbedrijven failliet gingen.^{38, 39}

First of a kind

De kernenergie-industrie haalt vaak het volgende – op het eerste gezicht logisch klinkende - argument aan: de eerste kerncentrale van een nieuw soort (First of a kind, ofwel Foak) is duur, alle volgende centrales van hetzelfde type worden goedkoper. In de praktijk zien we dat die term 'Foak' vooral wordt gebruikt om uit de hand gelopen bouwkosten te verdoezelen. De laatste decennia werd ieder nieuw project steeds weer als Foak bestempeld - ook als het gaat om een ontwerp dat op dezelfde wijze al elders gerealiseerd was.

36 The World Nuclear Industry Status Report 2018, Mycle Schneider, pag. 230

37 <https://jeremyleggett.net/2018/05/31/french-nuclear-regulator-fears-safety-culture-collapse-at-flamanville-disaster-looms-for-edf/>

38 V.C. Summer Nuclear Generating Station

39 Nikkei Business Trends, 6 juni 2018, <https://asia.nikkei.com/Business/Business-Trends/Hitachi-s-UK-nuclear-project-shows-heavy-risks-for-private-sector>

Is China het beloofde (kernenergie-)land?

China speelt een leidende rol als het gaat om de ontwikkelingen rond kernenergie. Het land heeft in 2018 41 werkende kerncentrales, 16 nieuwe worden er momenteel gebouwd.⁴⁰ Volgens Forbes lukt het in China om “aan de lopende band 600 MW-reactoren voor relatief weinig geld - circa 1,7 miljard euro per stuk - te realiseren.”⁴¹ Maar dit is slechts een deel van de waarheid. In werkelijkheid kampen ook sommige Chinese bouwprojecten met vertragingen en kostenoverschrijdingen en wordt het ook in China steeds moeilijker om nucleaire projecten financieel rendabel te maken. Voorbeelden van problematische Chinese nieuwbouwprojecten zijn de kernreactoren van Haiyang, Sanmen en Taishan.⁴² Door technische problemen en mismanagement lopen deze projecten grote vertragingen op en exploderen ook hier de kosten.

Bestaande kerncentrales

Ook het draaiende houden van bestaande centrales is duur. Dit heeft alles te maken met de grote risico's die kerncentrales met zich meebrengen. Tijdens de gehele levensduur van een kerncentrale moeten steeds weer aanpassingen gedaan worden om de veiligheid zo goed mogelijk te borgen. Als ergens ter wereld nieuwe problemen aan het licht komen (bij grote ongelukken zoals Tsjernobyl en Fukushima, maar ook bij talloze kleinere incidenten) moeten in principe alle kerncentrales hierop worden nagekeken. Zo zijn na de kernramp van Fukushima/Japan alle 143 Europese kerncentrales onderworpen aan een uitgebreide stresstest.⁴³ Honderden technische verbeteringsmaatregelen werden geïdentificeerd. Praktisch alle reactoren konden wel verbeterd worden op het gebied van veiligheid.⁴⁴ De kosten werden in 2013 beraamd op 25 miljard euro.⁴⁵

Ouderdom komt met gebreken

Bestaande kerncentrales vertonen met het ouder worden steeds vaker gebreken. De frequentie en ernst van die gebreken neemt toe met de leeftijd. Om kerncentrales toch open te houden worden ze iedere paar jaar, en iedere tien jaar intensief, aan een onderzoek onderworpen waarbij zwakheden worden opgespoord en verbeteringen moeten worden uitgevoerd. Vooral bij oudere kerncentrales lopen de 10-jarige evaluaties regelmatig uit op behoorlijke investeringen. De hoogte daarvan hangt af van welk risiconiveau door de nucleaire opzichter nog wordt geaccepteerd. In Frankrijk gaat men er nu van uit dat een 40-jaar oude kerncentrale geen hoger veiligheidsrisico mag vormen dan een nieuwe kerncentrale. Onderdeel van de argumentatie is - terecht - dat er alternatieven bestaan die een veel lager risico vormen: niet alleen nieuwe kerncentrales, maar ook wind, zon en waterkracht. Het voorgeschreven veiligheidsniveau kan in Frankrijk alleen gehaald worden met investeringen die één tot enkele miljarden euro's per reactor kosten. Omdat deze investeringen met diezelfde oude reactor in 10 of 20 jaar moeten worden terugverdiend, is er voor de eigenaar een groot

40 The World Nuclear Industry Status Report 2018, Mycle Schneider, vanaf pag. 47

41 <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2015/10/22/china-shows-how-to-build-nuclear-reactors-fast-and-cheap/#3c6d8da05484>

42 The World Nuclear Industry Status Report 2018, Mycle Schneider, vanaf pag. 47

43 <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0571:FIN:EN:PDF>

44 <https://www.welt.de/politik/ausland/article109550267/Europas-Atomkraftwerke-sind-nicht-sicher-genug.html>

45 http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-13-182_en.htm

economisch risico. De kans is groot dat de frequentie van incidenten blijft toenemen terwijl de beschikbaarheidsfactor (en dus de inkomstenbron) van de centrale afneemt. Het is de vraag of er zo nog genoeg geld verdiend kan worden.

De ware prijs van kernenergie is onbetaalbaar

De winsten van kernenergie zijn voor private bedrijven, de verliezen voor de samenleving. De kans op een nucleaire meltdown in een kerncentrale is klein, maar als ze plaatsvindt, is de schade groot. Maar de nucleaire industrie is slechts een beetje aansprakelijk. De eigenaar van onze Nederlandse kerncentrale Borssele moet deze verzekeren tot een maximum van € 1,2 miljard. Voor grotere schades geldt een staatsgarantie tot € 2,3 miljard.⁴⁶ Maar de kernramp van Fukushima heeft de Japanse overheid tot nu toe al 200 miljard gekost! De eigenaar Tepco ging snel na de ramp failliet, Japanse burgers draaiden (en draaien nog steeds) op voor de kosten.

In feite wordt de nucleaire industrie in Japan, maar zeker ook in Nederland en feitelijk overal ter wereld zo flink gesubsidieerd. Ze hoeft het (onverzekerbare) risico niet in de stroomprijs mee te nemen.

Baseload en leveringszekerheid

In de discussie over de kosten van de verschillende energiesystemen wordt vaak gesteld dat men ook rekening dient te houden met momenten waarop er een piek in de energievraag is en duurzame energiebronnen als zon en wind niet de benodigde capaciteit kunnen leveren.

Er zou een veelvoud van de 'normale' capaciteit aan wind en zon gebouwd moeten worden om ook onder tegenvallende weersomstandigheden de benodigde elektriciteit te kunnen garanderen.

De omschakeling naar een 100% duurzame energievoorziening is een enorme uitdaging. WISE vindt het daarom realistisch om ervan uit te gaan dat ook gascentrales – die ongeveer de helft van de CO₂ van een kolencentrale uitstoten – voor een bepaalde tijd nog ingezet moeten worden voor de grootschalige productie van elektriciteit op momenten waarop er onvoldoende wind en zon is.

⁴⁶ <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/straling/vraag-en-antwoord/hoe-is-nederland-voorbereid-op-een-kernongeval>

6. Thorium – een goed idee?

Derde en Vierde generatie kernreactoren

Er wordt vaak gesproken over thorium en de vierde generatie kernreactoren. Allereerst: hoe zit het met de vier generaties?

- **Eerste generatie:** de allereerste commerciële kernreactoren vallen onder deze categorie; ze zijn nu uit dienst.
- **Tweede generatie:** Er zijn wereldwijd zo'n 440 commerciële kerncentrales in bedrijf. Hiervan is 95% van de tweede generatie. Ze zijn gebouwd in de jaren '70 en '80 van de vorige eeuw voor een bedrijfsduur van 30 jaar. Dit is bij vrijwel alle centrales opgerekt naar in elk geval 40 jaar, soms langer. Het merendeel van dit type kernreactoren is nu in bedrijf.
- **Derde generatie:** de reactoren van de derde generatie zijn een doorontwikkeling van de tweede generatie kernreactoren. Ze zijn vanaf eind jaren 90 in gebruik genomen en worden in een aantal gevallen ook nu nog gebouwd. De European Pressurized Reactor (EPR) is een voorbeeld van een generatie 3 plus-reactor; er is een 'core-catcher' toegevoegd die er in het geval van een kernsmelting voor moet zorgen dat er minder radioactieve stoffen naar buiten kunnen ontsnappen.
- **Vierde generatie:** er wordt nu onderzoek gedaan naar een aantal nieuwe technieken, waaronder ook de gesmolten-zout-reactor (oftewel thoriumreactor). Dit nieuwe type kernreactor moet een aantal problemen oplossen waarmee de nu gebruikte kerncentrales kampen. Het is zeer de vraag of ze de claims rond bijvoorbeeld veiligheid, kernafval en proliferatie-bestendigheid waar gaan maken.⁴⁷

Inherente veiligheid

Tot een jaar of tien geleden pretendeerde de nucleaire industrie nog te gaan komen met een 'inherent veilige reactor' – een ontwerp waarin het niet mis KAN gaan. Die pretentie hebben ze laten varen, het werd duidelijk dat het fysisch onmogelijk is om een reactor te ontwerpen waarvan met 100% zekerheid kan worden gesteld dat "er geen ongeluk met gevolgen buiten het reactorgebouw" kan plaatsvinden. PR-technisch was deze constatering een ramp; er moest erkend worden dat kernenergie niet 100% veilig kan zijn.

47 Meer info over vierde generatie kernreactoren: <https://wisenederland.nl/generatie-iv-reactoren>

Thorium als oplossing voor het klimaatprobleem

De thoriumreactor bestaat nog niet. Twee van de bekendste Nederlandse experts op het gebied van kernenergie, Wim Turkenburg (emeritus hoogleraar Natuurwetenschap & Samenleving) en Jan Leen Kloosterman (professor voor nucleaire reactorfysica aan de TU Delft en tevens uitgesproken voorstander van de thoriumtechnologie) zijn het er over eens dat een commerciële thoriumreactor er pas over tientallen jaren kan zijn. Tientallen jaren dus, zelfs als we nu in Europees verband alle zeilen bijzetten en volop investeren om deze technologie uit de grond te stampen.⁴⁸ De thorium-technologie staat nog in de kinderschoenen; er moet nog heel veel onderzoek worden gedaan. Wim Turkenburg: *“De ontwikkeling van diverse typen Generatie IV reactoren [daaronder valt de thorium reactor, red.] naar een commercieel product waarvoor door overheden een bouwvergunning wordt afgegeven, kan nog wel een jaar of veertig vergen. We zitten dan voorbij 2050 en het klimaatvraagstuk moet dan al zijn opgelost. Je kunt je dus de vraag stellen of deze nieuwe technologie niet te laat komt.”* Jan Leen Kloosterman: *“Alle voordelen van thorium ten spijt zal het nog wel tientallen jaren duren vooraleer de lifter [een type thoriumreactor, red.] de uraniumcentrale zal hebben vervangen. Er gaan vele honderden miljoenen mee heen om ook maar één thoriumcentrale te bouwen vanaf het punt waar men nu is in de ontwikkeling. Veel van dat geld zal gaan zitten in al het theoretische voorwerk dat gedaan moet worden. Het berekenen en optimaliseren van de temperatuur, druk, dichtheid van materialen; het zuiveren van de brandstof. Kortom, alle fysische en chemische aspecten die we in de vingers moeten krijgen.”*

Thoriumreactor in Nederland?

Nieuwe kernenergie maakt geen onderdeel uit van het huidige Nederlandse regeringsbeleid. Ed Nijpels, VVD'er en oud-milieuminister, in 2018 voorzitter van het klimaatberaad (coördinerend overlegorgaan om tot een nationaal Klimaatakkoord te komen) verwoordt zijn ideeën over thorium in een gesprek met de Tweede Kamer: *“Als we het hebben over thorium, hebben we het over de vijfde generatie kerncentrales; we zijn nu bij derde/vierde generatie. Heel veel vragen en problemen die opgelost moeten worden, maar als die vijfde generatie er al komt: als die inherent veilig zijn, als het afvalprobleem dan opgelost is, wat zijn dan de kosten? Alle experts zeggen: kernenergie wordt zo kostbaar dat het nooit de slag kan winnen met duurzame energie. Maar stel dat dat allemaal positief is ('even een sprookje') en dat de kosten 'door miraculeus ingrijpen van de hemel' even hoog of even laag zijn als duurzame energie, dan heb je nog het tijdsaspect: dan duurt het 25 of 35 jaar ontwikkelingsfase, afhankelijk van de wetenschapper die je daarover spreekt. Daarmee kan het niet ingezet worden voor Parijs. Dat is een tamelijk consistent verhaal. Als het al zou komen komt het in ieder geval te laat.”*⁴⁹

Zo vervalt het hele 'klimaat'-argument: als je iets tegen klimaatverandering wilt doen dan zal dat heel snel moeten, en niet pas over tientallen jaren. Bovendien zal het nog vele tientallen miljarden euro's kosten om een thoriumcyclus en -infrastructuur op te bouwen. Als we de klimaatverandering willen stoppen kunnen we dat geld toch echt beter onmiddellijk besteden aan werkelijk schone en eindeloze bronnen uit bewezen technologieën als zon en wind.

Verder is het kortzichtig om de context van de discussie te beperken tot CO₂ en klimaat. Het gaat wat WISE betreft over duurzaamheid in een veel bredere zin. Ook al zou je met

⁴⁸ Wim Turkenburg (www.fluxenergie.nl/niet-doen/). Jan Leen Kloosterman heeft het over 20 jaar in de tweede video op www.janleenkloosterman.nl/

⁴⁹ Ed Nijpels, video, vanaf 1:11:00, <https://debatgemist.tweedekamer.nl/debatten/voorzitter-klimaatberaad-over-beoogd-proces-en-organisatie-klimaatakkoord-vervolg-van-11>

thoriumcentrales het klimaatprobleem deels oplossen, je creëert wel een aantal andere milieu-problemen, waarover later meer.

Technofix

Futuroloog Adjie Bakas geeft lezingen in binnen- en buitenland waarin hij voor honderden mensen het thorium-sprookje verkondigt.⁵⁰ Hij zegt in feite dat we niets hoeven te doen. De thoriumreactor gaat alle problemen oplossen. Volgens Reint Jan Renes, lector Crossmediale Communicatie in het Publieke Domein aan de Hogeschool Utrecht, zijn de uitspraken van Bakas ronduit schadelijk: *“Onderzoek van de Universiteit van Amsterdam toont aan dat te optimistische verwachtingen over technologische vooruitgang een negatieve invloed hebben op klimaatvriendelijk gedrag, terwijl gezonde twijfel juist motiveert. Het laatste waar we dus op zitten te wachten zijn sprookjes over onbewezen technologieën.”*⁵¹

De technologie

Molten Salt Reactor (MSR) is de verzamelnaam van alle typen reactoren waarin de brandstof (of -stoffen) is (zijn) opgelost in zout, chloor- of fluorzouten. De Liquid Fluor Thorium Reactor (LFTR; spreek uit: ‘lifter’) is een specifiek type van deze reactorsoort, namelijk die welke thorium als brandstof heeft.

Hij werkt als volgt:

In een reactorvat wordt in een grafietblok met koelkanalen een mengsel gebracht van vloeibaar thoriumfluoride (Th-232) opgelost in fluorzouten, die ook als koelvloeistof dienen. De temperatuur in het vat is desondanks hoog, wat de boel goed vloeibaar houdt. Er wordt om te beginnen ook een beetje uranium (U-235) bijgemengd, want thorium is op zichzelf niet splijtbaar; de reactie moet op gang worden gebracht met uranium. Kort door de bocht: het U-235 schiet een neutron af op het Th-232, dat daardoor Th-233 wordt, wat snel vervalt tot protactinium-233, wat verder vervalt tot U-233. Die stof is splijtbaar en valt uiteen, waarbij energie vrijkomt alsmede een neutron, dat weer Th-233 aanmaakt uit de aanwezige Th-232, waardoor de reactie in principe eindeloos doorgaat, zolang productie en consumptie van U-233 maar in evenwicht blijven.⁵²

Wim Turkenburg geeft commentaar op de MSR-technologie: *“Aan de ontwikkeling van de MSR is in de jaren zestig van de vorige eeuw al gewerkt. Om diverse redenen is men daarmee gestopt. Eén van die redenen was de complexiteit van de technologie die bij de gesmolten zout reactor wordt toegepast. Werken met een vloeibaar zout waarin splijtstof is opgelost dat overal netjes over de vloeistof verdeeld moet zitten, is niet makkelijk. Bovendien is werken met een vloeibaar zout dat zeer heet en uiterst radioactief is technologisch gezien geen pretje. Er zijn daarom veel vraagstukken waarvoor oplossingen gevonden moeten worden, bijvoorbeeld op het gebied van materiaalgebruik, corrosie, verontreiniging van het zout, en verwijdering van de splijtingsproducten uit het circulerende zout.”*⁵³

50 <https://www.youtube.com/watch?v=samgQkSCab8&feature=youtu.be>

51 Rein Jan Renes in Communicatie Magazine NR. 01/02

52 Kloosterman, refererend naar stuk van Chris Pangere, Intermediair, http://www.janleenkloosterman.nl/intermediair_20110603.php

53 <https://www.fluxenergie.nl/niet-doen/>

Oak Ridge National Laboratory

In de jaren 60 draaide aan het 'Oak Ridge National Laboratory' in de VS vier jaar lang een wetenschappelijk experiment waarin stroom werd geproduceerd met een gesmolten-zout-reactor (ook wel 'molten salt reactor, MSR) waarin inderdaad thorium werd gebruikt. Uranium en plutonium waren onmisbaar om de kettingreactie op gang te brengen.⁵⁴ Van een commerciële toepassing was geen sprake. Het experiment kreeg geen vervolg, onder andere omdat een ander type kernreactor, de lichtwaterreactor die uranium als brandstof gebruikte, al breed toegepast werd en gold als de 'winnende' technologie.

In het Duitse Hamm draaide vanaf 1985 tot 1988 de 'thoriumreactor' THTR-300. Maar bij nader inzien was ook deze reactor de facto een uraniumreactor. Uranium (U-235) was nodig om de reactor te laten functioneren. Thorium zorgde er voor minder dan 25% van de energieopwekking.⁵⁵

Reactorveiligheid

MSR-thoriumreactoren zitten heel anders in elkaar dan de huidige uraniumreactoren en zijn – aldus de voorstanders van deze techniek – veel veiliger. In een MSR wordt de splijtstof niet als vaste stof verwerkt, maar opgelost in een gesmolten fluoridezout. Dat gesmolten zout wordt tegelijkertijd als koelstof en als splijtstof gebruikt. Het blijft op hoge temperaturen stabiel en controleerbaar. De voorstanders claimen dat 'het op hol slaan van de reactor in een thoriumcentrale' onmogelijk is. Een 'meltdown' zou uitgesloten zijn: het splijtbare materiaal is immers al gesmolten. En als de temperatuur te hoog oploopt, zet de vloeistof uit, waardoor er minder van in het reactorvat overblijft en de radioactieve kettingreactie afneemt. Ook als de stroom uitvalt stroomt het zout vanzelf in opslagreservoirs onder de reactor, waar het kan afkoelen.⁵⁶

Op papier lijkt de thoriumtechnologie hier voordelen te hebben ten opzichte van de huidige kernreactoren die uranium als basis voor de brandstof gebruiken. Toch blijft ook de thoriumreactor gevaarlijk: er wordt gewerkt met hoogradioactieve stoffen, lekkages blijven mogelijk.

Een nadelig aspect dat door de voorstanders van de thoriumtechnologie meestal niet wordt genoemd betreft het voortraject dat nodig is om de benodigde brandstof voor een thoriumreactor te verkrijgen. Thorium is namelijk geen splijtstof en moet eerst in splijtbaar uranium (U-233) worden getransformeerd. Hiervoor zijn snelle kweekreactoren en opwerkingsfabrieken nodig, allebei zeer problematische technologieën die om uiteenlopende redenen internationaal in een slecht daglicht zijn komen te staan.⁵⁷

Kernwapens

Met de kennis en materialen uit de 'civiele' nucleaire industrie (kerncentrales) kun je ook kernwapens maken. Dat is ook één van de redenen waarom er in de jaren '50 voor gekozen

54 https://en.wikipedia.org/wiki/Molten-Salt_Reactor_Experiment

55 Hoofdstuk historie is grotendeels gebaseerd op Dr Rainer Moorman, 'Thorium – a better fuel for nuclear technology?' <https://wiseinternational.org/nuclear-monitor/858/thorium-%E2%80%92-better-fuel-nuclear-technology>

56 http://www.janleenkloosterman.nl/intermediair_20110603.php

57 Dr Rainer Moorman, Thorium – a better fuel for nuclear technology?

<https://wiseinternational.org/nuclear-monitor/858/thorium-%E2%80%92-better-fuel-nuclear-technology>
Lees meer hierover in het hoofdstuk 'Opwerken' op pagina 41.

is om kerncentrales met een uraniumcyclus te gaan bouwen: men wilde juist kernwapens produceren! Voorstanders van de thoriumtechnologie beweren dat er met thorium als grondstof geen kernwapens kunnen worden gemaakt. Dat is niet waar. Met een paar chemische trucs haal je er zó de vulling voor een kernbom uit, stellen 5 fysici in een commentaar in het wetenschappelijke magazine Nature.⁵⁸ Ze zetten zelfs een handleiding op internet waarin wordt uitgelegd hoe je een kernbom gebaseerd op de thoriumtechnologie kunt maken.⁵⁹

Waarschuwingen komen ook van Dr. Rainer Moormann, een Duitse expert voor reactorveiligheid: *“Het proliferatieaspect weegt zwaar. Hier (met de thorium technologie, red.) ontstaat een ingrijpende verslechtering van de actuele situatie omdat de barrières om effectieve nucleaire explosieven te bouwen heel significant omlaag gaan.”*⁶⁰

Gevaarlijke verspreiding van de technologie

Als één van de voordelen van de thoriumreactor wordt vaak ook genoemd dat de benodigde installatie veel kleiner kan zijn dan bij een traditionele kerncentrale. Er wordt gesproken over een thoriumreactor in de vorm van een ‘Small Modular Reactor’ met een vermogen van bijvoorbeeld 10 megawatt (MW).⁶¹ Zo’n kleine kerncentrale zou kleinere investeringen vergen en makkelijker overal ter wereld ingezet kunnen worden. En door de veel kleinere omvang zou de veiligheid automatisch toenemen. Maar dan zijn er dus wel veel meer centrales nodig, op veel meer plekken. En dat leidt tot een grotere kans op proliferatie van kennis en materiaal die ook voor kernwapens geschikt zijn. De huidige beveiliging en regelmatige internationale controle van alle circa 440 kerncentrales in 30 landen vergt al enorme inspanningen. Een nóg grotere verspreiding van de kerntechnologie via vele kleine centrales zou leiden tot een grote toename van het risico dat de technologie in verkeerde handen terecht komt.

Thorium en kernafval

In theorie produceert een thoriumcentrale in vergelijking met uraniumcentrales weinig langlevend radioactief afval. De hoeveelheid langlevende radioactieve isotopen met een levensduur van zo’n 240 000 jaar (de zogenaamde actiniden) zou nog maar een zeer geringe fractie zijn van wat er geproduceerd wordt in de uraniumcyclus. De radioactiviteit van het merendeel van het afval uit de thoriumcyclus zou binnen 300 jaar verminderd zijn tot een zeer laag niveau.

Een thoriumcentrale levert dus nog steeds afval op dat 240.000 jaar gevaarlijk blijft en van mens en milieu volledig afgeschermd opgeslagen moet worden. Het probleem van hoogactief kernafval is niet zozeer het de hoeveelheid, maar de toxiciteit en stralingsintensiteit. Of je nu voor 1 of 500 kilo hoogradioactief materiaal een oplossing moet zoeken is niet zo relevant. Het grote probleem is dat er nog steeds geen definitieve en geaccepteerde methode bestaat om dit gevaarlijke afval voor alle eeuwigheid (of in elk geval voor 240.000 jaar) veilig te bergen.

⁵⁸ <http://www.nature.com/articles/492031a>

⁵⁹ <https://www.c2w.nl/nieuws/hoe-je-een-kernwapen-maakt-van-thorium/item14049>

⁶⁰ Dr Rainer Moorman, Thorium – a better fuel for nuclear technology? <https://wiseinternational.org/nuclear-monitor/858/thorium-%E2%80%92-better-fuel-nuclear-technology>

⁶¹ Ter vergelijking, een nieuwe traditionele kerncentrale heeft meestal een vermogen van rond de 1.000 MW

Beschikbaarheid van Thorium

In promotiefilmpjes voor thorium zie je weleens mannen langs het strand lopen die beweren dat thorium oneindig beschikbaar zou zijn, bijvoorbeeld in het zand waar ze op lopen. En het klopt: in lage concentraties wordt thorium in zand en ook in veel gesteenten aangetroffen. Dat is misschien ook winbaar, maar tegen zeer hoge kosten. De belangrijkste thoriumbronnen voor commerciële winning zijn de mineralen thoriëet, thorianiet en monaziet die tot wel 12% thoriumoxide bevatten. Zowat de helft van de huidige, commercieel winbare wereldreserves van 1,9 miljoen ton aan thorium bevinden zich in India.⁶² Ook de Verenigde Staten en Australië bezitten aanzienlijke voorraden thorium in hun ondergrond. Afgezien van het feit dat je niet zomaar zand in een thoriumreactor kunt scheppen lijkt de thoriumlobby hier dus een punt te hebben. De beschikbaarheid van thorium lijkt voorlopig geen probleem te vormen. Het is wel een feit dat er slechts enkele landen zijn waar thorium commercieel gewonnen wordt. Een toekomstige afhankelijkheid van deze landen is dus voorgeprogrammeerd.

Dubieuze voortrekkersrol Delftse onderzoekers

De nucleaire industrie zit met een ‘catch-22’: wie nu volop pleit voor een volledig nieuwe cyclus gebaseerd op thorium erkent dat de problemen met de huidige (uranium-)cyclus te groot zijn. De eigenaren van de honderden nu werkende kerncentrales, de bouwers van de op uranium gebaseerde centrales, de vele duizenden mensen die hun boterham verdienen met het uit de grond halen van uranium zullen niet gaan pleiten voor een thoriumindustrie. En zo doet de situatie zich voor dat de mensen die geloven in de thoriumcyclus tegenover de mensen die geloven in de uraniumcyclus komen te staan. En zijn eigenlijk alleen de wetenschappers die vooral nieuwe onderzoeksterreinen willen exploreren degenen die pleiten voor thoriumcentrales; dan kunnen ze nog zeker enkele decennia lang uitdagend onderzoek doen.

Op de Technische Universiteit Delft is een groep wetenschappers rond Jan Leen Kloosterman actief met onderzoek naar de thoriumcyclus. In 2015 heeft de TU Delft 2 miljoen euro aan Europese subsidie ontvangen voor onderzoek gericht op de veiligheidsanalyses van gesmolten-zout-reactoren. Het onderzoek valt onder het SAMOFAR-project (Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor).⁶³ Dit vierjarige Europese project valt wederom onder het Horizon 2020 Euratom-programma en heeft tot doel om een theoretische reactor te ontwikkelen, als opmaat naar een demonstratiereactor, waarin de veiligheidsaspecten goed worden onderzocht. De Technische Universiteit Delft is coördinator van dit project en werkt daarbij samen met tien andere kennisinstellingen en industriële partijen uit Frankrijk, Italië, Duitsland, Zwitserland en Mexico. De Hoge Flux Reactor in Petten zal in dit project worden benut voor het uitvoeren van stralingsexperimenten.

Wim Turkenburg: *“Alles overziende is de vraag op zijn plaats of het verstandig is dat (...) Nederland, via de TU-Delft, een voortrekkersfunctie wil spelen bij de ontwikkeling van de gesmolten zout reactor voor het winnen van energie uit thorium.”*⁶⁴

⁶² <https://nl.wikipedia.org/wiki/Thorium>

⁶³ <http://samofar.eu/>

⁶⁴ <https://www.fluxenergie.nl/niet-doen/>

7. Radioactieve straling en gezondheid

Hoe gevaarlijk is radioactieve straling?

Hoe gevaarlijk een bepaalde dosis radioactieve straling is hangt af van de intensiteit van de straling, hoelang je er aan wordt blootgesteld, en welk deel van je lichaam wordt blootgesteld.

Blootstelling aan straling wordt vastgesteld in millisievert (mSv). De arbeiders die na de kernramp van Tsjernobyl dicht bij de kernreactor werden ingezet kregen zo'n 6.000 mSv te verduren. Ze stierven binnen enkele weken.⁶⁵ De wettelijk toegestane stralingsdosis per jaar in Nederland bedraagt 1 mSv (bovenop de natuurlijke achtergrondstraling⁶⁶).

Richtlijnen

De Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP) heeft richtlijnen opgesteld voor wat een **acceptabel risico** wordt gevonden voor de blootstelling aan radioactieve straling.

- Voor gewone burgers, die niet vrijwillig aan extra (door de mens veroorzaakte) straling worden blootgesteld, is de limiet vastgesteld op 1 millisievert (mSv) per jaar. Deze hoeveelheid straling komt bovenop de normale natuurlijke achtergrondstraling die overal ter wereld bij voorbaat aanwezig is.
- Voor mensen die in de nucleaire sector werken, bijvoorbeeld in kerncentrales, bij opslagplaatsen van kernafval of in uraniummijnen, geldt een limiet van 20 mSv per jaar met een hogere limiet van 50 mSv/jaar in het geval van een incident of ongeluk.

Deze richtlijnen zeggen niet dat blootstelling onder de vastgestelde limieten veilig is, maar dat de gevolgen van blootstelling onder deze limieten politiek geaccepteerd zijn. Hierbij speelt het ALARA-principe een belangrijke rol. ALARA staat voor "As Low As Reasonably Achievable, economic and social factors taken into account" (zo min mogelijk als redelijkerwijze haalbaar is, rekening houdend met economische en sociale factoren). Ofwel; welke stralingsbelasting we aanvaardbaar vinden wordt niet bepaald door medische maar door economische criteria.

Gezondheidsgevolgen van straling

Radioactieve straling kan onder andere leiden tot verschillende vormen van kanker. Veel voorkomend is schildklierkanker, voornamelijk na blootstelling aan jodium 131. Meestal treden de eerste symptomen hier een aantal jaren na blootstelling op. Andere vormen van kanker kunnen ook pas na 10 tot 20 jaar en later optreden. Er is geen veilige ondergrens; elke hoeveelheid straling kan leiden tot het ontwikkelen van kanker en andere gezondheidsproblemen.

Blootstelling aan radioactieve straling kan ook leiden tot andere gezondheidseffecten zoals hart- en vaatziekten en geboortedeformaties.

⁶⁵ <https://static.guim.co.uk/sys-images/Guardian/Pix/photobylines/2011/3/15/1300200013379/Radiation-exposure-levels-001.jpg>

⁶⁶ De natuurlijke achtergrondstraling in NL is 2,6 mSv.

Het is moeilijk om de gezondheidsgevolgen van kleine stralingsdoses vast te stellen, omdat ze zich vaak jaren na besmetting openbaren en soms ook veroorzaakt kunnen zijn door andere oorzaken die dezelfde gevolgen kunnen hebben. Denk bijvoorbeeld aan roken, een slecht dieet of leven in een omgeving met veel fijnstof.

Linear no-threshold model

Er is wetenschappelijke consensus dat het zogenaamde *linear no-threshold model* (LNT) het beste handvat biedt om de gevolgen van stralingsblootstelling vast te stellen: Volgens dit model is er geen veilig niveau van stralingsbelasting. De gevolgen van stralingsbelasting nemen lineair toe met de hoogte van de belasting.

Achtergrondstraling

Met achtergrondstraling wordt ioniserende straling bedoeld die altijd in het leefmilieu aanwezig is. Deze kan van plek tot plek zeer sterk variëren. De stralingsbelasting in Nederland bedraagt per hoofd van de bevolking ongeveer 2,6 mSv per jaar.⁶⁷

Terugkeer naar Fukushima

In de jaren na de kernramp in Fukushima (2011) heeft de Japanse overheid een deel van het radioactief besmette gebied stap voor stap 'ontsmet'. Huizen, straten en pleinen zijn letterlijk schoongewassen en in tuinen en plantsoenen werd de bovenste aardlaag verwijderd en opgeslagen in miljoenen plastic zakken (zie foto). Ook in de bossen (meer dan 70% van het grondoppervlak in het besmette gebied is bebost) wordt de bovenlaag tien centimeter afgegraven en afgevoerd. Deze operatie leidt tot miljoenen tonnen lichtradioactief afval die als zodanig behandeld moet worden: beveiligd en afgeschermd opgeslagen boven de grond, in afwachting van een definitieve berging voor enkele honderden jaren. Het doel van deze mega-operatie is om de mate van besmetting zodanig terug te brengen dat het onder de geldende normen voor 'aanvaardbare' besmetting van gewone burgers mogelijk wordt om tienduizenden geëvacueerde bewoners terug te laten keren naar hun steden en dorpen.

Omdat men niet kan garanderen dat de schoonmaak overal tot de gewenste afname van radioactieve straling leidt, heeft de Japanse overheid de toelaatbare stralingsnorm verhoogd van 1 naar 20 mSv/jaar. Uiteraard was dit het resultaat van oplopende druk op de Japanse overheid, veroorzaakt door de jarenlange maatschappelijke ontwrichting en de enorme kosten die de opvang en verzorging van duizenden evacués met zich meebrengt.

67 https://www.rivm.nl/Onderwerpen/S/Stralingsbelasting_in_Nederland



Fukushima: de radioactief besmette bovenlaag van de grond wordt afgegraven en opgeslagen in zwarte plastic zakken.

Veel milieu- en burgerorganisaties zijn het daar niet mee eens en eisen het vasthouden aan de internationaal geaccepteerde norm van 1 mSv per jaar. De kwestie loopt hoog op, tot aan de Raad voor Mensenrechten van de Verenigde Naties. In oktober 2018 wijst de Japanse regering de oproep van de VN om terug te keren naar de veilige norm van 1 mSv per jaar af. VN-rapporteur Baskut Tuncak waarschuwt dat 'mensen nu gedwongen worden om terug te gaan naar gebieden waarvan de Japanse regering tot kort gelden zelf vond dat het stralingsniveau onveilig is'.

8. Kernrampen en de zin van evacuaties

Fukushima

Door een grote aardbeving met als gevolg een tsunami zijn in Japan in 2011 circa 16.000 mensen om het leven gekomen. In de kerncentrale Fukushima Dai-ichi ging het helemaal mis: de kernen van drie van de vier reactoren smolten en dit veroorzaakte een omvangrijke radioactieve lozing. In de prefectuur Fukushima zijn circa 2000 doden geregistreerd die toegeschreven worden aan de gevolgen van het reactorongeluk. Geen van deze sterfgevallen is direct aanwijsbaar door radioactieve straling veroorzaakt. Ze zijn het gevolg van de massale evacuatie en de hieruit resulterende maatschappelijke ontwrichting. 150.000 Mensen werden van huis en haard verdreven. Mensen pleegden zelfmoord; patiënten in ziekenhuizen, bejaardenhuizen en andere zorginstellingen overleden omdat de zorg plotseling wegviel; er was een verhoogd risico op hartaanvallen en andere stress-gerelateerde doodsoorzaken.

De gevolgen van straling komen later

Ondanks de evacuaties hebben veel mensen in het rampgebied rond de kerncentrales van Fukushima Dai-ichi een verhoogde dosis straling te verduren gekregen. Tot nu toe is er een toename van het aantal schildklierkankergevallen waargenomen die direct met de verhoogde blootstelling aan jodium-131 te maken heeft. Dit is echter meestal goed te behandelen. De verwachting is dat in de komende twee decennia ook andere vormen van kanker geconstateerd zullen worden, naast allerlei andere, aan radioactieve straling gerelateerde gezondheidsklachten.

De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) concludeerde dat mensen uit het meest besmette gebied een verhoogd risico hebben om kanker te krijgen.

Jonge meisjes hebben een verhoogd risico van 4% om later gedurende hun leven 'harde kankers' (solid cancers) te krijgen. De kans om borstkanker te krijgen is met 6% verhoogd. Jonge jongens hebben een verhoogd risico van 7% om later leukemie te krijgen. Voor meisjes en jongens geldt allebei dat ze een verhoogd risico op schildklierkanker hebben. Dat risico is normaal 0,75%. Voor kinderen uit sterkt besmette gebieden is het risico 1,25%, een stijging van 75%.⁶⁸

Als het linear-no threshold (LNT) model⁶⁹ wordt toegepast op de radioactiviteit die de getroffensten rond Fukushima te verduren hebben gekregen, dan ligt het geprognoseerde dodenaantal op de lange termijn op circa 5.000. Het LNT-model is mondiaal het uitgangspunt voor berekeningen van het risico door besmetting met radioactieve stoffen. Het wordt door alle landen gebruikt om normen vast te stellen voor verschillende bevolkings- en beroepsgroepen.

68 HO, 28 Feb 2013, 'Global report on Fukushima nuclear accident details health risks', www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/fukushima_report_20130228/en/

Full report: WHO, 2013, 'Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami based on a preliminary dose estimation', http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/78218/1/9789241505130_eng.pdf?ua=1

Lees ook: <https://www.wiseinternational.org/nuclear-monitor/853/exposing-misinformation-michael-shellenberger-and-environmental-progress>

69 Het linear no-threshold model (LNT): volgens dit model is er geen veilig niveau van stralingsbelasting. De gevolgen van stralingsbelasting nemen lineair toe met de hoogte van de belasting.

Kernenergie-lobbyisten zijn er altijd snel bij om te verkondigen dat het LNT-model de gevolgen van lage stralingsdoses overschat. Maar de risico's kunnen met het LNT net zo goed worden onderschat. In 2006 publiceerde de US National Academy of Sciences' Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) een rapport waarin deze onzekerheid als volgt wordt omschreven: *“De commissie erkent dat haar risicoschattingen onzekerder worden wanneer ze worden toegepast op zeer lage doses. Afwijkingen van een lineair model bij lage doses kunnen echter het risico per eenheidsdosis verhogen of verlagen.”*⁷⁰ En het BEIR-rapport stelt dat *“gecombineerde analyses verenigbaar zijn met een scala aan mogelijkheden, van een vermindering van het risico bij lage doses tot twee keer de risico's waarop de huidige aanbevelingen voor stralingsbescherming zijn gebaseerd.”*⁷¹

Liever niet evacueren?

Aangezien er na Fukushima geen direct aanwijsbare stralingsdoden vielen en wél veel mensen in de problemen kwamen door de evacuatie, wordt er door sommigen geroepen dat zo'n evacuatie dan maar beter achterwege kan blijven. Dit is een ingewikkelde discussie. Allereerst: er zijn tot nu toe geen of weinig acute stralingsdoden te betreuren juist omdat er geëvacueerd is. Als de mensen waren gebleven waren ze blootgesteld aan nog veel hogere stralingsniveaus. Ten tweede is de optie om *niet* te evacueren in het geval van een grote kernramp moeilijk voorstelbaar. Hoe kun je vlak na een kernramp met enige zekerheid voorspellen dat de stralingsdoses tot minder zieken en doden zal leiden dan de evacuatie? Welke regering durft het aan om in zo'n situatie niets te doen en burgers aan hun lot over te laten? Ten derde: Als er besloten wordt niet te evacueren zullen er ook veel doden door stress, zelfmoord en excessief alcoholgebruik te betreuren zijn. Gedwongen blijven leven in radioactief besmet gebied leidt onherroepelijk ook tot dat soort sterfgevallen.

Door de evacuaties hebben de mensen die direct rond de kerncentrale van Fukushima woonden een veel lagere dosis straling opgelopen dan wanneer de evacuaties niet zouden hebben plaatsgevonden. Er is noch bij de autoriteiten, noch bij specialisten in ongevalscenari's, noch in de literatuur, enige twijfel of de evacuaties terecht waren. Er is wel grote kritiek op het feit dat sommige evacuaties te laat waren (bijv. vanuit het dorp Iitate) en dat er veel organisatorische problemen waren.

Kerncentrale? Dan ook een goed evacuatieplan!

De vele doden die bij en ten gevolge van de evacuatie van Fukushima zijn gevallen zijn groten-deels het gevolg van een slechte voorbereiding op een groot kernongeval. De ongevalsplanning moet niet alleen in Japan, maar in alle kernenergiestaten en in veel gevallen ook hun buurlanden worden verbeterd. Als we tot de conclusie komen dat effectieve en veilige evacuaties eigenlijk onhaalbaar zijn moet dat gevolgen hebben voor de keuze voor kernenergie.

70 Ian Fairlie, 2 April 2014, 'New UNSCEAR Report on Fukushima: Collective Doses', www.ianfairlie.org/news/new-unscear-report-on-fukushima-collective-doses/

71 National Research Council of the U.S. National Academy of Sciences, Board on Radiation Research Effects, 2006, "Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation (BEIR VII – Phase 2)", www.nap.edu/catalog/11340.html or www.nap.edu/catalog/11340/health-risks-from-exposure-to-low-levels-of-io...

Lees ook: <https://www.wiseinternational.org/nuclear-monitor/853/exposing-misinformation-michael-shellenberger-and-environmental-progress>

Terugkeer naar besmette gebieden

Volgens internationaal aanvaarde criteria van de International Commission on Radiological Protection (ICRP) wordt een extra blootstelling door 'man-made'-straling voor de gewone bevolking van 1 mSv/jaar geaccepteerd. De Japanse regering heeft echter besloten om deze norm te versoepelen naar 20 mSv/jaar. Op deze manier werd het mogelijk om de bevolking terug te laten keren naar haar oorspronkelijke woongebieden. Bij het voorbereiden van dit besluit speelden economische overwegingen een grote rol. Tegelijk met het versoepelen van de norm beëindigde de Japanse regering het compensatieprogramma voor geëvacueerden. Zonder werk en zonder inkomen hadden de meeste mensen geen andere keus dan terug te gaan naar hun oude huizen – of wat daar van over was na zeven jaar leegstand. WISE accepteert dit niet en sluit zich aan bij de bevindingen van de VN Commissie voor Mensenrechten die Japan in maart 2018 heeft opgeroepen om van de internationaal aanvaarde bovengrens van 1 mSv/jaar uit te gaan bij haar terugkeerbeleid. Het heeft Japan ook opgeroepen om de beslissing van evacués die niet terug willen keren te accepteren en hen niet te straffen met het stopzetten van ondersteuning.

Zouden we dit in Nederland accepteren?

De norm voor besmetting met radioactieve straling verhogen van 1 naar 20 mSv – zou dat volgens Nederlandse normen kunnen? In Nederland wordt beleid rond veiligheidsrisico's bepaald volgens het ALARA beginsel (As Low As Reasonably Achievable - zo laag als redelijkerwijze haalbaar is). Belangrijk is hierbij het persoonlijk risico: hoe groot is de kans dat je overlijdt door een potentieel gevaar?

Voor de aanvaardbaarheid van een onvrijwillig persoonlijk risico wordt in ons land veelal gerefereerd aan de Deltawerken: hoe hoog moeten deze werken (bijv. dijken) zijn? Bij welke hoogte kunnen we van 'veilig' spreken? Bij de Deltawerken is het maximaal toelaatbare persoonlijk risico gesteld op 1×10^5 per jaar. Dus gemiddeld 1 dode op 100.000 blootgestelden per jaar. Op veel plekken in het Nederlandse veiligheidsbeleid kom je deze norm nu tegen. Deze norm geldt bijvoorbeeld ook voor de huidige aanpak van het veiligheidsvraagstuk in Groningen (aardbevingen als gevolg van de gaswinning).

Als 100.000 mensen een stralingsbelasting krijgen van 20 millisievert per jaar (mSv), dan is de kans op overlijden door kanker (na 20-30 jaar) 100 à 200 personen. Hoewel dit geen 'risico per jaar' is lijkt dit risico substantieel hoger te liggen dan de algemeen geldende norm voor de aanvaardbaarheid van risico's in Nederland (1 dode op 100.000 per jaar).

Internationaal geldt dat je onder normale omstandigheden maximaal 1 mSv per jaar erbij mag krijgen. Bij 1 mSv aan straling is de kans op overlijden 1 op de tien- tot twintigduizend blootgestelden. In de praktijk blijven we in Nederland ver onder dit getal. Daarmee lijkt de norm van 'maximaal 1 mSv per jaar erbij' redelijk goed te passen in het algemene risicobeleid van Nederland.

9. Kernafval

Hoe gevaarlijk is kernafval?

Kernafval is gevaarlijk vanwege de radioactieve straling die ervan uitgaat. Hoe gevaarlijk deze is hangt af van de intensiteit van de straling en hoe lang je er aan wordt blootgesteld.

Bij radioactief materiaal gaat het meestal niet om grote hoeveelheden. Maar volume is ook niet het probleem. Het gaat om de stralingsintensiteit. Een kleine hoeveelheid zwaar radioactief materiaal kan al enorme gevolgen hebben.

Tijdens de kernramp van Fukushima werd slechts 2% van de radio-isotopen zoals I-131, Cs-137, Cs-134 en Sr-90 uit de vier kernreactoren verspreid op het (omliggende) land. 85% bleef binnen de betonnen en stalen structuren van de reactoren, 13% kwam via het water in de oceaan terecht waar het snel verdund raakte. Maar die 2% die op het land neerdaalde was genoeg om een groot gebied voor lange tijd onbewoonbaar te maken.

De Nederlandse kerncentrale in Borssele en de onderzoeksreactor in Petten produceren gezamenlijk zo'n 30 ton hoog radioactief afval per jaar. In volume is dat niet veel. Maar als ook maar een heel klein deel ervan vrijkomt en verspreid raakt is dat een catastrofe.

Welke opties zijn er voor de eindberging van hoog radioactief afval?

Radioactief afval moet, afhankelijk van het soort afval, voor een periode van honderdduizenden jaren uit het milieu worden gehouden. Dit tijdsbestek overstijgt het menselijke voorstellingsvermogen. Duizend jaar is al nauwelijks voor te stellen: duizend jaar geleden zat de mensheid nog in de middeleeuwen! Hoe kun je kernafval dus veilig opbergen? Er is altijd het gevaar van lekkage of van menselijke interventie. Wat als onwetende mensen over 2000 jaar de opgeborgen containers ineens erg interessant vinden, bijvoorbeeld omdat er ook koper in verwerkt is? Wat als iemand over 3000 jaar het plutonium voor wapens wil gebruiken?

Veel landen zetten in op diep-geologische eindberging. Vooral Zweden, Finland en Frankrijk hebben vergevorderde plannen om hun afval in een gangenstelsel op enkele honderden meters diepte onder de grond op te bergen. Alle drie de landen kampen echter met technische en (vooral in Frankrijk) maatschappelijke problemen, waardoor het verre van zeker is of deze opslag ook daadwerkelijk kan worden uitgevoerd.

Diep-geologische berging in Nederland zou mogelijk kunnen gebeuren in zoutlagen in Groningen, Friesland of Drenthe of in kleilagen in Noord-Brabant. In al deze gebieden is daar grote maatschappelijke weerstand tegen. Nederland kijkt ook of het afval in andere landen opgeborgen kan worden. Uiteindelijk zal het afval daar terecht komen waar de bevolking de minste weerstand levert, zoals in Zweden en Finland. Dat zijn in de praktijk meestal dunbevolkte, marginale gebieden, vaak al met een nucleair verleden. De vraag is of dat ook geologisch gezien de meest veilige locaties zijn.

Naast diep-geologische eindberging zijn er ook nog andere mogelijke technieken om van het afval af te komen, bijvoorbeeld: zeer diepe boorgaten (van enkele duizenden meters diep), of volledig gebunkerde opslag op of vlak onder het aardoppervlak. Onderzoek naar deze mogelijkheden is vanwege kostenbesparing – ons inziens onterecht – vrijwel volledig stil komen te liggen.

En dan zijn er ook mogelijkheden die vanwege kosten en/of technische problemen en risico's absoluut geen toekomst hebben zoals: transmutatie (een soort nucleaire alchemie waardoor alle afval omgezet zou worden tot korterlevende en minder radioactieve stoffen in nieuwe kernreactoren), het schieten van het afval in de ruimte, of het afzinken van het afval op de zeebodem.

Opwerken

Gebruikte brandstofstaven die uit de kernreactor verwijderd worden bevatten een mix van vele radioactieve stoffen, waaronder nog altijd een kleine hoeveelheid uranium en ook plutonium.

In een opwerkingsfabriek kunnen deze twee stoffen er voor hergebruik uitgehaald worden. Het idee is om het uranium vervolgens weer als brandstof te gebruiken. Het plutonium kan worden gebruikt voor de productie van kernwapens. In de praktijk is opwerken een zwaar vervuilende bezigheid en zijn er tal van problemen: tijdens het proces ontstaat een grote hoeveelheid vloeibaar en gasvormig radioactief afval. Een kleine fractie van dit afval is vijf tot tien keer zo radioactief als de niet-opgewerkte gebruikte brandstof. Voor nieuw gebruik in een kerncentrale moet het opgewerkte uranium bovendien eerst weer verrijkt worden in een aparte fabriek. De meeste verrijkingsfabrieken zijn echter niet blij met opgewerkt uranium, omdat het hun fabriek met radioactieve plutoniumresten kan besmetten. Er is om al deze redenen vrijwel geen markt voor het opgewerkte materiaal. De reden waarom het opwerken toch doorgaat is dat het ondanks alle nadelen helpt om het volume hoogradioactief afval te verminderen en omdat sommige landen (Frankrijk, India) plutonium nodig hebben om kernwapens te maken.

Vierde generatie reactoren

Nieuwe kerncentraleontwerpen (de zgn. vierde generatie, waaronder ook thoriumreactoren) kunnen mogelijkwijze de hoeveelheid afval die bij de productie van elektriciteit ontstaat verkleinen. Ook de halfwaardetijd⁷² van een groot deel van het nucleaire afval kan mogelijkwijze worden verkort. Maar het grootste probleem blijft in de basis bestaan: dat er kernaafval geproduceerd wordt en dat dit voor honderden jaren (en voor een klein deel nog steeds voor vele duizenden jaren) uit het milieu moet worden gehouden. Daarmee zijn de (tot nu toe papieren) ontwerpen van vierde generatie kernreactoren slechts een (beperkte) kwantitatieve vermindering, maar geen kwalitatieve oplossing voor het probleem van het kernaafval. Het maakt niet veel uit of je 1000 of 100.000 kilo hoogactief afval voor honderdduizenden jaren moet opslaan; het volume is niet het probleem.

⁷² De halfwaardetijd geeft aan na hoeveel tijd een radioactieve stof nog slechts de helft van de oorspronkelijke straling produceert.

Tijdelijke opslag van radioactief afval

Bij gebrek aan een definitieve oplossing wordt het radioactief afval op dit moment overal tijdelijk opgeslagen. Die tijdelijke opslag vormt een gevaar op zich. In Frankrijk wordt alle verbruikte brandstof (in opwachting van opwerking) opgeslagen in bassins die continu moeten worden gekoeld. Als die koeling wegvalt kan een ongeluk ontstaan dat in omvang vergelijkbaar is met de Fukushima- catastrofe. De beveiliging van die opslagbekkens laat nogal te wensen over.

Andere landen slaan hun hoogradioactief afval in droge containers op die passief met lucht worden gekoeld. Toch moet ook deze opslag worden beveiligd tegen bijvoorbeeld een aanslag met een neervallend vliegtuig of moderne wapens.

De speciale COVRA-opslag bij Borsele moet het hoogradioactieve afval in Nederland voor 100 jaar uit het milieu houden. Wat er daarna moet gebeuren is nog volstrekt onbekend.

Onze verantwoordelijkheid

Veel landen profiteren of hebben decennialang geprofiteerd van de elektriciteit uit kerncentrales. Deze landen hebben daarom ook de morele verantwoordelijkheid om het afval op te ruimen. Het probleem mag in de visie van WISE niet worden doorgeschoven naar toekomstige generaties.

Verder vinden wij dat het geen pas geeft om door te gaan met het vergroten van het probleem door alsmaar kernafval te blijven produceren terwijl er geen oplossing is voor de eindberging van hoogradioactief afval.

Voor Nederland betekent dit concreet dat de kerncentrale Borssele, de onderzoeksreactoren in Delft en Petten en de opwerkingsfabriek van Urenco in Almelo onmiddellijk moeten worden gesloten. Zo niet, dan moet de overheid aangeven waar en op welke manier het kernafval definitief geborgen moet worden voor de komende honderdduizend jaar.

Maatschappelijk debat

Een maatschappelijk debat over kernafval met participatie van de bevolking heeft in de visie van WISE alleen zin als het vertrekt vanuit een 'neutrale' situatie, een situatie waarin het probleem ondertussen niet groter wordt gemaakt doordat de productie van kernafval gewoon doorgaat. De publieksparticipatie dient hierbij zo te worden ingericht dat alle stakeholders – groot, klein, rijk en arm - gelijke mogelijkheden krijgen om effectief mee te doen aan het maatschappelijke debat.

10. Is de anti-kernenergiebeweging medeverantwoordelijk voor de klimaatverandering?

Wanneer je naar het verleden kijkt, zie je dat kernenergie wereldwijd na 60 jaar ontwikkeling maar ruim 10% van de elektriciteit produceert. Dat dit percentage niet hoger ligt heeft minder te maken met ‘bangmakerij’ door de milieubeweging dan met de complexiteit van de technologie en de kosten die hieraan verbonden zijn. De aandacht van de milieubeweging voor de gevaren van kernenergie heeft er wel toe geleid dat veiligheidsnormen zijn aangescherpt en de nucleaire sector onder een vergrootglas ligt. Dat is iets waar we allemaal blij mee zouden moeten zijn.

Uiteraard is er een direct verband tussen complexiteit, kosten en de reële risico's van kernenergie. Om welke risico's het gaat werd zichtbaar tijdens de kernrampen van Three Miles Island (1979), Tsjernobyl (1986) en Fukushima (2011). De immense gevolgen van deze kernrampen zijn geen verzinsel van de milieubeweging. De zorgen over grote ongelukken met kerncentrales en radioactief afval zijn reëel. Om de risico's te verkleinen worden de milieu- en veiligheidseisen voortdurend aangescherpt. Die komen uiteindelijk tot uitdrukking in hogere prijzen voor het bouwen en exploiteren van kerncentrales.

Kernenergie is de enige energiedrager met een ‘negatieve economische leercurve’. Normaal gesproken wordt technologie goedkoper naarmate deze langer bestaat en in serie wordt toegepast. Voor de bouw van kerncentrales geldt dit niet: elke volgende kerncentrale, ook van hetzelfde type, kost meestal meer dan de vorige. Dat gaat ook niet veranderen; de complexiteit neemt toe en daarmee de kosten. Het duurt nu minstens 10 jaar om een kerncentrale te bouwen en de kosten zijn gigantisch, fiks hoger dan de kosten van wind- of zonne-energie. Ook een keuze voor een heel nieuwe soort kerncentrales (met thorium als brandstof bijvoorbeeld) zal de kosten niet doen afnemen.

Minder kernenergie betekent niet meer kolen

Het is te simplistisch om te stellen dat minder kernenergie automatisch zal leiden tot meer kolengestookt vermogen. De Duitse ‘Atomausstieg’⁷³ is hier een illustratie van: Het is juist de Duitse antikernenergiebeweging die het bewustzijn over alternatieve energiebronnen en energie-efficiëntie heeft aangewakkerd en in de discussie over de ‘Energiewende’ aandacht heeft gevraagd voor klimaatverandering. Deze breed gedragen beweging zorgde ervoor dat Duitsland grootschalig inzette op een snelle verandering van het energiesysteem. Zo konden echt schone energievormen als wind- en zonne-energie en duurzame biomassa aan hun razendsnelle opmars beginnen. De CO₂-uitstoot van de Duitse elektriciteitssector daalde ondanks – of moeten we zeggen: dankzij!? - het sluiten van kerncentrales.⁷⁴

De Duitse atoom- en kolenlobby hebben zich daar met hand en tand tegen verzet totdat dit door Fukushima niet langer meer kon.

⁷³ Het versnelde uitfasen van kernenergie in Duitsland na de kernramp in Fukushima.

⁷⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-emission-von-treibhausgasen>



Tegenstanders van kernenergie pleiten al vanaf de jaren '70 voor duurzame energie. Uit die tijd stamt ook de slogan 'Geen kernenergie of kolen – neem een molen.'

Kolen en kernenergie hebben allebei grote nadelen die moeilijk met elkaar vergelijkbaar zijn. Gelukkig hoeven we niet te kiezen tussen deze twee kwaden. Omdat er realistische alternatieven zijn kunnen we tegelijk afscheid nemen van zowel kern- als ook kolencentrales.

Studie van Karecha en Hansen

Pushker Karecha en James Hansen kijken in een vaak aangehaalde studie⁷⁵ uit 2013 naar de CO₂-uitstoot en schadelijke effecten op de volksgezondheid die de keuze voor kernenergie volgens hen historisch heeft voorkomen. De studie leunt zwaar op het eerdere werk van Markandya, & Wilkinson uit 2007 waarin de impact van de elektriciteitsproductie op de volksgezondheid wordt onderzocht.⁷⁶

Karecha en Hansen stellen dat wereldwijd 64 gigaton aan CO₂-equivalenten (GtCO₂-eq) broeikasgas (GHG)-emissies niet zijn uitgestoten doordat kernenergie in plaats kwam van fossiele energie. 1,8 miljoen mensenlevens zijn volgens de wetenschappers gespaard gebleven door in het verleden kernenergie te gebruiken in plaats van kolen en gas.

Sindsdien wordt de verantwoordelijkheid voor deze doden regelmatig toegewezen aan de milieubeweging omdat deze de ongeremde opmars van kernenergie zou hebben dwarsgezet. Dit is een zwaar verwijt, gebaseerd op een nogal simplistische redenering. Zoals eerder gezegd: de enorme complexiteit, inherente risico's en hieruit resulterende kosten van de kernenergietechnologie hebben er primair toe geleid dat kernenergie niet de dominante vorm van elektriciteitsproductie wereldwijd kon worden.

Maar ook inhoudelijk is er nog veel aan te merken op de studie van Karecha en Hansen. In hun analyse onderschatten Karecha en Hansen de gezondheidsgevolgen van kernenergie systematisch. De studie van Markandya, & Wilkinson waarop ze zich baseren werd in 2007 geschreven, 4 jaar voor de catastrofe van Fukushima. Wellicht is dit deels een verklaring. Markandya, & Wilkinson zijn overigens zeer voorzichtig in hun oordeel over kernenergie en

75 Kharecha, Pushker A. and James E. Hansen, Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power, *Environ. Sci. Technol.*, 2013, 47 (9), pp 4889–4895; <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es3051197>

76 Electricity generation and health, Markandya & Wilkinson, 2007. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17876910>

concluderen dat ‘vervanging van kernenergie door hernieuwbare energie welkom zou zijn als het gaat om gezondheid’.⁷⁷

Het door Karecha en Hansen systematisch onderschatte aantal dodelijke slachtoffers van kernenergie wordt in hun studie vergeleken met het aantal doden dat zou zijn veroorzaakt wanneer alle stroom met kolen in plaats van met kernenergie zou zijn opgewekt. Maar die stroom had ook met duurzame bronnen kunnen worden opgewekt. Dat scenario had op z’n minst ook meegenomen moeten worden.

Het wordt nog krommer als ze dat getal naar de toekomst extrapoleren zonder er goed rekening mee te houden dat in de toekomst kolen worden uitgefaseerd en het energiesysteem in toenemende mate wordt gebaseerd op efficiëntie en duurzame energiebronnen. Karecha en Hansen kijken dus onvoldoende naar de historische context en de constante veranderingen in het wereldwijde energiesysteem, en helemaal niet naar mogelijk razendsnelle veranderingen in de toekomst.

Door de eendimensionale focus op effecten op de volksgezondheid worden in de studie van Karecha en Hansen andere belangrijke effecten van kernenergie niet belicht. Denk bijvoorbeeld aan het onoplosbare probleem van het kernafval en de verspreiding van kernwapens.

Het ongeluk in Tsjernobyl heeft honderden miljarden euro’s gekost, het ongeluk in Fukushima tot nu toe rond de tweehonderd miljard, maar in beide gevallen moet het moeilijkste deel van de opruimwerkzaamheden (het veilig verwijderen en opslaan van de gesmolten brandstofstaven en de zwaar besmette reactorgebouwen) nog beginnen. Beide rampen hebben het leven van honderdduizenden mensen totaal ontwricht. In beide gevallen is een groot gebied rond de plek van de kernramp voor lange tijd onbewoonbaar geworden. Dat zijn risico’s waar je niet zo maar overheen kunt walsen – zelfs niet wanneer het aantal direct aan te wijzen doden als gevolgen van deze kernrampen uiteindelijk misschien ‘meevalt’.

Je zou ook een rapport kunnen schrijven waarin wordt aangetoond dat enorm veel ellende en CO₂-uitstoot had kunnen worden voorkomen als de gezamenlijke olie-, kolen -en kernlobby niet vele decennialang de ontwikkeling van wind en zon stelselmatig had gedwarsboomd. En als de mensheid in de jaren ’70 naar de waarschuwingen van de Club van Rome⁷⁸ had geluisterd en toen al vol had ingezet op écht duurzame energie hadden we de klimaatverandering ook kunnen voorkomen.

⁷⁷ Electricity generation and health, Markandya & Wilkinson, pag. 988

⁷⁸ Limits to growth, Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers William W. Behrens III, 1972 <http://www.clubofrome.org/report/the-limits-to-growth/>