

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



sgp»jongeren



Kernenergie en de energietransitie



Commissie Duurzame Ontwikkeling en Landbouw (DOL)

sgp»jongeren

Voorjaar 2020



De Belgische kerncentrale Doel, vlakbij de grens met Nederland. Foto: ANP.

Inhoudsopgave

Inleiding	5
1. Huidige technieken.....	7
1.1. Inleiding	7
1.2. Typen reactors	7
1.3. Kernafval.....	8
1.4. Kosten	9
1.5. Veiligheid	10
1.6. Politieke aanbevelingen	11
2. Toekomstige technieken.....	13
2.1. Inleiding	13
2.2. Politiek en toekomstige technieken.....	13
2.3. Fast reactors	13
2.3.1. Voordelen	13
2.3.2. Nadelen	14
2.3.3. Politieke aanbevelingen	14
2.4. Thorium-gesmoltenzoutreactors	14
2.4.1. Voordelen	15
2.4.2. Nadelen	15
2.4.3. Politieke aanbevelingen	16
2.5. Kernfusie.....	16
2.5.1. Voordelen	17
2.5.2. Nadelen	17
2.5.3. Politieke aanbevelingen	17
2.6. Nieuwe opslagtechnieken voor kernafval.....	17
2.7. Samenvatting en conclusies	18



Inleiding

In de Nederlandse en internationale politiek is de energietransitie momenteel een veelbesproken onderwerp. Door middel van de Klimaatwet stelt de Nederlandse overheid zichzelf voor ambitieuze doelstellingen om CO₂-uitstoot te reduceren, waarbij de elektriciteitsproductie in 2050 zelfs volledig CO₂-neutraal moet zijn. Om deze doelstellingen te realiseren is er een Klimaatakkoord opgesteld, waarin de overheid met bedrijven en andere organisaties afspraken voor de reductie van broeikasgassen.

Met de opleving van het debat over energietransitie komt ook de roep om kernenergie weer naar boven. Veel wetenschappers betogen dat de groei van het aandeel nucleaire energie in de elektriciteitsproductie noodzakelijk is om de doelstellingen van het Parijsakkoord te halen. Anderen vrezen echter dat investeringen in kernenergie de ontwikkeling van groene energiebronnen in de weg zal zitten. Ook andere bezwaren tegen kernenergie, zoals de veiligheid en het afvalprobleem, zijn voor veel mensen redenen om tegen de bouw van nieuwe kerncentrales te zijn. In het Klimaatakkoord wordt het gebruik van kernenergie om de doelstellingen te halen niet uitgesloten, maar er worden ook geen specifieke maatregelen voor genomen.

Dit rapport is het eindresultaat van het project van de commissie Duurzame Ontwikkeling en Landbouw om namens SGP-jongeren een standpunt te formuleren en te komen tot politieke aanbevelingen over kernenergie. Dit project is opgesplitst in twee delen, die u terug kunt vinden in de twee hoofdstukken waaruit dit rapport bestaat. Het eerste deel gaat over de kerncentrales zoals deze momenteel ontwikkeld en beschikbaar zijn. Deze kerncentrales zouden eventueel op korte termijn gebouwd kunnen worden en zo een rol spelen in de energietransitie. In Hoofdstuk 1 wordt besproken welke maatregelen de overheid op dit terrein zou moeten nemen.

Naast de maatregelen op de korte termijn wil SGP-jongeren ook verder vooruitkijken. Wat heeft kernenergie ons in de toekomst te bieden? Dat is het onderwerp van het tweede deel van dit project. In Hoofdstuk 2 worden diverse technieken besproken die momenteel nog op de tekentafel liggen, maar in de toekomst gebruikt kunnen worden voor een betrouwbare en duurzame energievoorziening. SGP-jongeren gaat na welke rol de overheid heeft bij de ontwikkeling van deze technieken. In het debat over de energietransitie is het belangrijk om realistisch te blijven. Geen enkele energiebron kent alleen maar voordelen of alleen maar nadelen. Dat betekent dat de bespreking van een energiebron altijd bestaat uit een afweging ten opzichte van de alternatieven. Dit rapport vertelt u wat in dat opzicht de status van kernenergie is.

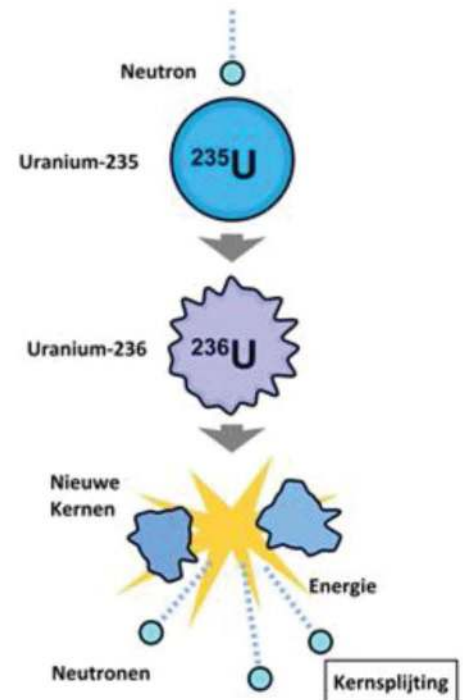


1. Huidige technieken

1.1. Inleiding

De werking van een kerncentrale is, in theorie, vrij simpel. De huidige technieken maken gebruik van kernsplijting¹. De nucleus (atoomkern) van een zwaar instabiel atoom wordt gespleten door er een extra neutron op wordt 'afgevuurd'. De atoomkern splitst dan in twee kernen en een aantal losse neutronen. Bovendien komt er een grote hoeveelheid energie vrij in de vorm van warmte, die door middel van een turbine wordt omgezet in elektriciteit. De los ontstane neutronen kunnen op hun beurt weer andere atoomkernen splijten, waardoor een nucleaire kettingreactie optreedt. Om de kans te vergroten dat een vrijgekomen neutron een nieuwe kernsplijting teweegbrengt, moet deze worden afgeremd. Hiervoor is een moderator nodig. Veelgebruikte moderators zijn gewoon water, zwaar water en grafiet.

Niet alle materialen zijn geschikt voor kernsplijting. Het meest gebruikte materiaal is uranium. In de natuur komt U^{238} het meest voor, maar dit is ongeschikt voor kernsplijting. U^{235} is daar wel geschikt voor, maar komt te weinig voor in natuurlijk uranium voor nucleaire energieopwekking. Daarom moet uranium worden verrijkt; dit is een proces waarbij de hoeveelheid U^{235} in de uranium wordt verhoogd. Voor kernenergie is een percentage van 3 tot 5 procent U^{235} voldoende. Voor kernwapens is ten minste een percentage van 20 procent vereist, terwijl een percentage van 90 procent wenselijk is.



1.2. Typen reactors

Er zijn verschillende typen reactors die werken met dit principe, die zijn ingedeeld in vier generaties. De eerste generatie waren vooral prototypen en onderzoeksreactor. Verreweg de meeste op dit moment in gebruik zijnde reactors zijn Gen II-reactors. Gen III-reactoren zijn gebaseerd op Gen II-reactoren met kleine verbeteringen, waardoor ze veiliger, efficiënter en langer operationeel zouden moeten zijn dan reactoren uit de tweede generatie. Er zijn echter relatief weinig Gen III-reactoren gebouwd, mede doordat de populariteit van kernenergie een klap kreeg door diverse nucleaire incidenten in de afgelopen decennia. Gen IV-technieken zijn op dit moment nog in ontwikkeling en zullen in het tweede hoofdstuk worden besproken.

De belangrijkste typen reactors:

Pressurized Water Reactor (PWR) – Verreweg de meeste reactoren op dit moment zijn van dit type. De koelvloeistof in dit type reactor is normaal water. Dit water wordt onder druk langs de reactor geleid, waardoor het de warmte opneemt die door de kernsplijting is ontstaan. De druk voorkomt dat het water verdampt. Het water wordt daarop doorgeleid naar een stoomgenerator, waar de warmte wordt overgedragen aan tweede lus water, die verdampt tot stoom. Met deze stoom wordt een turbine aangedreven. Water is zowel de koelvloeistof als de moderator in deze reactor. De kerncentrale is Borsele is een PWR.

Boiling Water Reactor (BWR) – Dit type reactor is ook een Light Water Reactor (LWR), wat betekent dat ook deze reactor water gebruikt als moderator en koelvloeistof. Anders dan in een PWR wordt het water dat door de reactorkern stroomt direct omgezet tot stoom en door een turbine geleid.

¹ Kernfusie wordt in het tweede hoofdstuk besproken

Pressurized Heavy Water Reaction – Deze reactor werkt hetzelfde als een PWR, maar het gebruikt ‘heavy water’, dideuteriumoxide (D_2O) als koelvloeistof en moderator. Dit is duurder, maar heeft als voordeel dat de brandstof, zoals uraniom niet verrijkt hoeft te worden. Dit bespaart kosten en onverrijkt uranium is ongeschikt voor de proliferatie van kernwapens, maar heavy water is bijzonder duur. Canada en India hebben elk 19 respectievelijk 18 PHWR’s in gebruik. Voordeel van deze techniek is ook dat de brandstof kan worden vervangen zonder dat de centrale hoeft te worden stilgelegd.

Gas Cooled Reactors (GCR) – Dit type centrale is eigenlijk alleen in het Verenigd Koninkrijk gebruikt, maar zijn daar wel de dominante vorm van nucleaire energieopwekking. In dit type reactor wordt CO_2 gebruikt als koelvloeistof en grafiet als moderator. De werking is verder ongeveer hetzelfde als een PWR, waarbij water door de verhitte CO_2 wordt opgewarmd en door een turbine wordt gestuwd. Ook in dit type reactor kan de brandstof worden vervangen zonder dat de reactor wordt stilgelegd.

Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyy (RBMK) – Dit type is alleen gebouwd in de vroegere Sovjet-Unie, maar er zijn er nog steeds 10 in gebruik. De Chernobyl-reactor was een reactor van dit type. Het gebruikt normaal water als koelvloeistof en grafiet als moderator. Dit type wordt over het algemeen als zeer onveilig gezien. Deze reactor heeft namelijk een positieve ‘void coefficient’. Kort gezegd komt het erop neer dat als de koelvloeistof gaat koken en er bubbels ontstaan, de hoeveelheid kernreacties toeneemt. Dit kan zorgen voor een ‘positive feedback loop’; de toename van de reactiviteit zorgt voor een hogere temperatuur, waardoor er meer bubbels ontstaan, waardoor de reactiviteit weer toeneemt. Dit is een van de oorzaken van de Tsjernobyl-ramp.

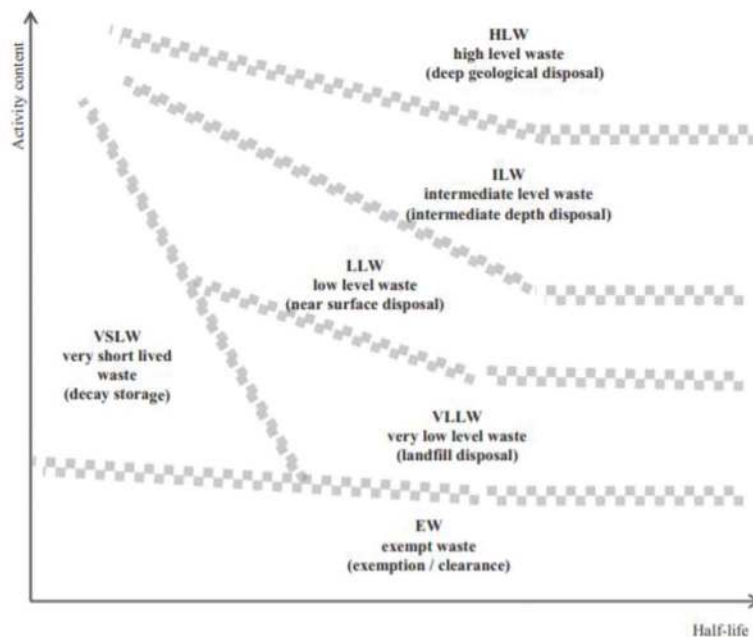
1.3. Kernafval

Bij alle hierboven beschreven reactortypen komt kernafval vrij. Dit kernafval is niet allemaal even radioactief. Zodoende heeft het Internationaal Atoom Energie Agentschap (IAEA) heeft 6 internationaal erkende categorieën opgesteld²:

1. Exempt waste (EW): afval dat voldoet aan de criteria voor vrijstelling van wettelijke controle.
2. Very short lived waste (VSLW): afval dat voor beperkte periode van maximaal een paar jaar wordt opgeslagen, kan aan de landoppervlakte. De zogenaamde radionucliden uit dit afval worden vaak gebruik voor onderzoek en medische doeleinden.
3. Very low level waste (VLLW): afval dat niet voldoet aan de criteria van EW maar geen hoog stralingsniveau kent en zodoende nabij het landoppervlak kan worden bewaard. Betreft vaak grond en puin met lage concentratieniveaus.
4. Low level waste (LLW): afval dat duurzame isolatie vereist aangezien het tot een paar honderd jaar radioactief is. Kan ook nabij het landoppervlak worden bewaard. Deze categorie omvat een zeer breed scala aan afval.
5. Intermediate level waste (ILW): afval dat gezien de grotere mate van ‘langlevende’ radionucliden een grotere mate van duurzame isolatie vereist dan nabij het landoppervlak mogelijk is, namelijk tien -tot honderden meters onder het landoppervlak. Afval produceert weinig warmte, hier hoeven dus geen bijzondere voorzieningen voor getroffen te worden.

² https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1419_web.pdf

6. High level waste (HLW): afval met hoge mate van radioactiviteit en met een aanzienlijke warmteproductie. Deze kenmerken moeten meegenomen worden in het ontwerpen van de eindopslag, meestal is deze eindopslag in een geologisch stabiele ondergrond op enkele honderden meters diepte.



Afbeelding 1 Conceptuele illustratie van een kernafval classificatie schema

De behandeling van afval uit categorie 6 vormt de grootste uitdaging. Dit afval wordt de eerste decennia vaak in een tijdelijke opslag bewaart zodat het de meeste warmte kwijt kan raken. Na deze tijdelijke opslag krijgt het afval een behandeling zodat het in de eindberging kan worden opgeslagen. Hier moet het afval gedurende honderden, liefst duizenden jaren kunnen verblijven. Het afval uit de kerncentrale van Borsele wordt momenteel opgeslagen bij het COVRA³. Dit betreft een tijdelijke opslag, op termijn moet het afval worden opgeslagen in een eindberging. Hierover is nog geen definitief besluit genomen⁴.

De hoeveelheid geproduceerd hoogradioactief afval uit categorie 6 valt mee in vergelijking met de overige categorieën. Zo is het bij de kerncentrale van Borsele zo dat 95% van de (hoogradioactieve) uitgewerkte splijtstof gerecycled kan worden. De overige 5% betreft de 1,5 kubieke meter hoogradioactief afval die Borsele per jaar produceert. Dit tegenover zo'n 100 kubieke meter (inclusief betonnen omhulsel) laag -en middelradioactief afval⁵.

1.4. Kosten

De cijfers over de kosten van nucleaire energieopwekking lopen erg uiteen. Dit komt mede doordat de constructiekosten van nucleaire reactoren erg hoog zijn in vergelijking met de variabele kosten. Dit heeft tot gevolg dat de prijs van de opgewekte elektriciteit hoger wordt op het moment dat een reactor vroegtijdig wordt gesloten⁶, of minder wordt gebruikt dan mogelijk is. De kosten zijn erg gevoelig voor wisselingen in de publieke opinie. Na nucleaire incidenten, zoals Three Mile Island, Tsjernobyl of Fukushima is er vaak sprake van politieke druk om af te stappen van nucleaire energie. Dit maakt

³ <https://www.covra.nl>

⁴ <https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/eindberging/>

⁵ <https://epz.nl/themas/milieu-gezondheid/soorten-radioactief-afval>

⁶ Dit is bijvoorbeeld het geval in Duitsland, waar na het Fukushima-incident werd besloten dat in 2022 alle reactoren gesloten moeten zijn.

investeren in kernenergie onaantrekkelijk voor private investeerders; er gaan immers decennia overheen voordat de initiële kosten zijn terugverdiend, en er is vaak grote onzekerheid over de lange termijn. Als er sprake is van een gunstig politiek klimaat ten opzichte van kernenergie kan het echter concurrerend zijn met andere energiebronnen. Daarbij is de techniek minder vervuilend dan fossiele brandstoffen. Deze milieukosten zijn externaliteiten; ze zijn moeilijk mee te nemen in berekeningen en ze komen niet terug op de uiteindelijke energierekening, maar ze zijn er wel degelijk.

1.5. Veiligheid

Een veelgehoord bezwaar tegen kernenergie zijn de veiligheidsrisico's die het met zich mee zou brengen. Incidenten met kerncentrales liggen bij veel mensen vers in het geheugen. Het meest bekende voorbeeld is natuurlijk de ontploffing in de reactor van Tsjernobyl in 1986. 31 mensen zijn uiteindelijk gestorven aan acute radiatieziekte⁷. Tot in Nederland had de ramp gevolgen voor bijvoorbeeld de landbouw, en een groot gebied is voor lange tijd onbewoonbaar. Die ramp was echter exceptioneel; hij ontstond doordat het personeel het protocol niet volgde en de RBMK-reactor een zeer onveilig ontwerp had. De ontwerpen die nu het meest gebruikt worden, zoals de reguliere PWR, hebben een negatieve void coefficient, waardoor de reactiviteit daalt als de temperatuur toeneemt. Dit functioneert als een soort veiligheidsmechanisme. Verder zorgde de ontbranding van het grafiet, de moderator, voor verspreiding van radioactiviteit.

Het recentste voorbeeld van een nucleair incident was de meltdown in Fukushima, Japan, in 2011. Een aardbeving van 9 op de schaal van Richter zorgde ervoor dat de reactor automatisch stopte met werken. De warmte in de kern moet dan echter nog wel worden afgevoerd, en daarvoor moet de koelvloeistof rondgepompt worden. Door de aardbeving was de reguliere elektriciteitstoevoer afgesloten, waardoor de noodgeneratoren aansloegen. De tsunami die volgde op de aardbeving stelde deze echter ook buiten werking, waardoor de circulatie stopte, de temperatuur opliep en de kern uiteindelijk smolt, een zogenaamde meltdown⁸. Een rapport van the World Health Organization uit 2013 kwam tot de conclusie dat de gezondheidseffecten van het incident beperkt waren; de verwachting is een kleine stijging in het aantal gevallen van kanker⁹. Wel moesten er zo'n 147.000 mensen geëvacueerd worden en is er wel sprake van ecologische effecten op flora en fauna.¹⁰

De grote media-aandacht die deze twee incidenten hebben gekregen leiden echter af van wat er wél goed gaat; zo'n tien procent van de elektriciteit wordt wereldwijd opgewekt door 452 kerncentrales¹¹. In Europa is dat percentage zelfs ongeveer 26 procent¹², voornamelijk omdat voor Frankrijk het de belangrijkste bron van energie is¹³. Bovendien zijn met de tijd kerncentrales steeds veiliger geworden. Een moderne PWR is in bijna niets te vergelijken met de onveilige RBMK van Tsjernobyl. Het aantal doden per eenheid energieopwekking is veel lager dan bij conventionele methoden¹⁴ omdat luchtvervuiling een negatief effect op de volksgezondheid heeft. Over het algemeen kan worden gesteld dat de bezwaren rondom kernenergie over het algemeen overdreven zijn; een klein aantal incidenten heeft een onevenredig groot effect op de publieke opinie gehad, terwijl kerncentrales voldoende veilig zijn, mits alle regels in acht worden genomen.

⁷ <https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/faqs>

⁸ <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-daiichi-accident.aspx>

⁹ World Health Organization (2013). Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation. https://www.who.int/ionizing-radiation/pub_meet/fukushima_risk_assessment_2013/en/

¹⁰ Vives i Batlle, J. (2016), Impact of the Fukushima accident on marine biota, five years later. Integr Environ Assess Manag, 12: 654-658. doi:10.1002/ieam.1825

¹¹ <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>

¹² <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union.aspx>

¹³ <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx>

¹⁴ [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(07\)61253-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(07)61253-7/fulltext)

1.6. Politieke aanbevelingen

De Nederlandse regering stelt zich op het standpunt dat private partijen mogen investeren in een tweede Nederlandse centrale voor elektriciteitsopwekking. Op overheidsgeld hoeft echter niet gerekend te worden. Tot nu toe lijkt er vanuit de vrije markt weinig interesse te zijn in de bouw van een tweede kerncentrale. Nu wordt er van overheidswege wel geïnvesteerd in allerlei andere vormen van energievoorziening, dus een volledig eerlijke vergelijking is dat niet. En er zijn argumenten om te investeren in kernenergie. Het voornaamste argument is de lage CO₂-emissie in vergelijking met fossiele bronnen van elektriciteit. Het voornaamste tegenargument zijn de hoge kosten die ermee worden geassocieerd. Deze kosten kunnen naar beneden door een stabiel politiek klimaat rondom kernenergie dat investeerders de benodigde zekerheid kan geven. Hoewel dat voorlopig niet haalbaar lijkt, zijn er ook vanuit de politiek stemmen die willen dat er weer serieus naar kernenergie wordt gekeken. Wat SGP-jongeren betreft zou de overheid zich moeten aansluiten bij die stemmen. Continuïteit is van het grootste belang; investeerders moeten kunnen rekenen op beleid dat niet na een kabinetsperiode of enkele nieuwsberichten wordt omgegooid.

Een tweede argument tegen kernenergie, de onveiligheid, wordt wat SGP-jongeren betreft vaak te licht bevonden. Incidenten bij kerncentrales zijn vaak groot nieuws met een groot effect op de publieke opinie, maar een goed onderhouden kerncentrale is veilig genoeg. De kerncentrale bij Tsjernobyl was een verouderd en onveilig model, en bovendien was er sprake van meervoudig menselijk falen. Voor het Fukushima-incident was een bijzonder zware aardbeving en een tsunami nodig, terwijl de gevolgen zeer beperkt waren vergeleken met Tsjernobyl.

Een stap in de goede richting zou wat SGP-jongeren betreft kunnen zijn om de belasting- en subsidievoordelen waar initiatieven voor hernieuwbare energie aanspraak op kunnen maken, ook open te stellen voor initiatieven met kernenergie. Het doel van deze voordelen, het terugdringen van CO₂-uitstoot, kan immers ook met kernenergie worden bereikt. Op die manier kan worden gekeken of er ook vanuit de vrije markt interesse is in kernenergie. Diverse investeerders, waaronder de Bill & Melinda Gates Foundation¹⁵, hebben ingezet op de bouw en innovatie van kerncentrales. Daarbij zou wat SGP-jongeren betreft gekeken moeten worden op zowel Europees als internationaal niveau welke landen kernenergie zouden willen inbrengen in hun energiemix. De hoge vaste kosten van kernenergie, zowel in de bouw als de innovatie ervan, betekenen dat het voordeliger wordt naarmate de schaal groter wordt. Internationale samenwerking kan daarom grote synergievoordelen opleveren.

¹⁵ <https://www.terrapower.com/about/>



2. Toekomstige technieken

2.1. Inleiding

De technieken om door middel van kernsplijting energie op te wekken bestaan nog geen honderd jaar. Daarom is dit vakgebied nog altijd volop in ontwikkeling. De huidige kernreactoren worden gerekend tot de Generatie III- of III+-reactoren. De technieken van deze kernreactoren zijn alweer veiliger dan die van reactoren uit de tweede generatie, zoals de kerncentrale in Borsele. Toch is de techniek de afgelopen vijftig jaar in de basis hetzelfde gebleven: uranium in splijtstofstaven worden gespleten door neutronen met behulp van een moderator; de ontstane warmte wordt opgenomen door water, dat wordt omgezet in stoom die in een generator voor de opwekking van energie zorgt. In de technieken die momenteel ontwikkeld worden voor de volgende generatie kernreactoren (Generatie IV) wordt echter met al deze methodes gebroken.

Ook voor de opslag of verwerking van kernafval wordt gezocht naar nieuwe methodes. Nog altijd is er geen optimale methode gevonden om het kernafval dat in Nederland is geproduceerd op te slaan. Tenslotte moet het afval enkele honderdduizenden jaren veilig bewaard blijven.

In dit hoofdstuk bespreken we de nieuwe technieken voor het opwekken van kernenergie en het opslaan van kernafval. Daarbij worden de voor- en nadelen besproken om een conclusie te trekken voor de Nederlandse politiek. Daarvoor moet echter eerst worden nagegaan wat de politiek kan doen met toekomstige technieken, technieken die nog niet bestaan.

2.2. Politiek en toekomstige technieken

Vaak wordt gezegd – ook door politici – dat de politiek niets kan met technieken die nog ontwikkeld moeten worden. De politiek zou rustig af moeten wachten hoe het met het onderzoek naar deze nieuwe technieken loopt, om vervolgens te besluiten of ze ingezet kunnen worden als het onderzoek en de ontwikkeling voltooid zijn. Deze opvatting is echter onjuist. De politiek kan juist heel goed betrokken worden bij de ontwikkeling van nieuwe kernenergietechnieken door specifieke subsidies te verlenen aan onderzoeken naar die technieken. Dit wordt projectfinanciering genoemd en vormt een belangrijk deel van de R&D-uitgaven die de overheid doet. Daarvan gaat momenteel ook al een deel naar nucleair onderzoek om ervoor te zorgen dat de kennis daarover in Nederland op het vereiste niveau blijft in verband met de kernreactors in Nederland.

2.3. Fast reactors

Conventionele kernreactoren hebben tussen de splijtstof een moderator (zwaar water of grafiet) om de geëmitteerde neutronen af te remmen. Dit verlaagt de kans dat de neutronen voor een kernsplijting van een ander uraniumatoom zorgen. *Fast reactors* maken gebruik van ongeremde neutronen, zodat er geen moderator nodig is.¹⁶ Dit levert ruimtebesparing op, wat de reden is dat *fast reactors* gebruikt zijn in kernonderzeeërs. Hoewel er in totaal twintig *fast reactors* in gebruik zijn geweest met in totaal vierhonderd reactorjaren aan gebruik, is de ontwikkeling van deze techniek nog volop bezig en worden verschillende types als kernreactoren van Generatie IV gezien.

2.3.1. Voordelen

Uranium-238 is het grootste bestanddeel (>99%) van een natuurlijk uraniumerts en wordt in een conventionele kernreactor bijna niet gebruikt, omdat het niet gespleten kan worden door afgeremde ('thermische') neutronen. In een *fast reactor* kan Uranium-238 wel als grondstof worden gebruikt, doordat het wordt omgezet naar Plutonium-239, dat met ongeremde neutronen gespleten kan worden. Hierdoor wordt de splijtstof in een *fast reactor* enkele tientallen keren efficiënter gebruikt.

¹⁶ Technische informatie in dit gedeelte komt voornamelijk uit: Cochran, T. B., et al. (2010). *Fast breeder reactor programs: history and status*. International Panel on Fissile Materials (IPFM).

Langdurig radioactief kernafval, dat bestaat uit actiniden, kan in een *fast reactor* gespleten worden. Dit is een groot voordeel, omdat het resterende kernafval slechts enkele honderden jaren bewaard hoeft te blijven voordat het het niveau van achtergrondstraling heeft bereikt. Ook kernafval van conventionele kernreactoren kan gebruikt worden in een *fast reactor*.

2.3.2. Nadelen

In een *fast reactor* kunnen heel gemakkelijk de grote hoeveelheden Plutonium-239 geproduceerd worden die nodig zijn voor de productie van kernwapens. Conventionele kernreactoren produceren ook Plutonium-239, maar in mindere mate en op een manier zodat het lastiger is om er kernwapens van te maken. Aan de andere kant is het met *fast reactors* ook mogelijk om het Plutonium-239 te splijten, zodat potentieel kernwapenmateriaal verwijderd wordt.

Een tweede probleem is het kostenprobleem. Omdat water werkt als een moderator kan dit niet als koelvloeistof gebruikt worden in een *fast reactor*. Als vervanger is een vloeibaar metaal nodig, zoals natrium of lood (of een lood-bismuteutecticum). Een dergelijk koelmiddel is duurder dan water en vereist ook technische aanpassingen aan de kernreactor die de ontwikkeling ervan duurder maken. Daarnaast is er in veel gevallen een hoogverrijkte splijtstof nodig in een *fast reactor*. In een conventionele kernreactor wordt verrijkt uranium gebruikt met 3 tot 5 procent Uranium-235, terwijl een *fast reactor* in Rusland 20 tot 30 procent Uranium-235 nodig had om te kunnen werken.¹⁷ Het verrijken van de splijtstof tot een dergelijk hoog percentage Uranium-235 zorgt voor hoge productiekosten.

Ten derde brengt een *fast reactor* ook veiligheidsproblemen met zich mee. Veel van de koelmiddelen die gebruikt kunnen worden, kunnen radioactief worden. Als natrium in contact komt met water, veroorzaakt dat een heftige reactie waarbij branden kunnen ontstaan; in Rusland zijn hierdoor meerdere branden in kerncentrales ontstaan. Sommige veiligheidsproblemen kunnen opgelost worden. De radioactiviteit van natrium kan bijvoorbeeld kan bijvoorbeeld opgelost worden door een extra 'natriumlus' toe te voegen, maar dit brengt wel weer hoge kosten met zich mee.

2.3.3. Politieke aanbevelingen

Tot nu toe is de ontwikkeling van *fast reactors* geen succes geweest. De landen die bezig zijn geweest met de ontwikkeling van *fast reactors* hebben daar miljarden in geïnvesteerd, maar er is nog altijd geen enkele *fast reactor* die economisch competitief is met conventionele kernreactoren. Pas als de uraniumprijs zeer sterk zou stijgen, zouden *fast reactors* economisch aantrekkelijk worden.

De voordelen die een *fast reactor* biedt, zijn ook te vinden bij de volgende nieuwe techniek die besproken wordt in dit verslag, de thorium-gesmoltenzoutreactor. De *fast reactor* biedt dus geen unieke voordelen op het gebied van economie, milieu of veiligheid. Het is daarom niet nuttig dat de Nederlandse regering extra zou investeren in de ontwikkeling van nieuwe *fast reactors*.

2.4. Thorium-gesmoltenzoutreactors

In een thorium-gesmoltenzoutreactor (afgekort: TMSR; thorium–molten salt reactor) komen verschillen de nieuwe (toekomstige) technieken samen. Enerzijds is het gebruik van thorium als brandstof een nieuw concept – hoewel het al in verschillende reactors onderdeel is van de splijtstof – en anderzijds is een gesmoltenzoutreactor een geheel nieuwe techniek voor het overbrengen van de energie die vrijkomt bij kernsplijting naar de generator. De splijtstof bevindt zich in huidige reactoren in vaste vorm in splijtstaven, maar in een TMSR kan de splijtstof worden opgelost in zout, dat ook–in plaats van water–als koelmiddel en overbrenger van de ontstane warmte voorenergieopwekking fungeert.

¹⁷ von Hippel, F. (2010). Overview: The Rise and Fall of Plutonium Breeder Reactors. *Fast Breeder Reactor Programs: History and Status*, 4.

2.4.1. Voordelen

Het gebruik van thorium in kerncentrales heeft verschillende voordelen.¹⁸ Ten eerste zijn er genoeg winbare hoeveelheden thorium op aarde, minstens drie keer zoveel als uranium. Dit thorium bevindt zich in verschillende beviende en stabiele landen, zoals Noorwegen, Australië, Canada en de Verenigde Staten.¹⁹ In totaal is de voorraad genoeg voor honderden, zo niet duizenden jaren aan wereldwijde energievoorziening.

Het tweede voordeel van thorium is dat het een hoge energiedichtheid heeft. Dat betekent dat er voor een bepaalde hoeveelheid energie maar weinig thorium nodig is. Bij uranium is dat heel anders, zeker omdat uraniumerts eerst verrijkt moet worden voordat het in een kerncentrale gebruikt kan worden. Dit betekent ook dat er in een TMSR minder afval vrijkomt. Het winnen en bewerken van thoriumerts is gemakkelijk en goedkoop. Bovendien wordt thorium al gewonnen als bijproduct van het mijnen van zeldzame aardmetalen.

Het derde voordeel heeft te maken met het feit dat de kernmassa van Uranium-233 (dat in een TMSR als splijtstof gebruikt wordt) lager is dan die van Uranium-235 en -238. Hierdoor is de kans op de vorming van zogenaamde hogere actiniden veel kleiner, omdat daar meer neutronvangstreacties voor nodig zijn. De actiniden die ontstaan, kunnen in een TMSR gerecycled worden en belanden dus niet in het kernaafval. Het resultaat is dat het kernaafval van een TMSR geen langdurig radioactief materiaal bevat en na zo'n driehonderd jaar niet meer gevaarlijk is. Bovendien kunnen in bepaalde soorten TMSR's, zoals de Molten Salt Fast Reactor (MSFR),²⁰ afval van conventionele kerncentrales opgebrand worden, waardoor het probleem van kernaafval dat vele honderdduizenden jaren gevaarlijk blijft verdwijnt of aanzienlijk wordt verminderd.

Ook het ontwerp van een gesmoltenzoutreactor biedt verschillende voordelen. Zo is het proces in een TMSR veiliger dan in een conventionele kernreactor, omdat het proces zichzelf bij oververhitting vertraagt. Gesmolten zout zet namelijk uit als het warmer wordt, waardoor de kernreactie wordt vertraagd. Bovendien kan het zout in geval van nood naar daartoe bestemde tanks stromen, waardoor de reactie stopt. In een TMSR kunnen uiteraard geen stoomexplosies ontstaan.

Daarnaast is het proces in een TMSR efficiënter. Omdat de brandstof opgelost is in het zout, kan nieuwe brandstof toegevoegd en het kernaafval verwijderd worden terwijl de reactor draait. Omdat de TMSR onder hoge temperaturen werkt, is de energieoverbrenging om elektriciteit op te wekken efficiënter.

2.4.2. Nadelen

Vaak wordt beweerd dat het niet mogelijk is om kernwapens te produceren uit de materialen die in TMSR's gebruikt of geproduceerd worden.²¹ Hoewel het lastig is om via TMSR's kernwapens te maken,²² is het zeker niet onmogelijk. Uranium-233, dat in TMSR's gebruikt wordt, is zeer geschikt als kernwapenmateriaal. Het bevindt zich in een TMSR echter samen met hoogradioactief materiaal (zoals Uranium-232), dat ervoor zorgt dat de apparatuur van een kernwapen niet zou kunnen werken. Echter, na een aantal decennia is het stralingsniveau van dit materiaal op een aanvaardbaar niveau en kan de Uranium-233 alsnog gebruikt worden. Ook voorafgaand aan het proces in een TMSR kan thorium gebruikt worden om zuiver Uranium-233 van te maken. Het hoogradioactief materiaal zorgt er daarnaast voor dat TMSR's erg gevaarlijk kunnen zijn. Voor een TMSR is dus een zeer sterke bescherming nodig.

¹⁸ Zie vooral: Schaffer, M. B. (2013). Abundant thorium as an alternative nuclear fuel: Important waste disposal and weapon proliferation advantages. *Energy policy*, 60, 4-12.

¹⁹ International Atomic Energy Agency. (2019). *World Thorium Occurrences, Deposits and Resources*. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1877web.pdf>

²⁰ http://www.janleenkloosterman.nl/intreerede_20160401.php

²¹ Ashley, S. F., Parks, G. T., Nuttall, W. J., Boxall, C., & Grimes, R. W. (2012). Nuclear energy: thorium fuel has risks. *Nature*, 492(7427), 31.

²² Schaffer, M. B. (2013). Abundant thorium as an alternative nuclear fuel: Important waste disposal and weapon proliferation advantages. *Energy policy*, 60, 4-12.

2.4.3. Politieke aanbevelingen

Hoewel de mogelijkheid om kernwapens te produceren voor sommigen reden genoeg is om tegen deze vorm van kernenergie te zijn, is het kernwapenprobleem minder erg dan het lijkt. Ten eerste is de realiteit dat er kernwapens op aarde zijn, onder andere in landen als Noord-Korea en Rusland. Dat wil niet zeggen dat het goed is als er in Nederland kernwapens geproduceerd zouden worden, maar het laat wel zien dat het gebruiken van kernenergie geen *nieuwe* risico's op wereldniveau met zich mee zou brengen. Ten tweede is, zoals gezegd, een TMSR een ongeschikte reactor om kernwapens mee te produceren. De reactor staat dus ver af van het ontwikkelen van kernwapens. Ten derde is Nederland lid van het Internationaal Atoomgenootschap (IAEA), dat toeziet op het veilig gebruik van kernreactors; daardoor wordt het produceren van kernwapens zonder internationale afspraken erg lastig.

De TMSR heeft een aantal grote voordelen die van kernenergie een schone en veilige techniek maken. Met name de afwezigheid van kernafval dat honderdduizenden jaren opgeslagen moet worden is een groot voordeel. Daarom wordt er momenteel wereldwijd actief onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van deze reactor. China loopt daarbij voorop met het bouwen van een proefreactor die binnen een aantal jaar in gebruik moet zijn. Echter, ook Nederland heeft een voordeel door de kernreactors in Petten. Aan de Technische Universiteit Delft wordt onderzoek gedaan naar de TMSR binnen het internationale SAMOFAR-project.²³ Daarvoor is binnen Europa jaarlijks zo'n twintig miljoen euro beschikbaar, maar dat is te weinig om op de korte termijn van enkele decennia commerciële TMSR's te kunnen bouwen. Daarom is het goed als de Nederlandse regering het onderzoeksbudget voor TMSR's sterk zou vergroten. Hiermee kan het onderzoek naar de veiligheid en efficiëntie van de TMSR vervolgd worden en kunnen de noodzakelijke proeven gedaan worden. Als het onderzoek op volle snelheid kan lopen, is het mogelijk om halverwege deze eeuw een werkende TMSR in Nederland te hebben. Volgens prof. dr. Jan-Leen Kloosterman is er in totaal 200 miljoen euro nodig om een proefreactor te bouwen,²⁴ wat verspreid over 20 jaar neer zou komen op 10 miljoen euro subsidie per jaar. Een ander onderzoeksproject dat binnen enkele decennia een werkende TMSR zou kunnen opleveren gaat zelfs uit van 5 miljoen euro per jaar.²⁵

TMSR's kunnen, als ze op korte termijn beschikbaar zijn, een belangrijke rol spelen in de energietransitie. Momenteel zet de regering voornamelijk in op duurzame energiebronnen zoals zon en wind om de CO₂-uitstoot te verminderen. Deze bronnen zijn echter erg variabel vanwege de afhankelijkheid van het weer; en een goede opslagmethode voor de energie is nog niet ontwikkeld. Dat betekent dat de Nederlandse energievoorziening op de lange termijn onbetrouwbaar kan worden. De TMSR kan in dezen een goede aanvulling zijn, omdat deze gemakkelijk aan- en uitgeschakeld kan worden en daardoor kan dienen als back-up wanneer wind- en zonne-energie niet beschikbaar zijn.²⁶

2.5. Kernfusie

Kernfusie is de nucleaire reactie die precies tegengesteld is aan kernsplijting, de reactie die in conventionele kernreactors gebruikt wordt. Deuterium- en tritiumatomen worden in een plasma gefuseerd tot grotere atomen en hierbij komt energie vrij – hetzelfde mechanisme als waar haar energie mee opwekt. Momenteel wordt er een proefcentrale gebouwd in Frankrijk als onderdeel van het project ITER, waar 35 landen aan meewerken, waaronder Nederland.²⁷

²³ <https://cordis.europa.eu/project/id/661891>

²⁴ <https://www.tudelft.nl/en/d-dream/delft-outlook/articles/the-netherlands-will-really-need-a-thorium-reactor/>

²⁵ Prof. dr. Jan-Leen Kloosterman, persoonlijke communicatie.

²⁶ Boer, B. (2004). Feasibility of a High Temperature Nuclear Reactor as back up system for Wind power (ET 2150). citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.547.8407&rep=rep1&type=pdf

²⁷ Zie: <https://www.iter.org/proj/inafewlines>

2.5.1. Voordelen

De grondstoffen voor kernfusie (deuterium en lithium) zijn in ruime mate voorradig. Deuterium kan uit water gewonnen worden en is dus voor vrijwel ieder land ruim beschikbaar. Lithium wordt gewonnen in landen als Australië, Chili, China en de Verenigde Staten. Bovendien komt er tijdens het kernfusieproces zeer veel energie vrij, waardoor er erg weinig grondstof voor energieproductie nodig is. In een kernfusiereactor wordt gewerkt met radioactieve stoffen, maar dat gebeurt op een veilige manier. Er kunnen geen kettingreacties plaatsvinden waardoor het proces uit de hand loopt. Net als andere kernreactors stoot een kernfusiereactor geen CO₂ uit en ook geen andere schadelijke stoffen.

2.5.2. Nadelen

Het realiseren van kernfusie is een zeer complex proces, wat een ingewikkeld ontwerp vereist om de plasma's van miljoenen graden in bedwang te kunnen houden. Er is zeer veel materiaal nodig om het kernfusieproces goed te laten verlopen. Niet alleen de materialen van de reactorwand die door het proces gebombardeerd worden met neutronen en bloot staan aan enorme temperaturen waardoor ze verzwakken en veel onderhoud vereisen, maar ook de enorme hoeveelheden koelwater die nodig zijn. Als gevolg daarvan is er veel energie nodig om het kernfusieproces draaiende te houden, wat een kernfusiereactor al een stuk minder energie-efficiënt maakt en bovendien erg milieuvriendelijk. Bovendien wordt het proces hierdoor erg duur, waardoor het lastig kan concurreren met andere energiebronnen.

2.5.3. Politieke aanbevelingen

Het zal nog een tijd duren voordat kernfusie een energiebron is die voor commerciële doeleinden geschikt is.²⁸ Daarvoor zijn nog veel onderzoek en experimenten nodig. Tot die tijd is het niet nuttig om in Nederland extra onderzoek te doen, omdat er momenteel al goed internationaal wordt samengewerkt in het ITER-programma, waar Nederland (als EU-lid) onderdeel van uitmaakt.

2.6. Nieuwe opslagtechnieken voor kernafval

Sinds het gebruik van kernenergie zijn er vele oplossingen bedacht voor het langdurig opslaan van kernafval uit conventionele kernreactors. Immers, het afval uit deze reactors moet honderdduizenden jaren beveiligd opgeslagen worden voordat het stralingsniveau aanvaardbaar is. Hoewel nieuwe kernreactors, zoals de TMSR, wellicht geschikt zijn om kernafval op te branden (zie boven), is de kans groot dat er een manier moet worden gevonden om het kernafval in Nederland langdurig op te slaan. Vrijwel alle geopperde oplossingen zijn echter te gevaarlijk om uit te voeren. Verschillende maatregelen, zoals opslag in subductiezones, onder de zeebodem en in ijskappen zijn in internationale verdragen verboden.²⁹

De beste methode is de methode waar momenteel onderzoek naar wordt gedaan, namelijk de diepe opslag van kernafval. Met deze methode moet het kernafval onbereikbaar zijn voor kwaadwillende personen en voor grondwater. De vereisten zijn dat er op de plaats waar het kernafval geplaatst wordt, tienduizenden jaren lang geen verstoringen zullen optreden die ervoor zorgen dat het kernafval alsnog het grondwater bereikt. Verstoringen die gemeden moeten worden zijn tektoniek (aardbevingen), vulkanisme en chemische reacties tussen het kernafval en het omringende gesteente.

In Nederland zijn de zoutlagen van de Zechsteinformatie en de kleilaag van Boom.³⁰ Omdat er in zoutlagen de kans bestaat op onvoorspelbare gebeurtenissen, zoals het optreden van chemische

²⁸ Donné, A. J. H. (2019). The European roadmap towards fusion electricity. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 377(2141), 20170432.

²⁹ <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-waste/storage-and-disposal-of-radioactive-waste.aspx>

³⁰ <https://www.covra.nl/nl/radioactief-afval/eindberging/>

reacties door de warmte van het kernaafval of door het vloeien van het zout, wordt de kleilaag momenteel gezien als beste optie. Opslag in graniet zou nog veiliger zijn en wordt momenteel in Finland uitgevoerd, maar in Nederland bevindt zich geen graniet.

2.7. Samenvatting en conclusies

De overheid kan zelf geen nieuwe kernreactors ontwikkelen, maar wel door middel van subsidie veelbelovende ontwikkelingen stimuleren. In dit hoofdstuk zijn verschillende technieken die momenteel in de ontwikkelingsfase zijn onder de loep genomen. Drie typen nucleaire reactors werden besproken en beoordeeld en ook werd gekeken naar eventuele nieuwe opslagtechnieken. Hieruit werden samenvattend de volgende conclusies getrokken:

- Het stimuleren van *fast reactors* is bij andere landen risicovol gebleven en levert geen unieke voordelen op ten opzichte van andere typen reactors. Daarom raadt SGP-jongeren af dat de overheid hier specifiek onderzoek naar deze techniek subsidieert.
- De thorium-gesmoltenzoutreactor is momenteel de meest belovende nieuwe techniek met het grootste aantal voordelen en de minste risico's. Daarom raadt SGP-jongeren de overheid aan om het onderzoek naar en de ontwikkeling van deze techniek te stimuleren, zodat deze zo snel mogelijk in Nederland beschikbaar komt. Het gaat dan om enkele miljoenen euro's subsidie per jaar.
- De Nederlandse overheid is al betrokken bij de ontwikkeling van een kernfusiereactor, hoewel het de vraag is of dit op korte termijn positieve resultaten oplevert. SGP-jongeren raadt de overheid aan betrokken te blijven bij dit onderzoek, maar verder geen extra subsidiëring te leveren voor de ontwikkeling van kernfusie.
- Voor de opslag van kernaafval is er momenteel geen betere methode beschikbaar dan het diep onder de grond opslaan van het afval.

