RETHINK NUCLEAR

WHAT A WASTE

Hoe recycling van kernafval schone energie kan opleveren in snelle reactoren

April 2023

door **Mark Lynas**
met bijdragen van
Joris van Dorp en Rauli Partanen

REPLANET

Uraniumerts wordt voor gebruik in een reactor verwerkt tot yellowcake.

SAMENVATTING

In dit rapport zetten we uiteen hoe bestaande voorraden nucleair materiaal die momenteel worden beschouwd als kernafval, kunnen worden hergebruikt om CO2-vrije elektriciteit te leveren ter ondersteuning van wind- en zonne-energie, op weg naar een schone economie in Europa zonder uitstoot van broeikasgassen.

We kwantificeren hoeveel energie dit afval bevat en hoeveel CO2-vrije elektriciteit het kan leveren wanneer het wordt hergebruikt in snelle (kweek)reactoren in een gesloten cyclus.

Uit onze berekeningen blijkt dat in het huidige kernafval voldoende energie zit om Europa, bij het huidige elektriciteitsverbruik, honderden jaren lang te voorzien van CO2-vrije stroom.

Als we alle winbare uranium- en thoriumvoorraden in aanmerking nemen op wereldschaal, is de potentie in wezen onbeperkt. Dan is er voldoende om een groeiende menselijke beschaving nog tienduizenden jaren te voorzien van schone energie.

Het gebruik van deze energiebron in een nieuwe generatie snelle reactoren kan een einde maken aan de onnodige publieke zorgen over kernafval. De meeste van de resterende splijtingsproducten kunnen binnen 200 tot 300 jaar terugkeren tot een laag niveau van radioactiviteit dat vergelijkbaar is met dat van uraniumerts. Dit betekent dat de huidige plannen voor eindberging in diepe geologische lagen kunnen worden vereenvoudigd en teruggeschroefd.[1]

- RePlanet stelt daarom voor dat kernafval wordt hergebruikt. Gezien de urgentie van klimaatverandering en de nog altijd sterke afhankelijkheid van fossiele brandstoffen, moeten overheden in Europa met spoed een programma ontwikkelen voor de bouw van snelle reactoren. **Deze reactoren zullen de leveringszekerheid van energie verbeteren, zodat een combinatie van wind, zon en kernenergie kan worden ingezet voor de elektriciteits- en warmtevoorziening, zonder uitstoot van broeikasgassen**.[2]

Hoewel de economie van de toepassing van kweekreactoren nog onbewezen is, kunnen de aanzienlijke financiële middelen die zijn gereserveerd voor de geologische eindberging van kernafval worden aangewend voor de ontwikkeling van deze reactoren. Op die manier wordt een last omgezet in een bijdrage aan een circulaire economische activiteit.

INLEIDING

Veruit de meeste kernreactoren in Europa zijn lichtwaterreactoren met verrijkt uranium als splijtstof. Hoewel ze al tientallen jaren veilig worden gebruikt, enorme hoeveelheden elektriciteit produceren en bij elkaar de belangrijkste bron van elektriciteit in Europa vormen, benutten dit soort reactoren minder dan 1% van het energiepotentieel van het natuurlijke uranium. Splijtstofstaven die na gebruik uit de reactor worden verwijderd, worden beschouwd als kernafval, evenals het verarmde uranium dat overblijft na het verrijkingsproces (zie hieronder).

Hoewel dit afval in vergelijking met afval uit andere industrieën in volume onbeduidend is, zorgvuldig wordt afgeschermd en geen ernstige bedreiging vormt voor het milieu of de gezondheid, is het een van de meest gehoorde bezwaren tegen het gebruik van kernenergie. Momenteel is het overheidsbeleid erop gericht om dit afval op termijn op te bergen in diepe geologische lagen[3], zoals dit binnenkort zal aanvangen in Finland.

Geologische eindberging is technisch en economisch haalbaar, maar het blijft een heet hangijzer in de politiek. Er heerst een geloof dat kernafval een onbeheersbaar gevaar zou vormen en dat kernenergie een giftige erfenis achterlaat voor ontelbare generaties tot in de verre toekomst.

Populaire beelden van kernafval vertonen geen gelijkenis met de werkelijkheid.

RePlanet heeft een radicaal andere kijk op de gebruikte splijtstofstaven en het verarmde uranium – een kijk die haaks staat op de heersende opinie in politiek en industrie. **Wij bepleiten een nieuwe aanpak waarbij dit kernafval wordt hergebruikt en omgezet in energie. Dit is gunstig voor klimaat, milieu en economie. Door kernafval te recyclen, neemt de noodzaak van extra uraniumwinning sterk af en worden reactoren gevoed die CO2-spuwende kolen- en gascentrales kunnen vervangen.** Dit is een aanpak die tot de verbeelding spreekt.

Elke vorm van mijnbouw heeft gevolgen voor het milieu. Dat geldt ook voor de winning van uranium, hoewel voor kernenergie minder materiaal hoeft te worden gewonnen dan voor dezelfde hoeveelheid energie uit fossiele brandstoffen of hernieuwbare energie[4]. De sterke toename van kernenergie die volgens experts[5] nodig is om catastrofale klimaatverandering af te wenden, zou kunnen leiden tot meer vraag naar uranium uit mijnbouw. Dit kan worden voorkomen door in plaats daarvan de energie uit het bestaande kernafval te gebruiken.

Het benutten van de potentie van snelle reactoren – een bewezen techniek – vermindert de urgentie van de ontwikkeling van kernfusie. Nog altijd vormt kernfusie een enorme technische uitdaging, waarvan de vraag is of die ooit met succes wordt overwonnen. Doorgaans wordt de ontwikkeling van kernfusie gerechtvaardigd door de zorgen over kernafval en de beschikbaarheid van uranium. Beide problemen – voor zover het al problemen zijn – kunnen definitief worden opgelost met behulp van de bestaande technologie van snelle reactoren, terwijl kernfusie, ondanks alle positieve berichtgeving over recente doorbraken, volgens experts nog tientallen jaren[6] verwijderd is van enig vooruitzicht op commercialisering.

RePlanet doet daarom een dringende oproep aan andere klimaat- en milieugroeperingen om de toepassing van snelle reactoren te steunen. Deze zijn in staat om desgewenst in samenwerking met zon en wind, CO2-vrije energie te produceren zonder luchtvervuiling, in modulaire, passief veilige centrales, waarin de bestaande voorraden langlevend kernafval kunnen worden weggewerkt.

Kernafval, opgeslagen in een faciliteit in Sizewell in het Verenigd Koninkrijk.

DE WERKING VAN SNELLE REACTOREN

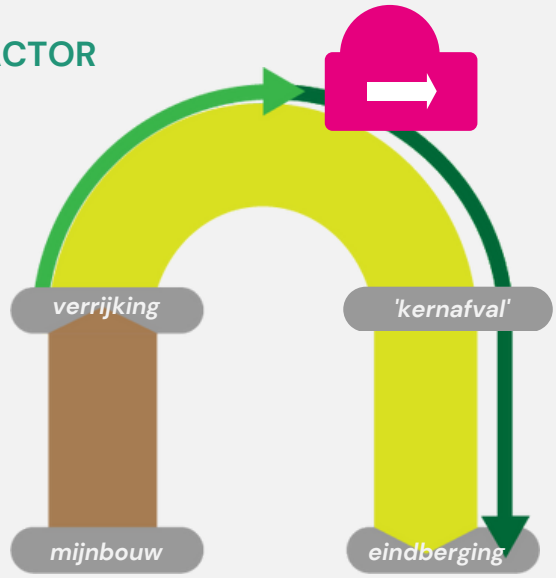
Sinds de jaren vijftig, toen kerncentrales voor het eerst stroom gingen leveren aan het elektriciteitsnet, is bekend dat snelle reactoren meer splijtstof kunnen 'kweken' dan zij verbruiken. Toen al was er het inzicht dat dit een energiebron kon opleveren die in wezen onbeperkt is op de menselijke tijdschaal. Het bleek echter al snel eenvoudiger om zogenaamde 'thermische' kernreactoren te bouwen zoals we die nu kennen, met weinig of geen vermogen om nieuwe splijtstof te kweken.

Conventionele kernreactoren zijn altijd goedkoop geweest om te exploiteren. Dat komt onder meer doordat uranium ruim voorradig en goedkoop is. Verder vormen het gebruik en de verwijdering van splijtstofstaven slechts een klein deel van de totale kosten van de bouw en exploitatie van een kernreactor, ook al wordt maar ongeveer 1% van de energie in het oorspronkelijke uranium benut. **Om deze redenen zijn er weinig prikkels geweest om uranium efficiënter te gebruiken in snelle reactoren**.

Niettemin hebben diverse landen snelle reactoren gebouwd, zoals de EBR in de Verenigde Staten, Phénix in Frankrijk, Monju in Japan en de BN-serie in Rusland. De meeste van deze programma's werden voortijdig stopgezet vanwege een combinatie van politieke, economische en technische redenen. Momenteel is alleen nog het Russische programma actief.

SPLIJTSTOFCYCLUS IN **STANDAARD LICHTWATERREACTOR**

Slechts 1% van het gedolven uranium wordt in een reactor gesplitst om elektriciteit op te wekken. De overige 99% verandert in diverse vormen van 'kernafval', waarvan volgens het huidige overheidsbeleid[7] alles zal moeten worden opgeborgen in diepe geologische lagen. (De breedte van de pijlen geeft de relatieve grootte van de massastromen aan.)



- **minder dan 1%** van het gedolven uranium wordt gebruikt voor kernsplijting
- splijtstof wordt gebruikt, maar niet bijgekweekt
- gebruikte splijtstofstaven worden niet hergebruikt en moeten gedurende lange tijd worden geborgen
- **16 ton uranium** moet gedolven worden voor de productie van **1 TWh aan elektriciteit**

Conventionele lichtwaterreactoren maken gebruik van splijtbare isotopen, voornamelijk uranium-235. Dit isotoop maakt slechts 0,7% uit van natuurlijk uranium; de rest is uranium-238, dat vrijwel niet splijtbaar is. Daarom moet uranium worden 'verrijkt' via fabricageprocessen, zoals cascades van centrifuges. Oorspronkelijk was verrijking bedoeld om voldoende U-235 te isoleren voor de productie van atoombommen, die zeer hoge percentages splijtbare isotopen nodig hebben (meer dan 90%) voor het opwekken van kettingreacties die voldoende sterk zijn voor de opwekking van explosieve kracht.

Verrijking tot een veel lager niveau, 3 tot 5%, is al voldoende om lichtwaterreactoren te laten werken voor stroomproductie. Dit betekent echter dat het grootste deel van het resterende uranium in een kernreactor (voornamelijk U-238, en het deel van U-235 dat geen kernsplijting heeft ondergaan) overblijft in hoogradioactieve gebruikte splijtstofstaven, en in het zogeheten verarmd uranium waaruit het grootste deel van U-235 was afgescheiden[8]. De gebruikte splijtstofelementen bevatten een mix van meestal kortlevende splijtingsproducten zoals cesium-137 en strontium-90, samen met langlevende actiniden zoals plutonium, curium, americium en neptunium, alsmede het resterende uranium. Deze blijven duizenden jaren lang radioactief: op steeds lagere niveaus, maar wel significant.

Terwijl conventionele reactoren gebruikmaken van het gegeven dat U-235 veel makkelijker splijt wanneer het wordt geraakt door 'gemodereerde' (afgeremde) neutronen, gebruikt een snelle kweekreactor geen moderator om de neutronen in de kettingreactie te vertragen. **Snelle reactoren zijn juist ontworpen om snelle neutronen te gebruiken zodra die vrijkomen bij de kernsplijting van uranium**. Snelle neutronen hebben weliswaar veel minder kans om reguliere kernsplijtingen te veroorzaken en een kettingreactie tot stand te brengen, maar ze hebben wel meer kans om splijtingen te veroorzaken die grotere aantallen neutronen opleveren. Deze komen dan beschikbaar om anders nutteloze materialen zoals U-238 om te zetten in splijtbare materialen zoals plutonium. Dit proces staat bekend als 'kweken'.

SPLIJTSTOFCYCLUS IN **SNELLE KWEEKREACTOR**

Al het gedolven uranium (of eventueel thorium) wordt gebruikt om elektriciteit op te wekken in een gesloten cyclus van bestraling, splijting, kweek en opwerking van nucleair materiaal, waarbij niets verloren gaat. (De breedte van de pijlen geeft de relatieve grootte van de massastromen aan.)

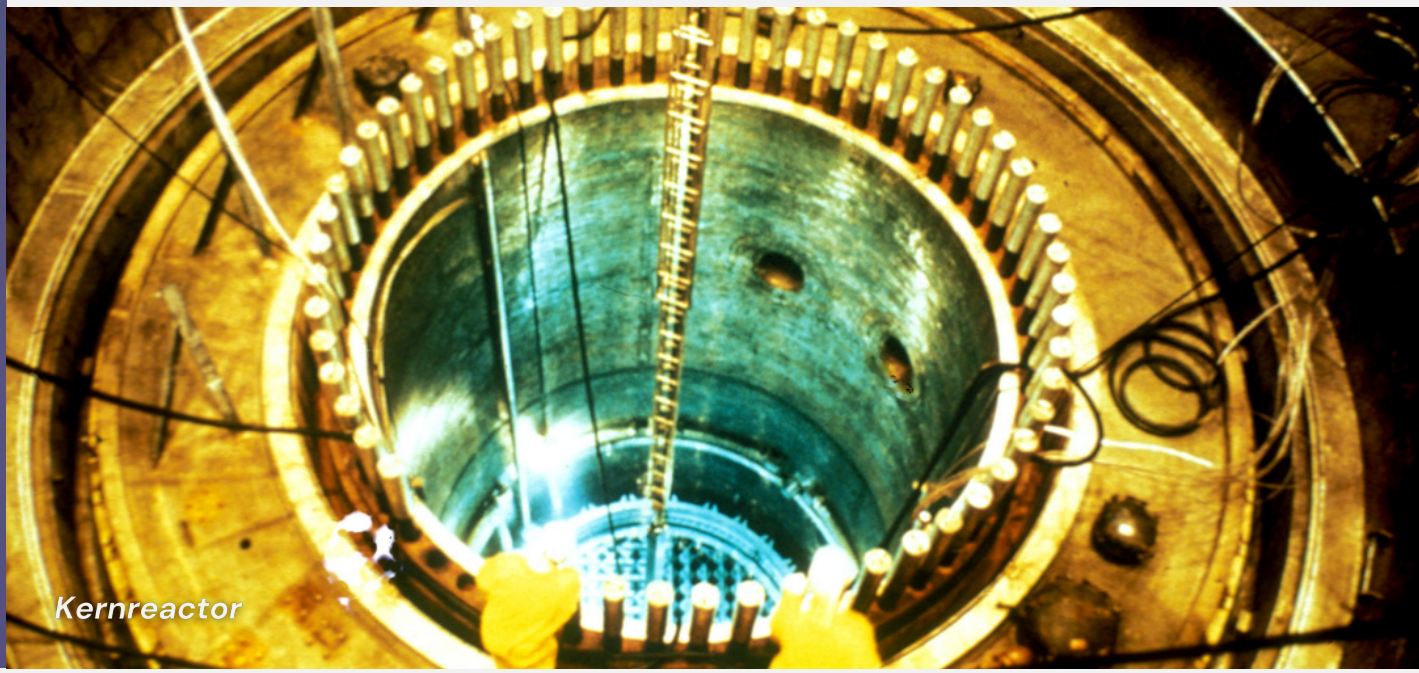
- **meer dan 99% van het gedolven uranium wordt gebruikt voor energieopwekking**
- evenveel splijtbaar materiaal wordt gekweekt als verbruikt
- alleen onbruikbare splijtingsproducten worden behandeld als afval
- **0,1 ton gedolven uranium** is nodig voor de productie van **1 TWh aan elektriciteit**

Plutonium wordt bij voorkeur gebruikt in kweekreactoren, omdat het bij splijting meer neutronen oplevert dan uranium. Plutonium-239 is een makkelijk splijtbare isotoop die van nature niet op aarde voorkomt en voor het eerst werd gemaakt in de Tweede Wereldoorlog via transmutatie van U-238 tijdens de ontwikkeling van de eerste atoombom. Lichtwaterreactoren halen trouwens ook al ongeveer een derde van hun warmte uit de opwekking en splijting van Pu-239, maar snelle kweekreactoren doen dat veel efficiënter en kunnen zodoende al het uranium op deze manier opgebruiken.

Snelle reactoren kunnen ook alle actiniden opgebruiken die achterblijven in de gebruikte splijtstof. Deze actiniden maken de gebruikte splijtstof – kernafval in de volksmond – voor zeer lange tijd radioactief, omdat zij een lange halfwaardetijd hebben. Wanneer de actiniden echter uit de gebruikte splijtstof worden gehaald voor hergebruik als splijtstof in snelle reactoren houden we nog slechts splijtingsproducten met een doorgaans korte halfwaardetijd over. Van verreweg de meeste van deze producten zal de radioactiviteit binnen 200 tot 300 jaar dalen tot het niveau van het oorspronkelijke uraniumerts.

Door recycling zal minder radioactief materiaal overblijven. Tijdelijke opslag aan de oppervlakte wordt hierdoor haalbaar. De noodzaak van diepe geologische berging met complexe overwegingen die rekening houden met tijdschalen van miljoenen jaren wordt aldus verminderd en vereenvoudigd, zo niet geheel weggenomen. Doordat de termijnen en volumes voor de opslag en berging van radioactief afval drastisch verkleinen, kan de veiligheid ervan gemakkelijker worden aangetoond.

Deze voordelen werpen de vraag op waarom snelle reactoren niet nu al op grote schaal worden toegepast. Al eerder stipten we aan dat de industrie weinig financiële prikkels kent vanwege de lage kosten van uranium en verwijdering van het afval. Daarnaast heeft de politiek zich in veel landen laten kennen als onbetrouwbare partner bij de ontwikkeling van geavanceerde kernenergie-technologie, getuige de kweekreactorprogramma's die voortijdig werden afgebroken.



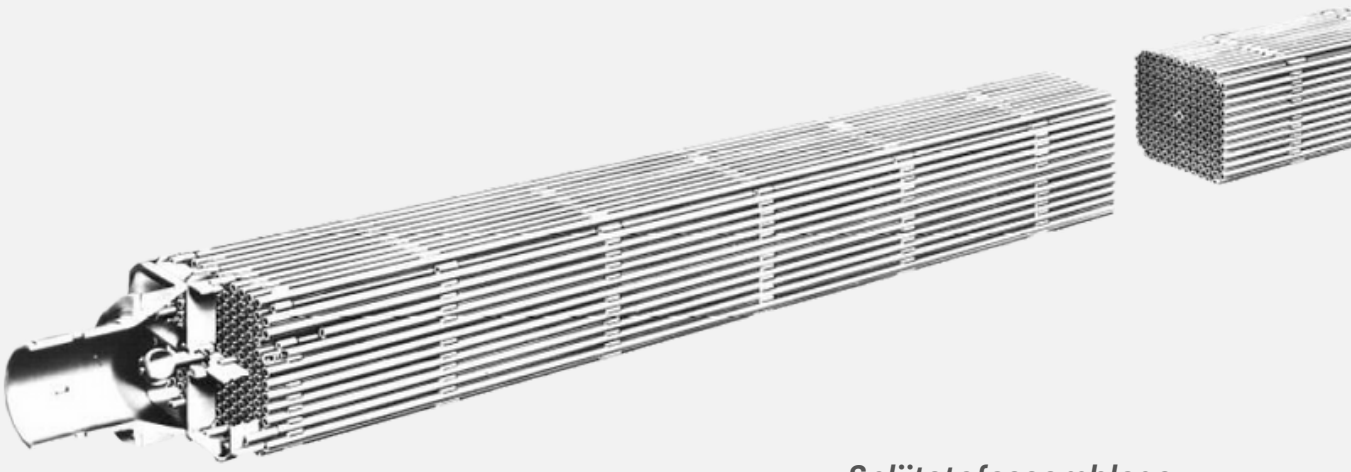
Kernreactor

Daar komt nog iets anders bij. Zowel het ontwerpen van een nieuw type reactor met bijbehorende toeleveringsketens als het verkrijgen van een vergunning hiervoor kost veel tijd en geld. Commerciële exploitanten hebben daar weinig interesse in. Om al deze redenen is het goedkoper om gewoon te blijven doen wat al tientallen jaren wordt gedaan, zolang de kwestie van diepe geologische berging eindeloos wordt doorgeschoven.

Nu kernenergie steeds vaker door deskundigen en activisten wordt erkend als een duurzame, CO2-vrije energiebron die een belangrijke rol kan spelen bij de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen is het tijd voor een grondige herziening van het beleid.

Innovatie in de nucleaire industrie is in volle gang. Startups en gevestigde bedrijven hebben ontwerpen gemaakt voor modulaire, snelle reactoren. Een aantal daarvan zijn dicht bij een prototype of eerste toepassing. Ontwerpen voor snelle reactoren beloven volledige passieve veiligheid, wat betekent dat er geen risico is op een meltdown en het vrijkomen van straling, zoals in Fukushima in Japan na de tsunamiramp in maart 2011.

Veel van de nieuwe ontwerpen hebben ook de technische mogelijkheid om extra flexibiliteit te leveren aan het stroomnet, bijvoorbeeld via thermische opslag in gesmolten zouten, waardoor de reactor beter kan reageren op de wisselvallige levering van windturbines en zonnepanelen. Hierdoor worden gascentrales als de gebruikelijke 'partner van hernieuwbaar' overbodig. **De rol die geavanceerde kernenergie kan spelen als concurrent van fossiele backup-centrales maakt een toekomst mogelijk van fossielvrije elektriciteitssystemen waarin ook zon en wind een rol spelen.**



Splijtstofassemblage

VAN KERNAFVAL NAAR SCHONE ENERGIE

Als het opgeslagen kernafval zou worden aangewend voor hergebruik in snelle reactoren is het mogelijk om te bepalen hoeveel elektriciteit hiermee kan worden geproduceerd en hoe lang onze Europese samenleving daarop kan draaien. Om die rekensom te maken, vragen we allereerst: **hoeveel herbruikbaar kernafval is er?**

Om deze vraag te kunnen beantwoorden, moeten alle voorraden nucleair materiaal die momenteel in Europa aanwezig zijn, worden gekwantificeerd. Deze statistieken zijn niet gemakkelijk toegankelijk. We hebben ze samengesteld uit een aantal bronnen, waarvan sommige actueler zijn dan andere. Bij de berekening hebben we ook aannames moeten maken, die hieronder worden beschreven. De cijfers zijn daarom een benadering.

land	type materiaal	hoeveelheid (ton/tHM[9])
Frankrijk[10]	Gedolven natuurlijk uranium Uranium in verbruikte splijtstof (incl. MOX) Verarmd uranium	29.900 tHM 46.700 tHM 310.000 tHM
VK[11]	Plutonium Uranium (verarmd/laag verrijkt/natuurlijk) Verbruikte brandstof	112 tHM 99.000 tHM 6100 tHM
Nederland[12]	Verarmd uranium	48.000 ton
Duitsland[13]	Verarmd uranium	13.000 ton
Finland	Gebruikte splijtstof	2500 ton
Spanje[14]	Gebruikte splijtstof	5710 ton
Zweden[15]	Gebruikte splijtstof	6756 ton
	Totaal zware nucleaire metalen in Europa	567.778 ton of tHM

In de tabel geven we een onderbouwde indicatie van de inventarisgegevens, waarbij zware metalen die kweekbaar of splijtbaar zijn als gelijkwaardig worden beschouwd. Zo kunnen verarmd uranium, uranium in gebruikte splijtstof en plutonium alle in één enkel tonnage worden beschouwd, aangezien ze allemaal als splijtstof in snelle reactoren kunnen worden gebruikt. (In de praktijk zullen splijtbaar plutonium-239 of U-235 afzonderlijk nodig zijn om snelle reactoren te kunnen opstarten en daarmee het kweekproces om uit U-238 meer splijtbaar materiaal te maken. Voor het starten van het kweekproces van thorium geldt hetzelfde.)

Wij stellen vast dat Europa (de Europese Unie, plus het Verenigd Koninkrijk) een totale voorraad heeft van ongeveer 570.000 ton potentiële splijtstof voor snelle reactoren.

Nu we bij benadering weten hoeveel nucleair materiaal zou kunnen worden hergebruikt, moeten we berekenen hoeveel elektriciteit ermee gemaakt kan worden. De berekening van de hoeveelheid energie die kan vrijkomen bij hergebruik van de hele voorraad splijtbare en kweekbare materialen bestaat uit het optellen van de opbrengsten aan splijtingsenergie van alle componenten van die voorraad.

Het is vooralsnog onduidelijk hoeveel efficiënter snelle reactoren met een gesloten cyclus zijn in vergelijking met de huidige lichtwaterreactoren. De schattingen variëren van een factor 60[16] tot een factor 100[17]. De verschillen in deze schattingen hebben vooral betrekking op aannames over de effectiviteit van de cyclus van (her)gebruik, opwerking en herfabricage van splijtstofstaven. Deze effectiviteit hangt af van de toegepaste technologie en de wijze van opwerking. De factor 100 gaat uit van een volledig efficiënte terugwinning en terugkeer van alle splijtbare en kweekbare materialen uit verbruikte splijtstoffen naar de splijtstofcyclus.

De berekening kan worden vereenvoudigd door te bepalen dat de specifieke opbrengst aan splijtingsenergie van alle splijtstoffen – inclusief thorium, uranium, plutonium en andere actiniden – ongeveer 22.000 gigawattuur (GWh) per ton bedraagt[18]. De Europese voorraad zware metalen van 570.000 ton levert aldus in potentie meer dan 12 miljard GWh aan warmte-energie op. Deze warmte kan worden omgezet in elektriciteit. Als we uitgaan van een rendement van ten minste 33% resulteert dit in een potentieel van ten minste 4 miljard GWh aan elektriciteit, dat momenteel zit opgesloten in materiaal dat thans is bestemd voor geologische eindberging.

Hoeveel is 4 miljard GWh elektriciteit? Samen verbruiken alle landen van de Europese Unie plus het Verenigd Koninkrijk momenteel ongeveer 3 miljoen GWh elektriciteit per jaar. **Bij het huidige stroomverbruik zou de Europese voorraad kernafval dus meer dan 600 jaar kunnen worden aangewend om heel Europa te voorzien van stroom, uitgaande van de gedeeltelijk effectieve recycling van de brandstof. Als we uitgaan van het scenario van optimale recycling kan de voorraad nog 1000 jaar schone stroom leveren aan Europa.**

ONZE CENTRALE BEVINDING

De huidige Europese voorraden van splijtbare en kweekbare materialen die momenteel worden beschouwd als kernafval bevatten voldoende energie om bij hergebruik in snelle reactoren en bij het huidige niveau van stroomverbruik heel Europa minstens 600 jaar lang te voorzien van CO2-vrije elektriciteit.

ENKELE OPMERKINGEN EN OVERWEGINGEN

1. In dit rapport schetsen we met onze rekensommen niet een exacte toekomst, maar een inspirerend beeld van de potentie van het hergebruik van kernafval. Dit is dan ook bovenal een denkoefening. Zo zal het huidige verbruik van elektriciteit niet honderden jaren lang gehandhaafd blijven; vanwege de economische groei en de verwachte elektrificatie van de economie zal de vraag naar elektriciteit vermoedelijk sterk toenemen. Maar zelfs als het stroomverbruik in de komende decennia verdrievoudigt, is er met de huidige voorraden splijtbare en kweekbare materialen nog ruim 200 jaar aan elektriciteit beschikbaar.

Ook stellen wij niet voor om 100% van onze elektriciteit te halen uit snelle reactoren. Wanneer we ter illustratie aannemen dat een combinatie van hernieuwbare energiebronnen plus de huidige vloot van lichtwaterreactoren 80% van de stroomvoorziening leveren[19], betekent dit dat snelle reactoren slechts 20% van het vermogen hoeven op te wekken, waardoor we vijf keer langer kunnen doen met de energie uit het huidige kernafval.

Hoe dan ook: **tot in de verre toekomst kunnen snelle reactoren een cruciale rol spelen in een volledig CO2-vrij elektriciteitsnet, ook in samenwerking met hernieuwbare energiebronnen.**

2. Dit rapport gaat vooral over Europa. Alleen al de wereldwijde voorraad verarmd uranium wordt door de World Nuclear Association vastgesteld op ongeveer 1,6 miljoen[20]. Volgens onze berekening en uitgaande van de voorzichtige aanname over de effectiviteit van recycling komen we op een stroomproductie van meer dan 11 miljoen terawattuur (TWh). **Bij het huidige mondiale elektriciteitsverbruik van 23.000 TWh per jaar zouden we voldoende voor 500 jaar schone elektriciteit hebben, als alle elektriciteit uit kernenergie van kernafval zou komen.**

Wanneer we het uranium meerekenen dat nog in de grond zit in bewezen voorraden, levert dit nog eens 6,2 miljoen ton op: volgens dezelfde aannames genoeg voor zo'n 2000 jaar schone elektriciteit in de hele wereld. Dan zijn er uiteraard nog veel grotere hoeveelheden uranium in onconventionele voorraden[21], zoals opgelost in zeewater of als sporen in gewoon gesteente.

3. Een cyclus op basis van uranium en plutonium is niet de enige mogelijkheid. We kunnen ook een thorium-uranium-cyclus ontwikkelen. In India wordt gewerkt aan thoriumreactoren. Thorium-232 wordt door neutronenvangst omgezet in splijtbaar uranium-233. **Thorium is op aarde wel drie of vier keer zo overvloedig aanwezig als uranium[22], waardoor het een energiebron is die de menselijke beschaving gedurende tienduizenden jaren zou kunnen onderhouden, louter op basis van conventionele thoriumreserves.** (In Nederland werkt Thorizon aan een innovatieve reactor, waarin naar verwachting ook thorium zal worden gebruikt.)

4. Het extreem hoge rendement van kweekreactoren betekent dat zelfs bronnen met zeer lage concentraties uranium, zoals zeewater of graniet, economisch beschikbaar worden. Het is ook bekend dat de as van kolencentrales sporen van uranium en thorium bevat. In dat koolas zit een ongebruikt energiepotentieel die tien keer zo groot is als die van de oorspronkelijke steenkool vóórdat deze wordt verbrand.

Dit is een treffende illustratie van de kracht van snelle reactoren. **We zouden zelfs de afgedankte as van kolencentrales, die momenteel gewoon de atmosfeer in wordt gestoten, kunnen gebruiken voor toekomstige schone energie.** Uit onconventionele bronnen zijn miljarden tonnen uranium en thorium winbaar, waardoor de toch al lange tijdspannes hierboven nog eens met een factor duizend worden vermenigvuldigd.

Met andere woorden: als uranium of thorium wordt gebruikt in snelle reactoren met een gesloten cyclus is de voorraad schone energie in wezen onbeperkt op de tijdschaal die voor de menselijke beschaving van belang is.

5. RePlanet is een internationale milieuorganisatie die zich bekommert om landgebruik. Omdat kernenergie zo'n hoge energiedichtheid heeft, zijn maar weinig grondstoffen en materialen nodig voor de opwekking van veel schone energie. Zo wordt land bespaard dat kan worden teruggegeven aan de natuur.

Niet alleen voor het herstel van natuurlijke ecosystemen en biodiversiteit is kernenergie belangrijk. **Voor een bloeiende menselijke beschaving – een andere prioriteit van RePlanet – is overvloedige beschikbaarheid van duurzame energie noodzakelijk.** Om zich te kunnen ontwikkelen zal met name in arme en opkomende landen nog veel energie nodig zijn. Het is onze verwachting dat voor een aanzienlijk deel zal worden voorzien in die behoefte via kernenergie.

WAT REPLANET WIL

- **Kernafval moet worden gezien als potentiële bron van schone energie voor de toekomst.**

- De huidige plannen voor diepe geologische berging van kernafval kunnen sterk worden teruggeschroefd en vereenvoudigd. De financiële middelen die altijd zijn gereserveerd voor deze wijze van eindberging kunnen beter worden aangewend voor de toepassing van snelle kweekreactoren.

- **De ontwikkeling van modulaire snelle reactoren moet worden opgeschaald**, zodat ze samen met windturbines en zonnepanelen kunnen zorgen voor een succesvolle transitie naar een economie zonder broeikasgassen. Dit betekent ook dat regelgeving rondom de toeleveringsketen, de vergunningverlening en de validering van de splijtstofcyclus moet worden gestroomlijnd.

- Regulerende en toezichthoudende instanties moeten hun capaciteit vergroten. **De vergunningsverlening voor nieuwbouwprojecten en uitbreidingen moet worden versneld**, en de goedkeuring van regelgeving moet nationaal en internationaal worden geharmoniseerd met waarborgen.

- **Het ontwerp van snelle reactoren moet zijn gericht op betrouwbaarheid, passieve veiligheid, bestendigheid tegen proliferatie en duurzaamheid van de splijtstofcyclus**, overeenkomstig de doelstellingen van het Gen IV International Forum. Ook zijn deze reactoren in staat om zowel een aanzienlijk deel van de tijd waterstof te produceren als om de betrouwbaarheid van elektriciteitsnetten met relatief veel energie uit zon en wind te vergroten.

- **Het Internationale Atoomenergieagentschap (IAEA) houdt toezicht op de splijtstofcyclus**, om openheid en zekerheid inzake proliferatierisico tijdens de productie van splijtstoffen te waarborgen.

- **Regelgeving moet worden aangepast zodat ook bestaande kernwapens kunnen dienen als bron van schone energie.** Hiermee komt een wereld zonder kernwapens dichter bij.

- **De ontwikkeling van snelle reactoren moet niet ten koste gaan van behoud en ontwikkeling van de huidige kernreactoren en toepassing van bestaande technologieën**. Snelle reactoren kunnen bestaan naast – en samenwerken met – bestaande kernreactoren.

OVER DE AUTEUR

Mark Lynas is auteur van diverse boeken over milieu en klimaat. Zijn laatste boek is *Our Final Warning: Six Degrees of Climate Emergency*. Mark is mede-oprichter van RePlanet en is verbonden aan het Climate Vulnerable Forum.

Met bijdragen van **Joris van Dorp**, energieanalist van RePlanet Nederland, en **Rauli Partanen**, auteur van *Kernenergie als kans*.

REPLANET

BRONVERMELDING

1. Assessment of the Anticipated Environmental Footprint of Future Nuclear Energy Systems. Evidence of the Beneficial Effect of Extensive Recycling, Energies 2017
2. 'We find that flexible nuclear operation lowers power system operating costs, increases reactor owner revenues, and substantially reduces curtailment of renewables.' See: J. Jenkins et al, The benefits of nuclear flexibility in power system operations with renewable energy, Volume 222, Applied Energy, 2018.
3. Nationaal programma radioactief afval | Straling | Rijksoverheid.nl
4. Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options | UNECE
5. Global climate objectives fall short without nuclear power in the mix: UNECE | UN News
6. MIT's Pathway to Fusion Energy (IAP 2017) - Zach Hartwig
7. Het nationale programma voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen
8. Verarmd uranium wordt vooralsnog beschouwd als nutteloos materiaal, behalve in dubieuze militaire toepassing als basismateriaal voor de vervaardiging van pantserdoorborende ontvlambare projectielen.
9. tHM = ton zwaar metaal (*heavy metal*). De massa is dus volledig uranium/plutonium etc. dus exclusief oxiden. Wij beschouwen ton en tHM als onderling verwisselbaar, maar gebruiken ze afzonderlijk volgens de oorspronkelijke bronnen.
10. Frankrijk geeft de meest nauwkeurige cijfers over zijn nucleair materiaal. Zie pagina 34 van https://international.andra.fr/sites/international/files/2019-03/Andra-Synthese-2018_EN_relu_HD.pdf, daterend tot 2019.
11. Het VK geeft nauwkeurige en bijgewerkte cijfers over zijn inventaris van nucleair materiaal. Deze zijn afkomstig van https://ukinventory.nda.gov.uk/wp-content/uploads/2020/01/2019-Materials-Report-Final.pdf.
12. Urenco slaat verarmd uranium uit zijn verrijkingsinstallatie in Almelo op in de COVRA-opslagplaats voor radioactief afval.
13. Door Urenco of de Duitse nationale autoriteiten worden geen totalen gegeven. Echter, volgens Current Issues - Waste Management of Depleted Uranium: Storage, zou in 2014 13.000 ton verarmd uranium zijn opgeslagen in de fabriek van Urenco in Gronau. Dit is mogelijk niet de huidige voorraad, aangezien niet gespecificeerde hoeveelheden naar Rusland werden uitgevoerd en door Rosatom werden opgeslagen tot het moment waarop de Russische aanval op Oekraïne leidde tot de opschorting van deze overeenkomst.
14. Tabel 7 op https://energia.gob.es/es-es/Novedades/Documents/7-PGRR_version-revisada.pdf.
15. Tabel 4, aanhangsel 1. Zwedens tweede nationale verslag over de uitvoering van Richtlijn 2011/70/Euratom van de Raad, 2018.
16. WNA stelt: 'De FNR [snelle-neutronenreactor] was oorspronkelijk bedoeld om uranium efficiënter te verbranden en zo de uraniumvoorraden in de wereld uit te breiden; dit zou met een factor van ongeveer 60 kunnen.' https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/fast-neutron-reactors.aspx
17. Zie Fast Reactors Provide Sustainable Nuclear Power for 'Thousands of Years' | IAEA of dia 24 van Generation IV Reactors. Zie ook dia 30 in de presentatie van Yoon Chang, een van de pioniers van het ontwerp van snelle reactoren in de Verenigde Staten: Plentiful Energy: The Story of the Integral Fast Reactor. Chang spreekt over 'in wezen volledig gebruik van uranium in vergelijking met <1% in de huidige reactoren'.
18. Berekening van de energiedichtheid van kernbrandstof. Als vuistregel geldt dat 1 ton zwaar nucleair metaal (uranium, thorium, plutonium, etc) genoeg energie bevat om een kerncentrale van 1 GW één jaar te laten draaien. Dus: 22.000 GWh/ton * 1 ton is ongeveer 1 GW * 1 jaar * 8000 uren per jaar / 33% energetisch rendement.
19. Dit is niet noodzakelijk ons ideale energietraject; de bespreking daarvan valt buiten het bestek van dit rapport.
20. Bijgewerkt in 2020 volgens WNA. Uranium and Depleted Uranium - World Nuclear Association
21. Nuclear Fission Fuel is Inexhaustible
22. Thorium fuel cycle — Potential benefits and challenges
23. GIF Portal - Home - Generation IV Goals

REPLANET

OVER REPLANET

RePlanet is een internationaal netwerk van organisaties die op basis van wetenschap oplossingen willen aandragen voor klimaatverandering, het verlies van biodiversiteit en wereldwijde armoede.

RePlanet wordt mede mogelijk gemaakt door inkomsten uit lidmaatschappen, individuele donaties en donaties van Rodel Foundation, Quadrature Climate Foundation, The Dreamery Foundation en Anthropocene Institute. Wij accepteren geen financiering van bedrijven of politieke partijen. Alle donaties van meer dan 5000 euro worden vermeld in het transparantieregister van de Europese Unie #179551845769-58.

www.replanet.ngo

ONDERSTEUNENDE ORGANISATIES

eko-modernistit

FOTA4Climate

Ekomodernisterna

ALLIANCE REPLANET
REPLANET FRANCE
LES ÉCOHUMANISTES

UK REPLANET

Portugal REPLANET

Netherlands REPLANET

DACH REPLANET

Belgium REPLANET

Australia REPLANET

REPLANET

RETHINK NUCLEAR

www.replanet.ngo
Publicatie door RePlanet. Alle rechten voorbehouden.

REPLANET