

# KK

**KERNVISIE  
MAGAZINE**

Monica Jong over ITER

---

Fusie: plasma met een  
magnetron verwarmen

---

ANVS start programma  
Nieuwe Initiatieven  
Nucleair

**4/5**  
Oktober  
2024

UITGAVE VAN  
STICHTING KERNVISIE

**EPZ onderzoekt  
mogelijkheden om  
kerncentrale langer  
in bedrijf te houden**

KernVisie Magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**  
EEN ENERGIEK INITIATIEF

**Jaargang 19**  
**Nummer 4/5**  
**Oktober 2024**  
**KernVisie Magazine**  
**verschijnt tweemaandelijks**  
**Oplage 2.200 ex**

**Ontwerp & Grafische realisatie**  
StudioHusken.nl, Heiloo

### Bestuur Stichting KernVisie

Ir. A.M. Versteegh, voorzitter  
Ir. G.H. Boersma, secretaris  
Ir. J.C.L. van Cappelle, penningmeester  
A.J.L. Bos  
J.D. Bruin  
Ing. W. Hiddink  
Drs. J.J. de Jong  
Ir. G.C. van Uitert

### Redactie KernVisie Magazine

Ir. G.H. Boersma  
M. Jelgersma (Sherpa en de Fries)  
E.S. Jelgersma (Sherpa en de Fries)

### Redactie adres

Dokter Bosmanshof 32, 6851 MJ Huissen  
Telefoon 06-29058146  
E-mail: [KernVisie@KernVisie.com](mailto:KernVisie@KernVisie.com)  
Internet: [www.KernVisie.com](http://www.KernVisie.com)  
Bankrekening NL19 INGB 0006 8513 70, t.n.v. KernVisie,  
Foundation for Nuclear Technology te Kapelle.

### Op de Cover

Tom Keij  
Foto © Irene van Kessel

*Distributie, onder vermelding Stichting KernVisie, via eigen e-mail systemen en gebruik van de informatie voor lezingen, presentaties, studies, discussies, publicaties, enz. wordt op prijs gesteld en toegejuicht.*

### Omgang met persoonsgegevens

*KernVisie Magazine is een uitgave van de Stichting KernVisie. Onze website [www.KernVisie.com](http://www.KernVisie.com) bevat een uitgebreide privacyverklaring over het gebruik van de persoonsgegevens die nodig zijn ten behoeve van de verzending van het magazine.*

## Voorwoord

### Dynamiek

**K**ernenergie komt steeds vaker en vanzelfsprekender in beeld als onderdeel van de oplossing voor het bereiken van de klimaatdoelstellingen en

de daarmee verbonden energietransitie. De ontwikkelingen gaan snel. Deze special richt zich daarom bijna geheel op nieuwe nucleaire initiatieven, zowel splijting als fusie. In 2021 had de regering de ambitie om twee nieuwe kerncentrales te bouwen, maar inmiddels is die ambitie al verhoogd naar vier nieuwe kerncentrales. Tegelijkertijd wordt er gekeken naar de mogelijkheid om de kerncentrale Borssele langer in bedrijf te houden en komt er steeds meer aandacht voor de mogelijkheden van kleine modulaire reactoren. Wat betekent het voornemen om Borssele langer open te houden voor EPZ, de eigenaar van de centrale? EPZ's Fuel Cycle Manager Tom Keij doet met zijn team onderzoek naar wat ervoor nodig is om de centrale ook na 2033 nog eens tien of twintig jaar veilig CO<sub>2</sub>-vrije stroom te kunnen laten produceren. Al deze ontwikkelingen zorgen voor een nieuwe dynamiek bij de ANVS, de Nederlandse toezichthouder. Irene van der Woude is aangesteld als programmadirecteur en probeert met het programma Nieuwe Initiatieven Nucleair de rol van de ANVS bij al deze veranderingen verder in te vullen. Om nieuwe technologieën te kunnen beoordelen, werkt de ANVS nauw samen met internationale collega's, zoals bijvoorbeeld met de Franse toezichthouder voor de voorbereidende beoordeling van Thorizons gesmoltenzoutreactor Thorizon One.

Er is nog genoeg te doen en te onderzoeken, maar ik herken weer de dynamiek van meer dan 50 jaar geleden toen ik in Delft afstudeerde bij de vakgroep 'Constructie van Kernreactoren'. Misschien zou die vakgroep ook weer moeten worden opgebouwd. **K**

André Versteegh  
voorzitter Stichting KernVisie





P04

## Energie

### EPZ onderzoekt langer in bedrijf houden kerncentrale

Nederland wil in 2050 klimaatneutraal zijn. Vóór 2035 moet de productie van elektriciteit CO<sub>2</sub>-vrij zijn. Hiervoor wil de overheid nieuwe kerncentrales bouwen en de bestaande Kerncentrale Borssele (KCB), waarvan de sluiting bij wet in 2033 is vastgesteld, langer openhouden. EPZ Fuel Cycle Manager Tom Keij onderzoekt met zijn team wat ervoor nodig is om de KCB ook na 2033 nog eens tien of twintig jaar langer veilig CO<sub>2</sub>-vrije stroom te laten produceren.

## P10 Energie

### Monica Jong over ITER en de ontwikkeling van fusietechnologie

In Zuid-Frankrijk werken 35 landen samen aan de bouw van 's werelds grootste tokamak, de fusiemachine ITER. Monica Jong is Special Project Development Manager en als Operations & Facility Technical lead door het Britse UKAEA (United Kingdom Atomic Energy Authority) gedetacheerd bij het ITER Hot Cell project om de ITER-organisatie te ondersteunen bij de ontwikkeling van de hot cell-faciliteit voor onderhoud van de tokamak en afvalverwerking.



P16

## Energie

### Waarom plasma roosteren als het ook in een magnetron kan!

Wetenschappers van het Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL) van het U.S. Department of Energy, het privébedrijf Tokamak Energy en de Kyushu University in Japan hebben een ontwerp voorgesteld voor een compacte, bolvormige fusiecentrale die het plasma alleen verwarmt met behulp van een soort magnetron.

## P21 Energie

### ANVS start programma Nieuwe Initiatieven Nucleair (NIN)

Kernenergie staat volop in de belangstelling vanwege de klimaatdoelstellingen en de daarmee samenhangende energietransitie. De regering denkt al aan 4 nieuwe kerncentrales. Maar ook het langer in bedrijf houden van de kerncentrale Borssele (KCB) en het inzetten op de ontwikkeling van kleine modulaire reactoren (SMR's) zorgt voor dynamiek bij de Nederlandse toezichthouder, de ANVS. De ANVS is daarom een programma gestart: Nieuwe Initiatieven Nucleair (NIN) richt zich niet op sturing maar op onderlinge verbinding.



P12

### Boekbespreking

*Heeft kernenergie toekomst? Drie visies*

P14

### InBeeld

Ontwikkeling modulair bouwen Hinkley Point C biedt kansen nieuwbouw kernenergie

P20

### Column

Lars Roobol: *Requiem Aeternam*

P26

### Thorizon One

De Nederlandse en Franse toezichthouders werken samen aan de voorbereidende beoordeling van de Thorizon One



Energie

# EPZ onderzoekt mogelijkheden om kerncentrale langer in bedrijf te houden

**D**e klimaatdoelstelling van Nederland is om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Vóór 2035 moet de productie van elektriciteit CO<sub>2</sub>-vrij zijn. Om dat te bereiken heeft het kabinet besloten nieuwe kerncentrales te gaan bouwen. Daarnaast wil de overheid de bestaande Kerncentrale Borssele (KCB), waarvan de sluiting bij wet in 2033 is vastgesteld, langer openhouden. EPZ Fuel Cycle Manager Tom Keij onderzoekt met zijn team wat ervoor nodig is om de KCB ook na 2033 nog eens tien of twintig jaar langer veilig CO<sub>2</sub>-vrije stroom te laten produceren.

© Irene van Kessel



De Nederlandse overheid heeft aan het begin van deze eeuw bepaald dat de KCB tot uiterlijk eind 2033 elektriciteit mag opwekken. Dit is vastgelegd in het convenant Borssele 2006 en in de Kernenergiewet (Kew). Het huidige kabinet heeft in het coalitieakkoord Omzien Naar Elkaar, onder Vooruitkijken naar de toekomst opgenomen dat kernenergie in de energiemix een aanvulling kan zijn op zon, wind en geothermie. Tegelijk wil het kabinet de bestaande kerncentrale in Borssele (KCB) langer openhouden. Voorwaarde is uiteraard dat dit veilig kan. Het kabinet onderzoekt daarom met de eigenaar EPZ en de aandeelhouders van de kerncentrale wat er nodig is om dat mogelijk te maken. Bij EPZ is Tom Keij aangewezen als de Projectleider Bedrijfsduurverlenging. Keij is in zijn dagelijkse werk verantwoordelijk voor de nieuw aan te kopen splijtstof, het afvoeren van verbruikte splijtstof en de afvalstroom naar de COVRA.

## Huidige sluitingsdatum in wet verankerd

Volgens Keij heeft de minister EPZ direct benaderd met een brief waarin het verzoek tot onderzoek naar de bedrijfsduurverlenging omschreven stond. "Daarin stond letterlijk of wij de mogelijkheid voor bedrijfsduurverlenging voor 10 of 20 jaar wilden onderzoeken", vertelt Keij. De KCB behoort al jaren tot de 25 procent veiligste lichtwaterkerncentrales van Europa, de VS en Canada. Dat is een voorwaarde die voortvloeit uit het Borssele Convenant dat indertijd werd ondertekend om de KCB, die aanvankelijk in 2013 zou sluiten tot 2034 open te houden. Naast de standaard 10-jaarlijkse veiligheidsevaluaties eist het convenant dat er elke 5 jaar een beoordeling wordt uitgevoerd door het onafhankelijke Borssele Benchmark Committee (BBC). Is dat allemaal niet voldoende om ook na 2033 de KCB in bedrijf te houden en door te gaan met het produceren van CO<sub>2</sub>-vrije stroom? Keij: "De belangrijkste reden is dat het nu

in de wet verankerd is dat we eind 2033 de deuren sluiten. Het is daarom bij wet verboden om kernenergie uit de KCB in te zetten om nog langer elektriciteit te produceren." Zelfs al zou EPZ nu een aanvraag om bedrijfsduurverlenging bij de overheid indienen, dan zou die niet eens in behandeling mogen worden genomen. "De grootste bottleneck op dit moment is dus de bestaande wet. Half augustus is daarom een eerste wetsvoorstel gepubliceerd, dat het mogelijk moet maken om van de bestaande wet af te wijken en de weg vrij te maken voor een vergunningaanvraag voor langere bedrijfsduur."

## Traject

Keij legt uit dat alleen het schrappen van de einddatum in de bestaande wet niet voldoende is. "EPZ beschikt nu over een vergunning zonder einddatum. "Het schrappen van de einddatum zou ervoor zorgen dat we direct na aanpassing door zouden mogen gaan, zonder na te denken over wat het voor de KCB gaat betekenen." Het wetsvoorstel is volgens Keij evengoed niet heel omvangrijk. "Het past op een A4'tje, maar er zit een forse memorie van toelichting bij over de achtergrond van de aanvraag en er is een MER-I (milieu-effectrapportage) aan toegevoegd die het milieu-effect moet beschouwen wat betreft het wijzigen van de wet. Als wij later de feitelijke aanvraag om bedrijfsduurverlenging gaan indienen, volgt ook nog een specifieke MER." Op het wetsvoorstel kan gedurende zes weken worden gereageerd in het kader van publiekparticipatie. Aansluitend worden de eventuele ingediende bezwaren bekeken en beoordeeld. Het wetsvoorstel wordt naar verwachting pas medio 2025 in de Tweede Kamer behandeld. Dan volgt de behandeling in de Eerste Kamer in 2025 of 2026. Ondertussen gaat het onderzoek bij EPZ gewoon door. "Wij kunnen niet wachten tot het besluit gevallen is en zijn daarom nu al bezig met alle voorbereidingen om in 2027 die vergunningaanvraag te doen." Keij gaat er nu al vanuit dat er na de aanvraag

een juridisch traject van mogelijk 2 jaar zal volgen bij de Raad van State. "Er zijn tegenstanders van kernenergie in binnen- en buitenland die, naar wij verwachten, protest zullen gaan aantekenen. We weten daarom pas in 2029 of de wet is aangepast, of we een definitieve vergunning hebben en of de bedrijfsduurverlenging door kan gaan."

## Technisch onderzoek

De basis van een bedrijfsduurverlenging is een grondige analyse van de huidige staat van de centrale om te bepalen welke onderdelen en systemen moeten worden vervangen of gemoderniseerd. Volgens EPZ zijn alle onderdelen in principe te vervangen, behalve het reactorvat. "Het belangrijkste thema bij het reactorvat is de beoordeling van eventuele verbrossing van het staal. Het vat wordt op termijn minder taai door de continue bestraling met neutronen." In het verleden is bij de verlenging van 40 naar 60 jaar al veel onderzoek naar verbrossing gedaan. "Dat onderzoek herhalen we om aan te tonen dat de centrale 80 jaar veilig in bedrijf kan blijven; deels op basis van onderzoeken die al zijn uitgevoerd en deels op basis van nieuwe onderzoeken." Bij dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van monsters die van hetzelfde materiaal zijn als het reactorvat, maar dichter op de kern zijn geplaatst, zodat ze sneller verouderen door de hoge neutronenflux. "Dit proces vindt al plaats sinds de reactor in gebruik is genomen." De monsters kunnen er tijdens een splijtstofwissel uit worden gehaald en gaan vervolgens voor onderzoek naar het laboratorium van Framatome - de bouwer van de kerncentrale, voorheen Siemens - in Duitsland. Volgens Keij geven de proefstukken die voor de verlenging van 40 naar 60 jaar werden beoordeeld al voldoende grond om het reactorvat tot 80 jaar in bedrijf te houden. "We proberen sowieso in de huidige situatie de veroudering te beperken en hebben dan ook een heel goed beeld van hoe de kerncentrale erbij staat. Alle potentiële verouderingsfenomenen zijn in kaart gebracht en daar hebben we een ✎



✎ Tom Keij: “We proberen sowieso in de huidige situatie de veroudering te beperken en hebben dan ook een heel goed beeld van hoe de kerncentrale erbij staat.”

programma op gedefinieerd: Wat betekent de veroudering voor alle verschillende onderdelen? De grootste investeringen verwacht Keij bij de onderdelen die voor vervanging in aanmerking komen. Keij wijst erop dat er ook nog met analoge systemen in de KCB wordt gewerkt. “Wanneer die voor vervanging of een upgrade in aanmerking komen, zal dat een extra uitdaging zijn. Zijn dergelijke onderdelen of systemen nog wel te verkrijgen en wie heeft er nog kennis van die systemen?”

### Economische onderzoek

Bij het economisch onderzoek is de centrale vraag: Is het financieel interessant om de kerncentrale langer in bedrijf te

houden? “Er zullen bepaalde onderdelen vervangen moeten worden. Maar die kosten zullen altijd lager uitvallen dan wanneer je een nieuwe kerncentrale gaat bouwen.” Een onzekere factor is dat je niet weet wat de stroomprijzen gaan doen. “Daarom willen we eerst weten wat de investeringskosten zullen zijn om 20 jaar langer door te draaien. Deze studie loopt.” Hier speelt het onderzoek naar structurele integriteit van materialen en systemen om te garanderen dat ze bestand zijn tegen langere bedrijfsvoering. “We weten welke systemen vervangen moeten worden, maar ook welke systemen, die op zich een

verlenging van 20 jaar kunnen doorstaan, in aanmerking komen voor modernisering om het rendement van de centrale te verhogen.” Het gaat dan bijvoorbeeld om investeringen die je niet uitstelt tot 2033, maar die je nu al doet om er direct profijt van te hebben.”

### Het splijfstofonderzoek

Op dit moment kent de KCB een gesloten splijstofcyclus, waarbij de gebruikte splijstof naar Frankrijk gaat voor opwerking en het vrijkomende uranium en plutonium kan worden hergebruikt in de reactor. “Dat is een strategie waarbij je afhankelijk bent van andere partijen, in dit geval in



© Irene van Kessel

Frankrijk. Gaan zij door met opwerking? Waarschijnlijk wel, maar als ze stoppen heeft dat grote consequenties voor ons. Ook voor het gebruik van mengoxide (MOX), dat afkomstig uit Frankrijk is, is EPZ ervan afhankelijk of de huidige partij gaat investeren in een nieuwe faciliteit. “Het zijn langjarige contracten waarbij je kiest voor zekerheid in de toekomst om er zeker van te zijn dat je op tijd beschikt over de benodigde splijtstof.” Op dit moment ligt er een ‘compleet plaatje tot 2033. We gaan nu kijken of we dat plaatje op de beoogde bedrijfsduurverlenging kunnen afstemmen.” Keij legt uit dat dit ook geldt voor de opslag van radioactief afval bij de COVRA, waar in geval van bedrijfsduurverlenging,

voldoende ruimte moet zijn om het afval voor de komende decennia veilig op te slaan. “Er is nu met de ruimte op de locatie van COVRA rekening gehouden met 60 jaar bedrijfsvoering. Wordt dat 80 jaar dan zal het HABOG (Hoogradioactief Afval Behandelings- en OpslagGebouw) moeten worden uitgebreid.” Keij vertelt dat er nu studies worden gedaan of er inderdaad extra ruimte moet worden bijgebouwd en wat de investeringen daarvan zullen zijn.

## Doorwerken

Het merendeel van de 400 medewerkers is bij EPZ gewoon bezig met de bedrijfsvoering van de kerncentrale. Naast Keij werken er ongeveer 10 mensen binnen de projectgroep aan het onderzoek voor de bedrijfsduurverlenging. “We maken daarbij ook gebruik van derde partijen zoals NRG in Petten en Arnhem die ons met hun expertise bijstaan. NRG heeft ons ook geholpen toen we van 40 naar 60 jaar bedrijfsvoering gingen. Ook Framatome is bij ons onderzoek betrokken.” Om het onderzoek te bekostigen ontvangt EPZ een subsidie van het ministerie van

Economische Zaken. Wanneer EPZ na een lang traject uiteindelijk overgaat tot het indienen van een vergunningsaanvraag, zal de ANVS (Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming) deze beoordelen. “Vandaar dat wij nu al in gesprek zijn met de ANVS over de aanpak.” De ANVS hoeft het niet alleen te doen met de data die EPZ aanlevert, maar werkt op haar beurt ook met derde partijen of *Technical Support Organisations*. “Waar het natuurlijk uiteindelijk naar moet leiden, is om in gezamenlijk overleg naar een plan van aanpak te komen.” Vooralsnog loopt het traject van productie tot 2033 en de aansluitende fase van ontmanteling gewoon door, omdat er nog geen vergunning is. Anderzijds komt er nu een optie om de toekomst voor EPZ te verlengen. Dat is niet alleen voor het klimaat goed nieuws, ook de medewerkers van EPZ zien het als een positief vooruitzicht. Keij: “Verlenging wordt zeker als kans gezien, want heel veel mensen willen gewoon doorwerken.” **K**

Menno Jelgersma

## Tom Keij, projectleider bedrijfsduurverlenging

Tom Keij heeft natuurkunde gestudeerd aan de Universiteit Eindhoven en is sinds 2007 bij EPZ werkzaam. Hij startte destijds bij de afdeling Techniek als Staff engineer Design & Licensing en voerde in zijn functie veiligheidsanalyses uit. In 2014 werd hij Project Manager Technical Support en vanaf 2019 Fuel Cycle Manager en betrokken bij de splijtstoftransporten naar Frankrijk. Daarnaast zette Keij zich in bij diverse vergunningentrajecten. Een daarvan was de brandstofdiversificatie. EPZ beoogde daarbij de splijtstof die in de kerncentrale wordt ingezet te diversificeren naar andere soorten splijtstof. Naast het reeds gebruikte, verrijkte, natuurlijke uranium kwam hiermee de mogelijkheid om ook gerecycled uranium met een hogere verrijking en mengoxide te gebruiken, de zogenaamde MOX-splijtstof. Hiervoor was een wijziging van de vergunning inzake de Kernenergiewet nodig. Door de diversificatie werd EPZ minder afhankelijk van de prijsontwikkeling van verrijkt uranium. Een bijkomend voordeel is dat de diversificatie zorgde voor het verminderen van de gebruikte hoeveelheid primaire grondstoffen (natuurlijk uranium) in de KCB. Een ander belangrijk vergunningstraject waar Keij bij betrokken was, was de bedrijfsduurverlenging van 40 naar 60 jaar waar hij de vergunningsaanvraag voor heeft geschreven. Deze complete achtergrond en jaren ervaring zet Keij in bij zijn functie als Projectleider Bedrijfsduurverlenging, waarbij de opgave is om te onderzoeken of en zo ja, hoelang de kerncentrale Borssele, na de bij wet vastgestelde datum van 31 december 2033, in bedrijf kan blijven.



# Heeft Kernenergie toekomst? Drie visies

**O**m maar meteen met de deur in huis te vallen: Het in België recent verschenen boek *Heeft kernenergie toekomst?* geeft geen antwoord op deze vraag. Het antwoord is bijvoorbeeld wel te vinden in de jaarlijkse publicatie van het internationaal atoomagentschap (IAEA) die de wereldwijde groeiprognozes voor het derde achtereenvolgende jaar naar boven bijstelt met een kwart meer kernenergiecapaciteit geïnstalleerd tegen 2050 dan in 2020. Maar dit ter zijde. Het boek heeft de vorm van een uitgebreide discussie, waarbij een voor- en tegenstander aan het woord komen en een afsluitende expert met het, onbevredigende en onjuiste, verlossende woord komt: de toekomst voor nucleair in België, dan wel Europa is een kwestie van persoonlijke smaak..

Drie visies. De eerste visie is van Alex Polfliet, volgens de kaft een energie-expert met een lange staat van dienst in de hernieuwbare energiesector. Direct bij het lezen van zijn essay krijg je als

lezer het idee dat je in de tijd wordt teruggeworpen en een *Krities Pamflet* uit de jaren 70 van de vorige eeuw leest. De basis voor zijn antikernenergie-sentiment vindt hij in de Hollywoodproductie *The*

*China Syndrome*, een film die volgens hem profetisch was. Ik hoop dat Polfliet nooit naar de 'profetische' films *Jaws* of *Speed* gaat kijken, want dan zal hij ijveren voor het afsluiten van alle stranden en



het openbaar busvervoer in de ban willen doen. Alle dooddoeners passeren de revue: kernenergie is gevaarlijk, antidemocratisch en slecht voor het milieu, een en ander gelardeerd met bangmakerij. Met de keuze van Nederland voor 2 of 4 nieuwe kerncentrales haalt de 'energie-expert' een officieel rapport aan dat "brandhout maakte" van dat voornemen. Dit officiële rapport komt van LAKA. Kernenergie heeft geen bestaansredenen, aldus Polfliet: "De stijl is gestreden."

## Kernenergie is de veiligste vorm van energie

De tweede visie is een verademing en komt van Georges van Goethem, wetenschappelijk adviseur bij de Europese Commissie en oprichter van de burgerbeweging 100 TWh. Van Goethem steekt direct van wal. Energievoorziening door niet-controleerbare hernieuwbare bronnen is absoluut onmogelijk. "Behalve op Samsøe, een klein eiland bij het schiereiland Jutland, waar 4.000 mensen wonen." Hij gaat in op de techniek. Wat is het aandeel elektriciteit in de totale energiebehoefte en wat kan nucleair betekenen om het leeuwendeel dat nu nog met fossiel wordt opgewekt terug te dringen. Hij vertelt over de nieuwe technologieën die naar een gesloten splijtstofcyclus kunnen leiden. Kernenergie is de veiligste vorm van energie. Hij ondersteunt een CO<sub>2</sub>-vrije energiemix in de toekomst waar kernenergie deel vanuit maakt en ziet dat steeds meer milieuactivisten zoals Mark Lynas, George Monbiot en Chris Goodall van critici pleitbezorgers zijn geworden.

## Activisten worden niet gehinderd door wetenschappelijke kennis

Beide heren reageren in het tweede deel op de elkaars essays. Polfliet is niet realistisch in zijn reactie op Van Goethem. Hij beweert dat als de zon niet schijnt het voldoende waait om in de stroombehoefte te voorzien, haalt onderzoeken aan waaruit

blijkt dat een combinatie van wind/zon/batterijen de goedkoopste oplossing is en twijfelt aan de wetenschappelijke publicatie van de VN over het aantal doden bij Tsjernobyl. Wetenschap is ook maar een mening, toch? Van Goethem noemt Polfliet even niet bij naam, maar zegt overduidelijk dat activisten niet gehinderd worden door wetenschappelijke kennis, maar ziet wel een bevestiging hiervan in Polfliets essay. Tunnelvisie, angstzaaien en een loopje nemen met de waarheid. Van Goethem denkt niet dat Polfliet te kwader trouw is, maar wel dat Polfliet behoort tot de "rigide hardliners die jarenlang zijn gehersenspoeld door eenzijdige informatie van Greenpeace en andere geradicaliseerde milieubewegingen, die herkenbaar zijn aan hun fetisj met betrekking tot de sluiting van alle vermaledijde kerncentrales ter wereld." Van Goethem laat zien dat het er niet omgaat of je voor of tegen kernenergie bent. We hebben met de opwarming van het klimaat een levensgroot probleem dat alle aandacht verdient. Hij wijst erop dat de energiebehoefte mondiaal alleen maar toeneemt en sneller gaat dan wind en zon kunnen bijbenen. 2023 was voor zowel olie als steenkool een recordjaar, dus ook wat betreft de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Hij laat zien dat wanneer Nederland al zijn energie uit wind en zon zou halen het totale landoppervlak te klein is. Van Goethem: "Tegenstanders kunnen op hun kop gaan staan. Kernenergie maakt deel uit van de oplossing." Heeft Polfliet dan helemaal geen gelijk? Ja toch. In het begin van zijn essay heeft hij het erover dat de discussie 'kernenergie toekomst', een achterhoedegevecht is. Dat is het inderdaad. Maar dan wel 180 graden anders dan Polfliet had gedacht.

## Boek houdt polarisatie in stand

Bijna vergeten. Het derde deel van het boek is een bijdrage van Pieter Vingerhoets, hij heeft een PhD in de fysica en is expert Energie- en Klimaatstrategie bij EnergyVille/VITO. Na het vuurwerk in

de eerste twee delen is dit deel gematigd en eigenlijk niet echt een visie. Hij neemt geen standpunt in en stelt dat je het op rationele gronden zowel eens kan zijn met Polfliet als met Van Goethem. Dat klopt niet. Op rationele gronden kan je het alleen maar oneens zijn met Polfliet. Wonderlijk is bovendien dat Vingerhoets, die als expert een uitweg beloofd te bieden, toch weer begint over elektriciteit die voor 80 procent door hernieuwbaar zou kunnen worden opgewekt "er is geen enkele technische reden waarom 100 procent hernieuwbaar niet zou kunnen". Hè? Even kijken bij EnergyVille. Acht onderzoeksdomeinen maar niets over kernenergie. Wel een tendentieuze podcast van de Universiteit van Vlaanderen: "De kernuitstap (*het sluiten van de kerncentrales Doel en Tihange in België - red.*) is eigenlijk een beetje een discussie in de marge." Liever vier nieuwe gascentrales erbij dan CO<sub>2</sub>-vrije kernenergie. In zijn conclusie zegt Vingerhoets dat een polariserende stijl absoluut schadelijk is voor het energiedebat. Maar het boek voedt de polarisatie juist. Door podium te blijven geven aan onwetenschappelijke bijdragen lijkt de discussie op de debatten over nut en noodzaak van vaccinaties, waarbij je medici laat discussiëren met een willekeurige holistische homeopaat of iriscopist. Als we onze levensstandaard willen behouden in een CO<sub>2</sub>-vrije wereld zullen we alle middelen die we tot onze beschikking hebben moeten inzetten en kernenergie hoort daarbij. **K**

Menno Jelgersma

## Overzicht

Titel: *Heeft kernenergie toekomst?*

*Drie visies.*

Auteur: Alex Polfliet, Georges Van

Goethem en Pieter Vingerhoets

Uitgeverij: Houtekiet

160 pagina's

E-book: 9789046828670 – € 15,99

Paperback: 9789046828663 – € 21,99

# Monica Jong over ITER en de ontwikkeling van fusietechnologie voor een CO<sub>2</sub>-vrije toekomst

**I**n Zuid-Frankrijk werken 35 landen samen aan de bouw van 's werelds grootste tokamak, de fusiemachine ITER. De machine is ontworpen om de haalbaarheid van fusie aan te tonen als grootschalige en koolstofvrije energiebron, gebaseerd op hetzelfde principe waarmee onze zon in staat is energie te genereren. Monica Jong is Special Project Development Manager en als Operations & Facility Technical Lead door het Britse UKAEA (United Kingdom Atomic Energy Authority) gedetacheerd bij het ITER Hot Cell project om de ITER-organisatie te ondersteunen bij de ontwikkeling van de hot cell-faciliteit voor onderhoud van de tokamak en afvalverwerking.

De experimentele fusiemachine ITER in het Zuid-Franse Cadarache is cruciaal om de fusiewetenschap vooruit te helpen en de weg te bereiden voor de fusiecentrales van morgen. Het primaire doel van ITER is het onderzoeken en demonstreren van plasma's waarin de energie vrijkomt van samensmeltende tritium- en deuteriumkernen. ITER zal ook de beschikbaarheid en integratie testen van technologieën die essentieel zijn voor een fusiereactor, zoals supergeleidende magneten en onderhoud op afstand. Daarnaast worden bij ITER concepten voor tritiumkweekmodules onderzocht, die er in de toekomst voor moeten zorgen



dat fusiecentrales voor de productie van tritium zelfvoorzienend zijn. Deuterium levert als brandstof geen problemen op. Duizenden ingenieurs en wetenschappers hebben bijgedragen aan het ontwerp van ITER sinds het idee voor een internationaal gezamenlijk fusie-experiment voor het eerst werd gelanceerd in 1985. De ITER-leden zijn naast de Europese Unie, India, China, Japan, Korea, Rusland en de Verenigde Staten. Via een contributieprogramma werken de landen al decennia samen om de experimentele ITER-machine te bouwen en te exploiteren. Monica Jong: "Het is inspirerend om met zoveel mensen aan een CO<sub>2</sub>-vrije toekomst te werken en fusietechnologie gaat daar deel van uitmaken."

## Vrijkomende neutronen en tritium

Anders dan bij kerncentrales waar energie wordt opgewekt door middel van kernsplijting met als restproduct radioactief afval, is het fusieproces relatief schoon. Bij het samensmelten van waterstof-isotopen worden niet-radioactieve heliumkernen geproduceerd en komt er bij elke fusiereactie een neutron vrij. De neutronen zijn essentieel voor de vorming van tritium in de kweekbedden, maar activeren ook het inwendige van de fusie plant. Tritium is nodig om de fusiereactie op gang te houden, maar is ook radioactief. Jong: "Waterstof is het kleinste atoom met slechts een proton in de kern. Tritium is maar iets groter met een proton en twee neutronen. Dit zorgt ervoor dat bijna alle oppervlakken die met tritium in aanraking komen tritium opnemen en weer uitgassen. Tritium is een radioactief gas, dus moeten alle onderdelen die met tritium besmet zijn op een veilige manier, remote, worden gehanteerd." Alles wat uit een fusieplant komt, zowel de onderdelen die door neutronen zijn geactiveerd als die het radioactieve tritium hebben opgenomen moeten naar een afgeschermd omgeving worden gebracht voor verdere behandeling. Uiteindelijk zal het tritium uit de materialen gehaald worden met behulp

van thermische processen en zal dat tritium worden opgevangen. Ook kunnen tritium houdende materialen opgeslagen worden (buffer storage) om onder acceptabele tritiumniveaus te komen. Tritium heeft een halfwaardetijd van 12,4 jaar en dat betekent dat er na 72 jaar bijna geen tritium meer in een materiaal aanwezig is. De geproduceerde neutronen in de tokamak die materialen raken zorgen er ook voor dat onderdelen geactiveerd worden in de fusieplant. Dat afval zal uiteindelijk in daarvoor bestemde containers naar de Franse afvalbeheerder moeten worden getransporteerd en opgeslagen.

## 52 poorten voor onderdelen met de grootte van vrachtwagens

UKAEA heeft in het verleden op veel fronten met ITER samengewerkt door de unieke ervaring van 40 jaar JET operations. UKAEA heeft ervaring in het behandelen van tritium, remote operations in de JET tokamak, het verwerken van fusie-afval en het ontwerpen van hot-cellen. Het team van UKAEA ondersteunt ITER nu met de volgende vraag: Hoe kunnen we geavanceerde remote-technieken inzetten om ervoor te zorgen dat het onderhoud en de afvalverwerking veilig gebeuren. Jong: "Dat is de reden waarom ingenieurs nu werken aan het ontwerp van een onderhoudsfaciliteit die zodanig is ontworpen dat deze optimaal werkt ten behoeve van de ITER-fusieplant." Op de webpagina van ITER staat een beoogd onderzoeksgebouw van 5 verdiepingen en een volume van 200.000 kubieke meter, grofweg met een oppervlak van 100 bij 100 meter waarin hotcell en waste management zal plaatsvinden. Inmiddels is bekend dat het gebouw naar een kleiner volume wordt teruggebracht. Maar het zal evengoed een enorme faciliteit worden, zoals bijna alles bij ITER een project van de grote getallen is. Zo heeft de ITER tokamak-kern 52 poorten. Elke poort komt uit in de tokamak en vormt een flensverbinding om de tokamak onder vacuüm te houden. In elke poort wordt een poortplug geplaatst met specifieke functies

voor de operatie van de fusieplant of om onderzoek uit te voeren. Voorbeelden zijn breederblankets, diagnose apparatuur of apparatuur om het plasma te regelen. "De grootte van één enkele poortplug is te vergelijken met de afmeting van een vrachtwagen. Elke poortplug heeft aan de voorkant een functioneel deel, een middendeel met een afscherming om neutronen tegen te houden en een flens voor de aansluiting op de poort en een achterdeel met alle doorvoeringen en apparatuur. Bij de breederbedden zitten er bijvoorbeeld twee bedden in één poortplug gemonteerd, waarbij het functionele deel van één bed de afmeting heeft van een manshoge archiefkast."

## JET de voorganger van ITER

Waarom zijn de afmetingen zo enorm? Jong: "JET, de Joint European Torus in Engeland die na 40 jaar bedrijf, buiten gebruik is genomen, was een kleine fusieplant. Vanwege het kleine volume was heel veel koeling noodzakelijk om de wanden en constructie tegen een plasma van meer dan 100 miljoen graden Celsius te beschermen en konden er maar korte fusiepulsen gegeven worden. Hoe groter een tokamak is, hoe minder warmte er bij de constructie in de buurt van de wand van de tokamak komt en hoe langer de plasma pulsen kunnen duren. De efficiëntie van het fusieproces is de grootste drijver voor schaalvergroting." Om die reden is in 2006 in Frankrijk een begin gemaakt met de bouw van ITER, een tokamak die groter is dan JET en die de geschiktheid van kernfusie moet onderzoeken voor commercieel gebruik. De ITER zal met 50 MW aan elektrisch vermogen ruim 500 MW aan thermisch vermogen opwekken. De efficiëntietarget van ITER is 10, wat wil zeggen dat er 10 keer meer energie uit komt dan je erin stopt. Of nog preciezer: er is 50 MW nodig voor verwarming van het plasma, voor 500 MW thermisch fusievermogen. Bij JET was deze efficiency 0,7, een inefficiënt proces dus, maar essentieel voor de leercurve naar fusie-energie. Jong: "Je kunt in een ✎



© ITER.org

➤ Ontwerpstudie van de onderzoeksfaciliteit waar de hotcell en waste management staat gepland.

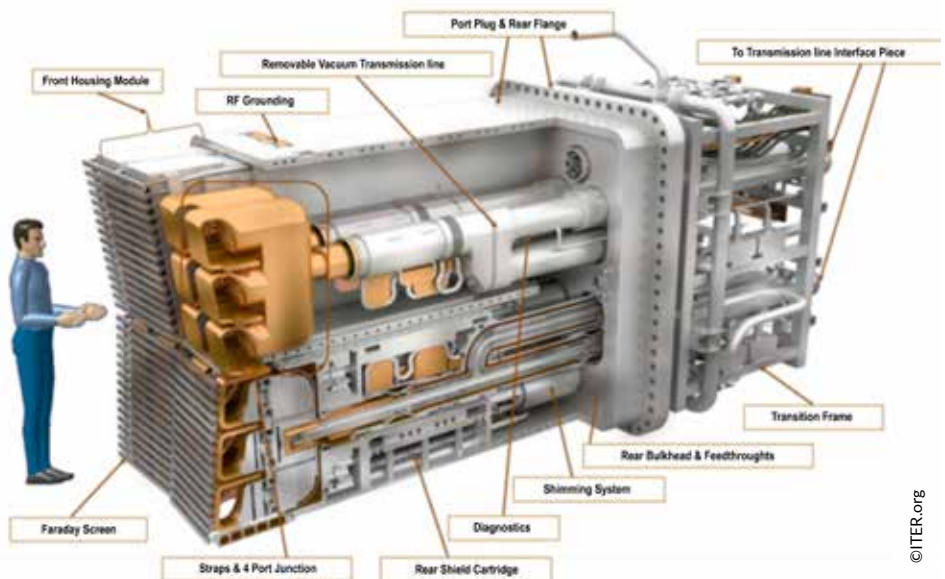
grote tokamak het plasma langer in stand houden.” Daarnaast heeft een grotere, en dus minder thermisch belaste, tokamak eenvoudigere materiaalkeuzes. Grote fusieplantafmetingen zorgen ook voor grote systemen waarvan we moeten weten of die voor onderzoek of afvalverwerking gebruikt zullen gaan worden. Daarom wordt de hot-cell-faciliteit met onderhouds-, export- en afvalverwerkingsysteem ook groot. “We beschikken inmiddels over een geüpdatete layout van de faciliteit en wij onderzoeken op dit moment wat alle ‘bewegingen’ van mensen en systemen in het gebouw zullen zijn en hoe de transporten tussen de hot-cell faciliteit en zijn interfaces, zoals het tokamakgebouw en externe bedrijven gaan plaatsvinden.” Op de locatie zelf is nog niet veel te zien behalve de voorbereide, rotsachtige bodem waar het gebouw gaat komen. “Dat is de basis en geeft het oppervlak aan waar we ons aan zullen moeten houden”, vult Jong aan.

## Ervaring met de bouw van onderzoeksfaciliteiten

Met de detachering van Jong en haar team vanuit UKAEA heeft de ITER-organisatie mensen in huis gehaald die gepokt en gemazeld zijn in het fusieonderzoek. Jong heeft zich het grootste deel van haar carrière gericht op de ontwikkeling van fusiematerialen en beproevingsopstellingen. Zodra een apparaat, techniek of faciliteit klaar was,

was de voortgang gericht op het inbouwen ervan in een afgeschermd omgeving en ook dat het gebruikt kan worden met remote handling. Gericht op deze expertise heeft Jong 25 jaar bij ECN/NRG gewerkt. Na een korte periode als consultant stapte ze in 2015 over naar de UKAEA. “Ik ben daar begonnen als Head of Operations van de Material Research Facility (MRF), wat een onderzoeksfaciliteit is voor fusierelevante materialen.” Het gebouw dat kort voor Jong aantrad was opgeleverd, moest nog van hot-cellen worden voorzien. In 2018 is de onderzoeksfaciliteit in gebruik genomen met cellen die door haar zijn ontworpen, ontwikkeld en gebouwd.

Het was een faciliteit van 2.000 vierkante meter maar werd door de inzet van Jong verdubbeld naar 4.000 vierkante meter. “We begonnen met 3 stalen cellen, zoals die in het oorspronkelijke plan waren opgenomen, naar een uitbreiding van 24 betoncellen voor laagradioactief onderzoek.” De 3 stalen cellen dienen ervoor om grote stukken materiaal die radioactief zijn bestraald door kernsplijting, door fusie of in een deeltjesversneller in hele kleine delen op te splitsen. Met de MRF kan de UKAEA ‘state of the art’ onderzoek doen naar stralingsschade aan hele kleine stukjes materiaal. “Dit betreft bijvoorbeeld monsters met een grootte van 0,5 x 0,5 x 0,5 millimeter. De beproevingsmethodieken die in de onderzoekscellen zijn geïnstalleerd zijn onder andere: scanning electro microscopes, focused ion beam microscopes, micro- en nano-indentation, x-ray tomography en sub-sized mechanical testing. Omdat de samples zo klein zijn, blijft er weinig straling over en dat voorkomt dat de hooggevoelige apparatuur in de afgeschermd beproevingsfaciliteiten functionele stralingsschade oploopt.” Het was de eerste keer dat het opdelen van bestaande stukken radioactief materiaal tot monsters in microafmetingen



© ITER.org

➤ Voorbeeld van een poortplug die gebruikt wordt voor de bedrijfsvoering van de fusieplant of om onderzoek uit te voeren.

als 'core business' voor een nucleair onderzoekslaboratorium plaatsvond en onderzocht werd in laag-actief cellen met behulp van industriële pick-and-place robot technieken en daardoor revolutionair. Volgens Jong konden zelfs de kleine monsters nog eens veel kleiner worden gemaakt zodat ze uiteindelijk een doorsnede hadden van 10 micron en een activiteit die onder één Becquerel lag voor veilig onderzoek op een universiteit. (Als er van een stof 1 atoom per seconde verval, is die stof een radioactieve bron met een sterkte van 1 becquerel.)

## JET, ITER en nieuwe initiatieven

Alle opgedane kennis en ervaring zet Jong nu in bij de bouw van de onderzoeksfaciliteit ITER in Cadarache. De start van de bouw van de Nuclear Maintenance and Radwaste Facility staat gepland voor 2027. Het werk zal enkele jaren in beslag nemen en gereed zijn voor de fusiemachine ITER zijn eerste experimenten in zijn complete configuratie in 2035 kan gaan doen. Jong: "De fusieplant gaat draaien. Daar ben ik van overtuigd. Ik ben in de jaren 90 toen ik nog bij ECN en later NRG in dienst was, al aan ITER-projecten gaan werken,

aansluitend naar de UKAEA gegaan en nu werk ik hier in Cadarache. JET is de grootmoeder, en ITER is de moeder en nog steeds een onderzoeksproject. Toekomstige ontwikkelingen, de dochters, zullen volgens Jong combinaties worden van ervaringen opgedaan bij ITER, JET, JT-60 (nu operationeel in Japan) en van huidige en toekomstige ontwerpen van particuliere of meer commerciële initiatieven. Deze laatste maken gebruik van de technologieën die hier bij ITER en bij JET in de UK in de afgelopen decennia zijn ontwikkeld en zij starten dus met een voorsprong. Zij passen inmiddels de laatste technologieën, bijvoorbeeld op het gebied van magneten en instrumentatie toe, die niet meer in ITER kunnen worden ingevoegd. Deze toekomstige ontwikkelingen moeten uiteindelijk leiden tot één of enkele algemeen toegepaste fusieplantconcepten naast andere duurzame energievormen, inclusief GEN-IV-reactoren, tot een koolstofvrije samenleving."

Na 40 operationele jaren is JET buiten bedrijf gegaan. Daar vindt nu onderzoek naar de ontmanteling van de fusieplant plaats. "Omdat UKAEA al ruim tien jaar wist van de buitengebruikstelling hebben ze zich gericht op de vraag wat wat de rol

van UKAEA zal zijn in het fusieonderzoek na 2023." De MRF is volgens Jong daar een voorbeeld van. In dezelfde periode is Remote Applications in Challenging Environments (RACE) gebouwd. In RACE ontwerpt, bedient en levert UKAEA robotica voor extreme industriële omgevingen en werken we aan ons doel: fusie-energie naar het elektriciteitsnet brengen. Andere voorbeelden zijn Mega-Amp Spherical Tokamak (MAST), waar onderzoek wordt gedaan naar plasma- en divertorgedrag en de Fusion Technology (FT) en waar fusiegerelateerde deelsystemen ontwikkeld en getest worden. UKAEA heeft de life cycle van fusietechnologie opgedeeld in secties om deze specialiteiten vervolgens naar de rest van de wereld uit te zetten." Vanuit deze gedachtegang is UKAEA gaan samenwerken met zoveel mogelijk fusie-initiatieven wereldwijd. Daarnaast werkt UKAEA ook aan hun eigen fusieplant: STEP, de Spherical Tokamak for Energy Production, waarvan een eerste prototype in 2040 moet gaan draaien. Het is vanuit RACE dat Jong nu een team van 17 mensen leidt dat zich richt op de ontwikkeling van een hotcell faciliteit voor ITER. **K**

*Menno Jelgersma*

## Monica Jong - carrière

Monica Jong heeft na een opleiding fijnmechanica een bachelor of engineering (B.Eng.) bij de Hoge School Utrecht gedaan en aansluitend een post bachelor materiaalkunde gedaan. Zij is gaan werken bij ECN in Petten in de periode dat NRG daar nog deel van uitmaakte. Toen de splitsing tussen ECN en NRG rond was, bleef Jong bij NRG werken. Tot 2014 verrichtte zij onder andere materiaalkundige onderzoek ten behoeve van stralingsgedrag voor ITER-relevante materialen en werkte aan de ontwikkeling en integratie van beproevingsapparatuur voor radioactieve materialen in een hot-cell omgeving. In de periode 2014-2015 was Jong actief als consultant en ging in 2015 bij UKAEA aan de slag voor de ontwikkeling van de Materials Research Facility, de realisatie van een nieuw materiaalkundig laboratorium voor de beoordeling van stralingsschade aan materialen. Van 2021 tot 2023 werkte ze bij UKAEA aan Tritium Advanced Technology [H3AT] in de functie van Special Projects Development Manager met verscheidene opdrachten, waaronder: Scoping van een tritium relevante onderzoeksfaciliteit en spinning out van fusie relevante technologie naar de waterstof economie. Van 2023 tot heden werkt Jong aan de UKAEA Remote Applications Challenging Environment [RACE] en als Special Projects Development Manager is zij door UKAEA gedetacheerd bij de ITER-organisatie in Cadarache voor de ondersteuning van de ontwikkeling van de ITER Nuclear Maintenance and Radwaste Facility [NMRF]. Ze geeft leiding aan het UKAEA Hot Cell-team voor de ontwikkeling van een onderhouds- en waste handling faciliteit die de ITER fusieplant moet onderhouden en waarmee parallel onderzoek gedaan wordt hoe toekomstige fusieplants onderhouden moeten worden. De komende tijd zal Jong nog werkzaam zijn in Cadarache in opdracht van UKAEA. Nadien verwacht Jong dat zij zich als consultant nog jaren dienstbaar kan maken.

## Ontwikkeling modulair bouwen Hinkley Point C biedt kansen nieuwbouw kernenergie

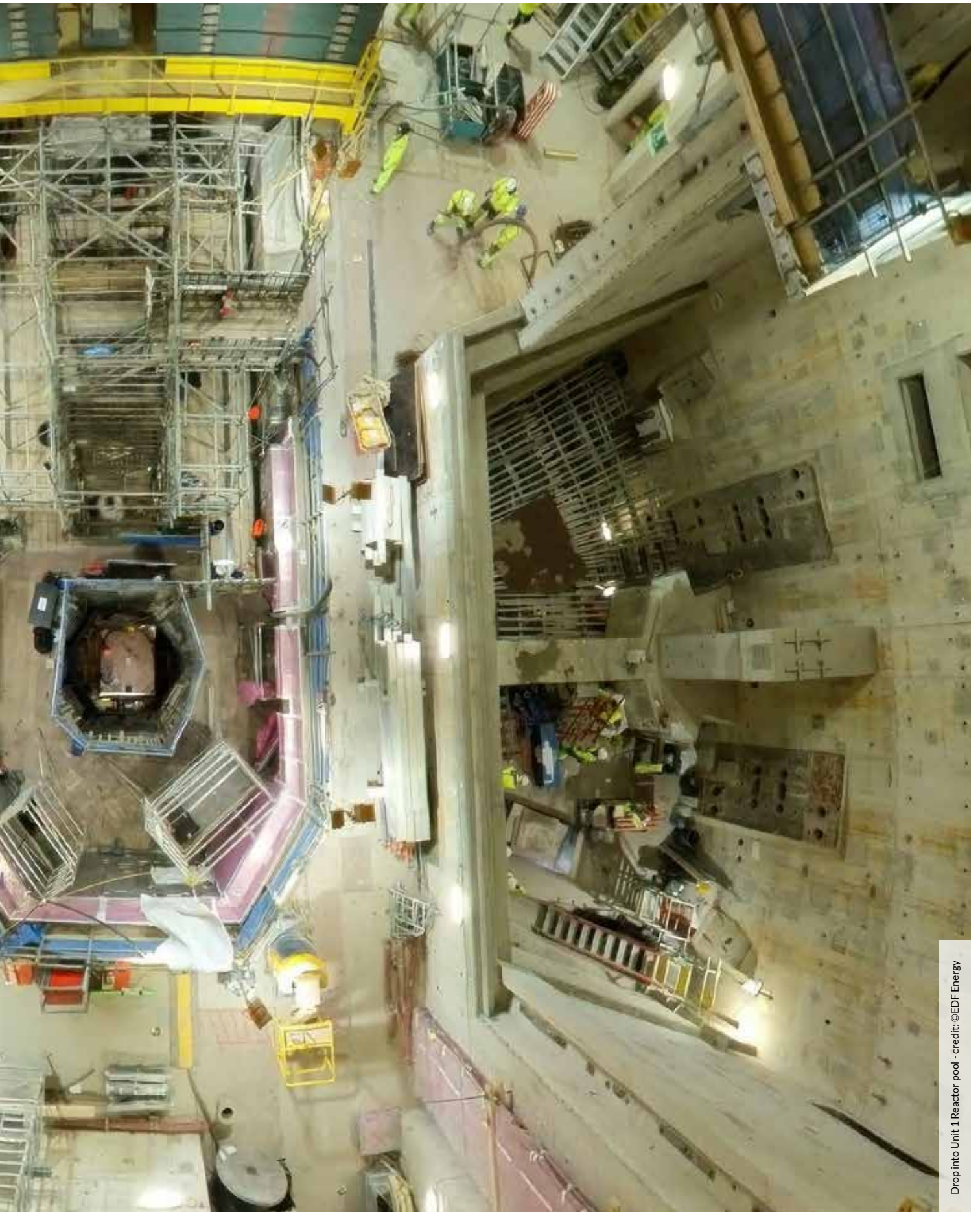
**D**e werkzaamheden in Unit 1 van de Hinkley Point C-kerncentrale vorderen gestaag, niet in de laatste plaats door het gebruik van geprefabriceerde onderdelen. Volgens Stuart Crooks, managing director van Hinkley Point C, is het modulaire bouwmodel een game-changer voor de nucleaire sector.

De nieuwbouwactiviteiten bij Hinkley Point C in Bristol leveren volgens EDF Energy het bewijs van de aanzienlijke productiviteitsstijging door modulair bouwen met behulp van geprefabriceerde onderdelen. De werkwijze met geprefabriceerde onderdelen verkort de installatietijd op de bouwplaats met 75 procent en de fabricagetijd met 20 procent. De werkmethode vergroot de productiecapaciteit, versnelt het civiele bouwprogramma en vermindert het manueel hanteren van lasten, waardoor een veiligere, gezondere en efficiëntere werkomgeving wordt gecreëerd. Modulaire bouwen betekent dat steeds grotere stukken van de centrale in satellietfabrieken worden gebouwd en op hun plaats worden gehesen met enkele van 's werelds grootste kranen. Voorbeelden van waar prefabricage plaatsvindt, is de nieuwe fabriek van Laing O'Rourke in Bristol Port die de grote stalen wapeningskooien produceert die het beton versterken en een tweede nieuwe wapeningsstaalfabriek in Avonmouth. Andere recente voorbeelden van modulair bouwen: Roestvrijstalen tanks - Geprefabriceerde modules voor koelwatertanks worden geassembleerd in de nieuwe fabriek van Framatome in Avonmouth. Prefabricage laadkuil: De zwaarste last tot nu toe, een element van 1.305 ton dat wordt gebruikt voor de behandeling van splijtstof, werd ter plaatse in een bunker gemaakt en op zijn plaats gehesen door Big Carl. Stuart Crooks, managing director van Hinkley Point C, noemt het modulaire bouwmodel een echte game-changer voor de nucleaire sector: "Het productiemodel dat we hier hebben opgezet is goed voor Hinkley Point C en geweldig voor Sizewell C, en zet een geheel nieuwe richting in voor de nucleaire sector."

Op dit moment zijn er 12.000 mensen werkzaam op de bouwlocatie. In totaal werken er 22.000 mensen aan de eerste nieuwe kerncentrale in het VK sinds 30 jaar, die als hij in gebruik is met zijn 2 reactoren, aan 6 miljoen huishoudens stroom gaat leveren en een uitstoot van jaarlijks 8 miljoen ton CO<sub>2</sub> voorkomt. **K**

*Hinkley Point C media team*





Drop into Unit 1 Reactor pool - credit: ©EDF Energy

# Verwarming voor fusie: Waarom plasma roosteren als het ook in een magnetron kan!

**S**ommige mensen geloven dat de toekomst van fusie in de V.S. ligt met de ontwikkeling van compacte, bolvormige fusievaten, waarbij een kleinere tokamak een zuinigere fusieoptie zou kunnen zijn. Het is dan wel de truc om alles in een kleine ruimte te proppen. Nieuw onderzoek suggereert dat een belangrijk onderdeel dat gebruikt wordt om het plasma te verhitten, achterwege kan blijven, waardoor veel ruimte vrijkomt. Wetenschappers van het Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL) van het U.S. Department of Energy, het privébedrijf Tokamak Energy en de Kyushu University in Japan hebben een ontwerp voorgesteld voor een compacte, bolvormige fusiecentrale die het plasma alleen verwarmt met behulp van microgolven.

## Een nieuwe weg banen voor compacte fusievaten

Normaal gesproken gebruiken bolvormige tokamaks een enorme spoel van koperdraad, een solenoïde genaamd, die zich in het midden van het vat bevindt, om het plasma te verhitten. Neutrale straalinjectie, waarbij stralen van ongeladen deeltjes op het plasma worden gericht, wordt ook vaak gebruikt. Maar net zoals een kleine keuken eenvoudiger te ontwerpen is met minder apparaten, zou het eenvoudiger en goedkoper zijn om een compacte tokamak te maken met minder verwarmingssystemen. De nieuwe aanpak elimineert ohmse verwarming (verwarming door elektrische weerstand), dezelfde techniek

die in een broodrooster of waterkoker wordt gebruikt en standaard is in tokamaks. “Een compact, bolvormig tokamakplasma ziet eruit als een appel met een relatief kleine kern, dus je hebt geen ruimte voor een ohmse verwarmingsspiraal,” zegt dr. Masayuki Ono, hoofdonderzoeksfysicus bij PPPL en hoofdauteur van het artikel (*Efficient ECCD non-inductive plasma current start-up, ramp-up, and sustainment for an ST fusion reactor*) waarin het nieuwe onderzoek wordt beschreven. “Als we geen ohmse verwarmingsspiraal hoeven toe te voegen, kunnen we waarschijnlijk een machine ontwerpen die eenvoudiger en goedkoper te bouwen is.”

## De ideale stralingshoek en verwarmingsmodus bepalen

Microgolven zijn een vorm van elektromagnetische straling die kan worden opgewekt met behulp van een apparaat dat bekend staat als een gyrotron. Gyrotrons worden hoofdzakelijk gebruikt bij plasmafysisch onderzoek en vallen in de groep van microgolfbronnen zoals de magnetron. De gyrotrons kunnen aan de buitenkant van de tokamak zitten – metaforisch gesproken, net buiten de schil van de appel – gericht op de kern. Terwijl de gyrotrons krachtige golven in het plasma uitzenden, genereren ze een stroom door negatief geladen deeltjes, elektronen genaamd, te verplaatsen. Dit proces, dat bekendstaat als *electron cyclotron current drive (ECCD)*, veroorzaakt een stroom in het plasma en verwarmt het. Het verwarmingsproces is echter niet zo eenvoudig als het aanzetten van een aantal gyrotrons. De onderzoekers moeten verschillende scenario's modelleren en verschillende details bepalen, zoals de beste hoek om de gyrotrons te richten zodat de microgolven goed in het plasma doordringen. Met behulp van een computercode genaamd TORAY





©Kylie Palmer / PPPL Communications

voorkomen dat de stroom die je in het plasma stopt er weer uitkomt,” zegt Jack Berkery, medeauteur van het artikel en plaatsvervangend onderzoeksdirecteur van het National Spherical Torus Experiment-Upgrade. Dit kan gebeuren wanneer de microgolven door het plasma worden weerkaatst of wanneer ze het plasma binnenkomen, maar verlaten zonder de stroom of temperatuur van het plasma te veranderen. “Er werden veel verschillende parameters gescand om de beste oplossing te vinden,” zei Berkery. Het onderzoeksteam bepaalde ook welke modus van ECCD het beste zou werken voor elke fase van het verwarmingsproces. Er zijn twee modi: De gewone modus, bekend als O-modus, en de buitengewone modus, bekend als X-modus. De onderzoekers zien de X-modus als de beste keuze voor het opvoeren van de temperatuur en de stroom van het plasma, terwijl de O-modus de beste keuze is na het opvoeren, wanneer de plasmatemperatuur en -stroom gewoon op peil moeten worden

gehouden: “De O-modus is goed voor een plasma met een hoge temperatuur en hoge dichtheid.” Maar we ontdekten dat de efficiëntie van de O-modus erg laag wordt bij lagere temperaturen, dus je hebt iets anders nodig voor het lagetemperatuurregime”, aldus Ono.

### Rekening houdend met de impact van onzuiverheden

De auteurs, waaronder postdoctoraal onderzoeker Kajal Shah, onderzochten ook hoe het vermogen uit het plasma weg zou stralen. Dergelijke straling zou aanzienlijk kunnen zijn in een plasma dat zo groot is als het plasma dat nodig is voor commerciële fusie. Luis Delgado-Aparicio, hoofd van de afdeling Advanced Projects van het lab en co-auteur van het artikel, merkt op dat het vooral belangrijk zal zijn om het aantal onzuiverheden van elementen met een hoog atoomnummer, ook wel Z-nummer genoemd, te minimaliseren. Dat zijn de elementen met veel positieve geladen deeltjes, ook wel protonen genoemd. ➤

in combinatie met een code genaamd TRANSP scande het team de richthoeken en keek wat de hoogste efficiëntie gaf. Het doel is om zo weinig mogelijk stroom te gebruiken om de benodigde stroom op te wekken. “Je moet ook proberen te

➤ Op de foto van links naar rechts: Luis Delgado-Aparicio, Álvaro Sánchez Villar, Masayuki Ono, and Kajal Shah.



©Michael Livingston, PPPL Communications

Hoe meer protonen een element heeft, hoe hoger het Z-getal en hoe meer het kan bijdragen aan warmteverlies. Wolfram en molybdeen hebben bijvoorbeeld hoge Z-getallen, dus het gebruik ervan in een compacte bolvormige tokamak zou zorgvuldig overwogen moeten worden met het oog op het gebruik van de reactor op een manier die de overdracht door onzuiverheden in het plasma beperkt. Hoewel de sterke magnetische velden het plasma in een tokamak grotendeels in een bepaalde vorm opsluiten, kan het plasma soms dicht bij de binnenwanden van de tokamak komen. "Wanneer dit gebeurt, kunnen atomen van de wanden wegschieten en in het plasma terecht komen, waardoor het afkoelt," zegt Delgado-Aparicio. "Zelfs een relatief kleine hoeveelheid van een element met een hoog Z-getal kan ervoor zorgen dat de temperatuur van het plasma aanzienlijk daalt." Het is dus bijzonder belangrijk om onzuiverheden zoveel mogelijk

uit het plasma te houden, vooral wanneer de temperatuur nog aan het stijgen is.

### Publiek-private samenwerking: De toekomst van fusie

De verwarmingssimulaties maken deel uit van een ontwerpproject dat bekendstaat als de Spherical Tokamak Advanced Reactor of STAR. Het project is een strategisch initiatief om plannen te ontwikkelen voor een proefcentrale. Berkery zei dat het project PPPL-onderzoekers de kans biedt om hun expertise in natuurkunde, engineering en het werken met de computercodes voor fusiesimulaties toe te passen terwijl ze in samenwerking met privébedrijven werken aan hun plannen voor fusiecentrales met een bolvormig tokamakontwerp. Vladimir Shevchenko, co-auteur van het artikel en senior technisch adviseur bij Tokamak Energy, zei dat hij van plan is om eind volgend jaar experimenten uit te voeren in

het fusievat van het bedrijf, ST40, om deze te vergelijken met de simulatieresultaten die in het artikel worden gepresenteerd. "Andere verwarmingssystemen hebben zeer ernstige problemen," zei Shevchenko. "Ik zie dit als de toekomst voor tokamakverwarmingssystemen." Shevchenko denkt dat het project profiteert van de publiek-private samenwerking tussen PPPL en Tokamak Energy, een van de bedrijven die is geselecteerd voor het DOE Milestone-Based Fusion Development Program. "PPPL heeft veel ervaren specialisten op verschillende gebieden die te maken hebben met plasmafysica en tokamaktechnologieën." Hun bijdrage op het gebied van modellering en advies is zeer waardevol voor een privébedrijf als Tokamak Energy," zei hij. **K**

Rachel Kremen voor PPPL News Plainsboro NJ (SPX)



is bijvoorbeeld een door de overheid gesteund ontwikkelingsprogramma, STEP genaamd, gestart voor een prototype van een compacte sferische tokamakreactor. Zie bijvoorbeeld <https://ccfe.ukaea.uk/programmes/step/>.

### 3. KV: Wanneer kan in theorie een eerste proefinstallatie in gebruik worden genomen?

**Ono:** Ook dit is een kwestie van financiering. Zoals hierboven vermeld, heeft het VK een sterk proefinstallatieprogramma, STEP genaamd. In de VS is de huidige nationale strategie om een eerste proefinstallatie in gebruik te nemen als de volgende stap in een nieuwe onderzoeksfaciliteit voor het fusieprogramma van de VS. Het eigenlijke conceptuele ontwerp van de proefinstallatie is echter nog niet afgerond, omdat het STAR-ontwerp een van de opties is die we op dit moment onderzoeken.

### 1. KV: Is het STAR-ontwerp al van start gegaan?

**Ono:** Het STAR-ontwerp bevindt zich nog in de preconceptuele ontwerpfase. Het wordt samengevat in Menard J.E. et al 2023 Next-step low-aspect-ratio tokamak design studies, IAEA Fusion Energy Conf. (Londen). Het bevindt zich dus nog niet in de fase van het engineeringontwerp, wat doorgaans

wordt beschouwd als een formele projectstart.

### 2. KV: Is er iets te zeggen over het tijdschema voor de ontwikkeling van een compacte bolvormige tokamak?

**Ono:** Het tijdsbestek wordt meestal bepaald door de hoeveelheid geld die beschikbaar is. In het Verenigd Koninkrijk

**4. KV: De start van de deuterium-tritium-exploitatiefase in ITER is nu gepland voor 2039. Zou een compacte bolvormige tokamak eerder operationeel kunnen worden?**

**Ono:** Ook dit is een financieringsgerelateerde vraag. ITER is een zeer uitdagend technisch project vanwege de grote omvang en veeleisende technische parameters, waarvoor vaak een aanzienlijk onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma nodig is. Het ontwerp van de compacte bolvormige tokamak is erop gericht deze technische uitdagingen te vereenvoudigen, zodat we de tokamak relatief snel en tegen redelijke kosten kunnen bouwen met gebruikmaking van de beste technologie die momenteel beschikbaar is. De financiering voor de bouw van de compacte sferische tokamak-proeffabriek is echter nog niet zeker gesteld.

**5. KV: Ziet u zichzelf als een concurrent van bestaande tokamakontwerpen of als een aanvulling op bestaande technologieën?**

**Ono:** PPPL en de wereldfusiegemeenschap realiseerden zich lang geleden dat fusie een zeer uitdagende wetenschappelijke en technische onderneming is die de samenwerking van de hele mensheid vereist. Dus alles wat PPPL doet is coöperatief en complementair. Wat we vinden in het onderzoek naar sferische tokamaks moet ook helpen bij het ontwerp van bestaande tokamaks. Een voorbeeld is het onderzoek naar het opstarten van een

microgolfplasma, waar zowel bolvormige tokamakprogramma's als conventionele tokamakprogramma's hun voordeel mee zouden kunnen doen.

**6. KV: Wat zullen de afmetingen zijn van de beoogde bolvormige tokamak (STAR) en wat zal het vermogen zijn?**

**Ono:** De parameters van de STAR worden beschreven in de referentie. De STAR-faciliteit heeft een hoofdstraal van ongeveer 4 meter, wat iets groter is dan de grootste huidige apparaten zoals JET en JT-60SA. ITER heeft een hoofdstraal van ongeveer 6 meter. Als compacte proeffabriek zou deze meer dan 800 MW fusievermogen genereren om enkele honderden MW netto-elektriciteit op te wekken. Dit type proeffabriek zou zeer nuttig zijn voor de ontwikkeling van fusiereactortechnologie, zoals tritiumkweekmantels en fusie-energieconversiesystemen.

**7. KV: De Wendelstein W7-X stellarator gebruikt ook een gyrotron voor het verhitten van het plasma. Wat denk je dat de kansen op termijn zullen zijn voor een bolvormige tokamak versus een stellarator?**

**Ono:** Een stellarator zoals W7-X wordt gezien als een natuurlijke reactor in stabiele toestand, waarbij in wezen geen plasmastroom nodig is voor de werking. Een potentieel probleem voor de stellaratorreactor vormen de grote omvang en de complexe magneten, die

problemen opleveren op het gebied van techniek en kapitaalkosten. De sferische tokamak daarentegen kan eenvoudigere magneten en een compacter ontwerp hebben. Maar een sferische tokamak moet een grote plasmastroom van ~ 10 MA hebben voor plasmaopsluiting, wat uitdagingen met zich mee kan brengen. Als we microgolven kunnen gebruiken om de sferische tokamakstroom op te starten en te handhaven, zou dat het ontwerp en de werking van de sferische tokamak kunnen vereenvoudigen. Op dit moment is het moeilijk te zeggen welke aanpak op termijn voordelig zou zijn, maar onze huidige onderzoeksactiviteit is om de sferische tokamak-reactor zo aantrekkelijk mogelijk te maken.

**8. KV: Hebben we alle CO<sub>2</sub>-vrije technologieën om de klimaatverandering het hoofd te bieden?**

**Ono:** De mensheid moet met een duurzame oplossing komen voor energie, want het blijven gebruiken van fossiele brandstoffen is niet duurzaam en schadelijk, zoals het broeikasprobleem duidelijk maakt. Alle CO<sub>2</sub>-vrije technologieën zoals kernfusie en zonne-energie zijn belangrijke oplossingen om het probleem van de opwarming van de aarde op te lossen en een duurzame samenleving te realiseren. We hebben dus alle werkbare CO<sub>2</sub>-vrije technologieën nodig om te voldoen aan de behoeften van alle mensen in de denkbare toekomst.

## Masayuki Ono, hoofdonderzoeksfysicus bij PPPL RF Division

Dr. Masayuki Ono behaalde zijn B.Sc. in natuurkunde aan het California Institute of Technology in 1973 en zijn Ph.D. in plasmafysica aan Princeton University in 1978. In 1978 werd hij onderzoeksmedewerker bij het Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL) aan de Princeton University. Sinds 1978 leidde hij een aantal onderzoeksprojectteams, waaronder ACT-1 (Advanced Concept Torus), CDX (Current Drive Experiment), CDX-U (Current Drive Experiment - Upgrade) en NSTX (National Spherical Torus Experiment). In 1995 werd hij benoemd tot Distinguished Research Fellow van het Laboratorium en sinds 1992 is hij APS Fellow. In 1999 ontving hij de Kaul Foundation Prize voor zijn werk aan de National Spherical Torus Experiment (NSTX) faciliteit. Sinds 2018 is hij hoofd van de RF Physics Division bij PPPL. Hij was ook faculteitslid van het Princeton University Astrophysical Science Program en doceerde Plasma Waves en andere plasmacursussen. Hij heeft elf promovendi begeleid bij hun promotie-onderzoek. Dr. Ono is de auteur van meer dan 250 gerefereerde wetenschappelijke artikelen.



## Requiem aeternam

**H**et Requiem, de Latijnse dodenmis, prachtig op muziek gezet door vele componisten door de eeuwen heen, begint met deze woorden: Requiem aeternam dona eis, Domine; et lux perpetua luceat eis: Heer, geef hen eeuwige rust, en laat het eeuwig licht op hen schijnen.

En waar het gaat om een laatste rustplaats voor het afval wat wij als samenleving produceren, doet de nucleaire industrie het goed, in mijn ogen. Ik geef toe, het definitief opbergen van radioactief afval is nog geen gemeengoed in de wereld. Ik ken echter geen andere industrietak die zelfs ook maar overweegt om haar afvalproducten zo rigoureuus te onttrekken aan het leven op aarde.

Op 4 september jl. was ik in den Haag, bij de aanbidding van een rapport van het Rathenau Instituut aan de staatssecretaris Openbaar Vervoer en Milieu, over een proces om te komen tot een keuze voor een locatie voor een eindberging van ons radioactief afval. In zijn toespraak verraste de staatssecretaris vriend en vijand door uit te spreken dat het tijd was om het huidige beleid (pas een keuze maken rond het jaar 2100) los te laten en naar een eerder tijdstip te verschuiven. Waardering was zijn deel in de zaal.

Persoonlijk vind ik dat ook een verstandige lijn, gegeven de nieuwe kerncentrales die het kabinet wil laten bouwen. Deze schaalvergroting zorgt niet alleen voor meer afvalproductie per jaar, maar ook voor meer geld, en daarmee wordt het een stuk gemakkelijker om eerder te beginnen met het plannen en bouwen van een eindberging. Maar laten we met beleid te werk gaan. Het belangrijkste uitgangspunt is wat mij betreft: minimalisatie van het ontstaan van radioactief afval. Afval wat niet ontstaat, hoeft je niet op te bergen. En juist deze opschaling van de Nederlandse nucleaire industrie kan daar een bijdrage aan leveren, door innovatie. Laten we een systeem ontwerpen dat zo veel mogelijk kilowatturen uit een gram uranium haalt en dus dat er veel minder (en vaak ook: veel minder langlevend) afval overblijft.

De kerncentrale Borssele levert daar al een mooie bijdrage aan, door haar bestraalde splijtstof in Frankrijk te laten hergebruiken. De innovaties van de komende 10-15 jaar (zoals reactoren die koelen met gesmolten zout) kunnen ons nog een stap verder brengen. De fysica leert ons dat lux perpetua niet mogelijk is, maar: meer energie en minder afval, het zou eeuwig zonde zijn als wij deze kans niet zouden pakken. **K**

*Lars Roobol*

---

Lars Roobol (1966) is stralingsdeskundige, natuurkundige en wiskundige. Na zijn promotie in Leiden en een postdoc-periode in Bayreuth en Londen, heeft hij als cyclotronspecialist gewerkt bij het Kernfysisch versneller instituut in Groningen, als manager bij de Hot Cell Laboratories en de Waste Storage Facility in Petten, en als stralingsdeskundige op het AmsterdamUMC, locatie AMC. Sinds 2011 werkt hij als afdelingshoofd bij het RIVM. Deze column is op persoonlijke titel geschreven.



# ANVS is voorbereid op de toekomst met programma Nieuwe Initiatieven Nucleair (NIN)

**K**ernenergie staat volop in de belangstelling vanwege de klimaatdoelstellingen en de daarmee samenhangende energietransitie. Had de regering in 2021 de wens voor de bouw van 2 nieuwe kerncentrales geuit, inmiddels wordt al gedacht aan 4 nieuwe kerncentrales. Maar ook het langer in bedrijf houden van de kerncentrale Borssele (KCB) en het inzetten op de ontwikkeling van kleine modulaire reactoren (SMR's) zorgt voor dynamiek bij de Nederlandse toezichthouder, de ANVS. Om voorbereid te zijn op al deze ontwikkelingen, is de ANVS een programma gestart: Nieuwe Initiatieven Nucleair (NIN) richt zich niet zozeer op de sturing maar op de onderlinge verbindingen.

Marco Brugmans, bestuurslid en plaatsvervangend bestuursvoorzitter bij de ANVS, is de opdrachtgever van het programma NIN vanuit het bestuur.

“Wij zijn ermee begonnen, omdat er sinds een paar jaar heel wat initiatieven worden ontplooid met betrekking tot nucleair en dan met name op het gebied

van energie.” Voor kernenergie zijn het omvangrijke plannen met een beoogde bedrijfsduurverlenging (LTO - long term operation) van de Kerncentrale Borssele en de bouw van twee tot vier nieuwe kerncentrales. Daarnaast zijn er natuurlijk ook nog verscheidene initiatieven voor de ontwikkeling van kleine modulaire reactoren (Small Modular Reactors - SMR's). Brugmans: “Dat is echt nieuw voor Nederland en dus ook voor de ANVS.” Irene van der Woude, programmaleider NIN legt uit waarom de ANVS heeft gekozen voor een overkoepelend programma: “We kunnen alle initiatieven organiseren als onafhankelijke trajecten maar dan maken we ons afhankelijk van hoe die verschillende initiatieven bij ons terecht komen, hoe ze gepresenteerd ➤



©ANVS

## Internationale samenwerking

Het programma NIN zorgt ervoor dat er keuzes gemaakt kunnen worden vanuit een onafhankelijke positie. Brugmans: “NIN brengt verschillende experts, kennis en ervaringen samen. Daarmee zien we sneller wat er op ons afkomt en kunnen we beter inspelen op internationale samenwerkingen. Er zijn bijvoorbeeld gezamenlijke beoordelingen van nieuwe kernreactoren, waarvoor we samenwerken met collega-organisaties uit het buitenland. En we nemen bijvoorbeeld actief deel aan activiteiten van het IAEA op dit gebied.” Bij een enkel nieuw initiatief kan de ANVS zich geheel focussen op de specifieke technologie zonder uitvoeringsbeleid te hoeven ontwikkelen, nu is dat wel opportuun. Daarbij zijn er ook grote verschillen binnen de groep van initiatieven. De twee (of vier) grote kernreactoren die de regering wil laten bouwen zijn bestaande lichtwaterreactoren en van geheel andere dimensies dan bijvoorbeeld SMR’s of gesmoltenzoutreactoren (MSR’s). Elk ontwerp heeft specifieke kenmerken. Zo is er met geavanceerde modellen zoals de reactoren die met gesmolten zout worden gekoeld, wereldwijd veel minder ervaring. Ook ontbreken gedetailleerde technische richtlijnen, ontwerpcodes en standaarden. Daar wordt via internationale samenwerking met onder meer het IAEA, de Nuclear Energy Agency en Generation IV International Forum aan gewerkt. Een partij die een vergunning aanvraagt voor een reactor zal uitgebreide informatie moeten aanleveren, bijvoorbeeld om duidelijk te maken wat de materiaaleigenschappen zijn of om welke chemische processen het gaat. Van der Woude: “Maar er zijn ook overeenkomsten. Zo gelden voor het bouwen van een SMR dezelfde wettelijke randvoorwaarden voor de veiligheid als voor de bouw van de grote kerncentrales. Dat betekent dat de ANVS een vergunningaanvraag voor

nieuwe reactorontwerpen in behandeling kan nemen als de aanvrager een veiligheidsdossier van voldoende detail en kwaliteit aanlevert. Uiteindelijk beoordeelt de ANVS of een reactor veilig is voor mens en milieu.”

## PALLAS-reactor

Wat NIN beoogt is dat als er verschillende trajecten gaan lopen, het wiel niet telkens opnieuw moet worden uitgevonden. Van der Woude: “We willen op tijd signaleren wanneer we uitvoeringsbeleid moeten ontwikkelen, een interne handleiding of een handreiking voor de buitenwereld om ervoor te zorgen dat alles op dezelfde manier wordt aangepakt.” Brugmans vult aan dat er op dit moment wordt gewerkt aan een handreiking voor vergunningaanvragen: “Dat hebben we ten tijde van de aanvraag voor de bouw van de PALLAS-reactor niet gedaan omdat het om één initiatief ging, maar nu zijn we zover dat er dadelijk voor alle initiatiefnemers een handreiking ligt zodat ze weten wat wij van hen en zij van ons mogen verwachten.” Met de aanvraag voor PALLAS beschikt de ANVS nu over een gedocumenteerde casestudie op basis waarvan duidelijk is wat er bij andere initiatieven komt kijken, wat voor soort kennis er nodig is en wat de ANVS nodig heeft van hun ondersteunende Technical Support Organisation. “Zonder PALLAS was het leven hier nu veel ingewikkelder geweest. We hebben er razend veel kennis opgedaan waardoor we nu weten wat handig is of niet en hoe andere initiatieven baat kunnen hebben bij de ervaringen die wij hebben opgedaan. Dat is de reden dat we naar integraliteit streven en daarom zijn we met NIN gestart”, aldus Brugmans.

## Zeven werkstromen

Voor de ANVS zorgen de nieuwe initiatieven voor een enorme verandering. Brugmans: “Hadden we eerst voornamelijk verschillende antikernenergie-NGO’s die bij ons op de deur bonst en riepen: ‘Hoe kan je dit nou doen? We moeten van kernenergie af.’ Nu zijn het de

➤ *Marco Brugman: “NIN brengt verschillende experts, kennis en ervaringen samen.”*

worden en wat de dynamiek daarvan is.” De ANVS weet volgens haar heel goed wat ze moeten doen om klaar te zijn voor die verschillende initiatieven. “We blijven de individuele initiatieven projectmatig aanpakken, maar we hebben een overkoepelend programma nodig zodat we tussen de verschillende projecten kunnen schakelen en ook goed kunnen leren van die trajecten om vanuit integraliteit stappen te kunnen nemen om problemen in een later stadium te voorkomen.”

initiatiefnemers die bij ons aankloppen en vragen: 'Kunnen jullie niet wat sneller handelen, want we willen dit zo graag.' Dit zorgt voor een nieuwe dynamiek, waartoe wij ons moeten verhouden." Van der Woude benadrukt dat alle individuele projecten in de reguliere lijnorganisatie worden uitgevoerd en onder de verantwoordelijkheid van de betreffende teamleider vallen. "Maar de voortgang van de projecten wordt binnen het NIN-programma gemonitord om daar de integraliteit te bewerkstelligen. En met een stuurgroep waar de verantwoordelijke directieuren en teamleiders in zitten kan ook snel bijgestuurd worden als dat nodig is." Er zijn zeven werkstromen ingericht waarbinnen de beoogde resultaten en planning worden vastgelegd.

De zeven werkstromen zijn:

1. Programmaontwikkeling en -verantwoording
2. Ontwikkelen uitvoeringsbeleid
3. Bedrijfsduurverlenging kerncentrale Borssele
4. Nieuwe initiatieven – *grote reactoren*
5. Nieuwe initiatieven – kleine reactoren (SMR's), geavanceerde technieken (MSR's), kernenergie aangedreven schepen en drijvende reactoren
6. Nationaal omgevingsmanagement – bodem- en locatie onderzoek
7. Coördinatie internationaal ANVS

### Dwars door de organisatie

Voor de inrichting van het programma is vooral naar Canada gekeken. Van der Woude: "Zij hebben een *SMR readiness program*, een strategische aanpak voor het voorbereid zijn als veiligheidsautoriteit op ontwikkeling en uitrol van kleine modulaire reactoren." Kon die programmastructuur een-op-een worden overgenomen? "Niet helemaal. De mensen die in dat programma werken, leggen verantwoording af aan hun programmamanager en aan hun lijnmanager. Dat vinden wij niet ideaal en we hebben daarom gekozen om het in de desbetreffende lijn te houden", licht Brugmans toe. Werkzaam zijn in

de lijnorganisatie betekent bij de ANVS dat een medewerker werkt onder een teamleider, onder een directeur en onder het bestuur. Binnen de ANVS zijn er 3 directies en het programma NIN loopt er eigenlijk dwars doorheen. Ook de scope is anders: bij de ANVS gaat het over alle nieuwe nucleaire initiatieven, niet alleen over SMR's. En het programma gaat niet alleen over voorbereiding, maar ook over de uitvoering van alle stappen die voorafgaan aan de formele vergunningaanvraag, zoals beoordeling van de veiligheidsanalyses.

Voor het opzetten van het programma is in eerste instantie voor een periode van drie jaar gekozen. Brugmans: "Dat is gedaan omdat wij flink investeren in de uitbreiding van onze organisatie. De dynamiek is enorm groot. Er wordt nu alweer gedacht aan 4 nieuwe kerncentrales. Ze zijn er nog niet, maar de planvorming rond deze centrales en de private initiatieven noodzaken ons om over 3 jaar te kijken om te zien of dit nog steeds de passende manier is om ons werk te organiseren." Van der Woude: "Onze scope is nu vastgelegd tot de officiële vergunningsaanvraag. Het kan ook zijn dat we over 3 jaar besluiten om een deel van het toezicht in het programma mee te nemen."

### Drie uitdagingen: onzekerheid, complexiteit en nieuwheid De nieuwe nucleaire ontwikkelingen zorgen voor een aantal uitdagingen voor de ANVS.

Van der Woude: "Het is onzeker wat er komt. Komen die nieuwe grote kerncentrales of SMR's er en zo ja, wanneer? Wat gaat de politiek doen op de langere termijn? Daar moeten we toch mee omgaan. Alle trajecten zijn uniek. Vier grote kerncentrales betekent misschien wel 2 soorten technieken. SMR's kunnen zijn gebaseerd op lichtwaterreactoren, maar zijn kleiner in omvang en kunnen modulair gebouwd worden. Dat vergt



✎ Irene van der Woude: "Nieuwe nucleaire initiatieven zorgen voor een nieuwe dynamiek bij de ANVS."

andere kennis en een andere werkwijze om te kunnen beoordelen of het veilig is." De tweede uitdaging is de complexiteit. De hoeveelheid aan initiatiefnemers, de verschillende technieken én de geschetste onzekerheden maken het complex. Als laatste uitdaging noemt Van der Woude de 'nieuwheid'. "We hebben heel veel ervaring opgedaan met de vergunningsaanvraag voor PALLAS. Maar voor SMR's hebben we dat nog nooit gedaan en ook de aanvraag voor de bedrijfsduurverlenging ✎

van de KCB is nieuw. Er is wel eerder een bedrijfsduurverlenging aangevraagd, maar als alles doorgaat en de KCB mag 80 jaar in bedrijf blijven is dat niet alleen voor ons geheel nieuw, maar ook in Europa behoorlijk uniek.” Met betrekking tot de LTO van de KCB wordt onderzocht welke studies moeten plaatsvinden om te garanderen dat het langer in bedrijf houden van de KCB veilig kan.

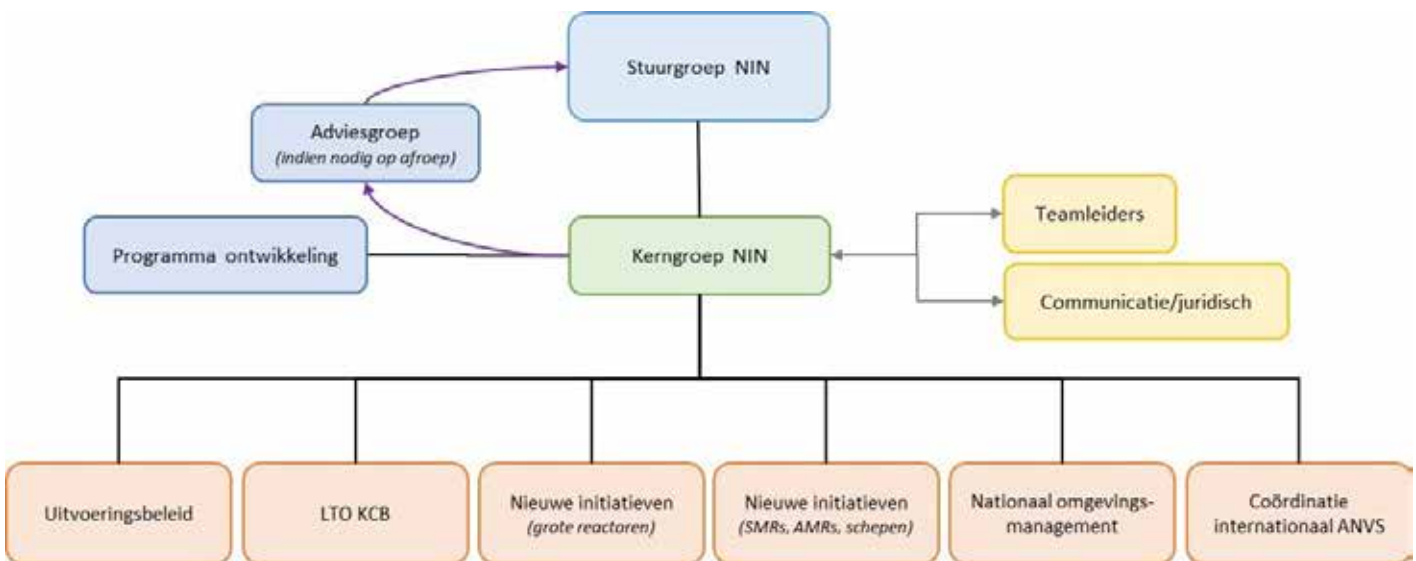
## De beoordeling

Hoelang duurt eigenlijk een uitgebreide beoordeling van een vergunningaanvraag? Brugmans: “Dat hangt van veel factoren af. Als we alle informatie volledig op detailniveau krijgen aangeleverd, dan zou de beoordeling ongeveer een jaar in beslag nemen. In de praktijk is het maar de vraag of een initiatiefnemer dat voor

elkaar krijgt. Het gaat om kwaliteit van de informatie en de onderliggende analyses en studies. Is het ontwerp voldoende uitontwikkeld? Wat er vaak gebeurt, en dat zien we ook veel in het buitenland, dat een toezichthouder om aanvullende informatie vraagt die pas geleverd kan worden bij verdere detaillering van een ontwerp, wat weer leidt tot nieuwe uitgebreide studies.” Brugmans wijst ook op een verschil in aanpak tussen Europa en de Verenigde Staten. “Een aanvraag moet passen bij de wet- en regelgeving van het land waar de aanvraag wordt gedaan. Wij vragen bijvoorbeeld: toon aan wat jullie veiligheidsfilosofie is en hoe jullie dat in het reactorontwerp hebben gebracht. In de VS is het meer een voorschrijvend systeem, waarbij je aan vooraf opgestelde parameters moet voldoen. In Europa

hebben we weer een hoger niveau van stralingsbescherming voor werknemers. Dat betekent dat we dat ook willen terugzien in het ontwerp.” Een en ander leidt ertoe dat een kernreactorbouwer voor elk land en voor elke locatie specifiek de veiligheid moet aantonen en niet kan volstaan met een standaard ontwerpaanvraag. Het programma NIN van de ANVS is ook internationaal niet onopgemerkt gebleven. Van der Woude: “De Belgen en de Zweden hebben al interesse getoond.” Hoe nucleair zich ook gaat ontwikkelen in de komende jaren, met NIN heeft de ANVS in ieder geval de stap genomen om als onafhankelijke toezichthouder alle kennis en ervaring effectief in te kunnen zetten. **K**

Menno Jelgersma



## Financiering

Voor de uitvoering van haar taken als onafhankelijke autoriteit ontvangt de ANVS geld van de minister van IenW. Dit is vastgelegd in de Kernenergiewet. Op grond van het *Besluit vergoedingen Kew* betalen vergunninghouders en onder toezicht staande nucleaire installaties geld aan IenW voor activiteiten van de ANVS. Van der Woude: “Officieel gaat een initiatiefnemer pas een bijdrage leveren bij de officiële vergunningsaanvraag. De inspanningen van de ANVS in het vooroverleg voor een vergunningaanvraag, dat een tot enkele jaren kan duren, moeten door ons worden voorgefinancierd. Komt er geen formele vergunningaanvraag dan kunnen deze kosten niet worden verhaald op de initiatiefnemer.” Brugmans: “In de wet staat dat het ministerie van IenW ons voldoende middelen verschaft voor dit voortraject. Mocht er een formele aanvraag volgen, dan kunnen de kosten in rekening worden gebracht.” In het buitenland ziet Brugmans dat initiatiefnemers soms wel de kosten voor het voortraject moeten bekostigen. Dat het in Nederland nog niet zo is geregeld verklaart hij doordat het jarenlang niet aan de orde is geweest.





# Nucleaire Notities

Waar zouden we zijn zonder nucleaire technologie? Over de onverwachte, verrassende en vaak onmisbare toepassingen van radioactiviteit.

Dat radioactiviteit en straling een belangrijke rol spelen in de gezondheidszorg is bekend. In Nederland worden jaarlijks meer dan honderdduizend mensen geholpen met nucleaire geneeskunde. Met behulp van verschillende soorten radioactieve isotopen kan een verscheidenheid aan ziektes worden opgespoord en kan de geschiktheid van de voorgenomen behandeling worden bepaald. Naast diagnostiek zijn er ook verschillende kankerbehandelingen die met radioactieve isotopen kunnen worden verricht. Maar ook onze huisdieren hebben baat bij dit soort geavanceerde behandelingen. Werden dieren vroeger vooral functioneel gehouden als bijvoorbeeld waakhond, jachthond, rattenverdelger of trekdier. Tegenwoordig zijn onze huisdieren vaak veel meer dan dat. Ze krijgen afgestemd voer, hebben hun eigen speelgoed en ze worden geknuffeld en verwend. Zo beschikt onze hond over een eigen emmer voor zijn verzameling van 15 tennisballen en slaapt hij met zijn knuffelkip. Het is deze kip, die ook nog eens piept als hij erin bijt, die hij komt brengen als we verdrietig zijn om ons te troosten of gewoon om aandacht te vragen. Natuurlijk zijn er naast gezelligheidsdieren nog steeds honden met 'banen' die werkzaam zijn zoals de politiehond, hulphond, blindengeleide hond en de reddingshond. Maar de meeste honden zijn gewoon een geliefd lid van het gezin.

Helaas kunnen dieren net als mensen ook tumoren krijgen. Voor honden die aan een hersentumor lijden, is opereren of bestralen niet altijd mogelijk of haalbaar. Dus ontwikkelde de Faculteit Diergeneeskunde van de



Universiteit Utrecht samen met het Radboud Universitair Medisch Centrum (Radboudumc) Nijmegen een nieuwe minimaal invasieve behandeloptie voor hersentumoren. Met een neurogeleide naald-injectie worden radioactieve holmiummicrosferen in de tumor gebracht met behulp van beeldgeleiding (MRI en CT). Het gebruik van neuronavigatie en beeldgeleiding tijdens de toedieningsprocedure zorgt voor een nauwkeurige toediening van de microsferen in de tumor. Een belangrijke voorwaarde bij de behandeling van hersentumoren. Met deze minimaal invasieve behandelmethode kan de toegepaste stralingsdosis in de tumor hoger zijn dan bij conventionele bestralingstherapie zonder het omliggende of gezonde weefsel te beschadigen, waardoor de mogelijke bijwerkingen

geminimaliseerd worden. De afgelopen jaren zijn in de Kleine Dierenkliniek Utrecht tientallen honden en katten met solide tumoren (onder andere afkomstig uit bot, weke delen en de mondholte) behandeld door middel van een intratumorale injectie met holmium microsferen met positieve resultaten. Bij de meeste behandelde dieren werd een significante vermindering van het tumorvolume waargenomen, samen met een langere levensduur en een verbeterde kwaliteit van leven. Een mooi resultaat voor de onderzoekers, de behandelde dieren en de baasjes. Want de Indiase advocaat en pacifist Mahatma Gandhi wist het al een eeuw geleden: *"The greatness of a nation and its moral progress can be judged by the way its animals are treated."* **K**

Ellen Jelgersma

# Samenwerking van Nederlandse en Franse toezichthouders voor gesmoltenzoutreactoren



**D**e Nederlandse en Franse nucleaire veiligheidsautoriteiten gaan samenwerken aan een voorbereidende beoordeling van Thorizons gesmoltenzoutreactor Thorizon One. Het Nederlands-Franse onderzoek is bedoeld om inzicht te krijgen in het ontwerp en de veiligheidskenmerken van de reactor, zodat toekomstige vergunningsaanvragen in beide landen gemakkelijker worden. Thorizon streeft ernaar om de gesmoltenzoutreactor in 2032 in gebruik te nemen om zo bij te dragen aan de klimaatdoelstellingen van Europa. De gezamenlijke beoordeling is hierbij een belangrijke stap.

Dit najaar zal Thorizon een reeks technische bijeenkomsten houden voor beide toezichthouders om de Thorizon One-reactor gelijktijdig aan beide

autoriteiten te presenteren, vooruitlopend op de aanvragen voor pre-vergunningen die in beide landen op hetzelfde moment in 2025 worden verwacht. Deze

gezamenlijke voorbereidende evaluatie is enerzijds gericht op het krijgen van inzicht in het specifieke ontwerp van deze reactor, de veiligheidsaanpak en het bijbehorende onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma. Tegelijkertijd dient de evaluatie om de reikwijdte van de pre-licentieverzoeken te definiëren en er zeker van te zijn dat de beoordelingsmiddelen gericht zijn op de belangrijkste veiligheidsuitdagingen van het Thorizon One-reactorproject. Deze voorbereidende beoordeling, die in een vroeg stadium van de ontwikkeling van het Thorizon One-ontwerp wordt uitgevoerd, zal naar verwachting de efficiëntie van de toekomstige pre-vergunningsaanvragen in

beide landen vergroten. Het project sluit aan bij de strategieën van de landen voor splijfstofrecycling en innovatie.

### Vroege feedback

Kiki Lauwers, CEO van Thorizon:

“We zijn blij dat we vooruitgang kunnen boeken met het ontwerp van onze gesmoltenzoutreactor. De vroege feedback van beide nucleaire regelgevers is van onschatbare waarde voor het aantonen van de veiligheid van de Thorizon One-reactor. Deze meerlandensamenwerking zal het gemakkelijker maken om de reactor in de toekomst in meerdere landen in te zetten. Ik wil de Franse toezichthouder Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) en Nederlandse Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) bedanken voor het leiden van dit voorbereidende beoordelingsproces en het *Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety (IRSN)* voor de ondersteuning ervan.

We zijn vastbesloten om een veilige, kostencompetitieve reactor af te leveren die op verantwoorde wijze bijdraagt aan de energietransitie met een zo klein mogelijke voetafdruk.”

Gesmoltenzoutreactoren (MSR's) bieden voordelen op het gebied van circulariteit, veiligheid en kosten en worden inmiddels internationaal erkend als een veelbelovende nieuwe nucleaire technologie. In de reactorkern fungeert een gesmolten zoutmengsel met splijtbare materialen zowel als splijstof als koelmiddel, waardoor smeltscenario's worden geëlimineerd door de splijstof in gesmolten toestand te houden. Bovendien werkt de reactor bij of nabij atmosferische druk. Door de gebruikte splijstof te recyclen wordt het langlevende kernafval verminderd. Volgens Thorizon kunnen de inherente veiligheidskenmerken de bouwkosten verlagen.

### Innovatiepact

De samenwerking tussen Nederland en Frankrijk werd in april vorig jaar al bestemd toen de ministeries van Economische Zaken van Frankrijk en Nederland een pact voor samenwerking op het gebied van innovatie en duurzame groei tekenden. Nucleaire technologie was onderdeel van dit pact, om de publiek-private samenwerking rond concrete projecten te versterken. Het project van Thorizon valt onder het in september 2023 ondertekende memorandum van overeenstemming tussen de Franse toezichthouder ASN en de Nederlandse ANVS. Dit specifieke memorandum is gericht op samenwerking op het gebied van regelgevingsinitiatieven, waaronder de vergunningverlening voor nucleaire installaties zoals kleine modulaire reactoren (SMR's), en het delen van ervaringen over nieuwe en innovatieve **X**

➤ Artist impression van de gesmoltenzoutreactor Thorizon One.





©Thorizon

➤ *Bovenaanzicht van de gesmoltenzoutreactor Thorizon One in een artist impression.*

technologieën. Momenteel zetten beide landen zich in voor het recyclen van hun verbruikte splijtstof, het verminderen van

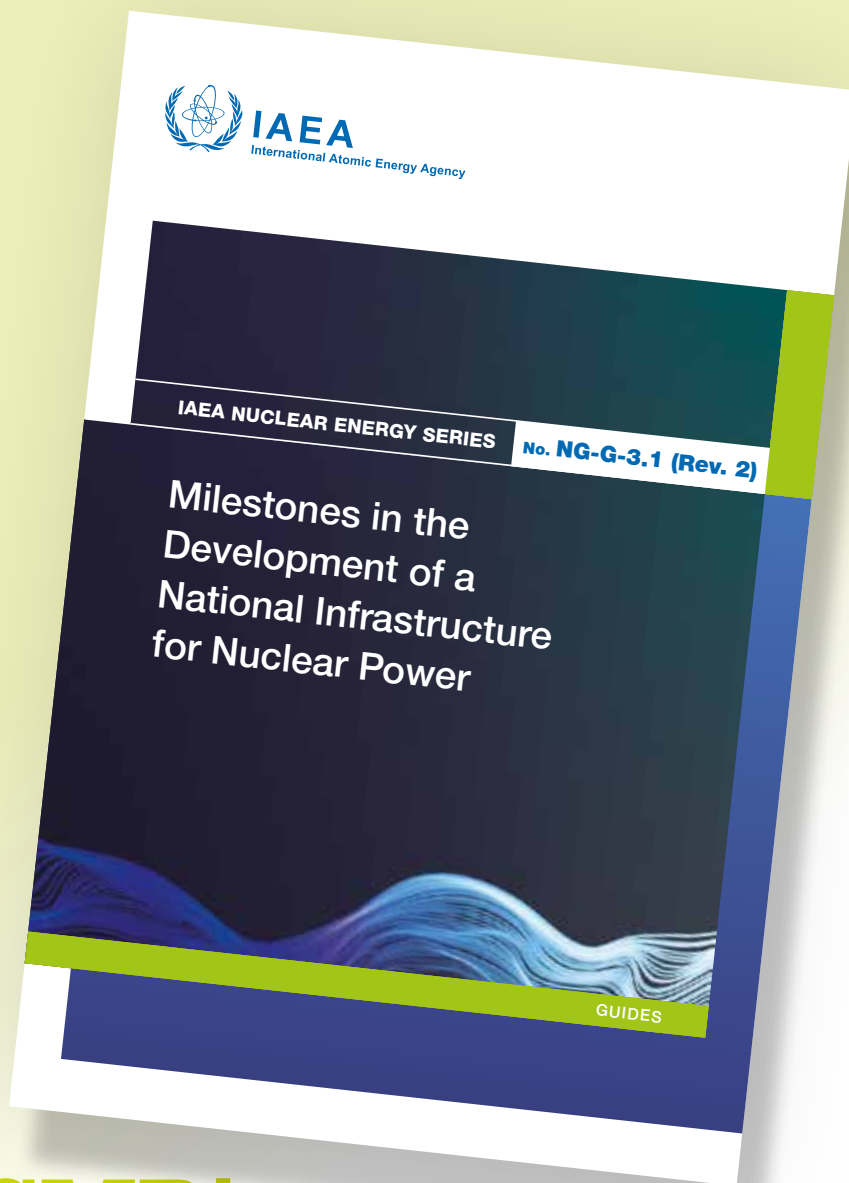
nucleair afval en de diepe opslag van schaarse hulpbronnen. De behandelings- en recyclagedienst wordt uitgevoerd door

Orano, de erkende internationale groep met een unieke expertise op het gebied van de valorisatie van nucleaire materialen, die ook de splijtstof voor de Thorizon One-reactor zal ontwikkelen. **K**

### Europees project geleid door een Nederlandse-Franse start-up

De Thorizon One, een 250MWth of 100MWe gesmoltenzoutreactor, kan flexibel elektriciteit leveren voor 250.000 huishoudens of industriële warmte bij 550 graden Celsius. Invest-NL, het Nederlands Nationaal Promotie-instituut, is aandeelhouder van Thorizon en het project van het bedrijf, in consortium met Orano, ontving een subsidie van 10 miljoen euro van de Franse staat in het kader van het investeringsplan France 2030 “innovatieve kernreactoren”. Thorizon werkt samen met gerenommeerde entiteiten zoals Orano en EDF in Frankrijk, NRG en Differ in Nederland, de hightech verwerkende industrie in beide landen en Tractebel in België.

Thorizon is een spin-off van het Nederlandse Nuclear Research Institute (NRG), met kantoren in Amsterdam en Lyon. Met de Thorizon One, een 250MWth of 100MWe gesmoltenzoutreactor, wil het bedrijf bijdragen aan de Europese doelstelling van klimaatneutraliteit tegen 2050 en kleine modulaire reactoren ontwikkelen tegen de jaren 2030. De Thorizon One is een 250MWth (100MWe) gesmoltenzoutreactor die flexibel elektriciteit kan leveren voor 250.000 huishoudens of industriële warmte bij 550 graden Celsius. Onlangs ontving Thorizon, in consortium met Orano, een subsidie van 10 miljoen euro van de Franse staat in het kader van het investeringsplan France 2030 “Innovatieve kernreactoren”. Invest-NL, het Nederlands Nationaal Promotie-instituut, is aandeelhouder van Thorizon. Thorizon werkt samen met gerenommeerde entiteiten zoals Orano en EDF in Frankrijk, NRG en Differ in Nederland, de hightech verwerkende industrie in beide landen en Tractebel in België. Thorizon heeft onlangs twee gerenommeerde licentie-experts ingehuurd: Antoine Claisse, voorheen licentiemanager voor het ITER-fusieproject in Frankrijk, en Marco Visser, voormalig licentiemanager voor de onderzoeksreactor Pallas in Nederland.



# SMR's meegenomen in nieuwe IAEA-richtlijnen

**D**e IAEA heeft recentelijk een nieuwe versie van *Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power* gepubliceerd. De publicatie is herzien om kwesties met betrekking tot kleine modulaire reactoren (SMR's) aan te pakken. De nieuwe versie komt op het juiste moment, aangezien kernenergie momentum heeft gekregen en steeds meer wordt erkend als een noodzakelijk onderdeel van de overgang naar net-nul.

Het bijgewerkte document, de basisleidraad van de IAEA voor de voorbereiding van de invoering van een kernenergieprogramma of de uitbreiding van een bestaand kernenergieprogramma, bevat een bijlage met aspecten die specifiek zijn voor de inzet van kleine modulaire reactoren (small modular reactors - SMR's) en belicht de recente ervaring van verschillende landen die de vereiste fasen hebben voltooid of grote vooruitgang hebben geboekt met andere reactortypes, zoals gedefinieerd door de mijlpalenaanpak (Milestones Approach) van de IAEA. Er is een grote toename van het aantal toepassingen van kernenergie nodig als de wereld de CO<sub>2</sub>-emissiedoelstellingen voor 2050 wil halen, wat betekent dat kernenergie zowel moet worden opgeschaald in bestaande markten als moet worden uitgebreid naar nieuwe markten. Deze nieuwe editie van de mijlpalenpublicatie, oorspronkelijk geproduceerd in 2007 en herzien in 2015, wordt geleverd binnen de context van andere richtlijnen en materialen van de IAEA die relevant zijn voor de ontwikkeling van kernenergie op gebieden als nucleaire veiligheid, beveiliging en veiligheidscontroles. In deze publicatie zijn ook de lessen verwerkt die zijn getrokken uit recente *Integrated Nuclear Infrastructure Review-missies* (INIR) naar landen die kernenergieprogramma's introduceren of uitbreiden.

## Kansen voor SMR's

Hoewel de meeste nieuwe capaciteit de komende jaren naar verwachting nog steeds in de vorm van grote watergekoelde reactoren zal komen, is er een groeiende kans dat SMR's een belangrijke rol kunnen spelen bij het terugdringen van emissies en het ondersteunen van duurzame welvaart. SMR's, ontworpen om normaal gesproken niet meer dan 300 MW(e) te produceren, zouden ideaal kunnen zijn voor toepassing in afgelegen gebieden en regio's met kleinere elektriciteitsnetten. SMR's hebben een modulair ontwerp, waardoor systemen **X**



➤ Doorsnede van het reactorvat van de Nuward SMR.

en componenten in de fabriek kunnen worden geassembleerd en als eenheid naar een site kunnen worden vervoerd. Dit kan helpen om de bouwtijd te verkorten. En met nieuwe eindgebruikers zoals datacenters die kernenergie overwegen om in hun groeiende elektriciteitsbehoefte te voorzien en een reeks industriële toepassingen die koolstofvrij moeten worden gemaakt, is er geen tekort aan potentiële toepassingen. SMR's kunnen misschien sneller worden ingezet en een grotere rol spelen, afhankelijk van hoe snel ze een vergunning krijgen en commercieel klaar zijn. "Naarmate het kernenergielandschap blijft evolueren,

moet ook de hulp die we bieden evolueren. Deze laatste update van de mijlpalenrichtlijnen van de IAEA komt op een cruciaal moment, nu een toenemend aantal landen kernenergie overweegt voor hun energiemix om hun netto nul beloften te behalen", aldus Aline des Cloizeaux, directeur van de Nuclear Power Division van de IAEA. "Het is duidelijk dat SMR's een essentieel onderdeel zullen vormen van de overgang naar schone energie, en we moeten ervoor zorgen dat landen die geïnteresseerd zijn in deze technologie een goed begrip hebben van wat er nodig is om SMR-projecten succesvol te implementeren."

## Consistente beschikbaarheid van splijtstof

SMR's lijken in veel opzichten op hun grotere tegenhangers. Ze bestaan uit veel van dezelfde systemen en werken volgens dezelfde principes die al tientallen jaren kernreactoren aansturen. De behoeften voor SMR's zijn ook grotendeels dezelfde als voor traditionele reactoren, zoals een sterk wet- en regelgevingskader, proactieve betrokkenheid van belanghebbenden en milieubeschermingsoverwegingen. Maar vanwege hun unieke kenmerken, zoals een lager vermogen en vereenvoudigde ontwerpen, kunnen enkele specifieke infrastructuureisen verschillen. Sommige SMR's, met name die gebruikmaken van

andere koelmiddelen dan water, kunnen nieuwe vormen van radioactief afval genereren, en dus moeten landen die SMR's willen inzetten plannen maken voor het beheer van deze nieuwe soorten afval. Als er nieuwe soorten splijtstof worden gebruikt, zal het belangrijk zijn om een toeleveringsketen op te zetten om de consistente beschikbaarheid van splijtstof te waarborgen. En misschien moeten er nieuwe benaderingen voor veiligheidscontroles worden ontwikkeld voor bepaalde nieuwe ontwerpkenmerken van SMR's, om ervoor te zorgen dat robuuste boekhoud- en controlemaatregelen voor nucleair materiaal niet worden belemmerd.

## Nieuwkomerlanden

Er zijn momenteel ongeveer 30 zogenaamde nieuwkomerlanden, landen die kernenergie overwegen of plannen hebben om hun eerste kerncentrale te bouwen. Bangladesh, Egypte en Turkije zijn bezig met de bouw van hun eerste kerncentrale en naar verwachting zullen nog meer landen hun eerste centrale bouwen in de komende tien jaar. Argentinië, China en Rusland hebben SMR's in aanbouw en de laatste twee landen hebben hun eerste SMR's respectievelijk in 2019 en 2021 in gebruik genomen. Verschillende nieuwkomers, waaronder Estland, Jordanië en Polen, hebben SMR's

aangewezen als onderdeel van hun toekomstige schone energiesystemen. Afgelopen oktober is in Estland een INIR-missie uitgevoerd die zich richtte op SMR's, en Jordanië onderzoekt hoe SMR's kunnen worden gebruikt om te voorzien in zijn behoeften aan zeewaterontzilting na een ontmoeting met IAEA-deskundigen in augustus.

## Eerste internationale SMR-conferentie

De IAEA organiseert van 21 tot 25 oktober in Wenen de eerste internationale conferentie over kleine modulaire reactoren en hun toepassingen. De conferentie biedt een internationaal forum om de balans op te maken van de geboekte vooruitgang en de mogelijkheden, uitdagingen en voorwaarden voor de versnelde ontwikkeling en invoering van SMR's te bespreken. Alle personen die aan het evenement willen deelnemen, moeten ofwel zijn aangewezen door een IAEA-lidstaat, ofwel lid zijn van een organisatie die is uitgenodigd om de conferentie bij te wonen.

De IAEA-mijlpalenbenadering maakt een degelijk ontwikkelingsproces voor een kernenergieprogramma mogelijk. Het is een gefaseerde uitgebreide methode om landen te helpen die hun eerste

kerncentrale overwegen of plannen of die een bestaand kernenergieprogramma willen uitbreiden. De *Milestones Approach* verdeelt de activiteiten die nodig zijn om de infrastructuur voor een kernenergieprogramma op te zetten in drie progressieve ontwikkelingsfasen, waarbij de duur van elke fase afhangt van de mate van betrokkenheid en de middelen die in het land worden toegepast. De voltooiing van elke fase wordt gemarkeerd door een specifieke "mijlpaal" waarop de vooruitgang kan worden beoordeeld en een beslissing kan worden genomen over de gereedheid om naar de volgende fase over te gaan.

De IAEA-Milestones Approach (mijlpalenbenadering) maakt een degelijk ontwikkelingsproces voor een kernenergieprogramma mogelijk. Het is een gefaseerde uitgebreide methode om landen te helpen die hun eerste kerncentrale overwegen of plannen. De ervaring leert dat er ongeveer 10-15 jaar verstrijkt tussen de eerste overweging van de kernenergieoptie door een land en de ingebruikname van de eerste kerncentrale. **K**

*Dit artikel van Matt Fisher, IAEA Department of Nuclear Energy, verscheen eerder op [www.iaea.org](http://www.iaea.org)*

➤ Een conceptafbeelding van hoe een Rolls-Royce SMR eruit zou kunnen zien





## Word begunstiger\* van Stichting KernVisie en ontvang KernVisie Magazine 6x per jaar

**De Stichting KernVisie streeft naar het vergroten van het draagvlak voor nucleaire technologie en al haar toepassingen. Haar communicatiemiddelen zijn het tweemaandelijks KernVisie Magazine, de Nieuwsberichten en de website.**

Het Magazine wordt verstuurd aan begunstigers van de Stichting, leden van NNS en KIVI-Kerntechniek waarvan de gegevens die nodig zijn voor verzending bij de stichting bekend zijn en aan andere belanghebbenden. Daarnaast verzorgen vertegenwoordigers van de stichting lezingen en gastcolleges. De Stichting streeft ernaar om de informatie over kerntechnologie toegankelijk en aantrekkelijk te maken voor haar KernVisie-lezers en bezoekers van hun website.

Leden van de NNS en KIVI-Kerntechniek kunnen zich, met vermelding van NNS resp. KIVI-KE en lidmaatschapsnummer, voor het magazine aan- of afmelden via het contactformulier op de website.

### **\* Wilt u zich aanmelden als begunstiger van Stichting KernVisie?**

Geef ook daarvoor uw gegevens door via het contactformulier op de website.

De bijdrage is minimaal €25,- per jaar (studenten €10,-) over te maken naar het banknummer NL19 INGB 0006 8513 70 ten name van KernVisie, Foundation for Nuclear Energy te Zwijndrecht.

