

# KK

**KERNVISIE  
MAGAZINE**

Belgische  
raderdientjes  
opnieuw naar  
de ruimte

Kleine modulaire  
reactoren leveren  
proceswarmte

NRG en PALLAS  
verder als één  
organisatie

**1**  
Februari  
2021

UITGAVE VAN  
STICHTING KERNVISIE

**De drijvende  
kerncentrales van  
Deense Seaborg  
komen eraan**



Kernvisie Magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**  
EEN ENERGIEK INITIATIEF

**Jaargang 16**  
**Nummer 1**  
**Februari 2021**  
**Kernvisie verschijnt tweemaandelijks**  
**Oplage 2200 ex**

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

### **Bestuur Stichting KernVisie**

Ir. A.M. Versteegh, voorzitter  
Ir. G.H. Boersma, secretaris  
Ir. E.W. Schuurin, penningmeester  
J.D. Bruin  
Ing. W. Hiddink  
Drs. J.J. de Jong  
Ir. J.C.L. van Cappelle  
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 026-2130214  
E-mail: kernvisie@kernvisie.com  
Internet: www.kernvisie.com  
Bankrekening NL19 INGB 0006 8513 70, t.n.v. Kernvisie,  
Foundation for Nuclear Technology te Zwijndrecht.

### **Op de Cover**

Troels Schönfeldt  
Foto © Seaborg

*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 bevat een uitgebreide privacyverklaring over het gebruik van de persoonsgegevens die nodig zijn ten behoeve van de verzending van het Magazine.*

## Voorwoord

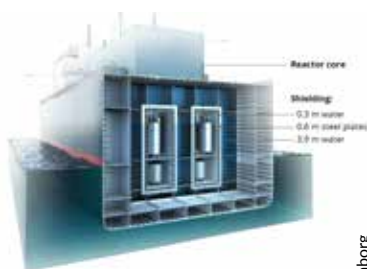
### **2021: Met nieuwe ontwikkelingen op weg naar het 'oude' normaal**



**B**ij het verschijnen van het eerste nummer in een nieuw jaar van ons Kernvisie Magazine kijk ik altijd graag vooruit, attendeer ik op nieuwe ontwikkelingen en geef iedereen de beste wensen mee. Ik doe dat nu weer, maar niet voor ik ook even wijs op de 'nieuwe' werkelijkheid waar ook wij door de coronamaatregelen in terecht zijn gekomen. Voor het stichtingsbestuur betekent het in ieder geval dat we online vergaderen en voor de redactie dat alle interviews via bijvoorbeeld Zoom verlopen. Dat is in vergelijking met de problemen die in de persoonlijke sfeer kunnen ontstaan slechts klein ongemak. Ik hoop daarom dat we weer heel snel naar het 'oude' normaal kunnen gaan. Wat betreft de nieuwe ontwikkelingen belichten we in deze Kernvisie Magazine onder meer twee initiatieven: het Deense Seaborg dat met een ontwerp komt van drijvende kerncentrales voor de Aziatische markt en een Amerikaans ontwerp van een hoge temperatuur gasgekoelde reactor die niet alleen geschikt is voor de energievoorziening op afgelegen locaties maar ook voor het leveren van CO<sub>2</sub>-vrije proceswarmte voor de chemische industrie als alternatief voor aardgascentrales. Interessante ontwikkelingen om verder te volgen. Rest mij nog, zoals beloofd, iedereen een gezond nieuw jaar te wensen! **K**

André Versteegh  
voorzitter Stichting KernVisie

**P04**



© Seaborg

## Energie

### De drijvende kerncentrales van Seaborg komen eraan

De Deense startup Seaborg kwam eind vorig jaar met het nieuws dat het investeerders had gevonden voor hun innovatieve compacte gesmoltenzoutreactor. Inmiddels hebben ze ook belangrijke stappen gezet in het vergunningenproces en gaan ze recht op hun doel af: een drijvende commercieel opererende reactor in 2025 in Zuidoost-Azië.

## P08 Maatschappij

### NRG en PALLAS samen verder als één organisatie

Stichting NRG en Stichting Voorbereiding Pallas-reactor (PALLAS) gaan verder als één organisatie. Dit heeft Bertholt Leeftink, CEO NRG/PALLAS op 15 januari bekendgemaakt tijdens een nieuwjaarstoespraak. Het voorstel voor de nieuwe organisatie wordt dit voorjaar verder uitgewerkt.



© Marc Guillaume

**P10**

## Maatschappij

### Belgische raderdierpjes vliegen opnieuw naar de ruimte

Gezonde raderdierpjes planten zich ook in de ruimte zonder problemen voort. Dat blijkt uit het experiment dat UNamur en SCK CEN exact één jaar geleden in de ruimte stuurden. Eind 2020 vertrokken de Belgische raderdierpjes opnieuw naar het ISS.

## P14 Energie

### Kleine modulaire reactoren geschikt voor leveren proceswarmte

Canada maakt grote vorderingen met de ontwikkeling van kleine modulaire reactoren (SMR's) voor de levering van stroom en (proces)warmte, met name in afgelegen gebieden. Een van de meest veelbelovende projecten is de Micro Modular Reactor (MMR) van Ultra Safe Nuclear Corporation (USNC). Dominique Hittner, USNC-directeur MMR-technologieontwikkeling en Blazej Chmielarz USNC R&D-ingenieur zien mogelijkheden voor toepassing van de MMR-technologie in Nederland.



© USNC

## P12 InBeeld

Laatste grote ITER-assemblagecontract ondertekend

## P20 Boekbespreking


European Atlas of Natural Radiation – Auteurs: Cinelli, G., De Cort, M. & Tollefsen, T. (Eds.), Publications Office van de Europese Unie

## P22 Medisch

NorthStar krijgt FDA-goedkeuring voor verbeterde productie molybdeen-99

## P23 Column

André Wakker - Het roer moet om



**D**e Deense startup Seaborg kwam eind vorig jaar met het nieuws dat het investeerders had gevonden voor hun innovatieve compacte gesmoltenzoutreactor. Inmiddels hebben ze ook belangrijke stappen gezet in het vergunningenproces en gaan ze recht op hun doel af: een drijvende commercieel opererende reactor in 2025 in Zuidoost-Azië. Seaborg CEO Troels Schönfeldt over het Deense initiatief: "Het is een goede mix van sociale en mondiale verantwoordelijkheid, gecombineerd met passie."

Energie

# De drijvende kerncentrales van het Deense Seaborg komen eraan



Het begon jaren geleden met een bijeenkomst van studievrienden in een kelder in Kopenhagen. Allemaal studeerden ze natuurkunde en hielden ze van bierbrouwen. "Ik vertel het graag zo", aldus Schönfeldt, "We werden zo goed in het brouwen van bier dat we uiteindelijk zo dronken werden dat we een bedrijf zijn begonnen." Inmiddels is het zes jaar later en is de startup uitgegroeid tot een volwaardig bedrijf met meer dan dertig kernfysici, chemici, veiligheidsdeskundigen en bedrijfsontwikkelaars in dienst. In hun eigen woorden: "Wij bezitten en exploiteren twee laboratoria en zijn goed op weg om de licenties te krijgen voor de volgende generatie kernreactoren."

## Gesmolten fluoridezout

De innovatie van Seaborg bestaat uit schepen met kleine reactoren die aangesloten kunnen worden op het elektriciteitsnetwerk. De 100 MW compacte gesmoltenzoutreactor (CMSR) kan in twee jaar worden gebouwd en zal vooral landen in Zuidoost-Azië van stroom kunnen voorzien. In de CMSR wordt de splijtstof gemengd met gesmolten fluoridezout dat ook als koelvloeistof dient. Dit heeft als groot veiligheidsvoordeel dat het niet kan exploderen wanneer het in contact komt met de buitenlucht en niet oplosbaar is in water. "Bij een nucleair ongeval is de radioactiviteit die in een wolk vrijkomt een groot probleem", legt Schönfeldt uit. "Ook wanneer radioactief materiaal in het (grond)water komt kan het zich verspreiden. Het voordeel van fluoridezout is dat het afkoelt en een solide massa vormt. Het enige wat je dan moet doen, is ervoor zorgen dat je die afschermt. Bij nucleaire ontwerpen wordt vaak gewerkt naar het verminderen van de kans op een ongeluk. Wij hebben met dit ontwerp juist meer gekeken naar het verminderen van de mogelijke consequenties van een ongeluk." De CMSR's kunnen 12 jaar aaneengesloten draaien voordat

de splijtstof moet worden vervangen. Dit kan gebeuren door met een kraanboot een nieuwe reactor te plaatsen of door een nieuw schip naar de locatie te varen, in te pluggen en de oude terug te varen om de verbruikte splijtstof te vervangen. Dit houdt in dat de hele reactor wordt vervangen omdat vanwege proliferatieredenen de reactor niet kan worden geopend. "Dit betekent ook dat het eenvoudig is om aan de proliferatievoorwaarden te voldoen wat ons ontwerp toegankelijk en interessant maakt voor ontwikkelingslanden."



✂ In de CMSR wordt de splijtstof gemengd met gesmolten fluoridezout dat ook als koelvloeistof dient.

## Bedrijfsklare oplossing

Kernenergie wordt al langer gebruikt om schepen aan te drijven. Denk bijvoorbeeld aan de nucleaire onderzeeërs en ijsbrekers. Maar de CMSR van Seaborg is het eerste commerciële vaartuig voorzien van een gesmoltenzoutreactor dat energie gaat leveren. Met de compacte kerncentrales op schepen levert Seaborg een bedrijfsklare oplossing voor het energieprobleem in Zuidoost-Azië. De elektriciteit die wordt opgewekt, kan niet alleen worden gebruikt om de mensen van energie te voorzien maar de CMSR kan ook proceswarmte leveren aan ontluikende industrieën of worden gebruikt voor ontzilting van zeewater voor stadsverwarming en de productie van waterstof. "We streven ernaar om in 2025 de eerste reactor commercieel in bedrijf te nemen." De technologie wordt ontwikkeld in Denemarken, de bouw gebeurt in Zuid-Korea. "Dat land heeft niet alleen een grote nucleaire industrie maar ook één van de meeste efficiënte en kwalitatief hoogstaande maritieme industrieën van de wereld." De schepen worden gebouwd op een Zuid-Koreaanse scheepswerf waarna ze naar hun locatie worden gevaren om daar te worden aangesloten op het grid. "Op die manier omzeilen we ook de noodzaak om eerst een complete nucleaire infrastructuur op te moeten tuigen wat veel tijd, geld en (fossiele) energie kost."

## Regulatorische mijlpaal

Het is algemeen bekend dat het regulatorisch proces voor nieuwe kerncentrales tijdrovend is. Voor Seaborg is inmiddels een belangrijke eerste stap genomen in dat toezichhoudend proces. "Het is technisch heel goed mogelijk om een nieuwe reactor te ontwerpen", vertelt Schönfeldt.

"Het hele systeem van regelgeving is echter ingericht op bestaande reactoren en het is erg moeilijk om iets fundamenteel nieuws in te passen. We hebben daarom besloten een andere ✂





✂ De schepen worden gebouwd op een Zuid-Koreaanse scheepswerf waarna ze naar hun locatie worden gevaren om daar te worden aangesloten op het grid.

weg te bewandelen." Seaborg kiest ervoor om het maritieme regelgevingsproces te volgen, de 'new technology qualification', een route die de maritieme sector gebruikt om nieuwe initiatieven goed te keuren. "Het wordt veel gebruikt op gasschepen", licht Schönfeldt toe. "Je hebt in de VS het America Bureau of Shipping, een van de grootste spelers op het gebied van maritieme toezichhouders. Daarnaast zijn ze betrokken bij nucleaire vergunningen dus ze weten van beide gebieden heel veel." Met dit bureau is Seaborg het proces ingegaan en verkreeg zo een paar maanden geleden de fase één-toestemming voor een advanced nuclear reactor. Trots: "We zijn de eersten ter wereld die goedkeuring hebben gekregen voor een innovatieve kernreactor." Wat volgt zijn: fase twee die de weg vrijmaakt voor de constructie van de kernreactor en fase drie die leidt tot het in bedrijf nemen van de reactor. Met een soortgelijke aanpak worden bijvoorbeeld olieplatforms gebouwd. Zo worden de platforms in Singapore gebouwd met de bijbehorende vergunningen waarna ze naar Denemarken worden vervoerd om daar in bedrijf te worden genomen. "Wanneer dit ons lukt, is het een goede oplossing voor het ontbreken van een nucleaire infrastructuur in de Zuidoost-Aziatische landen", aldus Schönfeldt. "Nu is het nog zo dat wanneer je een reactor wil bedrijven in Indonesië je eerst een nucleair regulatorisch raamwerk moet opzetten. Dat duurt drie decennia zonder dat je nog een kerncentrale hebt, dat is een enorme investering voor een land. Met deze aanpak komt het product met de vergunningen van een betrouwbare toezichhouder."

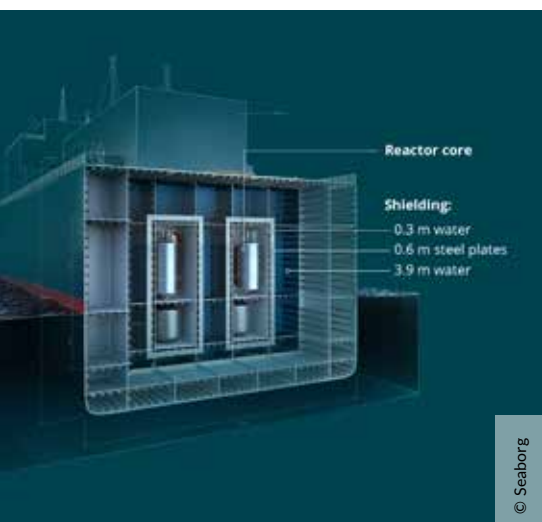
## Klimaatverandering

De belangrijkste motivatie van de oprichters van het bedrijf was en is de zorg om de opwarming van de aarde. "Als fysici zagen wij de data, lang voordat de politici begonnen te praten", herinnert Schönfeldt zich. "Het was meer dan duidelijk dat we het gevecht met klimaatverwarming niet konden voeren met de middelen die we hebben. We moesten nieuwe oplossingen zoeken en wij wilden daar een bijdrage aan leveren. En we waren nu eenmaal natuurkundigen dus we wisten dat kernenergie een oplossing is maar dat er slimme manieren zijn om kernenergie op te wekken. Dus we besloten dat het onze plicht was om een poging te doen. Sommigen van ons hebben kinderen en dan is het onverantwoordelijk om niet te proberen om de situatie te veranderen", verklaart Schönfeldt de intrinsieke motivatie van het bedrijf. Samengevat: "Het is een goede mix van sociale en mondiale verantwoordelijkheid gecombineerd met passie." Vandaag de dag is het bedrijf ook commercieel georiënteerd vertelt Schönfeldt. "Wanneer je iets wilt veranderen dan heb je geld nodig en dan moet je de markt op. Maar ons fundament is en blijft onze passie en motivatie." Hij benadrukt dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot blijft stijgen, zelfs in een jaar met een viruspandemie en waarin verschillende bedrijven failliet gingen. De enig manier om te decarboniseren is wanneer het financieel aantrekkelijk wordt. "Je moet een manier vinden waarbij de eindgebruiker betaalbare energie krijgt en zowel de eigenaar van de centrale als de fabrikant geld kan verdienen. In mijn wereld is dat heel simpel. Zolang de politici alleen maar praten, gebeurt er niks. Dat gaat pas

gebeuren wanneer er geld in zit, het is dus heel belangrijk om een commercieel interessant product te hebben."

## Zuidoost-Azië

Seaborg richt zich daarbij niet zozeer op de Europese markt als wel op die van Zuidoost-Azië. "In Europa is op dit moment geen interesse in een commerciële gesmoltenzoutreactor, al wordt er wel onderzoek gedaan in het SAMOSAFER-project. Maar het zijn nu vooral Rusland, VS, China, India en Canada die ernaar kijken. Seaborg streeft ernaar om in 2025 een functionerende centrale te hebben in Zuidoost-Azië, waar de vraag naar betaalbare en schone energie groot is. "Europa heeft veel geld geïnvesteerd in waterkracht, zon en wind. Waarschijnlijk kunnen we onze problemen oplossen met renewables alleen, maar Zuidoost-Azië kan dat niet." Dit komt omdat die landen op de evenaar liggen en er dus weinig wind is, op wat tropische stormen na. Veel zijn ook jungle-eilanden met veel bewolkte dagen dus wind- en zonne-energie werken niet. Ook hebben ze geen hoogteverschillen in rivieren voor waterkrachtcentrales. Ze moeten dus kiezen tussen kolen, gas en nucleair. En tegenwoordig is nucleair het duurst dus dan is de keuze snel bepaald." Zuidoost-Azië heeft bovendien veel energiearmoede. "Er zijn op dit moment wereldwijd een miljard mensen met genoeg elektriciteit en in Zuidoost-Azië zijn nu nog een keer een miljard mensen zonder genoeg energie. Dus als we dit probleem niet oplossen dan verdubbelen we straks onze uitstoot!"



regelen, bouwen en exploiteren. Dit kan omdat het maritieme pad dat wij bewandelen ook een stuk minder kost. Natuurlijk zijn er nog risico's maar onze kosten zijn aanzienlijk lager dan gemiddeld. We weten dat een miljard euro veel geld is maar in de energiewereld is het niks, zeker als je aan het eind een werkend product krijgt." Was het moeilijk om investeerders te vinden voor het project? "Ja en nee. Het duurde even voordat we de juiste investeerders vonden. Heel veel mensen die ons interessant vonden, vonden wij niet geschikt en andersom. Maar nadat we de juiste match hadden gevonden was het een soepel proces en ging het heel gemakkelijk."

## Competitie

Natuurlijk is het bedrijf niet het enige dat compacte of kleine reactoren ontwikkelt. Toch ziet Schönfeldt de andere initiatieven niet als competitie. "De opwarming van de aarde is een ernstige zaak. Alle initiatieven moeten slagen. Ik denk eerlijk dat we allemaal aan hetzelfde doel werken. Een van ons zal de eerste zijn, een van ons zal de tweede zijn en iemand zal de tiende zijn. Er is ruimte voor alle startups dus ik zie ze niet als concurrenten. Mijn concurrenten zijn kolen en gas." **K**

*Ellen Jelgersma*

## Denemarken

Dat de startup Deens is, is opmerkelijk aangezien Denemarken geen enkele nucleaire infrastructuur heeft. Volgens Schönfeldt was dit zowel een voordeel als een nadeel. "Er is hier geen kennisinfrastructuur", licht hij toe. "Ik heb een doctoraat in nucleaire natuurkunde maar ik heb geen enkel onderwijs gehad over kernenergie." Seaborg draagt bij aan het opzetten van een nucleaire kennisinfrastructuur door onderzoeksplaatsen aan de universiteit te financieren. "Al kunnen we natuurlijk niet concurreren met de grote nucleaire industrieën zoals Frankrijk", voegt hij eraan toe. "Aan de andere kant konden we ook gebruik maken van het ontbreken van een nucleaire industrie. Zo zitten we als Denemarken wel in de IAEA en andere internationale stakeholders organisaties maar ontbreekt het aan mensen met kennis om deel te nemen. En wij hebben die nucleaire kennis wel, dus kunnen wij meepraten in die internationale fora."

## Investeerders

Seaborg heeft inmiddels 20 miljoen euro bij elkaar weten te krijgen van particuliere investeerders waaronder de Deense miljardair Anders Holch Povlsen. Dat is een grote investering maar nog niet voldoende. "We hebben meer investeerders nodig", aldus Schönfeldt. "Je kan stellen dat in deze sector de ontwikkeling van een nieuwe kerncentrale een paar miljard euro kost. Voor een half miljard zullen wij er een ontwikkelen, vergunningen

## Technisch kader

Seaborg ontwikkelt een inherent veilige 4e generatie (Gen-IV) Compact Molten Salt Reactor (CMSR - gesmoltenzoutreactor) met een eigen moderator. In een CMSR is de splijtstof opgelost in een vloeibaar fluoridezout dat tegelijk dient als koelmiddel. De Denen kiezen bij hun ontwerp voor uranium als splijtstof maar het kan ook plutonium, thorium of gebruikte splijtstof uit kerncentrales, zijn afhankelijk van ontwerp en toepassing. Doordat de splijtstoffen die worden gevormd in de nucleaire reacties in oplossing blijven, worden ze met hoge efficiëntie opgebrand. Ook afvalproducten met een lange levensduur blijven in oplossing en ondergaan continue bestraling met neutronen, waardoor ook deze effectief opbranden. Op die manier kan de hoeveelheid afval worden geminimaliseerd. Een CMSR biedt bovendien perspectief op inherente veiligheid omdat het gesmolten zout vrij kan uitzetten als de temperatuur toeneemt. Hierdoor nemen de splijtingsreacties zodanig af dat escalatie van de splijtingsreactie kan worden uitgesloten. Daarnaast is sprake van passieve koeling van het systeem. Hiervoor loopt er een leiding van het primaire circuit naar daaronder gelegen reservoirs, die actief worden gekoeld. De leiding is afgesloten door een prop bevroren zout. Als het zout te heet wordt of de koeling wegvalt, smelt de prop en stroomt het zout de opslagreservoirs in, waarna de splijtingsreactie helemaal stopt. Een ander veiligheidsvoordeel is dat vaste splijtingsproducten goed opgelost blijven, ook bij hoge temperaturen. Dat geldt ook voor bijvoorbeeld radioactief jodium en cesium, die in bestaande watergekoelde systemen in een ongevalsituatie makkelijk vrijgezet worden uit gefaalde brandstof. Daarnaast is het zout onoplosbaar in water waarmee er geen gevaar bestaat voor vervuiling van (grond)water. Vanwege de gekozen techniek is er geen gevaar voor proliferatie en er kunnen geen kernwapens van het in het gesmolten zout opgenomen uranium worden gemaakt. Het systeem functioneert onder atmosferische druk wat een hogere veiligheid oplevert en eenvoudiger uitvoeringseisen. De CMSR zal worden geïnstalleerd op modulaire energiezuilen op zogeheten drijvende 'power barges'. Het ontwerp van de Power Barge maakt configuraties mogelijk met twee, vier, zes of acht CMSR's die tot 800 MW-elektrische of 2000 MW-thermische energie leveren. De eerste power barge zullen twee reactoren hebben die 2 x 100 MW-elektrisch leveren voor de 24-jarige levensduur van de power barge..

# NRG en PALLAS samen verder als één organisatie

**S**tichting NRG en Stichting Voorbereiding Pallas-reactor (PALLAS) gaan verder als één organisatie. Dit heeft Bertholt Leeftink, CEO NRG/PALLAS op 15 januari bekendgemaakt tijdens een nieuwjaarstoespraak. Het voorstel voor de nieuwe organisatie wordt dit voorjaar verder uitgewerkt. “Door de krachten te bundelen, kunnen we grote stappen zetten in de ontwikkeling en productie van nucleaire medicijnen voor diagnostiek en behandeling van patiënten met levensbedreigende ziekten. Hiervoor hebben wij een state of the art infrastructuur nodig, die op dit moment in voorbereiding is”, aldus Leeftink.

Dagelijks worden meer dan 30.000 patiënten voor diagnose of behandeling geholpen met de producten uit Petten. NRG is de grootste producent van grondstoffen voor nucleaire medicijnen ter wereld. PALLAS realiseert de nieuwe infrastructuur die nodig is om deze functie te continueren. Door de twee organisaties – gevestigd op locaties in Petten, Alkmaar en Arnhem – te integreren, kunnen er grote stappen gezet worden om deze rol verder uit te bouwen.

## Huib Cuijpers CEO NRG treedt terug

Met de combinatie van nucleaire installaties en kennis op de Energy & Health Campus is Petten de afgelopen 60 jaar uitgegroeid tot een locatie met wereldwijd aanzien. NRG en PALLAS vertegenwoordigen daarbij twee functies: productie en onderzoek. Productie van grondstoffen voor nucleaire medicijnen en onderzoek gericht op de ontwikkeling van nieuwe nucleaire medicijnen, alsook onderzoek gericht op CO<sub>2</sub>-vrije energieopwekking. De diensten en producten op medisch en energiegebied zijn van groot maatschappelijk belang zowel nu als in de toekomst. Om goed voorbereid te zijn op

deze toekomst wordt er volop gewerkt aan de vernieuwing van de infrastructuur. Door samen verder te gaan als één organisatie verbinden NRG en PALLAS de nucleaire technologische kennisbasis met de infrastructuur, innovatie en impact van de toekomst. Tijdens de nieuwjaarsbijeenkomst van NRG maakte CEO Huib Cuijpers kenbaar per 1 april 2021 terug te treden en per 1 juli 2021 afscheid te nemen van NRG en met pensioen te gaan. “Ik heb genoten van de samenwerking met klanten, stakeholders en medewerkers en ben blij dat ik heb mogen bijdragen aan het mooie nucleaire en medische werk van NRG. Ik zal daar nog vaak met goede herinnering aan terugdenken”, aldus Cuijpers.

## Vernieuwing en uitbreiding infrastructuur

De reactor vormt de basis van de infrastructuur. Om de leveringszekerheid van medische isotopen te garanderen en de onderzoeksfunctie te borgen is een soepele overgang van de Hoge Flux Reactor (HFR) naar de nieuwe PALLAS-reactor essentieel. Bestraalde producten uit de reactor worden verder verwerkt tot grondstoffen voor nucleaire medicijnen. Daarvoor zal een Nuclear

Health Centre worden gerealiseerd, waarmee de benodigde chemische bewerkingsstappen op industriële schaal kunnen worden uitgevoerd. Door de samenwerking met diverse nationale en internationale universitaire ziekenhuizen en kennisinstellingen moet Petten een broedplaats in Europa worden voor de ontwikkeling van productieprocessen ten behoeve van nieuwe nucleaire medicijnen. Daarvoor wordt onderzoek in samenwerking met universitaire medische centra uitgevoerd, gericht op de versnelling van de ontwikkeling van deze nucleaire medicijnen. Hiervoor wordt een FIELD-LAB gebouwd.

## Onderzoek en Innovatie

De nucleaire kennis en expertise die is opgebouwd kent een brede toepassing. Het klimaatvraagstuk stelt de wereld voor een forse opdracht. Verschillende landen onderzoeken hoe zij een CO<sub>2</sub>-vrije energievoorziening optimaal kunnen inrichten. NRG voert in dat kader nucleair onderzoek uit. Naast bedrijfsduurverlenging van bestaande kerncentrales kan de toekomstige energievoorziening uitgebreid worden met innovatieve kernreactoren, zoals thorium- en gesmoltenzoutreactoren. Dit onderzoek maakt intensief gebruik van de HFR en in de toekomst van PALLAS. “Met de hoogwaardige research die wij doen samen met de nucleair geneeskundigen in FIELD-LAB, én de faciliteiten om grootschalige productie te realiseren, kunnen wij direct leveren aan de ziekenhuizen”, aldus Leeftink. “Nucleaire medicijnen zijn producten met korte houdbaarheid. Korte lijnen en snelle levertijden zorgen er daarom voor dat meer patiënten behandeld kunnen worden. Het ontwikkelen van nieuwe nucleaire medicijnen vergt een inspanning van de toeleveringsketen. Door samenwerking met onderzoekers in de ziekenhuizen zorgen wij ervoor dat deze nieuwe medicijnen ook daadwerkelijk geproduceerd kunnen worden. Door deze stap te zetten, maken wij het productie- en ontwikkelproces efficiënter en staan wij dichterbij de ziekenhuizen en de patiënt.” **K**

Bron: NRG





## Nieuwe PALLAS-reactor in modern kantoorgebouw

**H**et ontwerp van de nieuwe PALLAS-reactor en de bijbehorende gebouwen is gereed. Stichting Voorbereiding Pallas-reactor (PALLAS), bouwconsortium ICHOS en hoofdarchitect Royal Haskoning DHV zijn bij de architectuur uitgegaan van een combinatie van maatschappelijke wensen, duurzaamheidsaspecten en de kernwaarden van PALLAS. Het resultaat is een modern gebouw dat is aangepast aan de omgeving.

Wie eind jaren 20 van deze eeuw op de Energy & Health Campus loopt, zal volgens de PALLAS-organisatie verbaasd zijn. “Bezoekers en medewerkers zullen de natuur ervaren en niet de beklemming van een streng beveiligd terrein. Ze zullen zich welkom voelen door de open en ordelijke structuur van de gebouwen”, aldus het architectuurboek dat op [www.pallasreactor.com](http://www.pallasreactor.com) is in te zien en te downloaden. “Het ontwerp is innovatief en duurzaam en past naadloos in het mooie duinlandschap van Petten. Het transparante kantoorgebouw met een bezoekerscentrum, het supportgebouw, de toren en het robuuste reactorgebouw met het logistiekgebouw laten door de kleurstelling in de gevels aan de buitenkant zien wat er binnen gebeurt. De gebouwen en de kleurstelling van de tussengelegen paden en wegen vormen één geheel. Ook voor het Nuclear Health Centre, een ontwerp van architectenbureau Broekbakema, is rekening gehouden met dezelfde ontwerpprincipes”, aldus PALLAS. Wat in ieder geval opvalt aan het nieuwe

ontwerp is dat de PALLAS-reactor er niet meer uitziet als een traditionele reactor met een koepel zoals de hoge flux reactor, maar het uiterlijk heeft van een modern kantoorgebouw.

### Technisch hoogwaardige en innovatieve productiefaciliteit

Hermen van der Lugt, algemeen directeur PALLAS: “Vanaf de oprichting van onze stichting streven we naar zo veel mogelijk transparantie om daarmee een betrouwbare partner en werkgever te zijn. Een uniek project als dit vergt veel denkwerk en zorgvuldigheid om onze beloftes na te kunnen komen. Ik vind het belangrijk dat we dit niet alleen naar buiten toe uitstralen, maar dat dit ook voelbaar is voor onze medewerkers. Met de kennis en ervaring die we uit landen van over de hele wereld aantrekken, kan PALLAS de reactor bouwen die de wereld nodig heeft. Een die niet alleen veilig is en leveringszekerheid biedt, maar die ook past binnen het duinlandschap in Petten. Ook dat is zorg en verbonden

samenwerking.” In het architectuurboek valt te lezen dat het bouwen van een nieuwe nucleaire productie- en onderzoeksfaciliteit uniek en complex tegelijk is. Uniek, omdat er wereldwijd maar enkele van dit soort reactoren zijn. Complex, omdat een reactor een technisch hoogwaardige en innovatieve productiefaciliteit is. Ook zorgt het speelveld van voor- en tegenstanders voor de nodige complexiteit. Voorstanders benadrukken vooral de maatschappelijke en economische functie van de nieuwe reactor, de garantie van de leveringszekerheid voor patiënten, het perspectief om met de isotopen uit de reactor medicijnen te ontwikkelen om ziektes als kanker beter te kunnen bestrijden en het behoud van werkgelegenheid en hoogwaardige kennis. Tegenstanders wijzen op de ontwikkelingen van alternatieve productiemethodes en vinden een zwaarbeveiligd industrieel complex niet passen in de buurt van een beschermd duinlandschap waar toeristen willen recreëren.

### Van levensbelang voor miljoenen patiënten

Op dit moment produceert HFR nog steeds de medische radio-isotopen voor de diagnose en behandeling voor dagelijks dertigduizend mensen met kanker en hart- en vaatziekten. Zeventig procent van de radio-isotopen, die Europese ziekenhuizen gebruiken, is afkomstig uit Petten. Wereldwijd ligt dit percentage rond de dertig procent en in Nederland is dit tachtig procent. “Waarom zou je een gebouw dat van levensbelang is voor miljoenen patiënten wereldwijd willen verstoppen?”, vraagt de PALLAS-organisatie zich terecht af. Bij het ontwerp van de nieuwe reactor zijn de veiligheid en gezondheid leidend, maar: “Goed ontworpen en doordachte architectuur is prettig om naar te kijken en kan representatief zijn voor de mooie omgeving van Petten.” **K**

Bron: [www.pallasreactor.com](http://www.pallasreactor.com)



# Belgische raderdiertjes vliegen opnieuw naar de ruimte

**G**ezonde raderdiertjes planten zich ook in de ruimte zonder problemen voort. Dat blijkt uit het experiment dat UNamur (universiteit van Namen) en SCK CEN exact één jaar geleden in de ruimte stuurden. Eind 2020 vertrokken de Belgische raderdiertjes opnieuw naar het ISS. “We stellen hun weerstand nog meer op de proef door hun DNA vóór vertrek al te beschadigen”, klinkt het bij UNamur, SCK CEN en ULB (Université Libre de Bruxelles). Dat doen de projectpartners door ze op aarde te bestralen.

Exact één jaar daarvoor, in december 2019, vertrokken ook al actieve raderdiertjes in het kader van het project Rotifers in Space (RISE) naar het International Space Station (ISS). Ze bevonden zich gedurende twee weken in een baan rond de aarde, waar ze aan de effecten van de ruimte werden blootgesteld. Na een succesvolle vlucht onderzochten de wetenschappers de dieren op het vlak van hun voortplanting en genexpressie. Genexpressie geeft cellen het signaal om eiwitten aan te maken, wanneer deze nodig zijn om bijvoorbeeld schade aan het DNA te herstellen. Door dat in detail te bestuderen, kunnen de onderzoekers zien welke processen bij raderdiertjes optreden en dus welke processen hen tegen de extreme ruimte-omgeving beschermen.



➤ *Raderdiertjes zijn microscopisch klein en een van de weinige diersoorten die volledige uitdroging en hoge doses straling kunnen overleven.*

## Geen invloed door gewichtloosheid

Projectcoördinator prof. dr. Karine Van Doninck (UNamur en ULB) legt uit: “Raderdiertjes zijn microscopisch klein (200 micrometer tot 1 millimeter). Ze zijn een van de weinige diersoorten op

aarde, die volledige uitdroging en hoge doses straling kunnen overleven. Sommige soorten, zoals de *Bdelloidea Adineta vaga*, planten zich voort zonder seks. De vrouwtjes klonen zich als het ware.” Uit de eerste, voorzichtige conclusies van het vorige ruimte-experiment blijkt dat gewichtloosheid hun vruchtbaarheid niet beïnvloedt. Ze schonken nakomelingen net zoals hun collega's op aarde. Doordat ze zich klonen, kopiëren ze ook de mogelijke fouten die tijdens het DNA-herstel zijn ontstaan. “De analyses die eventuele DNA-fouten van de nakomelingen moeten opsporen, zijn op dit moment nog lopende. We onderzoeken welke moleculen werden aangemaakt om te kunnen vergelijken en nagaan of het metabolisme hetzelfde werkt in de ruimte als op de aarde”, vervolgt Karine Van Doninck.

## Tweede ruimte-experiment

Nog niet alle resultaten van het eerste experiment zijn binnen of de raderdiertjes gespen zich opnieuw vast voor een tweede ruimtevlucht. Op 5 december 2020 vlogen 1,8 miljoen uitgedroogde raderdiertjes met de raket Falcon 9 van SpaceX (CRS 21) vanuit het Kennedy Space Center in Florida naar het ISS. Met het tweede experiment

willen de projectpartners UNamur, SCK CEN en sinds kort ULB (Université Libre de Bruxelles) weten welk effect gewichtloosheid én straling hebben op het DNA-herstelmechanisme van levende organismen. Voor het vertrek werden de raderdierdijtjes uitgedroogd en vervolgens bestraald in UNamur. Onderzoeker Boris Hespels (UNamur) licht toe: “Na uitdroging en bestraling is het genetisch materiaal volledig beschadigd en zijn de raderdierdijtjes inactief. Bij rehydratatie schieten ze als het ware weer wakker en herstellen ze de schade aan hun genetisch materiaal. Doordat raderdierdijtjes zichzelf klonen, kunnen we ze naar ISS sturen en identieke kopieën op aarde houden, die we op hetzelfde moment hydrateren. Dat doen we door ze Belgisch mineraalwater en sla-sap toe te dienen. Eenmaal terug op aarde kunnen we vergelijken: hebben ze in de ruimte hun DNA even vlot kunnen herstellen als op aarde? Beïnvloeden gewichtloosheid en kosmische straling dat herstelproces? Hoe stellen hun nakomelingen het?”

## Derde ruimte-experiment

Als de raderdierdijtjes ook door dit experiment walsen, levert dat een schat aan wetenschappelijke informatie op. “Raderdierdijtjes kunnen meer dan 200 keer meer straling verdragen, terwijl hun cellulaire opbouw op die van de mens lijkt. Inzicht in de onderliggende mechanismen van dat

DNA-herstelproces laat toe om de weerstand van astronauten tegen kosmische straling te verhogen”, aldus radiobiologe Sarah Baatout (SCK CEN). Haar collega Bjorn Baselet (SCK CEN) vervolgt: “Het opent de deur naar verdere ruimteverkenning, als onderdeel van het RISE-project. Daarnaast kan het ook op aarde zijn nut bewijzen. De bevindingen kunnen leiden tot maatregelen om beroepsmatig blootgestelde personen of kankerpatiënten tijdens hun therapie beter te beschermen tegen de negatieve effecten

van hun blootstelling aan straling.” Het derde experiment, dat in 2025 op de planning staat, zal nog verder gaan om de extreme weerstand van de raderdierdijtjes te testen. Zo zullen de raderdierdijtjes buiten aan het internationaal ruimtestation hangen, waar ze worden blootgesteld zonder bescherming aan heel lage temperaturen, een vacuüm omgeving en hoge doses ultraviolette en ioniserende straling. **K**

Bron: SCK CEN



**Y** *Nog niet alle resultaten van het eerste experiment zijn binnen of de raderdierdijtjes gespen zich opnieuw vast voor een tweede ruimtevlucht.*

2020 RISE SCKCEN-UNAMUR © Marc Guillaume

## RISE in een notendop

Hoe kunnen we astronauten in de toekomst beter beschermen tegen de schadelijke en langdurige effecten van gewichtloosheid en hoge doses kosmische straling tijdens langdurige ruimtevaartmissies naar de maan en mars? Hoe kunnen levende wezens zich in het algemeen beter aanpassen aan extreme omstandigheden? Met het project Rotifers In Space (RISE) willen UNamur en SCK CEN in samenwerking met ULB die diverse vraagstukken oplossen. Concreet nemen de projectpartners het raderdierdijtje Adineta vaga onder de loep. Het minuscule diertje wordt maximaal 1 millimeter groot en heeft een hogere stralingsweerstand dan de mens of eender welk dier op aarde. Het RISE-project wil de onderliggende mechanismen van die hogere stralingsweerstand blootleggen. Dit project is een ongelooflijk verhaal, dat begon toen Karine Van Doninck naar UNamur terugkeerde na haar postdoc aan Harvard University. Ze ontdekte er dat raderdierdijtjes een studiemodel kunnen zijn om de impact van kosmische straling op het leven te bestuderen. Het studiemodel wordt ingezet in een samenwerking tussen vrouwen en mannen van verschillende instellingen. Biologen Karine Van Doninck (UNamur – ULB) en Boris Hespels (UNamur), fysici Stéphane Lucas en Anne-Catherine Heuskin (UNamur), en radiobiologen Sarah Baatout en Bjorn Baselet (SCK CEN) slaan de handen in elkaar om dit RISE onderzoeksproject uit te voeren. Het onderzoek zou nooit tot stand zijn gekomen zonder een subsidie van ESA en Belspo (PRODEX) en de technische deskundigheid van Kayser Italia dat de modules levert waarin de raderdierdijtjes geïntegreerd worden voor hun reis naar de ruimte.

## Laatste grote ITER-assemblagecontract ondertekend

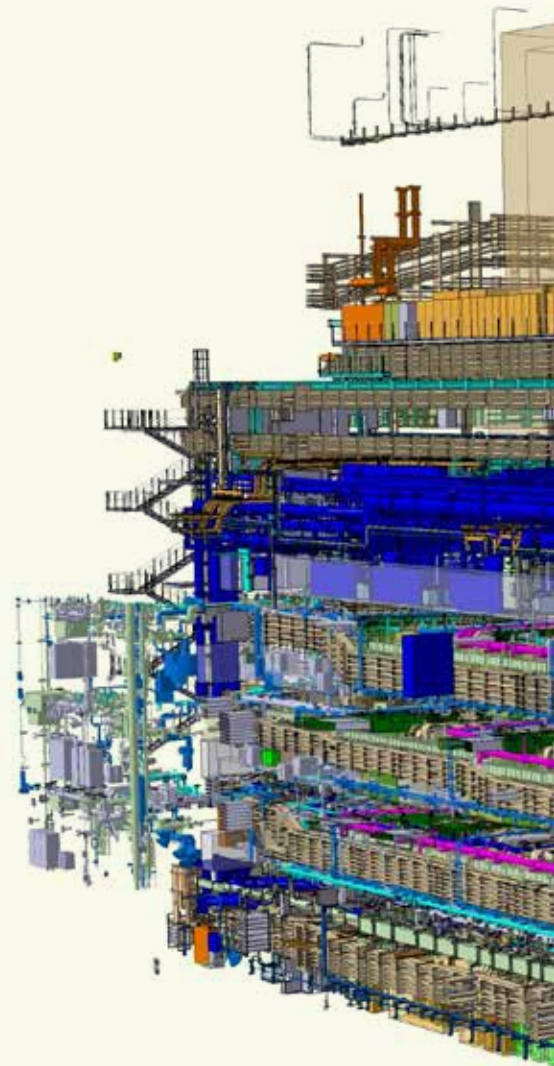
Een jaar na de afronding van twee grote contracten voor de assemblage van machines heeft de ITER-organisatie de aannemers gekozen die de assemblage- en installatieactiviteiten binnen het Tokamakcomplex zullen uitvoeren. Na wereldwijde aanbestedingscampagnes die werden beheerd door de afdeling Procurement & Contracts van ITER, hebben twee internationale partijen - het ene als consortium en het andere als commerciële partner - contracten toegewezen gekregen voor installatieactiviteiten binnen het Tokamak Complex.

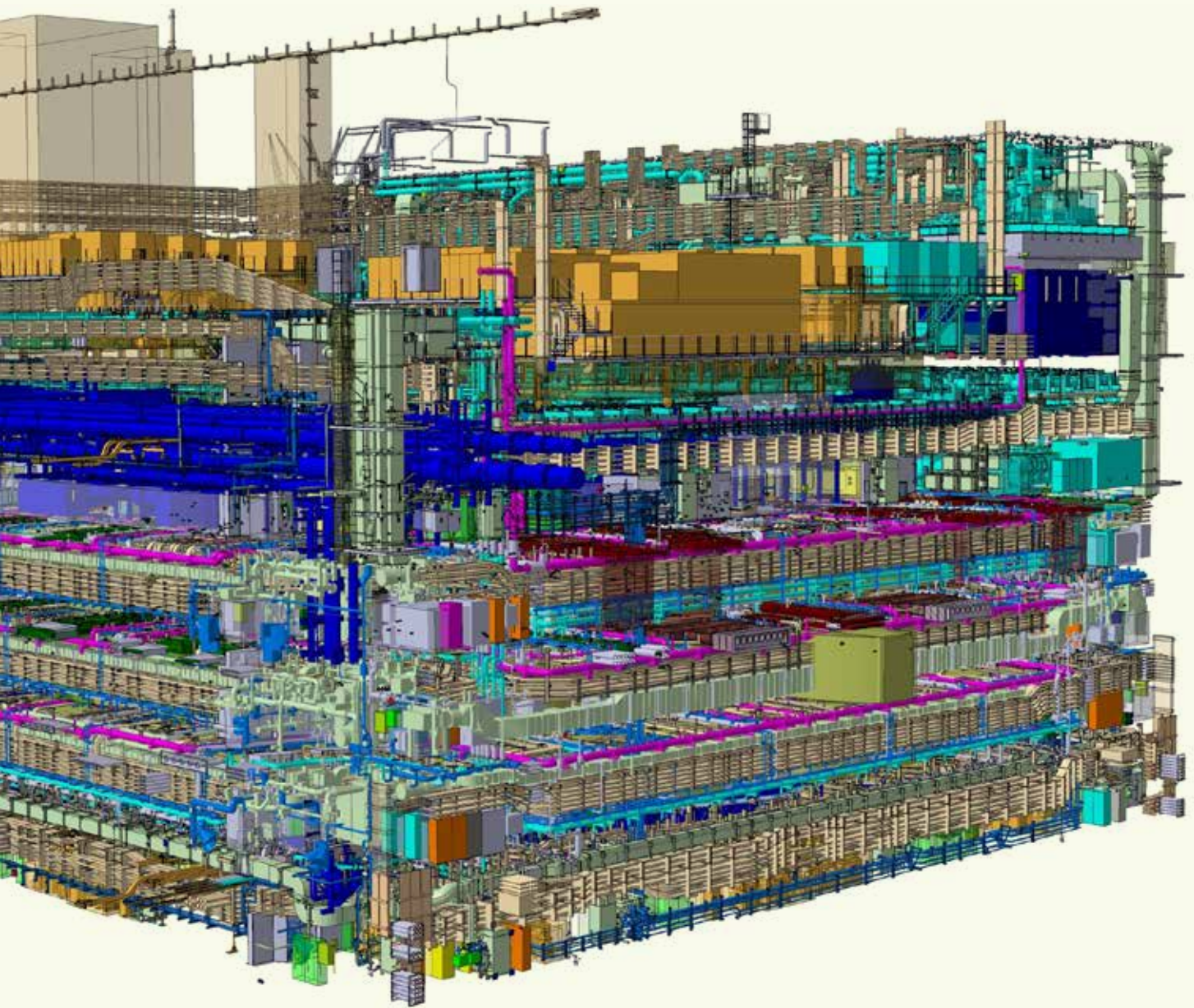
Deze gefaseerde, langlopende contracten hebben betrekking op de voormontage en installatie van de miljoenen componenten waaruit de fabriekssystemen ter ondersteuning van de 'ITER-machine' zijn opgebouwd, met inbegrip van de brandstofvoorziening, het vacuüm-, koel- en diagnostische systeem maar ook voor de verwarming. De twee assemblagebedrijven voor het Tokamak Complex zullen soortgelijke installatiewerkzaamheden uitvoeren, met name mechanische en leidingwerkzaamheden (vaten, leidingsystemen, warmtewisselaars, pompen, motoren; kabelgoten en kabeltrek; golfgeleiders; thermische installatie van leidingen; drukproeven), en werkzaamheden op het gebied van elektriciteit en instrumentatie (DC-stroomgeleiders, schakelapparatuur, stroomkabels, I&C-kabels en -kasten).

Er zijn twee contracten ondertekend. Het eerste contract, het TCC1-assemblagecontract van het Fincantieri-consortium, behelst onder meer de installatie van verwarmings-, stroom en brandstofvoorziening, secundaire koeling en vacuümcomponenten. Het tweede contract, het TCC2-assemblagecontract, werd in december 2020 door ITER en META SNC ondertekend en betreft onder meer de installatie van het primaire koelwatersysteem, apparatuur voor de 'test blanket modules' en enkele vacuümleidingen. De twee contracten zijn de laatste grote montage- en installatiecontracten die gepland zijn voor de assemblage van ITER in de eerste fase. Twee grote contracten voor de assemblage van de Tokamak zelf en vijf contracten voor het 'restant van de installatie' zijn reeds in uitvoering. Elk contract wordt opgedeeld in fasen, waarbij gedetailleerde werkzaamheden geleidelijk aan de contractanten worden toegewezen via de werkpakketten van de ITER-Organisatie. De uitvoering van de assemblagewerkzaamheden vindt plaats onder de algemene verantwoordelijkheid van het ITER-bouwteam en het dagelijkse beheer van ITER's Construction Management-as-Agent, MOMENTUM.

### 3D-bouwtekening

De zeven niveaus van het Tokamakgebouw herbergen allerlei apparatuur, leidingen, elektrische kabels en toevoerleidingen voor de fabriekssystemen van de ITER-machine. Deze 3D-tekening geeft een duidelijk beeld van de complexiteit van de te monteren systemen. **K**





# Kleine modulaire reactoren geschikt voor leveren proceswarmte

**“De flexibiliteit van de MMR staat dichterbij die van gasturbines dan bij die van typische kernreactorontwerpen.”**

**C**anada maakt grote vorderingen met de ontwikkeling van kleine modulaire reactoren (SMR's) voor de levering van stroom en (proces)warmte, met name aan afgelegen gebieden. Een van de meest veelbelovende projecten is dat van Ultra Safe Nuclear Corporation (USNC). Met de voorbereiding van een milieu-effectrapportage bevindt USNC zich in de derde en laatste selectiefase voor de bouw van de eerste Micro Modular Reactor (MMR) nabij Chalk River in Ontario. Verwacht wordt dat de eerste inherent veilige MMR uiterlijk in 2026 in bedrijf kan worden gesteld. Dominique Hittner, USNC-directeur MMR-technologieontwikkeling en Blazej Chmielarz, USNC R&D-ingenieur zien mogelijkheden voor toepassing van de MMR-technologie in Europa en zeker ook in Nederland.

In samenwerking met provincies en elektriciteitsbedrijven heeft Natural Resources Canada in 2020 een routekaart opgesteld om alle belanghebbenden te betrekken bij de ontwikkeling van kleine modulaire reactoren in Canada. SMR's staat voor Small Modular Reactors en zijn, zoals het woord al aangeeft, kleine modulaire reactoren die op elke locatie stroom en eventueel warmte kunnen produceren en door hun modulaire karakter gemakkelijk uitbreidbaar zijn. Canada heeft een veelbelovende binnenlandse markt voor SMR's vanwege de uitgestrektheid van het land waar mensen soms wonen en werken op afgelegen locaties die niet op het nationale elektriciteitsnet zijn aangesloten. Door de noordelijke ligging is er te weinig zon voor zonne-energie. Deze gebieden zijn momenteel voor hun energiebehoefte nog afhankelijk van



Blazej Chmielarz: “We richten ons vooral op de chemische industrie, locaties als raffinaderijen, DOW Terneuzen, Chemelot, Emmtec en Delfzijl.”

voornamelijk dieselgeneratoren, waarbij de fossiele brandstof per vrachtwagen of vliegtuig wordt aangevoerd. Dit maakt

de energievoorziening kwetsbaar en bovendien draagt het gebruik van fossiele brandstoffen bij aan klimaatverandering. Chmielarz: “Ook de logistieke kosten van de brandstof zijn zeer hoog. De keuze voor de ontwikkeling van kleine kerncentrales die ook kunnen voorzien in CO<sub>2</sub>-vrije stadsverwarming en de productie van waterstof ligt dan ook voor de hand.” Voorzichtige schattingen geven aan dat de potentiële waarde van SMR's in Canada tussen 2025 en 2040 maar liefst 5,3 miljard dollar bedraagt. Maar wereldwijd is de SMR-markt nog groter, met een voorzichtige schatting van 150 miljard dollar tussen 2025 en 2040. Dit vertegenwoordigt een grote potentiële exportmarkt voor Canada, dat al kernreactortechnologie naar zes andere landen heeft geëxporteerd.

## 20 jaar onafgebroken stroom en warmte

Het voorgestelde project van USNC omvat een MMR-gasgekoelde hogetemperatuurreactor die via een tussencircuit van gesmolten zout proceswarmte levert aan een aangrenzende installatie. De MMR produceert ongeveer 15 MW/th of 5 MW/e gedurende een operationele levensduur van 20 jaar. Hittner wijst op de voordelen van dit soort microreactoren: “De MMR wordt modulair gebouwd onder de voorwaarden van industriële massaproductie in een fabriekshal. Dit betekent dat de werktijd ter plaatse beperkt is en dat de componenten naar behoefte kunnen worden uitgebreid.” Hij legt uit dat de behoefte aan CO<sub>2</sub>-vrije energieopwekking groot is vanwege de eis om de CO<sub>2</sub>-uitstoot terug te dringen. “Maar ook vanwege de kwetsbaarheid van de huidige energievoorziening van locaties die nu afhankelijk zijn van dieseltransporten over de weg of door de lucht”, aldus Hittner. “Na die periode kan een eenheid met gebruikte splijtstof worden verwijderd en vervangen door een nieuwe reactoreenheid of kan de hele centrale worden verwijderd wanneer er geen behoefte meer is aan een kleine kerncentrale”, licht Chmielarz toe.

## Lage vermogensdichtheid

De MMR is een inherent veilig HTGR-ontwerp (hoge-temperatuur gasgekoelde reactor). Zware nucleaire ongevallen kunnen zich voordoen wanneer de splijtstof van een reactor beschadigd raakt. Dit gebeurt wanneer het koelsysteem niet langer in staat is voldoende warmte aan de reactorkern te onttrekken en de temperatuur van de splijtstof te hoog wordt. In extreme gevallen kan de splijtstof smelten en kunnen radioactieve splijttingsproducten vrijkomen. Hittner: "Traditionele kernreactoren werken met een zeer hoge vermogensdichtheid. Hoewel zij aanvaardbare veiligheidsmarges behouden, zijn deze marges beperkt. Zij vereisen uitgebreide redundante veiligheidssystemen om het smelten van de splijtstof bij een ongeval te voorkomen of te beperken. Deze systemen omvatten doorgaans complexe netwerken van pijpleidingen, watertanks en pompen, naast insluitingsstructuren. Deze enorme en dure toevoegingen verhogen de kosten en de complexiteit. Naar schatting 30 procent van de bouwkosten van dergelijke reactoren bestaat uit veiligheidssystemen. In een MMR daarentegen is er een lage vermogensdichtheid, wat resulteert in een hoge veiligheidsmarge. Hittner: "Dit uitgangspunt maakt het ook mogelijk om van een veel eenvoudiger ontwerp uit te gaan en minder onderdelen betekent ook een kortere tijd voor beoordeling en goedkeuring van een centrale." Omdat de druk in de reactor 30 bar is en de temperatuur van de stoom 540 graden C, kan de installatie worden uitgevoerd in hetzelfde staal dat voor PWR's wordt gebruikt, wat weer kostenbesparend werkt.

## Veilige brandstof

Voor zijn splijtstof maakt de MMR gebruik van TRISO-deeltjes, zoals alle HTGR. In TRISO-deeltjes is het uraniumoxide omgeven door drie coatings en bevat in kleine bolletjes met een diameter van 1 millimeter. TRISO-deeltjes zijn volgens Hittner bestand tegen temperaturen tot 1.600 graden Celsius, ruim boven de smeltemperatuur van staal. Dit voorkomt

het vrijkomen van het uraniumoxide, maar ook dat de splijttingsproducten uit de deeltjes lekken en zich verspreiden. Voor het ontwerp van de MMR zijn de TRISO-deeltjes keramisch ingekapseld in een volledig dichte siliciumcarbide matrix (FCM™), die een extra barrière vormt tegen het weglekken van splijttingsproducten. Dit levert een ultraveilige



✂ Dominique Hittner: "De MMR wordt modulair gebouwd onder de voorwaarden van industriële massaproductie in een fabriekshal."

splijtstof op. Deze pellets worden vervolgens gestapeld in zeshoekige grafietblokken. Het grafiet fungeert als moderator en is ook voorzien van verticale gaten waardoor helium wordt geleid als koelmiddel. De reactorkern bestaat uit enkele honderden van dergelijke grafietblokken en bevat uiteindelijk enkele

tonnen aan splijtstof. Verschillende openingen en kanalen worden gebruikt voor regelstaven en koeling. De kern wordt in het vat van de MMR geplaatst. Chmielarz: "De FCM™-splijtstof biedt een aantal systeemvoordelen, waaronder isolatie tegen splijttingsproducten, verbetering van de veiligheid van werknemers en installatie, verhoogde weerstand tegen proliferatie en minimale zones voor noodplannen. Hoewel dit alles kan worden gezegd van alle inherent veilige HTGR-splijtstof, is onze bewering dat met FCM de retentie van splijttingsproducten nog beter is." De TRISO-splijtstof is voldoende gehard om de radioactiviteit in te sluiten en blijft intact bij temperaturen waarbij staal zou smelten. Dat betekent dat je een HTGR met TRISO-splijtstof zo kunt ontwerpen dat die fysiek niet kan smelten.

## Gesmolten zout

De vermogensopwekking wordt voornamelijk geregeld door de heliumcirculator, die koud helium door de reactor perst en warmte aan de kern onttrekt. Meer of minder vermogen kan bij constante temperatuur worden opgewekt door de heliumstroom bij te regelen. De reactor stabiliseert zich onder alle omstandigheden op een veilig evenwicht doordat helium warmte aan de kern onttrekt. Het helium wordt in en uit de reactor getransporteerd door een ✂

✂ De TRISO-deeltjes zijn ingebed in een matrix van siliciumcarbide, die boven op de barrière van de deklagen van het TRISO-deeltje een extra barrière vormt tegen het vrijkomen van radioactiviteit. Dit is de volledig keramische micro-gekapselde (FCM) splijtstof.



dubbelwandige buis met koud helium aan de buitenkant en warm helium (640°C) uit de reactor aan de binnenkant. Indien nodig worden regelstaven vanuit de top van de reactor ingebracht. De reactor is gekoppeld aan een gesmolten-zoutsysteem met tanks voor de opslag van gesmolten-zoutwarmte. In geval van overproductie of als er tijdens piekuren meer energie nodig is, kan dit systeem worden gebruikt. De warmte wordt door het helium van de kern naar het gesmolten zout overgebracht via een warmtewisselaar, die zich in een vat onder de heliumcirculatiepomp bevindt. Het hete gesmolten zout wordt overgebracht naar de aangrenzende installatie, waar de warmte wordt opgeslagen en gebruikt. Heet gesmolten zout wordt gebruikt om stoom te produceren in een stoomgenerator. De stoom kan worden gebruikt om elektriciteit op te wekken via een turbine en generator. Hij kan ook worden gebruikt voor proceswarmte en stadsverwarming. De afgewerkte stoom gaat

naar luchtgekoelde condensoren en het koude water gaat terug naar de stoomgenerator.

### Chemische industrie

Met de focus op Canada en de behoefte aan energieopwekking op afgelegen locaties, lijkt de MMR minder geschikt voor Nederland. Hittner: "Nederland heeft een goed functionerend elektriciteitsnet, het land is vlak en je hebt in de afgelopen eeuwen veel ervaring opgedaan met windenergie. Maar de oplossingen met hernieuwbare energiebronnen en eventueel grote of kleine modulaire LWR-centrales werken niet voor de levering van de proceswarmte die de industrie nodig heeft en die nu van aardgascentrales komt. MMR kan een oplossing bieden om deze hogetemperatuur warmte te leveren." Chmielarz: "We richten ons vooral op de chemische industrie, locaties als raffinaderijen, DOW Terneuzen, Chemelot, Emmtec, Delfzijl. De flexibiliteit van de MMR staat dichterbij die van gasturbines dan bij die van typische

kernreactorontwerpen." Op de vraag of inbedrijfstelling van de MMR in 2026 haalbaar is, zegt Hittner: "Het Chalk River-project ligt nog steeds op schema om uiterlijk in 2026 te worden afgerond en zal naar verwachting het ontwerp van onze reactor en brandstof demonstreren." Het beoogde korte tijdsbestek voor ontwerp, goedkeuring en bouw van de MMR is opmerkelijk in vergelijking met dat van andere nieuwe reactoren of zelfs bestaande ontwerpen zoals de EPR. Volgens Chmielarz is dit het directe resultaat van het vereenvoudigde ontwerp, de beproefde technologie, de opname van de TRISO-splijtstof in siliciumcarbide en de lagere bedrijfstemperatuur in vergelijking met andere hogetemperatuurreactoren die tot 750 graden Celsius gaan. De hogere toleranties en het gebruik van reeds beschikbare componenten en materialen leiden tot snellere goedkeuring en vergunningverlening. **K**

*Menno Jelgersma*

## MMR - Inherent veilig ontwerp en veilige brandstof

1. De MMR is een inherent veilige HTGR en deelt de veiligheidskenmerken van deze familie van reactoren;
2. HTGR's hebben in het algemeen zeer interessante veiligheidskenmerken, enorme thermische inertie door de honderden tonnen grafiet in hun kern, sterk negatieve temperatuurcoëfficiënt (zodra de temperatuur stijgt wordt de splijtingskettingreactie gestuit), TRISO-splijtstof lekdichtheidseigenschappen, enz;
3. De HTGR-splijtstof is gebaseerd op TRISO bolvormige deeltjes (diameter ongeveer 1 mm), met een splijtbare kern omhuld door 3 lagen vuurvaste bekleding, die de radioactiviteit lekdicht insluiten tot > 1600°C. TRISO-deeltjes worden gemengd met een grafietpoeder en vervolgens geperst en gesinterd tot kiezelstenen of pellets;
4. Een inherent veilige HTGR is een kleine HTGR (enkele honderden MW, de exacte limiet hangt af van het ontwerp), die zo is ontworpen dat het bij verlies van koelvloeistof fysiek onmogelijk is, dat de splijtstof temperaturen overschrijdt die de integriteitsgrenzen overschrijden (> 1600°C): bij een dergelijke hoge temperatuur wordt de vervalwarmte die de reactor nog produceert gecompenseerd door de thermische lekkage van de reactor, zodat de temperatuur niet meer kan stijgen;
5. Een MMR is een HTGR die inherent veilig is, met extra gunstige veiligheidskenmerken, waardoor deze als een ultraveilige reactor kan worden beschouwd:
  - De TRISO-deeltjes zijn niet meer ingebed in een matrix van grafietpoeder, maar in een matrix van siliciumcarbide, die bovenop de barrière van de deklagen van het TRISO-deeltje een extra barrière vormt tegen het vrijkomen van radioactiviteit. Dit is de volledig keramische micro-geïncapselde (FCM) splijtstof. De radioactiviteit die uit de splijtstof kan ontsnappen, die al zeer laag is bij standaard HTGR-splijtstof, is aanzienlijk lager bij FCM.
  - De vermogensdichtheid is nog lager dan gebruikelijk in inherent veilige HTGR's (maximaal 6MW/m<sup>3</sup>), wat een zeer grote veiligheidsmarge ten opzichte van de veiligheidsgrenzen van de splijtstof oplevert (onder ongevalsomstandigheden blijft de temperatuur van de splijtstof ver onder 1600°C).
  - Tussen de reactor en de gebruiker (voor elektriciteitsopwekking en/of warmtelevering) bevindt zich een tussenliggend gesmolten-zoutcircuit, met opslagtanks voor gesmolten zout, dat de reactor afschermt tegen snelle belastingsschommelingen van de gebruiker. De splijtstof is dus beschermd tegen snelle temperatuursverschillen die haar kunnen verzwakken.



**I**n zijn artikel *Too much fear for radioactive contamination of seawater*, dat in *Europhysics News* verscheen, legt Jan Goudriaan, emeritus professor Wageningen Universiteit en Research centre (WUR) uit dat radioactieve besmetting van zeewater nauwelijks van invloed is op het leven in zee of op de mens. Volgens hem heeft herhaalde berichtgeving door onder meer Greenpeace bijgedragen aan het algemene gevoel dat de zee zeer gevoelig is voor radioactieve besmetting. “Het is eerder het tegenovergestelde. Het mariene leven is veel beter beschermd tegen radioactieve besmetting dan het leven op het land. Deze bescherming is te danken aan drie natuurlijke factoren: afscherming, verdunning en isotopenconcurrentie”, aldus Goudriaan.

## Angst voor radioactieve besmetting van zeewater is te groot

### Afscherming

Radioactiviteit in water is bijna perfect afgeschermd, in tegenstelling tot radioactiviteit op land.

Deze afschermende werking van water is volgens Goudriaan de reden dat hoogradioactief afval van kerncentrales eerst enkele jaren kan afkoelen in een groot waterbad. Water schermt straling veel beter af dan lucht, “Simpelweg”, zo stelt hij: “Omdat de dichtheid ervan ongeveer 1.000 keer zo groot is.” Van de drie belangrijkste types straling: alfa-, bèta- en gammastraling is alfastraling door de hoge energie er van (ongeveer 5 MeV) het meest schadelijk in biologische weefsels, met name in het DNA van de celkernen maar daar staat tegenover dat het niet dieper doordringt dan een tiende

van een millimeter, of het nu in water is of in de opperhuid. Eenmaal binnen in levend weefsel is alfastraling 20 keer zo schadelijk als bèta- of gammastraling per hoeveelheid geabsorbeerde energie. De interactie van bèta- en gammastraling met materie is veel kleiner, zodat ze veel dieper kunnen doordringen. Toch is 10 meter water meestal genoeg om ze te blokkeren. Dit betekent dan ook dat geen straling ons kan bereiken vanuit zee, afkomstig van bronnen op een grotere diepte dan 10 meter.

### Verdunning

Goudriaan wijst ook op het enorme verschil in massa tussen de oceaan en de atmosfeer. “Elk radioactief materiaal wordt dus veel doeltreffender verdund in zee dan op land. Zelfs de enorme radioactieve besmetting

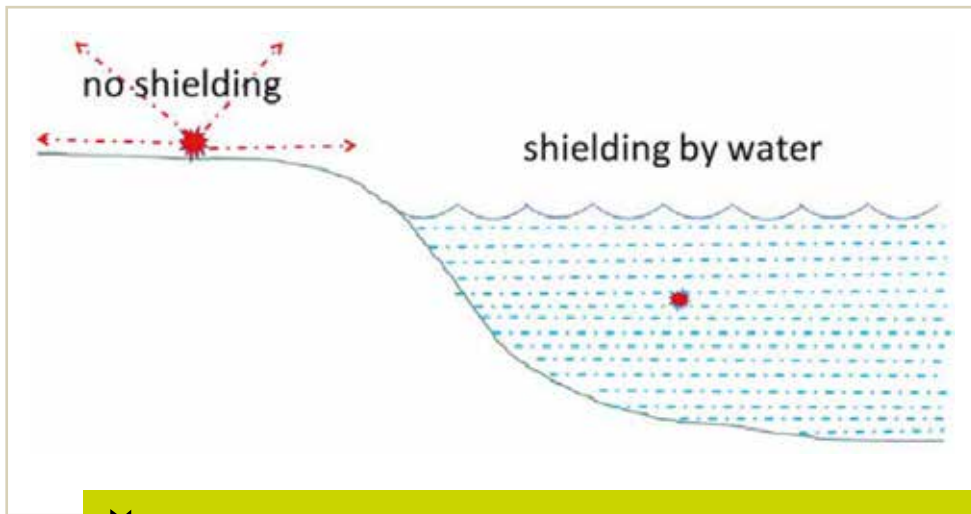
door de thermonucleaire explosies in de jaren zestig die tot zo'n honderd keer meer radioactiviteit in de atmosfeer hebben gebracht dan Tsjernobyl, is tegenwoordig verdund tot een radioactiviteit van plutonium die niet meer bedraagt dan  $0,1 \text{ Bq m}^{-3}$ .” Dit niveau is volgens hem te verwaarlozen in vergelijking met de natuurlijke radioactiviteit van zeewater van  $12000 \text{ Bq m}^{-3}$  (voornamelijk radioactief kalium-40).

Goudriaan wijst erop dat de kaliumconcentratie in ons lichaam acht keer zo hoog is als die in zeewater. “Dus als we in een mensenmenigte staan, ondervinden we acht keer zo veel straling daarvan dan als we in zee zwemmen.” Een ander voorbeeld van de effectiviteit van de verdunning in de oceaan is de situatie bij Fukushima. De uitstoot was aanmerkelijk minder dan bij Tsjernobyl en een groot voordeel was dat een aanzienlijk deel ervan eindigde in zee, grotendeels door de afvoer van koelwater. De radioactiviteit van het zeewater in de buurt van Fukushima piekte **X**

op 25 Bq/liter gedurende de eerste weken na het ongeluk, voornamelijk door cesium, zowel cesium-137 als cesium-134. "Dit lijkt aanzienlijk, maar het is slechts twee keer de natuurlijke radioactiviteit van zeewater en zelfs maar een kwart van die van het menselijk lichaam." 'Alarmerende' rapportage over radioactief cesium in

strontium geldt een soortgelijk argument. In Tsjernobyl zijn 26 kg cesium-134 en cesium-137 vrijgekomen met een radioactiviteit van 85 PBq en strontium-90 met een radioactiviteit van 10 PBq. Beide isotopen hebben een halfwaardetijd van ongeveer 30 jaar, waardoor ze voor vele tientallen jaren gevaarlijk zijn. Chemisch

cesium net als kalium makkelijk wordt opgenomen, is de kaliumconcentratie in zeewater zelfs tweehonderdduizend keer hoger dan die van stabiel cesium. "Dit alles betekent dat radioactief cesium bijna geen kans heeft om te worden opgenomen, wat de reden is waarom de radioactieve verontreiniging van zeevis in de wateren bij Fukushima zeer klein bleef." Hetzelfde mechanisme geldt in nog sterkere mate voor strontium dat moet concurreren met het overvloedig aanwezige calcium in zeewater.



✎ De interactie van gammastraling met materie is klein. Toch is 10 meter water meestal genoeg om de straling te blokkeren. Dit betekent dan ook dat geen straling ons kan bereiken vanuit zee, afkomstig van bronnen op een grotere diepte dan 10 meter.

de buurt van de Californische kust moet daarom volgens Goudriaan dan ook met een korreltje zout worden genomen. "De niveaus waren dermate laag dat de bevindingen meer een reden zijn voor bewondering van de detectiesystemen dan dat men zich zorgen moet maken over stralingsgevaar."

## Isotopenconcurrentie

Radioactief jodium, cesium en strontium behoren tot de meest gevreesde en gevaarlijke radioactieve stoffen die vrijkomen tijdens een nucleair ongeval. Maar hun niet-radioactieve tegenhangers zijn zoveel overvloediger aanwezig in zeewater dat de radioactieve isotopen niet of nauwelijks van invloed zijn op biologische processen. Slechts 8.000 m<sup>3</sup> zeewater (vergelijkbaar met een groot zwembad) bevat al 400 gram jodium, de totale hoeveelheid die bij Tsjernobyl was vrijgekomen. In het geval van cesium en

gezien lijkt cesium veel op kalium dat voornamelijk aanwezig is in de spieren en zenuwen en strontium op calcium, het voornaamste bestanddeel van botten. Cesium en strontium zullen dus worden getransporteerd naar deze weefsels. Bij verval naar stabiel barium zendt cesium-137 bèta- of gammastraling uit met een energie die slechts de helft is van die van kalium-40, de belangrijkste natuurlijke stralingsbron in zeewater. De totale radioactiviteit van cesium-137 die door Tsjernobyl is vrijgekomen is gelijk aan de hoeveelheid radioactiviteit die van nature aanwezig is in 7.000 km<sup>3</sup> zeewater ofwel een waterlaag van 300 meter dik en een oppervlakte in van 150 × 150 kilometer, wat veel geringer is dan de landoppervlakte die door de ramp bij Tsjernobyl werd vervuild. Bovendien zou in dit scenario het toegevoegde radioactieve cesium nog geen 2 miljoenste deel uitmaken van het reeds aanwezige stabiele cesium. En hoewel

## Polonium-210

Uit het UNSCEAR-rapport van 2013 over Fukushima blijkt dat de consumptie van vis in de regio verantwoordelijk was voor minder dan een duizendste van de totale stralingsdosis van de bevolking, dit ondanks het feit dat meer dan de helft van de totale hoeveelheid ontsnapt radioactief cesium zijn weg vond naar zee. Echter, in zeewater is uranium-238 een alom tegenwoordig bestanddeel en in de vervalketen daarvan ontstaat voortdurend lood-210 en vervolgens polonium-210. Dit laatste is een gevaarlijke alfastraler met een halfwaardetijd van 138 dagen dat uiteindelijk naar het stabiele lood-206 vervalt. Polonium-210 kwam eind 2006 in de bekendheid nadat de Russische spion Alexander Litvinenko ermee was vergiftigd. Een paar milligram in zijn thee was genoeg om hem om te brengen. Lood en polonium zijn vaste stoffen die op de zeebodem neerdalen en worden opgenomen door schelp- en schaaldieren. Consumptie daarvan draagt in Japan met 0,80 mSv per jaar bij aan de natuurlijke stralingsbelasting aldaar. De stralingsdosis in Japan is dus grotendeels te wijten aan natuurlijk polonium en niet aan radioactief cesium of strontium. Wereldwijd is de gemiddelde stralingsdosis uit voedsel veel kleiner, slechts 0,12 mSv per jaar. **K**

Het artikel met bronverwijzingen is te downloaden op [www.europenews.org](http://www.europenews.org) via: - <https://bit.ly/3nHodtG>

## ERDO: nieuwe vereniging voor multinationale samenwerking radioactief afval

**N**a een voorbereiding van ruim tien jaar hebben organisaties uit verschillende Europese landen begin januari de multinationale vereniging: European Repository Development Organisation (ERDO) opgericht. Binnen de vereniging wordt door diverse Europese landen samengewerkt aan een multinationale eindberging voor radioactief afval. De ondertekening van de statuten vond vanwege corona via Zoom plaats en werd bijgewoond door Dansk Dekommissionering uit Denemarken, NND uit Noorwegen en COVRA uit Nederland.

Het Nederlandse radioactief afval wordt op een veilige manier ingezameld, beheerd en gecontroleerd door COVRA. COVRA verwerkt het afval en slaat het ten minste honderd jaar op in bovengrondse gebouwen. Na honderd jaar is een deel van het afval nog steeds radioactief en moet daarom voor lange tijd, deels voor meer dan honderdduizend jaar, uit het leefmilieu en de invloedssfeer van de mens worden gehouden. Dit kan door het opbergen van het afval in de diepe ondergrond: eindberging. Nederland heeft gekozen voor een tweesporenbeleid: deels nationaal, deels multinationaal. De uiteindelijke keuze voor nationale of multinationale berging is nog open. In het afgelopen decennium hebben 11 organisaties in de ERDO-werkgroep gewerkt aan de ontwikkeling van het tweesporenbeleid in Europa. De werkgroep ERDO is in 2009 ontstaan uit de SAPIERR-projecten: door Europa gefinancierde haalbaarheidsstudies naar multinationale eindberging in Europa.

Elk land heeft een nationale verantwoordelijkheid in het kader van

het Gezamenlijk Verdrag van de IAEA voor het beheer van radioactief afval en gebruikte splijtstof. Voor de EU-lidstaten geldt bovendien dat zij in het kader van de Euratom afvalrichtlijn daarvoor een concreet programma en een tijdschema opstellen. Dat vraagt om een aanzienlijke financiële en technische inspanning naast de te investeren personele middelen. Zeker voor landen met kleine nucleaire programma's zijn er dus grote voordelen te halen uit multinationale samenwerking: het delen van kennis, technologieën en faciliteiten. Dat kan nu makkelijker door de nieuwe vereniging. ERDO voorziet in een programma van gezamenlijke activiteiten gericht op het ontwikkelen van enerzijds perspectief op gedeelde faciliteiten en anderzijds praktische oplossingen voor het beheer van radioactief afval.

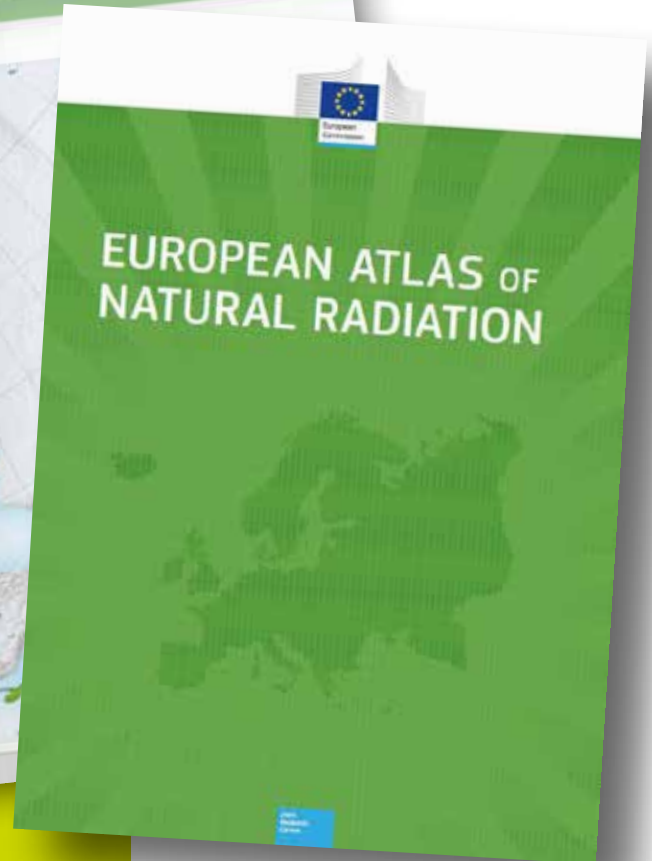
Als relatief kleine organisatie kan de vereniging middelen bundelen en

de projecten effectief en efficiënt organiseren. De leden kunnen zelf projecten aandragen. Een voorbeeld van een lopend project is het gezamenlijk onderzoek naar boorgaten als lange termijnoplossing. Een ander voorbeeld is het onderzoek naar het beheer van historisch afval in verschillende landen. De vereniging dient als een open forum voor het delen van technische kennis en ervaringen tussen de leden. De vereniging wil zo een kenniscentrum worden voor de leden door hen bij te staan bij het oplossen van problemen in hun eigen programma's. ERDO kan ook externe organisaties helpen die op zoek zijn naar expertise op het gebied van gezamenlijke oplossingen. Verder zal de vereniging als spreekbuis optreden in de (internationale) media en fora om gezamenlijke oplossingen voor afvalbeheer te bevorderen.

Inmiddels zijn ENEA uit Italië en Fond-NEK uit Kroatië ook lid van ERDO. Andere organisaties, zoals ARAO uit Slovenië en het Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus uit Oostenrijk, zullen mogelijk later toetreden tot de vereniging. De nieuwe vereniging is gevestigd in het kantoor van COVRA te Nieuwdorp. Bestuursleden zijn: Ewoud Verhoef (Nederland, als President), Ole Kastbjerg Nielsen (Denemarken, Vicepresident) en Håvard Kristiansen (Noorwegen, Penningmeester). **K**



© Illustratie: COVRA



# K GCO publiceert European Atlas of Natural Radiation

**D**e nieuwe European Atlas of Natural Radiation (EANR) geeft een overzicht van geharmoniseerde gegevens over de niveaus van natuurlijke straling in de EU en heeft tot doel de Europeanen bewuster te maken van het feit dat zij met natuurlijke radioactiviteit leven. De atlas is het product van het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek (GCO), de wetenschaps- en kennisdienst van de Europese Commissie en meer dan 60 universiteiten, onderzoekcentra, nationale en Europese autoriteiten en internationale organisaties. De atlas is online in te zien, te downloaden in pdf of als boek bij de EU te bestellen.

Wat is natuurlijke ioniserende straling?  
 Waar vind je natuurlijke stralingsbronnen?  
 Wat zijn de niveaus van natuurlijke stralingsbronnen in Europa? De European Atlas of Natural Radiation heeft tot doel de huidige stand van de kennis van de natuurlijke radioactiviteit weer te geven door algemene achtergrondinformatie te verschaffen en de verschillende bronnen te beschrijven. Dit referentiemateriaal wordt aangevuld met een verzameling kaarten van Europa waarop de niveaus van natuurlijke radioactiviteit als gevolg van verschillende bronnen zijn aangegeven. Het is een compilatie van bijdragen en beoordelingen van meer dan 80 deskundigen op hun gebied: zij zijn afkomstig van universiteiten, onderzoekcentra, nationale en Europese autoriteiten en internationale organisaties.

## **Vertrouwd raken met natuurlijke radioactiviteit**

Mensen worden voortdurend blootgesteld aan ioniserende straling van verschillende natuurlijke bronnen die in twee grote categorieën kunnen worden ingedeeld: hoogenergetische kosmische straling en

radioactieve nucliden die hun oorsprong vinden in de aardkorst (terrestrisch) en overal in het milieu aanwezig zijn. Terrestrische radioactiviteit wordt voornamelijk geproduceerd door de radioactieve families uranium en thorium, samen met kalium. In de meeste omstandigheden levert radon, een edelgas dat vrijkomt bij het radioactieve verval van uranium, de belangrijkste bijdrage tot de totale dosis. Informatie hierover is te vinden in de atlas die referentiemateriaal geeft en geharmoniseerde datasets ter beschikking stelt van de wetenschappelijke gemeenschap en de nationale bevoegde autoriteiten. Over het doel van de atlas legt GCO-wetenschapper Giorgia Cinelli uit dat GCO graag zou zien dat mensen door de atlas te gebruiken meer vertrouwd raken met natuurlijke radioactiviteit. "We worden allemaal blootgesteld aan straling uit natuurlijke bronnen. Meestal overschrijden de niveaus niet wat als veilig voor de menselijke gezondheid wordt beschouwd, maar in sommige geografische gebieden kunnen de natuurlijke radioactieve bronnen leiden tot gezondheidsrisico's", aldus Cinelli.

## Radon

Tegelijkertijd kan deze atlas dienen als een instrument voor het publiek om geïnformeerd te worden over de niveaus van natuurlijke radioactiviteit veroorzaakt door verschillende bronnen. Daarnaast krijgt het publiek een evenwichtiger beeld van de jaarlijkse dosis die het ontvangt en waaraan de natuurlijke radioactiviteit de grootste bijdrage levert. Ook belicht de atlas de vergelijkingen tussen doses afkomstig van natuurlijke bronnen van ioniserende straling en die van door de mens vervaardigde (kunstmatige) bronnen.

Veel aandacht gaat uit naar radon, een veel voorkomend radio-isotoop, waaraan een apart hoofdstuk wordt gewijd. Dat is verklaarbaar want in normale omstandigheden levert radon de belangrijkste bijdrage tot de

stralingsblootstelling van de menselijke bevolking. Radon is een natuurlijk voorkomend radioactief gas. Het heeft geen geur, kleur of smaak en kan een huis binnensijpelen via scheuren in de vloeren, bouwnaden, barsten in de muren en in de leidingen. Bekend is dat radon zich ophoopt in de kruipruimtes van woningen. Algemeen wordt daarom aangeraden om kruipruimtes goed te ventileren. Radon wordt gevormd door het verval van kleine hoeveelheden uranium in rotsen en bodems. Het gas kan ook aanwezig zijn in water en verschillende bouwmaterialen. Afhankelijk van de aard van de ondergrond, de bouwmaterialen en het water, kunnen zich in sommige woningen hoge radonconcentraties ophopen. Zelfs in hetzelfde geografische gebied kunnen de radonconcentraties van woning tot woning sterk verschillen. Hoewel het gas van nature voorkomt en overal in de EU in lage concentraties wordt aangetroffen, lopen mensen bij hogere radonconcentraties een groter risico op longkanker. In Nederland veroorzaakt radon enkele honderden gevallen van longkanker per jaar en is daarmee de tweede oorzaak van longkanker na roken. In een van de laatste hoofdstukken presenteert de atlas een methode voor het schatten van de jaarlijkse effectieve stralingsdosis ten gevolge van blootstelling aan omgevingsstraling. De gepresenteerde getallen zijn onderscheidenlijk per land opgenomen. Nederland bevindt zich binnen de EU, wat betreft jaarlijkse stralingsdosis door natuurlijke straling onderaan de lijst met 1,48 milliSievert. In Finland ligt de dosis met 6,16 mSv ongeveer vier keer hoger.

## Encyclopedie

De atlas is het resultaat van de samenwerking van het GCO met meer dan 60 instellingen, waaronder universiteiten, onderzoekscentra, nationale en Europese autoriteiten en internationale organisaties. "Het is onze bedoeling dat de atlas wordt gezien als een encyclopedie van

natuurlijke radioactiviteit. Hij beschrijft de verschillende bronnen van natuurlijke radioactiviteit in verschillende delen van Europa. Het geeft de huidige stand van de kennis over dit onderwerp weer", vertelt Cinelli. De atlas bevat ook een verzameling kaarten waarop de niveaus van natuurlijke stralingsbronnen in verschillende delen van Europa zijn aangegeven.

Concluderend levert de atlas een zeer nuttige bijdrage over een breed kennisgebied aan informatie, gericht op een breed publiek van de bevolking tot en met gespecialiseerde wetenschappelijk kennis. De technische uitvoering is van hoge kwaliteit. Het boek is een absolute aanrader en misstaat zeker ook niet op een willekeurige salontafel als startpunt voor een interessante meningsuitwisseling. De papieren versie van de atlas heeft een kloek formaat: A3. Door deze royale afmetingen zijn de verschillende kaarten gedetailleerd en duidelijk leesbaar. Gezien de kwaliteit van de uitvoering is het aspect 'hebbeding' ook van toepassing. **K**

## Overzicht

Boek: **European Atlas of Natural Radiation**

Auteurs: **Cinelli, G., De Cort, M. & Tollefsen, T. (Eds.)**,

Uitgever: **Publications Office van de Europese Unie - Luxemburg, 2019. 190 pagina's**

De online-versie en pdf zijn te vinden onder: <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation>

Het boek is gratis te bestellen via: <https://cutt.ly/uj4T6w3>



# NorthStar krijgt FDA-goedkeuring voor verbeterde productie molybdeen-99

**D**e Amerikaanse Food and Drug Administration (FDA) heeft de aanvraag van NorthStar Medical Radioisotopes goedgekeurd voor de grootschalige productie van molybdeen-99 (Mo-99) uit geconcentreerd Mo-98 (cMo-98) en voor gerelateerde software-updates voor de technetiumgenerator (RadioGenix System). NorthStar Medical Radioisotopes is een wereldwijde innovator in de productie en distributie van radiofarmaceutische producten voor medische beeldvorming en therapeutische behandelingen.

De verwerking van de nieuwe cMo-98-targets verviervoudigt de productiecapaciteit van molybdeen-99 ten opzichte van de huidige NorthStar-technologie. Mo-99 is het belangrijkste medische radio-isotoop dat in de medische wereld wordt toegepast. Het stelt NorthStar in staat om klanten te voorzien van bronvaten met een hogere activiteit. Volgens NorthStar zal dit de efficiëntie van zijn radiofarmaceutische producten ten goede komen. De goedkeuring van de FDA werd verleend door middel van een Prior Approval Supplement (PAS) voor de oorspronkelijke technetiumgenerator (RadioGenix® System New Drug Application) dat in 2018 werd goedgekeurd. Het RadioGenix System is een radioisotopen-scheidingsstelsel voor gebruik bij de productie van het

veelgebruikte medische radio-isotoop technetium-99m (Tc-99m) van in de VS geproduceerde, niet door splijting van uranium verkregen Mo-99. NorthStar verwachtte al in de loop van januari met verzendingen van de nieuwe bronvaten te kunnen starten.

## Bronvaten met hogere activiteit

NorthStar en zijn partners van de Universiteit van de Missouri Research Reactor (MURR) zeggen er "Trots op te zijn voorop te lopen als de enige gecommmercialiseerde producent van Mo-99 in de Verenigde Staten", aldus Stephen Merrick, president en CEO van NorthStar. "Deze goedkeuring van de productie met behulp van cMo-98 en de bijbehorende software-updates van het RadioGenix-

systeem is een belangrijke mijlpaal voor NorthStar Medical Radioisotopes en een belangrijke mijlpaal in het aanzienlijk verhogen van de binnenlandse productie en capaciteit van niet op uranium gebaseerde Mo-99 voor de VS. Het maakt een bijna verviervoudiging mogelijk van de binnenlandse Mo-99-productiecapaciteit voor NorthStar om aan de vraag van de klant te voldoen. De mogelijkheid om onze klanten te voorzien van een reeks bronvaten met een hogere activiteit (7,5 Curie, 12 Curie, 15 Curie en 19 Curie) zal eraan bijdragen om de efficiëntie in de radiofarmacie en de toegang van de patiënt tot Technetium-99m te verbeteren. In de VS worden dagelijks 40.000 mensen behandeld met technetium voor diagnostische doeleinden."

## Beyond Use Date

Om de efficiëntie van de radiofarmaceutische producten verder te maximaliseren verklaart NorthStar dat het nu ook Mo-99 bronvaten kan leveren met een 24-uurs Beyond Use date (BUD) boven de 21 dagen termijn voor de productie van Tc-99m met behulp van het RadioGenix-systeem. "NorthStar is het eerste bedrijf dat de cMo-98-technologie inzet voor de productie van radio-isotopen op commerciële schaal", zei James T. Harvey, PhD, senior vice president en chief science officer van NorthStar. Het proces dat is ontwikkeld in samenwerking met de universiteit van Missouri maakt gebruik van natuurlijk molybdeen (ongeveer 24 procent Mo-98) dat is verrijkt tot 98 procent Mo-98 (cMo-98). Door dit cMo-98 te bestralen met neutronen ontstaat door neutroneninvangst molybdeen-99 wat de grondstof is voor de productie van technetium-99m (Tc-99m). Tc-99m wordt gebruikt bij het onderzoek naar een veelvoud aan ziektebeelden. Ongeveer 85 procent van de medische beeldvorming in de nucleaire geneeskunde gebruikt dit isotoop. Wereldwijd komt dit neer op 17 miljoen diagnostische toepassingen per jaar. **K**

## Kerncentrale KRŠKO in Slovenië getroffen door aardbevingen.

**O**p 29 december 2020 vond er rond het middaguur in Kroatië een aardbeving plaats met een kracht van 6,4 op de schaal van Richter. Het epicentrum lag bij de stad Petrinja, bijna 50 kilometer ten zuidoosten van de hoofdstad Zagreb. Er vielen bijna 10 doden, meer dan 20 mensen werden in het ziekenhuis opgenomen.

De kerncentrale Krško in het aan Kroatië grenzende Slovenië is preventief afgeschakeld en na een tweedaagse inspectie weer volledig in gebruik genomen.

De Sloveense kerncentrale Krško ligt op 80 kilometer van het epicentrum. De kerncentrale schakelde door de aardbeving, conform het ontwerp, automatisch af naar de veilige 'rusttoestand'. De daaropvolgende uitgebreide inspecties door NEK, de operator, en de Sloveense nucleaire toezichthouder bevestigden dat er nergens in de centrale schade was ontstaan door de aardbeving. Daardoor kon de reactor twee dagen later alweer worden opgestart, gedurende de nachtelijke uren werd 50 procent van de nominale output geleverd, waarna de centrale naar 100 procent werd gebracht. Krško is een drukwaterreactor met een elektrisch vermogen van 688 MW. Deze centrale werd in 1983 commercieel in gebruik genomen met een geplande bedrijfsduur van 40 jaar. De centrale staat in een gebied waar geregeld aardbevingen worden gevoeld, zonder dat de centrale daardoor wordt afgeschakeld. NEK bereidt bedrijfsduurverlenging tot 2043 voor. Krško voorziet in circa 25 procent van de Sloveense en 15 procent van de Kroatische elektriciteitsproductie. **K**

## Column



## Het roer moet om.

Beroepshalve moest ik de afgelopen weken alle energiestatistieken weer eens op me in laten werken. Dat was een hele verademing, of ontzuivering, het is maar hoe je het bekijkt. Dat het maar niet opschiet met die energietransitie hier bij ons is allang geen nieuws meer. Maar het wordt ook niet beter. Ik geef een korte samenvatting:

In alle IEA-scenario's blijft kernenergie wereldwijd groeien. China, India, en

Rusland hebben indrukwekkende kernenergieprogramma's; China sluit elke maand een nieuwe kerncentrale aan op het elektriciteitsnet. Alleen in de EU gaat kernenergie verloren. Geen enkele EU-lidstaat heeft nog een lange termijn kernenergieprogramma, simpelweg omdat Brussel lidstaten verplicht om in rap tempo een alsmaar groeiend aandeel groene energie in hun nationale energiemix op te nemen.

Ondertussen is niet zonnig, en ook niet windig, maar biomassa het werkpaard van de EU Green Deal. Maar liefst twee derde van het groene energiedoel, 20 procent in 2020, werd bereikt via de aloude, gemakkelijke weg: bio-energie. Want Brussel heeft biomassa "klimaatneutraal" verklaard. Een armada van biomassa experts roept al jarenlang dat dit perverse beleid louter CO<sub>2</sub>-schuld, een slechtere luchtkwaliteit, en verwoesting van levend bos veroorzaakt.

Let nu goed op! Biomassa niet meegeteld projecteren de rekenmeesters van het IEA in hun laatste World Energy Outlook slechts 30 procent écht schone energie in de EU in 2040. Met tegen die tijd nog maar 80 kerncentrales in bedrijf is het aandeel kernenergie daarin nog even groot als het aandeel van zonnig en windig samen. Hoezo klimaatalarm?

We hebben schone energiedoelen nodig, geen groene. Een ruimte verslindende, nauwelijks regelbare groene energievoorziening die alleen stroom levert wanneer de planeet daar zin in heeft, en bovendien veel biomassa verbruikt, werkt niet. Kerncentrales daarentegen passen op een postzegel, leveren altijd, ook warmte en waterstof als het moet, en gebruiken amper grondstoffen.

Het energieroer moet radicaal om. De verkiezingen zijn op 17 maart. **K**

*André Wakker*

---

Dr. Ir. André Wakker is zelfstandig organisatieadviseur, en energiedeskundige. Voorheen werkte hij als business developer bij achtereenvolgens Shell, ECN en NRG. Als levenslang voorvechter van kernenergie mengt hij zich regelmatig in het energietransitiedebat. Hij is afgestudeerd in de kernfysica en gepromoveerd op fluctuaties in extreem onderkoeld water.



**KV**

KERNVISIE  
MAGAZINE

Belgische  
nederdierjes  
opnieuw naar  
de ruimte

Kleinere modulaire  
reactoren leveren  
proceswarmte

NRG en FALAS  
verder als één  
organisatie

1  
Februari  
2021

De drijvende  
kerncentrales van  
Deense Seaborg  
komen eraan

UITGAVE VAN  
STICHTING KERNVISIE

## 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 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 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 Technology te Zwijndrecht.

### Aankondiging:

Webinar KIVI-KT en NNS:  
**Productie en gebruik  
van alpha-emitters in  
de gezondheidszorg**

**Vrijdag 19 maart  
van 15:00 tot 16:00 uur.**

### Programma:

**Hanno Mak** (managing director AlfaRim Medical Holding): Productie van Actinium-225 en de plannen van AlfaRim voor het opschalen van deze productie op een nieuwe locatie in Delft.

**Antonia Denkova** (associate professor TU Delft): Gebruik van alpha-emitterende nucliden, waaronder Actinium-225, in medische toepassingen.

Aanmelden via [kivi.nl](http://kivi.nl)



Stichting **KernVisie**  
EEN ENERGIEK INITIATIEF

E-mail: [kernvisie@kernvisie.com](mailto:kernvisie@kernvisie.com)

