



**KERNVISIE  
MAGAZINE**

EPZ krijgt eigen  
simulator

Onderzoek MSR  
geselecteerd voor  
Tech for Impact

SCK CEN gaat  
radioactief  
afval efficiënter  
hergebruiken

**6**  
December  
2024

UITGAVE VAN  
STICHTING KERNVISIE

**Zirkonium levert  
belangrijke bijdrage  
aan de zorg**





KernVisie Magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**  
EEN ENERGIEK INITIATIEF

**Jaargang 19**  
**Nummer 6**  
**December 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  
Ir. M. van der Borst  
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)  
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**

Maria Vosjan, managing director BV Cyclotron VU  
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

### Nucleaire technologie breed toepasbaar en volop in ontwikkeling



Op de valreep van het jaar brengen we veel en positief nieuws. Zo hebben we aandacht voor het, tot nu toe onderbelicht gebleven, medische isotoop zirkonium-89. De isotoop wordt door Cyclotron VU in Amsterdam geproduceerd. Naast een diagnostische functie kan de isotoop worden ingezet om met behulp van PET-scans te voorspellen of en hoe nieuwe, en vaak peperdure, medicijnen bij een patiënt aanslaan. Dit is een prachtige ontwikkeling omdat het daarmee ook een bijdrage levert aan het betaalbaar houden van de gezondheidszorg. Met de groeiende aandacht voor nucleaire technologie groeit ook de behoefte aan gekwalificeerde mensen. In dat kader is de TU Delft met DELFINE een samenwerkingsovereenkomst aangegaan met Urenco. DELFINE staat voor *Delft Excellent Laboratory Facilities for Innovation and Nuclear Education* en geeft bedrijven en particulieren de mogelijkheid om in het kader van Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen bij te dragen aan de opleiding van studenten op nucleair gebied. Daarnaast is er natuurlijk ook geld nodig voor onderzoek. Dr. Anna Smith van de TU Delft is met haar onderzoek naar de gesmoltenzoutreactor één van de vier geselecteerde wetenschappers voor de campagne *Tech for Impact 2024* van het Universiteitsfonds Delft. Het fonds brengt belangrijk werk onder de aandacht en haalt er geld voor op. Met de donatie kan Anna Smith een verbeterde opstelling bouwen, waarmee zij veel meer data uit de testen kan halen waardoor het onderzoek enorm kan versnellen. KernVisie wenst u veel leesplezier en fijne feestdagen en we zien u graag terug in 2025 met meer nieuws en achtergronden over de vele ontwikkelingen en toepassingen van nucleaire technologie. **K**

André Versteegh  
voorzitter Stichting KernVisie

Disclaimer: De redactie van KernVisie Magazine heeft haar uiterste best gedaan om de rechthebbenden van alle foto's in deze uitgave te achterhalen. In enkele gevallen is dat niet gelukt. Mocht u in geval van een omissie of een vergissing menen de rechthebbende van een foto of illustratie te zijn, gelieve contact op te nemen met de Stichting KernVisie: [KernVisie@KernVisie.com](mailto:KernVisie@KernVisie.com)



**P04**

## Medisch

---

### Medische isotoop zirkonium levert belangrijke bijdrage aan gezondheidszorg

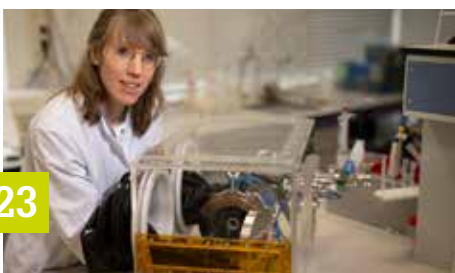
Zirkonium-89, geproduceerd bij BV Cyclotron VU in Amsterdam, heeft een lange halfwaardetijd van ruim drie dagen. Het wordt gekoppeld aan antilichamen en ingezet als PET-tracer om vooraf te beoordelen of kostbare medicijnen de juiste locatie bereiken en het gewenste effect hebben.

## P16 Maatschappij

---

### EPZ krijgt eigen simulator

In Kerncentrale Borssele (KCB) zorgen complexe systemen en strikte veiligheidsprocedures voor een veilige werking. Het behouden van kennis en vaardigheden is cruciaal. Daarom investeert eigenaar EPZ in uitgebreide opleidingen en trainingen, waarbij een reactorsimulator een belangrijke rol speelt, om medewerkers goed voorbereid en deskundig te houden.



**P23**

## Energie

---

### Onderzoek gesmoltenzout geselecteerd voor Tech for Impact

Dr. Anna Smith onderzoekt de gesmoltenzoutreactor, een veilige en schone kernreactortechnologie met veelbelovend potentieel. Haar werk is onderdeel van de campagne Tech for Impact 2024 van Universiteitsfonds Delft. Cruciale kennis over gesmolten zouten moet nog worden ontwikkeld.

## P17 Maatschappij

### Radioactief afval efficiënter hergebruiken dankzij E.R.N.I.E. en B.E.R.T.

Om van de nucleaire industrie een duurzame sector te maken, zet het Belgische SCK CEN met het ANUBIS-project groots in op een aanhoudende vermindering van de hoeveelheid radioactief afval. Voor de grote hoeveelheid materialen, zoals bij de ontmanteling van nucleaire installaties, heeft SCK CEN sinds kort de beschikking over twee snelle en nauwkeurige meetsystemen, die zij E.R.N.I.E. en B.E.R.T. hebben genoemd.



## P12 InBeeld

Science Day 2024 bij de TU Delft  
Arthur: zie document inhoudsopgave

## P14 Boekbespreking

De Klimaatoptimist

## P20 Maatschappij

TU Delft en Urenco bekrachtigen de oprichting van DELFINE

## P21 Column

van Lars Roobol





Medisch

# Medische isotoop zirkonium levert belangrijke bijdrage aan gezondheidszorg

**E**en van de meest veelbelovende medische isotopen op dit moment is zirkonium-89 (Zr-89). Het wordt geproduceerd in de kelder van het Imaging Gebouw bij BV Cyclotron VU in Amsterdam en onder andere enkele verdiepingen hoger gekoppeld aan antilichamen, grote eiwitten, om als diagnostische tracer te kunnen worden ingezet. De grote kracht van Zr-89 is de lange halfwaardetijd van ruim drie dagen en de mogelijkheid om op voorhand met PET-beeldvorming te zien of een nieuw ontwikkeld en meestal zeer kostbaar medicijn op de juiste locatie arriveert en het effect heeft wat het beoogt. Maria Vosjan, managing director BV Cyclotron VU en Daniëlle Vugts, hoogleraar bij Amsterdam UMC, lichten de uitdagingen en mogelijkheden van de in eigen huis ontwikkelde combinatie van medisch isotoop, inkapseling (chelator) en antilichaam toe.

Zr-89 heeft een halfwaardetijd van ruim drie dagen (78,4 uur) en wordt gebruikt voor diagnostiek met behulp van een PET-scanner. Als je op internet zoekt wat er precies wordt gedaan bij PET-scans, valt op dat de te gebruiken radionucliden een hele korte halveringstijd hebben om de stralingsdosis voor de patiënt zo laag mogelijk te houden; halveringstijden van minder dan twee uur en zelfs enkele minuten zijn vrij gebruikelijk. Vosjan legt uit dat de langere halfwaardetijd van Zr-89 juist voordelen heeft, omdat het voor langere observatievensters zorgt en via PET-scans een monitoring van de respons op een behandeling mogelijk maakt. Vosjan: "Zr-89 is een diagnostisch isotoop. Je kan er combinaties mee maken met bijvoorbeeld lutetiumtherapieën, waar op het ogenblik veel aandacht voor is. Omdat zirkonium en lutetium enigszins op elkaar lijken, kan je door eerst een PET-scan met Zr-89 te maken heel goed voorspellen of en hoe effectief de lutetiumtherapie kan zijn." Levert een relatief lange halfwaardetijd geen probleem op voor de patiënt? Vosjan: "De dosis is heel laag. Zr-89 vervalt tot yttrium-89m dat in 16 seconden verder vervalt tot stabiel yttrium-89. Hierbij wordt een positron en gammastraling van 909 keV uitgezonden. Doordat de 909 keV gamma 16 seconden later vervalt, verstoort dit de beeldvorming minimaal. Doordat een lage dosis genoeg is voor een goed PET beeld, is de stralingsbelasting voor de patiënt minimaal." Vosjan voegt daaraan toe dat tegenwoordig gewerkt wordt met hele krachtige scanners. "Er worden steeds gevoeligere PET-scanners ontwikkeld. We hebben hier in Amsterdam een total body PET scanner waarmee je zelfs na 30 dagen nog betrouwbare zirkoniumbeelden kan krijgen. Dan ben je ongeveer 10 halfwaardetijden verder, maar de detectoren zijn zo krachtig dat je nog steeds kan zien waar het zirkonium en dus het antilichaam zich in het lichaam bevindt."

### Euromuntjes

Zr-89 biedt mogelijkheden om antilichamen op hun reis door het lichaam

te volgen. Vugts: "Antilichamen zijn grote moleculen en hebben een hele langzame verdeling over het lichaam en als je dan een isotoop gebruikt met een korte halfwaardetijd, dan is de radioactiviteit al vervallen voor je in staat bent om tot goede beeldvorming te komen." Amerikanen werken met koper-64 dat een halfwaardetijd heeft van iets meer dan 12 uur. "Dat betekent dat je dan veel meer radioactiviteit nodig hebt om over de periode van een paar dagen tot een goede beeldvorming te komen." Het basismateriaal dat BV Cyclotron VU gebruikt om het werkzame medische isotoop zirkonium-89 (Zr-89) mee te maken is yttrium-89. Vosjan: "Yttrium is makkelijk verkrijgbaar, het is stabiel en heeft geen verrijking nodig. Wij kopen het kant-en-klaar in de vorm van een soort dunne euromuntjes en vervolgens bestralen wij het in het cyclotron met protonen. Dit zorgt voor een (p,n)-reactie op het target, waarbij het yttrium atoom een proton opneemt en er een neutron uitgaat. Dit levert vervolgens het radioactieve Zr-89 op." Het bestralen van een target neemt ongeveer 5 uur in beslag en resulteert na verwerking in voldoende Zr-89 om alle klanten van

BV Cyclotron VU in Nederland, Europa, Australië, Azië en elders te bedienen. Vosjan: "De vuistregel is: de actieradius van een medische isotoop is een halfwaardetijd. Dus we kunnen in principe de hele wereld van Zr-89 voorzien." Voor de verwerking maakt Vosjan gebruik van een soort 'buisenpost' waarmee het Yttrium schijfje met Zr-89 in een kleine container vanuit de kelder waar het cyclotron staat opgesteld naar het lab wordt geschoten. "In het lab lossen we het schijfje geheel op in zoutzuur. Dan volgen een aantal zuiveringsstappen waarbij we gebruikmaken van een door onszelf ontworpen kolom. Alle onzuiverheden wassen we eruit, waardoor alleen het Zr-89 achterblijft. Bij de laatste stap elueren we het zuivere Zr-89 eraf met oxaalzuur", licht Vosjan toe. Het resultaat is een volume van 2 milliliter zirkoniumoxalaat.

### DFO-star

Het radiologisch medicijn bestaat uit drie componenten: de medische isotoop – in dit geval Zr-89, het omhulsel, de inkapseling (chelator) van dit isotoop die voor de koppeling (labeling) moet zorgen met het antilichaam. Het zijn stappen die snel

➤ Medewerkers in het Zr-89 GMP-lab, in de cleanroom van BV Cyclotron VU, waar het Zr-89 opgewerkt en gezuiverd wordt voordat het op transport gaat naar de klanten



© BV Cyclotron VU



worden genomen. Vugts: “’s Ochtends starten met de koppeling van de chelator met het antilichaam, in de middag volgt de labeling met Zr-89; alles op een dag.” De meest gebruikte chelator is deferoxamine (DFO) dat onder de merknaam Desferal bekend is. Helemaal vlekkeloos is de binding tussen de chelator en de isotoop niet. “We zagen bij proefdieren dat er soms sprake was van opname van het Zr-89 in het bot. Dat betekent dat wanneer het zirkonium loslaat van het DFO het dus op een locatie terecht komt waar we het niet willen hebben.” Dit was voor Vugts een reden om met haar team op zoek te gaan naar een nieuwe chelator die meer zekerheid bood dat de binding in het lichaam stand zou houden. “Ik kan rustig zeggen dat ik er trots op ben dat we dat met de ontwikkeling van DFO-star voor elkaar hebben gekregen”, aldus Vugts, die eraan toevoegt dat toxiciteitstudies hebben aangetoond dat de verbeterde chelator veilig te gebruiken is.

## Neurologisch onderzoek

Een nieuw onderzoek betreft de inzet van Zr-89 bij neurologische aandoeningen zoals de ziekte van Alzheimer. De moeilijkheid daarbij is om door de bloed-hersenbarrière te komen. Vugts: “Dat lukt niet automatisch, dus je bent genoodzaakt om de antilichamen, de nieuwste geneesmiddelen op dit moment in ontwikkeling, er actief overheen te transporteren.” Het idee is om een receptor te gebruiken die op de bloed-hersenbarrière voorkomt, die receptor een beetje te misleiden, zodat er geen complete hechting plaatsvindt. Hierdoor kan de combinatie zirkonium-chelator-antilichaam er met een elegante list overheen worden geleid. Vugts: “Wat we in een proefopstelling zagen is dat dit met het ‘gewone’ DFO niet lukte, maar met onze DFO-star wel, en we zo het antilichaam zagen ophopen in de plaques, die kenmerkend zijn voor Alzheimer.” Vugts hoopt op korte termijn de nieuwe combinatie in te kunnen zetten bij Alzheimerpatiënten.

## One Stop Shop

“De onderzoeken naar de veiligheid van DFO-star in combinatie met de bevindingen van lopende onderzoeken en de positieve onderzoeksresultaten van afgeronde studies van de combinatie zirkonium-DFO-star-antilichaam hebben ertoe geleid dat DFO-star op dit moment onze eerste keuze chelator is.” Over de afgelopen jaren heeft het team van Vugts al meer dan vijftig antilichamen gelabeld voor klinische studies, eerst met DFO en nu met DFO-star als chelator. Vugts: “Die ontvangen wij van de grote farmaceutische bedrijven zoals Roche, AstraZeneca en Novartis.” Een bijkomend voordeel voor de bedrijven is, dat het hele proces zich in één gebouw afspeelt. Het Zr-89 wordt in de kelder geproduceerd van het Imaging Center. Het lab van Vugts bevindt zich op de derde verdieping en op de begane grond en eerste verdieping zijn de scanners. Vosjan: “Wij kunnen het complete pakket verzorgen. Het is een One Stop Shop voor de farmaceutische bedrijven.” Vugts voegt

daaraan toe dat haar afdeling bovendien over een eigen werkplaats beschikt waar ze zelf de apparaten kunnen maken die ze nodig hebben. “Dat is op zich uniek, omdat de meeste onderzoeksgroepen zijn aangewezen op commercieel verkrijgbare syntheseapparatuur.”

## Onderzoek naar werkzaamheid van medicijnen

Door de ontwikkeling van meer gevoelige PET-scanners kan radiologische beeldvorming ook bij niet-oncologische patiënten worden ingezet. Vugts: “Bij oncologische toepassingen maken we gebruik van een dosis van 37 megabecquerel. Bij de nieuwe geavanceerde scanners kan je de dosis verlagen tot 10 of zelfs 5 megabecquerel om goede beelden te krijgen bij toepassingsgebieden die voorheen onmogelijk leken.” Vosjan: “Met een paar milligram van het gelabelde antilichaam, krijgen we een heel goed beeld van waar

➤ Dit is de KIUBE Cyclone waar BV Cyclotron VU onder andere Zr-89 mee kan produceren.





© Daniëlle Vugts

✦ *Daniëlle Vugts, hoogleraar VU Amsterdam: "Waar ik me in de komende jaren op wil focussen, is dat we niet alleen antilichamen in beeld kunnen brengen, maar de techniek ook kunnen aanwenden voor celtherapie."*

het antilichaam in de patiënt naartoe gaat. In het verleden waren er hele dure antilichaamtherapieën van bijvoorbeeld 100.000 euro, waar – en dat bleek pas na enkele maanden – maar 20 tot 30 procent van de patiënten baat bij had. Nu kan je dus van tevoren een scan laten maken die zo'n 2.000 euro kost, en dan weet je meteen of de patiënt baat gaat hebben van de therapie, omdat je kan zien dat het antilichaam bij de tumor terecht komt." Vugts: "In een vroege fase klinische studies wordt vooral gekeken naar de veiligheid van een medicijn. Wij focussen nu met name op het de-risken van de geneesmiddelenontwikkeling in

deze vroege fase klinische studies door te kijken of een nieuw medicijn daadwerkelijk daar komt waar het zou moeten komen. Er wordt zoveel ontwikkeld waarvan pas in een veel later stadium blijkt dat het al dan niet effectief is voor een bepaald deel van de patiënten. Met de nieuwe aanpak met Zr-89 kan je heel gericht de niche aanwijzen waarin een bepaald geneesmiddel wel werkzaam is." De enige manier om zeker te weten of een medicijn werkzaam is, is door te kijken waar het zich bevindt in het lichaam en of het aankomt op de plek waar het voor is bedoeld. De ontwikkeling van nieuwe chelatoren en medicijnen is dus niet alleen in het belang

van de patiënt, maar kan ook een bijdrage leveren aan het betaalbaar houden van de gezondheidszorg.

## Met enige scepsis ontvangen

Vugts benadrukt dat het hele proces in Amsterdam is ontwikkeld. "Nadat we op het lab de stappen hadden gezet, zagen we dat Zr-89 een commercieel potentieel had en is het door BV Cyclotron VU overgenomen." Aanvankelijk werd er door de buitenwereld sceptisch gereageerd. Vosjan: "Vooral de Amerikanen gingen ervan uit dat ze over betere isotopen beschikten, maar toen de eerste publicaties positief uitpakten, begonnen de meningen te draaien." Er zijn op dit moment zelfs al een paar concurrenten actief, maar Vosjan ziet dat niet als een gevaar. "Ik vind dat alleen maar mooi, want dat geeft ook aan dat we niet op het verkeerde paard hebben gewed, zoals door velen in het begin werd gedacht." Binnen Europa is BV Cyclotron VU de enige commerciële producent. In de VS zijn er wel al een paar productiefaciliteiten.

## Toekomst

Vugts: "Waar ik me in de komende jaren op wil focussen, is dat we niet alleen antilichamen in beeld kunnen brengen, maar de techniek ook kunnen aanwenden voor celtherapie. Dat zorgt natuurlijk wel voor de nodige complexiteit, omdat het levende cellen betreft." Daarnaast is ook de neurologie een deelgebied waar Vugts zich de komende jaren in toenemende mate op wil richten. Als voorbeeld geeft ze de geneesmiddelen tegen Alzheimer die in Amerika op de markt kwamen, maar in Europa niet vanwege de bijwerkingen bij een deel van de patiënten. Vugts: "Het is mooi als je de diagnose kan stellen, maar dat moet eigenlijk hand-in-hand gaan met een passend geneesmiddel. Ik denk dat we met onze techniek op de goede weg zijn om die combinatie te maken. Want naast je diagnose wil je natuurlijk ook weten bij wie het betreffende geneesmiddel een kans maakt." **K**

*Menno Jelgersma*

# Promotie Thomas Dumaire aan TU Delft

**O**p 6 september heeft dr. Thomas Dumaire zijn proefschrift verdedigd aan TU Delft met prof. dr. Rudy Konings, dr. Anna Smith en dr. Martin Rohde als promotoren. Zijn onderzoek ging over de chemie en fysica van splijtingsproducten en corrosieproducten in gesmolten zout reactoren (MSR) en draagt bij tot het brede inzicht in essentiële aspecten van de veiligheid en de haalbaarheid van MSR's.

De flexibiliteit van de MSR maakt verschillende opties met een spectrum van langzame of snelle neutronen mogelijk, kan verschillende brandstoffen benutten afhankelijk van de beschikbare bronnen, en kan worden ontworpen met verschillende vermogens, van een paar MW tot 3.000 MW. Eén van de belangrijkste doelstellingen is het gebruik van een thermodynamische benadering om het effect van de splijtings- en corrosieproducten op het gedrag van het splijtstofzout te beschrijven en dat vervolgens te combineren met de studie om bepaalde splijtingsproducten in de reactorkern te beheersen en te verwijderen.

Het inleidende hoofdstuk beschrijft het doel van dit proefschrift en de historische achtergrond van de ontwikkeling van de MSR vanaf de jaren vijftig tot nu. Het tweede hoofdstuk beschrijft de experimenteel

bepaalde invloed van splijtingsproducten op de thermodynamische eigenschappen van de referentiebrandstof van de Molten Salt Fast Reactor (LiF ThF<sub>4</sub> UF<sub>4</sub>).

In het derde hoofdstuk worden de thermodynamische eigenschappen van ZrF<sub>4</sub> en BaF<sub>2</sub> in gesmolten LiF bestudeerd. Er zijn nieuwe experimentele gegevens verzameld in de systemen LiF BaF<sub>2</sub> en LiF ZrF<sub>4</sub> met behulp van Differential Scanning Calorimetrie (DSC). Berekeningen met modellen bevestigen de stabiliteit van een groot deel van de tussenliggende verbindingen in het LiF BaF<sub>2</sub> ZrF<sub>4</sub> zout bij de minimale bedrijfstemperatuur van 873 K.

Het vierde hoofdstuk van dit proefschrift richt zich op de afscheiding van metaaldeeltjes met behulp van heliumbellen. Deze bellen moeten zowel gasvormige splijtingsproducten (zoals Kr en Xe) als vaste deeltjes van de edele en

halfedele metalen in suspensie meevoeren en concentreren in een recuperatiesysteem. Het doel is om deze metalen uit de reactor te verwijderen zonder de stromingsdynamica van de reactor te verstoren. In dit werk is een experimentele opstelling ontworpen en gebouwd om de dynamica van de verwijdering van nanodeeltjes te volgen met behulp van laser geïnduceerde fluorescentiemetingen.

Het volgende deel van dit proefschrift richt zich op de corrosie van constructiematerialen die in contact zijn met het gesmolten zout. Corrosie is één van de meest kritieke punten voor het gebruik van de MSR op lange termijn, omdat het degradatie van de legering van het primaire circuit kan veroorzaken. Chroom is het belangrijkste corrosieproduct van Ni-gebaseerde legeringen die voor de insluiting van fluoridezouten worden overwogen.

In het vijfde hoofdstuk lag de nadruk op de fase-evenwichten van driewaardig CrF<sub>3</sub> in het FLiNaK-zout, terwijl het zesde hoofdstuk van dit proefschrift is gericht op tweewaardig chroom CrF<sub>2</sub>, de meest stabiele vorm van chroom in lithiumhoudende gesmolten zouten. Twee syntheseroutes van zuiver CrF<sub>2</sub> zijn onderzocht en de hoge zuiverheid van de producten is bevestigd door experimenteel onderzoek. Dit werk toont aan dat CrF<sub>2</sub> oplosbaar is in het LiF ThF<sub>4</sub> zout, waardoor de vorming van vaste verbindingen in de oplossing kan worden voorkomen.

Fluoridezouten zijn tot nu toe wereldwijd het meest uitgebreid onderzocht. Chloridezouten, in het bijzonder NaCl, zijn een interessant alternatief voor de ontwikkeling van reactoren met een snel neutronenspectrum. In het laatste en zevende hoofdstuk is een studie uitgevoerd naar het thermodynamische gedrag van NaCl ThCl<sub>4</sub> PuCl<sub>3</sub>. Uit het onderzoek blijkt dat dit zout veelbelovende thermodynamische eigenschappen heeft. Samenvattend draagt dit onderzoek bij tot het brede inzicht in essentiële aspecten van de veiligheid en de haalbaarheid van MSR's. Het proefschrift kan worden gedownload via de TU Delft repository website. **K**



© TU Delft

➤ De kersverse doctor Thomas Dumaire temidden van zijn promotoren en commissieleden.

Jan Leen Kloosterman, professor of nuclear reactor physics, TU Delft



# Ambitueus en realistisch: de SMR-actieagenda van VVD en CDA

**V**VD en CDA willen dat er meer werk wordt gemaakt van de bouw van kleine kerncentrales (Small Modular Reactors, of SMR's) in Nederland. De ontwikkelingen in Nederland gaan, ondanks de belangrijke stappen die het vorige kabinet heeft gezet, niet snel genoeg volgens hen. Daarom presenteerden Henri Bontenbal (CDA) en Silvio Erkens (VVD) begin november de SMR-actieagenda: Maak werk van het bouwen van kleine kerncentrales in Nederland.

Bontenbal en Erkens stellen dat Nederland zelfs achterloopt ten opzichte van andere Europese landen door 2040 als realisatiedatum aan te houden voor Small Modular Reactors (SMR's). Ze tonen in de actieagenda aan dat kleine reactoren ook voor die tijd al een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de CO<sub>2</sub>-reductie en bovendien goed zijn voor de Nederlandse maakindustrie. Het voorstel is dan ook om een ambitieus en realistisch doel voor ogen te houden: vóór 2035 staat er een SMR in Nederland. In de actieagenda worden vier actielijnen uitgewerkt, compleet met concrete voorstellen.

## Actielijn 1:

**Formuleer een concreet doel voor SMR's - vóór 2035 een SMR in Nederland.**

Maak Nederland een aantrekkelijke plek voor het bouwen van een SMR door private initiatieven te faciliteren en zorg voor één loket binnen het ministerie van Klimaat en Groene Groei, waar zowel provincies als initiatiefnemers terecht kunnen voor ondersteuning bij een concrete aanvraag en planontwikkeling. Start een consultatie bij de industrieclusters over de interesse vanuit de industrie in toepassing van SMR's

en neem SMR's hierbij mee als optie bij de maatwerkafspraken.

## Actielijn 2:

**Zet in op nucleaire industriepolitiek en een eigen nucleaire industrie.**

Bontenbal en Erkens benadrukken dat Nederland de kennis, het talent en de infrastructuur in huis heeft om een cruciale rol te spelen in de groeiende nucleaire markt, zowel nationaal als mondiaal. Ze willen hierbij focussen op ten minste de volgende drie componenten: het versterken en uitbreiden van onze nucleaire kennisinfrastructuur, investeren in arbeidspotentieel en het opzetten van een nucleaire waardeketen. Ook moet worden ingezet op het betrekken van het Nederlandse bedrijfsleven bij de bouw van SMR's. Het voorstel is om een SMR-routekaart 2050 op te stellen voor Nederland en het aanbod nucleaire opleidingen en trainingsprogramma's uit te breiden door dit onderdeel van het actieplan Groene en Digitale Banen te maken.

## Actielijn 3:

**Investeer in onderzoek en innovatie en wordt niet afhankelijk van buitenlandse kennis.**

Al in 2022 is de motie Erkens-Dassen

32645-104 aangenomen, waarin het kabinet werd verzocht om voorafgaand aan 1 april 2023 kernenergie toe te voegen aan de topsector Energie. Dit is echter nog steeds niet gebeurd. Het is daarom van belang dat kernenergie met spoed onderdeel moet worden van de Topsector Energie. Vertaal de ambitie voor realisatie van een SMR voor 2035 zo snel mogelijk door naar een concrete kennisagenda. Ook moet het geld voor de versterking van de nucleaire kennisinfrastructuur en voor ondersteuning van de ontwikkeling van SMR's zo spoedig mogelijk worden ingezet voor specifieke doeleinden. Besteed in studies en plannen, zoals de scenariostudies van TNO, expliciet aandacht aan de systeemrol van SMR's met de productie van elektriciteit, waterstof en warmte en de impact van SMR's op netcongestie. Ook wordt in de agenda de Nederlandse overheid opgeroepen om te investeren in Nederlandse bedrijven zoals Thorizon.

## Actielijn 4:

**Vorm een Europese kopgroep voor de uitrol van SMR's.**

Binnen de Europese Unie zijn er verschillende allianties en werkgroepen actief op het gebied van SMR-ontwikkeling. Nederland doet hier echter op dit moment niet aan mee. Het voorstel is dan ook om een Europese, nucleaire, kopgroep te vormen samen met o.a. Frankrijk, Roemenië, Polen, Tsjechië, Zweden en het VK, zodat de landen van elkaar kunnen leren en samenwerken. Op die manier kan er betere worden geconcurrereerd op internationaal niveau. Verder moet worden gekeken naar de mogelijkheid om binnen de EU een Kernenergie-Unie op te zetten en zou het ministerie van Klimaat en Groene Groei aan moeten sluiten bij de Industriële Alliantie voor SMR's van de EU. **K**



# Nucleaire Notities

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

De herfst is voorbij en de wintermaanden gaan van start. Bij ons in huis traditioneel verwelkomd met zelfgebakken appeltaart, kruidnootjes en speculaas. En terwijl de kamer langzaam opwarmt met de geuren van appel, kaneel en nootmuskaat weet ik er toch weer een nucleaire quizvraag van te maken: wie weet wat het meest bestraalde item uit de kruidenlade is? Dat blijkt in dit geval kaneel te zijn. Kaneel is een specerij die wordt verkregen uit de binnenbast van verschillende boomsoorten uit het geslacht cinnamomum. De kaneelboom groeit alleen in een tropisch klimaat en bij voorkeur aan de kust. De belangrijkste leveranciers zijn dan ook Indonesië, China, Vietnam en Sri Lanka waar de bast wordt geoogst door het los te snijden van de boom en in de open lucht te laten drogen tot de kenmerkende 'rolletjes'. Eenmaal gedroogd of gemalen kan het niet alleen de heerlijke geur en smaak overbrengen maar ook schadelijke ziektekiemen of schimmels. Stralingssterilisatie verwijdert bacteriën en andere schadelijke micro-organismen uit ons voedsel die we anders zouden binnenkrijgen met ons eten. Het heeft geen invloed op de kwaliteit van het voedsel en zorgt zelfs vaak voor een verlenging van houdbaarheid van het voedsel. Door de jaren heen hebben we talloze manieren gevonden om ons eten langer te bewaren. Zo snijden we witte kool in dunne repen en laten het

fermenteren met kruiden om het zo in de wintermaanden als zuurkool te kunnen eten. En we verwerken een overvloedige fruitoogst met behulp van geleï en suiker tot lang houdbare jam. Natuurlijk is het koelen, invriezen, drogen, roken, fermenteren, wekken of verhitten een



praktische en traditionele oplossing voor het bewaren van voedsel, maar soms schuilt het gevaar ergens anders, zeker bij het importeren van voedsel. Doordat wereldwijd het klimaat verandert, neemt het bereik van insectenplagen toe. Regio's waar ze eerst niet konden overleven worden bewoonbaar voor invasieve soorten

die milieus kunnen beschadigen en de landbouwproductie verwoesten. En in het ergste geval brengen ze nieuwe uitbraken van ziektes over. Verschillende soorten voedsel kunnen worden bestraald door ze kort bloot te stellen aan een radioactieve bron zoals kobalt-60 of cesium-137. Tegenwoordig wordt ook steeds vaker gebruik gemaakt van elektrisch aangedreven bronnen zoals elektronenbundels of röntgenstralen. Hoewel het proces parasieten en fungi die schadelijk zijn voor de mens, zoals salmonella, doodt en voortijdige rijping vertraagt, wordt het voedsel niet radioactief. Vergelijk het met een patiënt die een röntgenfoto laat maken: die is ook bestraald, maar gaat niet radioactief terug naar huis. Op dat vlak is er dus geen gevaar voor de volksgezondheid. Bovendien wordt nationaal en internationaal streng toezicht gehouden op naleving van de regels rondom stralingssterilisatie. Van de Nederlandse Gezondheidsraad tot de World Health Organisation en de International Atomic Energy Agency wordt doorlopend gekeken welk voedsel in aanmerking komt voor het proces en welke doses worden gebruikt. En zo kunnen wij hier in Nederland de wintermaanden blijven opluisteren met appeltaart en speculaas terwijl aan de andere kant van de wereld de kaneelverbouwende boer zijn oogst kan verkopen. **K**

Sarala Jelgersma



## SHINE en het UMCG ontvangen 10,5 miljoen euro subsidie voor de ontwikkeling van de medische isotoop terbium

**S**HINE Technologies en SHINE Europe hebben recent aangekondigd dat de Nederlandse overheid een substantieel subsidievoorstel heeft goedgekeurd om een plan te ontwikkelen voor de productie van vier terbiumisotopen voor gebruik in de nucleaire geneeskunde. De eigen productie van het startmateriaal voor deze medische isotopen vermindert de afhankelijkheid van Rusland op dit terrein.

Binnen het project wil SHINE Europe, samen met het Universitair Medisch Centrum Groningen (UMCG), alle technologieën en faciliteiten ontwikkelen en realiseren die nodig zijn om de hele toeleveringsketen voor op terbium gebaseerde nucleaire geneeskunde veilig te stellen. Dit betekent ook meer samenwerking met partners in de Europese Unie. De vraag om tot de ontwikkeling van terbiumisotopen te komen kwam volgens Harrie Buurlage, Managing Director SHINE Europe, niet van een van de partijen. "Het project is intrinsiek ontstaan door discussies tussen SHINE en UMCG-experts jaren geleden. Het is een co-creatie van het idee."

### Obstakels

De grondstof voor de productie van terbium is verrijkt gadolinium. De toelieferingen van verrijkt gadolinium is beperkt - het grootste deel komt ook nog eens uit Rusland - en een complexe verwerkingstechnologie behoren tot de huidige belemmeringen voor de productie van terbium. Deze obstakels kunnen worden opgelost door de productiemethoden van SHINE. Deze stellen SHINE in staat om een

verticaal geïntegreerde toeleveringsketen te hebben, van grondstofproductie tot cGMP-productzuivering. Buurlage: "We hebben de techniek in huis en zullen waarschijnlijk de eersten zijn die verrijkt gadolinium niet uit Rusland hoeven te kopen."

### Theranostics

Volgens Buurlage gaat het bij het onderzoek om de verrijking van meerdere gadolinium-isotopen en de productie van vier medische radioactieve isotopen met massanummers 149, 152, 155 en 161. Alle vier zijn veelbelovend voor gebruik in verschillende gebieden van de nucleaire geneeskunde; hoewel voor al deze isotopen geldt dat ze zich nog in de onderzoeksfase bevinden. SHINE Europe zal naast terbium ook molybdeen en lutetium in Veendam gaan produceren. Molybdeen wordt in de medische praktijk veelvuldig gebruikt voor diagnostische doeleinden. Terbium-161 en lutetium-177 zijn vergelijkbare isotopen en worden ingezet voor theranostische toepassingen. Theranostics combineert radionuclidebeeldvorming en bestralingstherapie. Terbium-161 en

lutetium-177 zijn dus door hun eigenschappen in staat om tumoren te bestrijden. Wat terbium daarnaast zo uniek maakt, is dat er veel meer laag-energetische elektronen vrijkomen dan bij lutetium. Wanneer terbium-161 vervalt, zendt het per bètadeeltje ook laag energetische elektronen uit. De afstand die deze elektronen afleggen, ofwel de dracht, is zeer klein en de schade die ze veroorzaken is dan ook zeer lokaal, waardoor vermoedelijk ook micrometastasen zijn te behandelen zonder dat omliggend gezond weefsel beschadigd raakt.

### Toegang tot veelbelovende therapieën

"De ontwikkeling van een nieuw toevoersysteem voor op terbium gebaseerde geneesmiddelen zal een nieuwe belangrijke mijlpaal zijn in het bieden van toegang aan patiënten tot veelbelovende nieuwe therapieën om de voortdurende strijd tegen kanker te ondersteunen", zei Buurlage. Voordat deze isotopen in de patiëntenzorg toegepast kunnen worden, moet nog veel onderzoek plaatsvinden, wat nog zeker jaren gaat duren. Het UMCG neemt een groot deel van dit onderzoek voor zijn rekening. Bovendien moet de eerste schop nog in de grond voor de bouw van de SHINE-installaties in Veendam. Buurlage: "De aanvraag voor de eerste installatie voor de productie van therapeutische isotopen wordt zeer binnenkort ingediend bij de ANVS." De final-draft ligt al bij de ANVS ter beoordeling. SHINE Europe verwacht dat de faciliteit in de komende jaren in bedrijf zal worden genomen. Dat neemt overigens niet weg dat het gezamenlijke onderzoek al van start kan gaan. Buurlage: "De ontwikkelfase vindt plaats in de bestaande SHINE-infrastructuur in Janesville, Wisconsin en bij het UMCG Groningen. De commerciële productie van twee van de vier terbium-isotopen (Tb-155 en Tb-161) zal plaatsvinden in Veendam in de nieuw te bouwen productiefaciliteit voor therapie-isotopen (centrale productie)." De andere medische terbium-isotopen hebben een korte halveringstijd en zullen dan ook dicht bij de ziekenhuizen gemaakt moeten worden (decentrale productie). **K**



## Science Day 2024 bij TU Delft

**O**p een zonovergoten zondag in november 2024 veranderde de TU Delft Campus in een waar wetenschapsparadijs voor kinderen. Op vier locaties kregen kinderen en hun begeleiders de kans om kennis te maken met onderzoek en innovatie in de meest uiteenlopende disciplines: van een drone besturen tot zelf stof weven, van een raket bouwen tot en met straling zien en meten.

Vanuit het TU Delft Reactor Institute (RID) waren de collega's van TU Delfts Stralingsonderwijs en Stralingsbeschermingseenheid aanwezig. Ze hebben grote groepen kinderen en volwassenen laten zien wat straling is en wat je ermee kan doen. *Met Straling: kan je dat zien, meten en blokkeren?* gaven ze uitleg aan wat straling is, en werden alfa-, bèta- en gammadeeltjes zichtbaar gemaakt met de 'wolkenkamer'.

Ook hadden ze apparatuur bij zich waarmee je kan zien en horen (!) dat er actieve deeltjes zijn, en lieten ze onder andere zien hoe je het verschil kan meten tussen verschillende soorten 'gewoon' zout. Daarnaast was te zien hoe je veilig met straling kan werken en welke soorten straling met welke middelen kunnen worden geblokkeerd. De term loodschort begrepen de kinderen direct toen ze een loodschort aankregen!

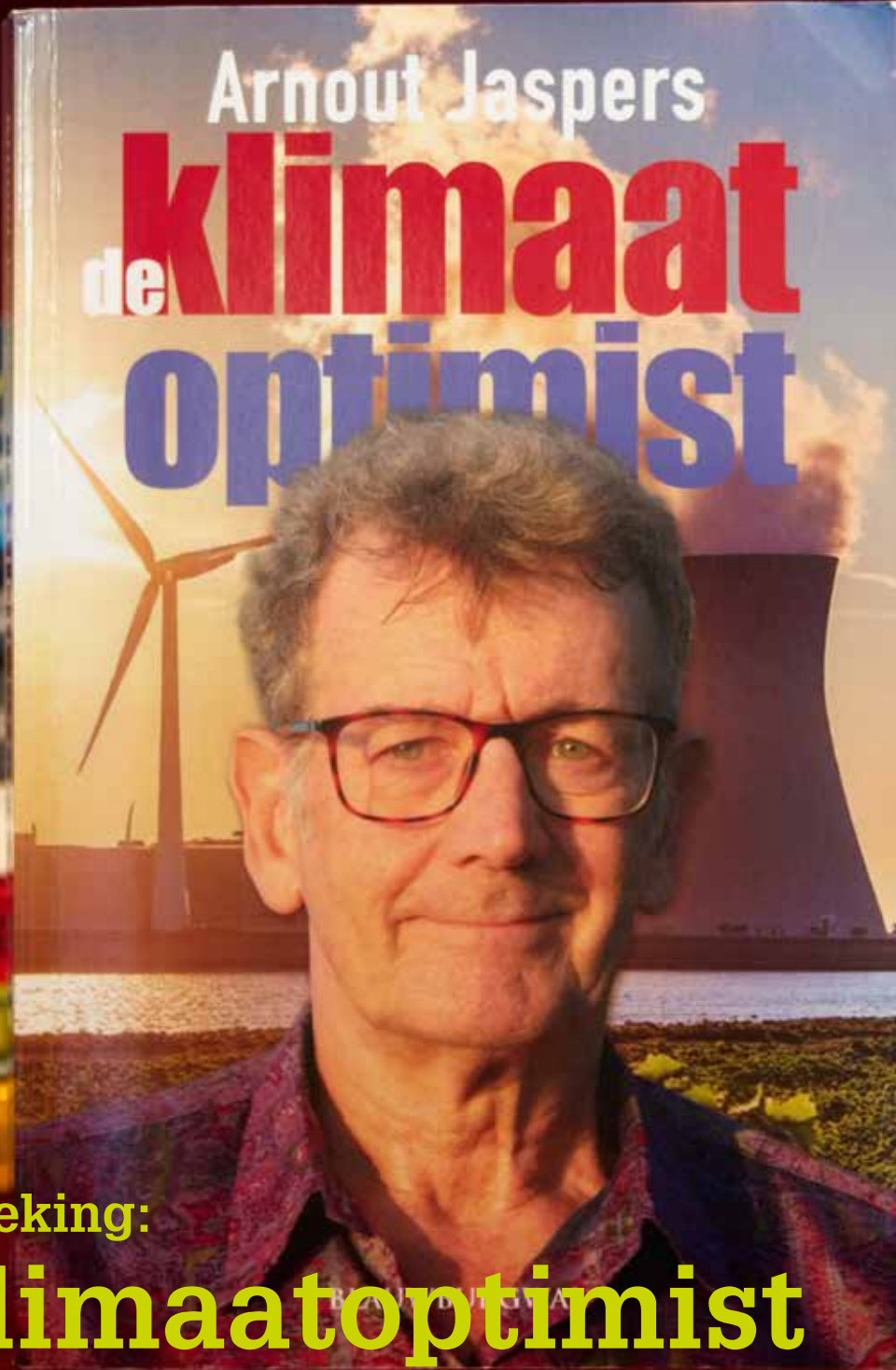
Aan de hand van 'het blauwe licht' werd uitleg gegeven over hoe de RID-medewerkers onderzoek doen met de reactor en deze inzetten voor materiaalonderzoek met toepassingen voor energie, de behandeling van kanker, het ontwikkelen van vleesvervangers en de analyse van voorwerpen. Femke Werkman, TU Delft Reactor Institute: "We kijken terug op een zeer goed bezochte dag waarbij we hopen dat we deze potentiële wetenschappers voor dit mooie thema hebben kunnen inspireren!" **K**





© Ron Borghouts in opdracht van TU Delft





Boekbespreking:

# De Klimaatoptimist

**R**ecent verscheen het boek *De Klimaatoptimist* van natuurkundige en wetenschapsjournalist Arnout Jaspers. Op de flaptekst achter op het boek staat de centrale, én optimistische boodschap: Veilig en welvarend achter de dijken. Kunnen onze kinderen en kleinkinderen in 2100 nog wel in Nederland wonen? Is het merendeel van de Nederlandse bevolking tegen die tijd klimaatvluchteling geworden? Jaspers betoogt in zijn boek dat de energietransitie waar we voor staan, zonder 'groene' taboes, ervoor zal zorgen dat we ook in 2050 en 2100 nog op vakantie kunnen en daadwerkelijk 'veilig en welvarend achter de dijken' kunnen blijven wonen.

Het boek bestaat uit twee delen. In het eerste deel beschrijft Jaspers hoe de energietransitie dreigt spaak te lopen en gaat ook in op wat er dan wel zou moeten gebeuren. Hij geeft zelf al aan dat de getallen waarmee hij schermt met een korrel zout zouden moeten worden genomen. Dat doet hij omdat ook wanneer er zich volgens hem hele teams van experts over zouden buigen, de toekomst op detailniveau nooit te voorspellen is en al helemaal niet als het gaat om de kosten van de energietransitie. In deel twee richt Jaspers zijn pijlen op de



wordt voorgesteld. Netto nul in 2050 is volgens hem een politieke leuze zonder wetenschappelijke basis. De Nederlandse mitigatie-inspanning van 28 miljard euro zal geen merkbaar effect hebben op het klimaat en tot een vermindering in de opwarming van de aarde leiden van 0,000036 °C. Die investering is ook nog eens niet in verhouding met de CO<sub>2</sub>-uitstoot van Nederland die 1/260ste van de mondiale uitstoot bedraagt. De EU is verantwoordelijk voor 7 procent van de mondiale uitstoot. Gaan alle Europese landen de norm in 2050 halen? Waarschijnlijk niet. Het boeit volgens Jaspers India en China bovendien helemaal niks wat wij hier doen, en zij hebben al te kennen gegeven dat ze 2050 niet gaan halen en zeker 20 tot 30 jaar meer tijd nodig hebben.

Voor zover we ons dan wel op mitigatie storten; doe het verstandig en bouw niet de hele Noordzee vol met windturbines, maar ga aan de slag en bouw kerncentrales. Begin bij het vervangen van kolencentrales door kerncentrales en gebruik bewezen technologie zoals die van de European Pressurized Reactor (EPR). Bovendien leveren kerncentrales voor 95% de stroom van het opgestelde vermogen. Voor zon is dat 10% en voor wind op zee ongeveer 50%, die ze ook nog eens 'intermitterend' produceren. Het idee dat leeft, is dat de stroom van wind en zon tijdens hun overtollige productie kan worden aangewend voor de productie van waterstof. Jaspers laat zien dat de waterstofeconomie hiermee absoluut niet van de grond kan komen. Bij mitigatie hoort ook: de zware industrie moet weg uit Nederland, anders halen we de doelen niet. Gaan ze in het buitenland dan wel groen staal produceren en wat betekent dat voor de welvaart? "En worden alle ontslagen werknemers uit de zware industrie dan eco-coach?", vraagt Jaspers zich af. Samenvattend: Zet kernenergie in voor stroom en warmte. Bouw de verdere uitrol van wind en zon af. Een redelijk aandeel zon, wind en echte biomassa zal de totale mix goedkoper

maken. Zet groene waterstof in bij de productie van staal en kunstmest en zet CCS in om industriële processen te vergroenen.

Als het geld dat we steken in mitigatie geen wezenlijk vooruitzicht geeft op droge voeten op termijn, moeten we meer inzetten op adaptatie, de aanpassing aan de gevolgen van klimaatverandering, zoals hogere dijken en meer ruimte voor rivieren. Jaspers relateert de doemverhalen, maar ontkent niet dat extreem weer het gevolg is van klimaatverandering. Komen bepaalde overstromingen eens per honderd jaar voor? Die zullen vaker voorkomen, maar het is zeker geen reden volgens hem om te spreken van een 'klimaatontwrichting'. Ik kan mij echter niet aan de indruk onttrekken dat de 'weersextremen' wel degelijk ontwrichtend zijn. Nederland is klimaatbestendig te maken denkt Jaspers. Dat vergt politieke wil en noodzaakt tot harde beslissingen en het resoluut ingaan tegen de obsessie met 'hernieuwbare energie' en de 'koploper van het klimaat' te willen zijn. Het boek is enerzijds een aanrader voor iedereen die een beetje moe wordt van de doemscenario's en wel eens een optimistische boodschap kan gebruiken. Anderzijds moet je er ook rekening mee houden dat Jaspers overal met een gestrekt been ingaat, wat weinig ruimte overlaat voor nuance. Onze kinderen en kleinkinderen zullen volgens hem ook met het vliegtuig op vakantie kunnen gaan. Over of dat ook echt kan en/of dat wenselijk is, zegt Jaspers niks, maar als je je dan toch op adaptatie richt, zou ik wel een suggestie willen doen. **K**

*Menno Jelgersma*

---

**Boek:** De Klimaatoptimist

**Auteur:** Arnout Jaspers

**Paperback:** 222 pagina's

**Prijs:** € 23,50

**EON:** 9789493340107

**Uitgeverij:** Blauwburgwal

---

'klimaatalarmisten', die aanpassing aan de verandering van het klimaat afwijzen en zich alleen op mitigatie richten.

Wat Jaspers helder naar voren weet te brengen en wat uiteindelijk ook het boek zijn waarde geeft omdat het een andere kijk op de materie biedt, is zijn pleidooi voor adaptatie, aanpassen aan de klimaatverandering in plaats van mitigatie, zo snel mogelijk naar nul uitstoot. Volgens Jaspers is mitigatie op zich niet slecht, maar wel in de mate waarin dat nu



➤ Arnold Scheele, simulator engineer bij de afdeling Training & Qualification en Bram Paul Jobse, CFO bij EPZ bij de simulator.

“Het ontwerp van de centrale is veilig, robuust en eenvoudig. Daar kunnen we op vertrouwen. Voor het maken van stroom is ook menselijk handelen nodig. Het combineren van goed onderhouden systemen en goed opgeleide mensen maakt dat wij de centrale veilig kunnen bedienen”, aldus EPZ. De mensen die hiervoor verantwoordelijk zijn, volgen eerst een uitgebreide opleiding voordat ze in de centrale aan het werk mogen. Om de kennis en de vaardigheden vervolgens up-to-date te houden, besteden de medewerkers gemiddeld 18 dagen per jaar aan trainingen en cursussen. Ze ontwikkelen hun kennis en vaardigheden niet alleen voor nu, maar ook voor later. Een groot deel van de opleiding en bijscholing bestaat uit simulatortrainingen. Die simulator, een

## EPZ krijgt eigen simulator

**I**n de Kerncentrale Borssele (KCB) wordt met een groot aantal complexe systemen en veiligheidsprocedures gewerkt. Het behouden van kennis en vaardigheden over deze systemen en procedures is essentieel voor het veilig bedienen van de centrale. Daarom worden medewerkers goed opgeleid en besteedt de eigenaar EPZ van de KCB veel tijd aan het ontwikkelen van de vaardigheden en de kennis van iedereen die in de centrale werkt.

exacte kopie van de regelzaal in Borssele, staat samen met nog een aantal andere simulatoren in Essen in Duitsland. “Omdat alle kerncentrales in Duitsland inmiddels zijn gesloten, worden ook hun simulatoren niet meer gebruikt. Om toch gebruik te kunnen blijven maken van onze simulator, is besloten om de simulator in 2024 van Essen naar Borssele te verhuizen.”

### Verhuizing

De simulator wordt geplaatst in een van de bestaande gebouwen op het EPZ-terrein. In dit gebouw stond eerst de regelzaal van de oude kolencentrale. Deze centrale is in 2019 afgebroken, maar het gebouw waarin de regelzaal van de kolencentrale zat, is blijven staan. “Voordat we de simulator in het gebouw konden installeren, moest er veel verbouwd worden. Dat konden we niet allemaal zelf. We hebben verschillende bedrijven ingehuurd om de ruimtes waar de simulator nu zit te verbouwen en in te richten voor de simulator.” De simulator bestaat voor een groot deel uit computersystemen. Voor deze systemen is een serverruimte ingericht waarin het besturingssysteem is geplaatst. Ook zijn er een kantine en een klaslokaal gemaakt. De wanden zijn geschilderd en er zijn airco's opgehangen zodat de medewerkers er goed bij zitten tijdens de trainingen. “We zijn begonnen met het verhuizen van de computersystemen van Essen naar Borssele. Deze konden we alvast installeren en testen, zodat we zeker

wisten dat die het zouden doen voordat de andere onderdelen zouden komen.” Dat liep voorspoedig en op 8 oktober is de simulator officieel geopend en in gebruik genomen.

De centrale wordt aangestuurd door de wachtploeg in de regelzaal. Hier zitten 24 uur per dag, 7 dagen per week, 4 mensen die verantwoordelijk zijn voor alles wat er in de centrale gebeurt. “We noemen hen wachtmedewerkers of wachten. Zij houden voortdurend toezicht op de centrale. Naast de basisopleiding die de wachten volgen, trainen zij twee keer per jaar op de regelzaalsimulator.” Ook andere medewerkers voor wie het relevant is, worden getraind op de simulator.

### Trainen op de simulator

Tijdens de simulatortrainingen worden situaties nagebootst die in de praktijk ook zouden kunnen plaatsvinden. “Je kunt hierbij denken aan storingen of andere incidenten. De wachtmedewerkers leren tijdens de training hoe ze daarmee om kunnen gaan zonder dat de veiligheid in het geding komt.” Daarnaast leren ze ook veel over zichzelf en over hun collega's. Hoe stressbestendig zijn ze in het geval van een ongeval of incident en hoe communiceren ze in dat soort situaties? “Zo zijn ze altijd voorbereid op onverwachte situaties. Als de simulator eenmaal draait, kunnen onze medewerkers 365 dagen per jaar trainen op ons eigen terrein.” **K**

# Radioactief afval efficiënter hergebruiken dankzij E.R.N.I.E. en B.E.R.T.

**O**m van de nucleaire industrie een duurzame sector te maken, zet het Belgische SCK CEN met het ANUBIS-project groots in op een aanhoudende vermindering van de hoeveelheid radioactief afval. Voor de grote hoeveelheid materialen, zoals bij de ontmanteling van nucleaire installaties, heeft SCK CEN sinds kort de beschikking over twee snelle en nauwkeurige meetsystemen, die zij E.R.N.I.E. en B.E.R.T. hebben genoemd.



➤ Sven Boden, karakteriseringsexpert bij SCK CEN

© SCK CEN

Dankzij het pionierswerk bij de ontmanteling van Belgische BR3-reactor, die in 1987 buiten gebruik werd gesteld, kan SCK CEN de expertise op het gebied van hergebruik en recyclage vergroten en die inzichten op internationaal niveau delen. Bij hergebruik gaat het om materiaal dat ongewijzigd een nieuw doel kan dienen. Er is sprake van recyclage wanneer het vrijgekomen materiaal wordt omgezet in iets anders. Aanvullend onderzoek is nodig om bepaalde leemten in de kennis op te vullen en de technologieën op het niveau te brengen van de huidige duurzaamheidsnormen. An Bielen, onderzoekster bij SCK CEN is expert in radiologische karakterisering en verantwoordelijk voor het ANUBIS-project: "Het project wil de nodige technologieën en competenties verder ontwikkelen om op een kostenefficiënte manier het hergebruik en de recyclage van materialen van toekomstige ontmantelingsactiviteiten te maximaliseren. Binnen het ANUBIS-werkpakket gerelateerd

aan de karakterisering en het vrijgeven van materialen is de samenwerking met een industriële partner essentieel voor de integratie van die ontwikkelingen." Daarom werd de samenwerking gezocht met de fabrikant en leverancier van detectiesystemen Ludlum GmbH. Dit bedrijf is gevestigd in Hamburg en distribueert, ontwikkelt, programmeert, produceert en onderhoudt apparaten voor het meten van straling op het gebied van besmetting en vrijgavemetingen voor de nucleaire industrie. Bielen: "Wij beschikken inmiddels over de HWM-550 en HWM-1800 van Ludlum GmbH, maar wij vonden die letterwoorden niet soepel klinken. Daarom hebben we ze respectievelijk E.R.N.I.E. (Efficient Release with Normal-sized Instrument Employing total gamma) en B.E.R.T. (Big monitor for Efficient Release with Total gamma) genoemd."

## Germaniumdetectoren

Bij de ontmanteling van de BR3 die

nu bijna gereed is, werd uiteraard gebruikgemaakt van meetsystemen. Sven Boden, karakteriseringsexpert bij SCK CEN legt uit dat het daarbij ging om karakteriseringsapparaten, die zijn gebaseerd op hoge resolutie gammaspectrometrie met behulp van germaniumdetectoren. "Die geven weliswaar een erg precieze meting, maar de grootte van die detectoren is beperkt. Bij het karakteriseren van grote volumes zijn ze daarom eigenlijk onvoldoende doeltreffend." E.R.N.I.E. en B.E.R.T. beschikken over meerdere volumineuze detectoren, die bovendien in 360 graden rondom het te meten materiaal zijn gepositioneerd. B.E.R.T. heeft een kamervolume van meer dan 1.800 liter en kan goederen meten tot 1.000 kilogram. Hij beschikt daarbij over 24 gammadetectoren. E.R.N.I.E. heeft 10 gammadetectoren en met de middelgrote monitor van Ludlum GmbH met een kamervolume van 550 liter kan het tot 600 kilogram materiaal per keer meten. De huidige meettoestellen met ➤





© SCK CEN

➤ Onderzoekster An Bielen, te midden van haar collega's: "We mikken op de zomer van 2025 om volledig klaar te zijn om de toestellen en installaties naar het nieuwe gebouw over te brengen."

germaniumdetectoren die worden ingezet voor de vrijgave van materialen hebben een meettijd van ongeveer dertig minuten nodig om tot een betrouwbare beslissing te komen. E.R.N.I.E. en B.E.R.T. doen dit in slechts één minuut, maar zijn daarbij minder nauwkeurig. Daardoor is de beslissingsgrens voor hergebruik en recyclage uiterst conservatief ingesteld. Die voorzichtigheid minimaliseert het risico op fouten, maar leidt ook tot een verminderde effectiviteit op het gebied van

duurzaamheid. Om E.R.N.I.E. en B.E.R.T. toch toekomstbestendig te maken, ontwikkelde SCK CEN daarom een nieuwe technologie die ze accurater maakt.

### Machine learning-algoritmes

Waarom kiest SCK CEN voor een techniek die in eerste instantie minder accuraat lijkt? Boden: "Dat klinkt inderdaad paradoxaal.

Met de 'oude' germaniumdetectoren kan je precies zeggen welke radionuclide je aan het meten bent. Als je geen idee hebt welke radionucliden je zult aantreffen, biedt een germaniumdetector dus een uitkomst. Maar als je met een ontmanteling bezig bent, weet je eigenlijk al heel goed om welke nucliden het gaat. Wat je dan vooral wil weten is om welke hoeveelheden het gaat. In ontmantelingsafval afkomstig van een reactor tref je bijvoorbeeld over het algemeen kobalt-60 en cesium-137 aan. Als je die met een germaniumdetector wil meten, moet je heel specifiek het lijnspectrum van de energie vaststellen." Dat vergt echter een hele lange data-acquisitietijd. E.R.N.I.E. en B.E.R.T. genereren daarentegen geen lijnen - maar een continuspectrum (geen foto-elektrische piek maar een Compton verstrooiing) aan de hand waarvan je kan vaststellen met welke radionucliden je te maken hebt. "Met behulp van de rekenmodellen kan je vervolgens heel nauwkeurig vaststellen met welke hoeveelheden kobalt en cesium je te maken hebt." Om de nauwkeurigheid van de meetresultaten te verbeteren, ontwikkelde SCK CEN een digitale kopie



© SCK CEN

➤ B.E.R.T. heeft een kamervolume van meer dan 1.800 liter en kan goederen meten tot 1.000 kilogram. Hij beschikt daarbij over 24 gammadetectoren.

van de meettoestellen. Boden: “Het is een virtuele weergave van het fysieke systeem. We voeren een grote hoeveelheid aan data in, waarmee we via machine learning-algoritmes patronen en relaties kunnen identificeren. Dat hielp ons de nauwkeurigheid van metingen te verbeteren binnen een breed toepassingsgebied.” Boden voegt toe dat de resultaten van de ontwikkelingen bij SCK CEN gedeeld worden met Ludlum GmbH, opdat zij die kunnen implementeren in hun meetsystemen.

toezichthouder Bel V gekwalificeerd en wordt momenteel routinematig gebruikt voor de vrijgave van materialen. De kwalificatie van de verbeterde versie, inclusief de digital twin en de machine learning-algoritmes, wordt binnenkort verwacht, en vormt een eerste stap naar efficiënter en accurater karakteriseren. In een volgende fase zal E.R.N.I.E. verder geoptimaliseerd worden voor complexere toepassingen en bijzondere

omstandigheden. Het is de bedoeling dat grote broer B.E.R.T. in de toekomst, net als E.R.N.I.E. Bel V gekwalificeerd wordt. “Maar zover zijn we nog niet,” vertelt Bielen: “B.E.R.T. moet eerst hetzelfde optimalisatietraject doorlopen en verbeterd worden om de nauwkeurigheid van de vrijgavemetingen te optimaliseren.” Naar verwachting zal B.E.R.T. in de zomer van 2026 volledig zijn gekwalificeerd. **K**

## De onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratiefaciliteit (RD&D)

Bielen: “We mikken op de zomer van 2025 om volledig klaar te zijn, zodat alle toestellen en installaties, die nu nog staan opgesteld in de voormalige turbinehal van de BR3-reactor, naar het nieuwe gebouw kunnen worden overgebracht.” Onder de te verplaatsen apparatuur bevinden zich uiteraard ook E.R.N.I.E. en B.E.R.T. Tot die tijd zal Boden tezamen met Bielen, die deel uitmaakt van zijn team, de materialen op de oude locatie karakteriseren en vrijgeven. E.R.N.I.E. is in zijn basisversie al door de

➤ E.R.N.I.E. heeft 10 gammadetectoren en met de middelgrote monitor van Ludlum GmbH met een kamervolume van 550 liter kan het tot 600 kilogram materiaal per keer meten.



## ANUBIS

Het SCK CEN-project ANUBIS richt zich op de duurzame ontmanteling van de Belgische kerncentrales. Het acroniem staat voor *Advancing Nuclear dismantling in Belgium through Improving Sustainability*. Hiertoe bouwt SCK CEN een onderzoeks-, ontwikkelings- en demonstratiefaciliteit (RD&D) met bijbehorende installaties om de innovatie van buitenbedrijfstellingspraktijken in België te ondersteunen. De ruwbouw is nu gereed en de faciliteit zal medio 2025 in gebruik worden genomen. De focus van het project ANUBIS op de duurzame ontwikkeling van de nucleaire industrie past niet alleen in de ambities van de EU, het betekent ook dat industriële spelers, zowel in België als daarbuiten, kunnen profiteren van de ervaringen die nu worden opgedaan. Het hoofddoel van ANUBIS is om de nodige technologieën en competenties te ontwikkelen om het hergebruik en de recyclage van materialen afkomstig van toekomstige buitenbedrijfstellingsoperaties van de Belgische kerncentrales op een kostenefficiënte manier te maximaliseren. Het ANUBIS-project eindigt midden 2026.

## BR3

De Europese Commissie selecteerde de Belgische reactor BR3, een Pressurized Water Reactor als pilotproject om de technische en economische haalbaarheid van een reactorontmanteling in reële omstandigheden aan te tonen. De ontmanteling bevindt zich in de laatste fase: het herstel van de site in haar oorspronkelijke staat. De expertise die SCK CEN dankzij de ontmanteling van BR3 heeft ontwikkeld, stelt het onderzoekscentrum nationaal en internationaal ter beschikking. Bovendien vormen die waardevolle inzichten een uitstekende leidraad bij het ontwerp van nieuwe nucleaire installaties. De ontmanteling van de Belgische prototype drukwaterreactor BR3 wordt gezien als een internationale referentie.





© Ron Borghouts in opdracht van TU Delft

➤ De openingshandeling van DELFINE: overhandiging van een speciale foto van de reactorkern van de TU Delft onderzoeksreactor aan de CEO van Urenco, Ad Louter.

# DELFINE officieel gestart

**O**p 17 oktober hebben TU Delft en Urenco de oprichting van DELFINE met een officieel moment bekrachtigd. DELFINE staat voor *Delft Excellent Laboratory Facilities for Innovation and Nuclear Education* en geeft bedrijven en particulieren de mogelijkheid om in het kader van Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen bij te dragen aan de opleiding van studenten op nucleair gebied. Bij de start van DELFINE waren naast de CEO van Urenco (Ad Louter) voor TU Delft de Rector Magnificus (prof. dr. ir. Tim van der Hagen), de voorzitter van het Universiteitsfonds (Jasper Peterich), de voorzitter van de onderzoeksafdeling Radiation Science and Technology (prof. dr. ir. Jan Leen Kloosterman) en enkele studenten aanwezig.

DELFINE is een Fonds op Naam en biedt de deelnemers de mogelijkheid bij te dragen aan de opleiding van studenten op een nucleair onderwerp, door middel van investeringen en andere uitgaven voor studenten, promovendi en postdocs. Ook kunnen studenten met dit budget internationale workshops of zomerscholen bijwonen. Dit zal leiden tot meer en beteropgeleide ingenieurs op nucleair gebied. Bedrijven of personen die geïnteresseerd zijn om hieraan deel te nemen kunnen contact opnemen met Jan Leen Kloosterman. **K**

Studenten aan TU Delft kunnen zich voor ruim de helft van hun masteropleiding specialiseren in een nucleair onderwerp gericht op kernenergie of medische toepassingen van straling en isotopen. Door de toegenomen belangstelling

voor deze twee nucleaire toepassingen neemt het aantal studenten toe, wat in de nabije toekomst nog versterkt zal gaan worden door de uitbreiding van het aantal leerstoelen aan TU Delft op nucleair gebied.

Zie voor meer informatie:







## Onzekere tijden

**D**e dagen worden korter, de temperatuur neemt af. Geen wonder dat er mensen zijn die wat somberder van aard worden en de toestand in de wereld overdenken.

Ik las in de krant dat de firma EP NL haar 800 MW gascentrale Rijnmond 1 wil sluiten, als de Nederlandse overheid niet wil garanderen dat er een vergoeding komt voor elektriciteit die op afroep beschikbaar is, ook als de centrale niet draait.

In dezelfde krant stond dat de raffinaderij van Gunvor in Rotterdam tijdelijk is stilgelegd. En bij het Duitse staalbedrijf ThyssenKrupp verdwijnen vele duizenden banen. En zo kan ik nog vele nieuwsberichten vinden, die ons een somber beeld schetsen: we stevenen niet af op een economie van groene groei, maar van fossiele krimp.

En ook zag ik op televisie de serie “Wat houdt ons tegen?” van het Humanistisch Verbond. Als je die bekijkt, zou je het idee kunnen krijgen dat je met vrij eenvoudige maatregelen (gedragsverandering, “energiehubs”, ...) die groene groei wél zou kunnen bereiken.

Los daarvan is er een nieuw paradigma in ons land aan het ontstaan: we moeten weerbaarder worden. Wat als de stroom uitvalt, of er een overstroming is, of allebei? Wat als Russische of Chinese schepen onze internet- of stroomkabels op zee kapot maken, of dat nu per ongeluk is of expres? Voor Zweden, Noorwegen en Finland is dat een realistisch scenario geworden. En daar wil men niet willekeurig waar windparken in de Oostzee hebben, omdat men anders de kruisraketten niet ziet aankomen.

Mijn opa en oma (beiden bouwjaar 1914) hebben mij ingeprent: als je bezuinigt op je verdediging, en als de vijand dan invalt met tanks in 1940, dan rijden onze soldaten op fietsen, met een karabijn over de schouder.

Begrijp mij goed: ik ben de laatste die u in de put wil praten. Maar ik zou u soms wel wakker willen schudden. Wat is uw kerstwens voor uw naasten en uw nakomelingen? Wat is de gewenste balans tussen een goede economie en milieuvervuiling? Hoeveel van ons inkomen zou naar verdediging van ons land moeten gaan?

Een gek kan meer vragen stellen dan tien wijzen kunnen beantwoorden. Zoals altijd bij complexe vraagstukken is er niet één, simpel, antwoord. En zoals beleggers altijd al hebben geweten: je wilt je kansen en risico's spreiden. En daarom zeg ik tegen mensen die denken dat ze weten hoe onze energietransitie zou moeten verlopen: denk nog eens na. Leg niet al je eieren in één mandje, zoals de Britten zeggen. En als u dan heeft bijgedragen aan een goede mix van energiebronnen, ga dan van een fijne kerstvakantie genieten! **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.

# TAG1 Inc. en NRG PALLAS versterken toeleveringsketen medische isotopen

**H**et Amerikaanse bedrijf TAG1 Inc. en NRG PALLAS zijn onlangs een meerjarige samenwerking aangegaan om levering van radium-224 veilig te stellen voor de productie van de isotoop lood-212 (Pb-212). Deze overeenkomst versterkt de toeleveringsketen voor innovatieve radio-farmaceutische kankerbehandelingen zoals het veelbelovende Targeted Alpha Therapy (TAT).

De samenwerking is gericht op de productie van kritieke isotopen, waaronder radium-224 en de dochterisotoop daarvan, lood-212.

Deze wordt steeds meer erkend voor zijn rol in TAT's, die precisiebehandelingen bieden

door krachtige alfadeeltjes rechtstreeks af te geven aan kankercellen en daarbij gezond weefsel te sparen.

Vinod Ramnandanlal, Commercieel Directeur van NRG PALLAS: "Samen versterken we

de toekomstige toegankelijkheid van vitale medische isotopen die nodig zijn voor de ontwikkeling van levensreddende therapieën. Dit partnerschap verzekert een betrouwbare toeleveringsketen voor deze isotopen, ondersteunt de vooruitgang in klinische toepassingen en commerciële inspanningen en helpt de toekomst van kankerzorg vorm te geven." Sumit Verma, CEO van TAG1, Inc.: "We zijn verheugd om onze samenwerking met NRG PALLAS aan te kondigen. Deze organisatie blijft toonaangevend in de productie van belangrijke isotopen en deze relatie heeft het potentieel om een gamechanger te zijn op het gebied van Targeted Alpha Therapies (TAT's). Deze overeenkomst versterkt het vermogen van beide bedrijven om een meetbaar verschil te maken in het leven van patiënten en zal TAG1 verder positioneren als een vooraanstaande leverancier voor de radio-farmaceutische industrie.

We kijken ernaar uit om bij te dragen aan innovatieve kankertherapieën die de resultaten voor patiënten wereldwijd kunnen verbeteren." **K**



TAG1 Inc., een Amerikaans bedrijf, is een internationale leverancier van medische isotopen, gespecialiseerd in de productie van lood-212 (Pb-212) welke wordt gebruikt in Targeted Alpha Therapy (TAT). Dit is een radionuclidetherapie om zeer gericht verschillende soorten kanker te kunnen behandelen. Hierbij worden radio-isotopen die alfadeeltjes uitstoten, zoals lood-212 of actinium-225, chemisch gekoppeld aan een peptide (een soort eiwit) die zich specifiek ophoopt in kankercellen. Door het alfaverval komt er vervolgens zoveel energie vrij dat de kankercellen afsterven. TAT's hebben het potentieel om zeer gerichte behandeling te bieden, vooral bij micrometastasen. Dit zijn microscopische clusters van kankercellen die zich vanuit een primaire tumor hebben verspreid. Het korte bereik van de alfadeeltjes beperkt de straling tot het doelgebied, waardoor schade aan omliggend gezond weefsel tot een minimum wordt beperkt. Bovendien kan de hoge potentie van alfadeeltjes celdood induceren in zelfs radioresistente kankercellen. TAG1 inc. heeft bovendien de draagbare Targeted Alpha Generator 1 (TAG1) ontworpen. Deze gepatenteerde en innovatieve generator is specifiek ontworpen om de voorraad Pb-212 te ontsluiten voor preklinisch en klinisch onderzoek naar doelgerichte alfatherapieën die gebruikmaken van dit essentiële radio-isotoop. TAG1 Inc. heeft als missie de behandeling van kanker te verbeteren door middel van innovatieve nucleaire geneeskunde en is gericht op het bevorderen van de radio farmaceutische toeleveringsketen en het ondersteunen van de ontwikkeling van baanbrekende therapieën.



## Onderzoek naar gesmolten zout geselecteerd voor Tech for Impact

**D**r. Anna Smith is met haar onderzoek naar een gesmoltenzoutreactor een van de vier geselecteerde wetenschappers voor de campagne Tech for Impact 2024 van het Universiteitsfonds Delft. De nieuwe generatie kernreactoren belooft veilig en schoon te zijn. Een daarvan is de gesmoltenzoutreactor. Deze wijkt erg af van de nu gebruikte techniek en is in potentie een methode met grote voordelen. Maar cruciale kennis over gesmolten zouten ontbreekt nog.

De strijd tegen klimaatverandering en de zoektocht naar duurzame energiebronnen zorgen ervoor dat kernenergie weer volop in de belangstelling staat. Terwijl huidige reactoren een splijtstof gebruiken van

vaste keramische uraniumoxidetabletten, is de splijtstof in een gesmoltenzoutreactor vloeibaar. Dit biedt veel voordelen die te maken hebben met de aard van zout. Deze reactor kan werken zonder dat

het koelmiddel onder hoge druk staat én kan een hogere temperatuur warmte produceren. Dat maakt de reactor efficiënter. Afhankelijk van het ontwerp, kan dit type reactor ook thorium, dat in hoge mate beschikbaar is op aarde en minder langlevend radioactief afval produceert, of verbruikte splijtstof van bestaande reactoren als splijtstof gebruiken. “Nieuwe typen kernreactoren, zoals de gesmoltenzoutreactor, zijn veelbelovend op het gebied van veiligheid en duurzaamheid”, vertelt Smith. “Daarmee kunnen ze een belangrijke bijdrage leveren aan de energietransitie. Maar om deze technologie te kunnen toepassen, moeten we eerst begrijpen hoe de chemie en eigenschappen van gesmolten zout in een reactor (kunnen) veranderen in de tijd. Daarvoor bouwen wij computermodellen die dit kunnen voorspellen.”

### Ontwerpfase van een reactor

Het model dat de groep van Smith ontwikkelt, kan straks worden gebruikt door bedrijven die een gesmoltenzoutreactor willen bouwen. “Zij kunnen dit gebruiken in de ontwerpfase van de reactor. Het model kan dan voorspellen of een ontwerp met een bepaalde samenstelling van de gesmoltenzoutsplijtstof veilig is en wat er in verschillende situaties kan gebeuren. Er zijn start-up-bedrijven die hopen binnen tien jaar een eerste prototype reactor te bouwen. Om dit te halen, hebben zij het model van Smith hard nodig.” **K**

### Tech for Impact – Doet u mee?

Dag in dag uit zetten wetenschappers en studenten aan TU Delft zich in om onze wereld een beetje beter maken. Het Universiteitsfonds Delft brengt met Tech for Impact dit belangrijke werk onder de aandacht en haalt er geld voor op. Ieder jaar worden er vier topwetenschappers geselecteerd die buiten hun eigen grenzen durven te kijken, spannende samenwerkingen aangaan of dingen radicaal anders durven doen. Alles met de focus op een positieve verandering voor de wereld om ons heen.

Met uw donatie kan Anna Smith een verbeterde set-up bouwen, waarmee zij veel meer data uit de testen kan halen en het onderzoek enorm versnellen. Doet u mee?







**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.

