



**KERNVISIE
MAGAZINE**

NRG-visie
op nucleaire
kennisinfra-
structuur

Lutetium-
generator stapje
dichterbij

Mock-up koude
bron OYSTER
succesvol

3
Juni
2020

UITGAVE VAN
STICHTING KERNVISIE

**ISP brengt
experimenten
bij middelbare
scholen**



KernVisie magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

Jaargang 15
Nummer 3
Juni 2020
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. Schuur, penningmeester
J.D. Bruin
Ing. W. Hiddink
Drs. J.J. de Jong
Ir. J.C.L. van Cappelle
Prof. Ir. R.W.J. Kouffeld
Ir. G.C. van Uitert

Redactie KernVisie

Ir. G.H. Boersma
M. Jelgersma (Sherpa en de Fries)
E.S. Jelgersma (Sherpa en de Fries)
I. van Kessel (Irene van Kessel Fotografie)

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 Energy te Zwijndrecht.

Op de Cover

Rob van Rijn
Foto © Menno Jelgersma

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

Een extraatje en een overweging



Een extraatje voor onze lezers! Vlak voor het zomerreces is een extra uitgave bij de nieuwste editie van Kernvisie Magazine bijgesloten: Kernenergie is nodig om de klimaatdoelen te halen, een productie van Nucleair Nederland, de vereniging waarin zes Nederlandse nucleaire bedrijven en organisaties participeren: COVRA, EPZ, NRG, PALLAS, Reactor Instituut Delft en Urenco. De brochure gaat in op de transitie naar een CO₂-arme energiehuishouding die alleen haalbaar is wanneer alle klimaatneutrale energiebronnen, inclusief kernenergie, worden beschouwd en benut. Het nucleaire landschap is klaarblijkelijk in beweging en ook NRG presenteerde onlangs haar visie dat nu investeren in nucleaire kennis en kunde betekent dat er straks meer alternatieven zijn voor het beantwoorden van cruciale vraagstukken. De vraag die de politiek zou moeten beantwoorden luidt volgens programmamanager NRG Geert-Jan de Haas of wij bereid zijn om nú substantieel te investeren in de mogelijkheden voor veilige, betaalbare en klimaatneutrale energie, en effectieve, persoonlijke gezondheidszorg voor onze kinderen. Dat lijkt mij een mooie vraag om deze zomer, waarin de meesten onder ons vanwege corona geen verre reizen ondernemen, eens rustig in overweging te nemen. Namens de Stichting Kernvisie wens ik u allen een prettige vakantie toe. **K**

André Versteegh
voorzitter Stichting Kernvisie

P04



Maatschappij

Uniek ISP brengt experimenten bij middelbare scholen

Het Ioniserende Stralen Practicum (ISP) in Utrecht biedt HAVO- en VWO-leerlingen de mogelijkheid tot het uitvoeren van experimenten met radioactieve bronnen en röntgentoestellen. Het ISP heeft hiertoe drie practicumleiders in dienst die met hun mobiele practica door heel Nederland rijden.

P14 Medisch

Lutetiumgenerator stapje dichterbij met ALD

Radionucliden worden vaak gebruikt bij nucleair medische toepassingen. De productie ervan vindt plaats in onderzoeksreactoren, versnellers of radionuclidengeneratoren. Dr. ir. Josette Dezentje is onlangs gepromoveerd op een onderzoek naar aan het ontwikkelen van een generator voor lutetium-177 met behulp van Atomic layer deposition (ALD).

P23



Energie

KCB uit bedrijf voor jaarlijks onderhoud

Op 29 mei ging de kerncentrale Borssele uit bedrijf voor de jaarlijkse splijfstofwisselperiode. In verband met het coronavirus werd het aantal mensen op het terrein zoveel mogelijk beperkt. Daarom koos EPZ ervoor om de werkzaamheden die niet noodzakelijk in 2020 uitgevoerd hoefden te worden, uit te stellen tot de volgende onderhoudsstop.

P18 Maatschappij

Geslaagde mock-up testen koude bron OYSTER

Het OYSTER-project bij het RID van de TU Delft omvat onder meer de installatie van een koude bron naast de reactorkern en de ontwikkeling van nieuwe instrumenten die gebruik maken van de neutronen van de reactor. Inmiddels is het koelgebouw gereed en zijn de testen met de mock-up buiten de reactor afgerond. René Gommers en Camiel Kaaijk vertellen over de werkzaamheden en de stand van zaken.



P09 Visie


Een NRG-visie op de Nederlandse nucleaire kennisinfrastructuur.

P17 Column

André Wakker - 'Sabotereren'

P21 Boekbespreking

Bernhard Ludewig: The Nuclear Dream – Verslag van een tijdperk



Het Ioniserende Stralen Practicum (ISP) in Utrecht biedt HAVO- en VWO-leerlingen de mogelijkheid tot het uitvoeren van experimenten met radioactieve bronnen en röntgentoestellen. Leerlingen uit de regio Utrecht kunnen in het Minnaertgebouw van de Universiteit Utrecht terecht. Voor de overige leerlingen beschikt het ISP over drie practicumleiders die met hun mobiele practica door heel Nederland rijden. “Hiermee kunnen we in principe alle scholen in Nederland bereiken, inclusief Texel”, aldus practicumleider Rob van Rijn, die al veertien jaar lang leerlingen met zijn practica enthousiasmeert. ”

De kern van de activiteiten van het ISP is volgens Van Rijn het bieden van de mogelijkheid tot het uitvoeren van experimenten voor leerlingen op scholen voor HAVO en VWO met radioactieve bronnen en röntgentoestellen over het examenprogramma. Daartoe beschikt het ISP over drie auto's die met instrumenten aan boord op de scholen experimenten kunnen opbouwen. Daarnaast is er een practicumzaal in het Minnaertgebouw van de Universiteit Utrecht waar leerlingen uit de regio Utrecht de experimenten kunnen uitvoeren. De practicumleiders nemen in hun auto's ook de bronnen mee die ze voor de practica nodig hebben. “De bronnen bevinden zich in een kluis in de auto die daarom is voorzien van een vereiste alarmclassificatie”, licht Van Rijn toe. Voor de auto's werden ingezet beschikte het ISP over drie vaste practicumlocaties: in Utrecht, Rotterdam en Goes. “In 1972 zag het eerste mobiele practicum het licht. De directe aanleiding daarvoor was dat het voor scholen hartstikke moeilijk was, en is, om een vergunning te krijgen om radioactieve stoffen te mogen hebben en omdat de apparatuur zeer kostbaar is.” In 2019 waren er 22.000 leerlingen die het mobiele practicum hebben gedaan. “En met de vaste opstelling in Utrecht waren dat er in Nederland 23.500, inclusief Texel”, aldus Van Rijn. “Dat is ongeveer de helft van het totale aantal leerlingen in Nederland.” De overige

Maatschappij

**Uniek ISP
brengt
experimenten
bij middelbare
scholen**

leerlingen krijgen of geen practicum of de scholen hebben zelf een mogelijkheid om een vorm van practicum te geven.

Uniek in de wereld

Afhankelijk van de school kan het practicum voor de leerlingen een leuke en uitdagende gebeurtenis zijn waar naartoe wordt gewerkt. "Het hangt helemaal van de school en de leraar af hoe de dag wordt ervaren, maar over het algemeen vinden leerlingen het erg bijzonder om een keer met radioactieve stoffen te werken. Als ze intrinsiek gemotiveerd zijn, halen ze er het

"Deze richten zich dan ook vooral op stralingsveiligheid. Terwijl ons practicum zich vooral op de natuurkunde richt. Al is dat natuurlijk niet mogelijk zonder extra aandacht voor stralingsveiligheid", verklaart Van Rijn.

Aangekomen bij de school krijgt Van Rijn altijd hulp om de apparatuur naar binnen te brengen en op te stellen. "We hebben verschillende bronnen waar de leerlingen mee kunnen werken waaronder twee flesjes thorium-232 voor het meten van halveringstijden van het gasvormige

ISP-begeleiders hebben een dosimeter bij zich om de leerlingen te laten zien wat het stralingsniveau in de klas is. Maar de uiteindelijke dosis na de experimenten is zo laag dat het geen zin heeft om de dosimeter te laten uitlezen. "We vallen zelfs niet onder een classificatie van a- of b-werkers; wij als medewerkers komen niet boven de millisievert per jaar extra op de achtergrondstraling."

Spectaculair

De meeste bronnen waar Van Rijn mee werkt, zijn er nog vanuit het verleden. Het



K Rob van Rijn, practicumleider ISP: "Eigen onderzoek van leerlingen prikkelt de motivatie en de resultaten blijven beter hangen."

meeste uit. Ze vinden het spannend en leuk om het een keer te doen, zeker als er in de voorbereiding van ons bezoek bewust naar toe wordt gewerkt." Van Rijn benadrukt daarbij dat de schoolpractica zoals het ISP die verzorgt wereldwijd uniek zijn. Een bezoek van een collega aan de VS bevestigde dat. "Ik heb ook nog nooit van iemand buiten Nederland gehoord dat zij dat ook doen." Wat er wel internationaal bestaat, zijn organisaties die zich bezighouden met stralingsbescherming en andere praktische mogelijkheden om met straling te werken.

X Een 90-Strontium bron wordt gebruikt om de universele dracht van bètadeeltjes te bepalen. De protactinium-generator wordt gebruikt voor het meten van de halveringstijd en voor het bepalen van de hersteltijd van protactinium-234m.

radon-220. Verder hebben we strontium, americium, radium en kobalt waar we mee werken." Van Rijn benadrukt dat het allemaal zwakke bronnen zijn. "Wanneer de experimenten zijn opgesteld, kunnen de leerlingen in het lokaal plaatsnemen. De



enige wat het ISP om de vijf jaar aanschaf zijn nieuwe protactiniumgeneratoren in de VS. "En dat is dan niet omdat ze fysisch niet meer zouden voldoen, maar puur op technische gronden." Als de technische levensduur is behaald, gaan deze generatoren als radioactief afval richting COVRA. Ook de kobaltbronnen met een relatief korte halveringstijd van ongeveer vijf jaar gaan lang mee. "Voordat de duizend **X**

counts van de bron niet meer meetbaar zijn, moet je op de honderd counts zitten en dan is de bron al zes tot zeven keer vervallen en ben je dus al ruim dertig jaar verder." Hiermee voldoet het ISP volgens Van Rijn geheel aan het ALARA-principe (as low as reasonably achievable) en zolang het experiment meetbaar is, is het geslaagd. "Als de achtergrondstraling drie tikjes geeft en de bron honderd is het voor leerlingen nog steeds spectaculair." Een grote telbuis

tweede categorie vallen de absorptie-experimenten. "Denk daarbij aan de halveringsdikte van lood met gamma- of perspex en aluminium met bètastralers." En dan is er nog de derde of overige categorie. "Hier zit van alles in, waaronder röntgenproeven, het statistisch effect of het afbuigen van bètadeeltjes in een magneetveld." Het ISP hanteert ook een verschil

Of hoeveel lood heb je nodig om een γ -bron af te schermen? "Als ze dat willen onderzoeken vragen we de leerlingen om een eigen werkplan maken. Vervolgens leggen ze dat aan ons voor om te zien of het haalbaar is en of het veilig kan." Het blijkt dat leerlingen hier veel van opsteken; waar het volgens Van Rijn nog wel eens aan ontbreekt, is dat leerlingen zich vaak niet voldoende competent



K Linksboven: Twee leerlingen bepalen in een experiment de halveringstijd van protactinium-234m. Linksonder: De vacuümkamer wordt gebruikt voor het bepalen van het verband tussen de dracht van alfadeeltjes in lucht en de waarde van de luchtdruk.



K Rechts: Het ISP opgesteld bij COVRA. Wanneer het practicum bij COVRA wordt uitgevoerd, bijvoorbeeld tijdens de Stralende Week van Nucleair Nederland, brengen de leerlingen ook een bezoek aan de verschillende locatie van COVRA zelf.



is dan ook een effectief instrument en kan overtuigender zijn dan een sterkere bron.

Open en gesloten proeven

Het ISP werkt met 23 verschillende proeven verdeeld onder drie categorieën. "In een categorie bekijken we halveringstijden zoals van radongas dat binnen een minuut vervalt dus snel te zien is. Maar ook protactinium, waar we met behulp van een generator ook na een minuut een verval kunnen laten zien. En we hebben een proef die een beetje lijkt op de koolstof-14-methode." In de

tussen open en gesloten proeven. "Uit onderzoeken blijkt dat leerlingen beter leren met eigen onderzoek, dus niet stap voor stap de voorgeschreven regels van een 'kookboek' volgen. Eigen onderzoek prikkelt de motivatie en de resultaten blijven beter 'hangen'. Daarom zijn we gestart met de open variant bij de proeven." Leerlingen krijgen daarbij een richting voorgesteld zoals: Wil je onderzoeken hoe een α -deeltje zich in de ruimte (zonder luchtdruk) gedraagt?

achten om het experiment uit te voeren. "Ze voelen zich vaak zekerder bij het uitvoeren van een kookboekpracticum." Het spreekt voor zich dat bij zowel open als gesloten proeven de leerlingen vooraf de noodzakelijke stof hebben geleerd. De werkbladen kunnen reeds zijn ingevuld of worden ingevuld tijdens de practica. "In dat laatste geval controleren wij de bladen, maar dat kost natuurlijk ook weer wat tijd wat ten koste gaat van het practicum." De practica vergen ook extra

inspanning van de docenten die hiervoor bijstand krijgen. Maar het gaat Van Rijn echt om de leerlingen: “Het leukste vind ik het als leerlingen met een unieke oplossing voor een probleem komen.”

Stralende Week

Een jaarlijks evenement waar het ISP ook aan bijdraagt is de Stralende Week. Om leerlingen te laten zien wat er in

of het afvoeren van bronnen naar de COVRA. Daarnaast kan het ISP optreden als Coördinerend Stralingsdeskundige voor onderwijsinstellingen die een vergunning hebben voor het bezit van radioactieve stoffen. “In 2015 kwam er wetgeving die scholen met eigen radioactieve bronnen verplicht om een coördinerend deskundige in dienst te hebben. Dat is voor zo’n school een kostbare aangelegenheid.

ISP en werken Van Rijn en zijn collega’s de mogelijkheden van de open werkbladen verder uit. Daarnaast wordt gewerkt aan digitale antwoordbladen die feedback geven op de antwoorden die leerlingen geven om te voorkomen dat ze met een A4 met foute antwoorden naar huis gaan. Het ISP kijkt ook naar de mogelijkheid om de experimenten meer afzonderlijk voor HAVO en VWO te ontwerpen. “Leerlingen



Nederland gebeurt op stralingsgebied, biedt de vereniging Nucleair Nederland de mogelijkheid om op unieke locaties het stralenpracticum te doen met een rondleiding op de locatie zelf. “Leerlingen vinden het geweldig om bij de bedrijven op bezoek te gaan. Afgelopen jaar konden leerlingen terecht bij de COVRA, bij URENCO, de TU-Delft en EPZ.” Naast de schoolbezoeken biedt het ISP ook andere dienstverlening zoals advies omtrent de bronnen die een school zelf in bezit heeft

In die gevallen kan het ISP optreden als Coördinerend Stralingsdeskundige.” Verder voert het ISP ook wel eens practica uit op verzoek van bedrijven of voor MBO- en HBO-opleidingen.

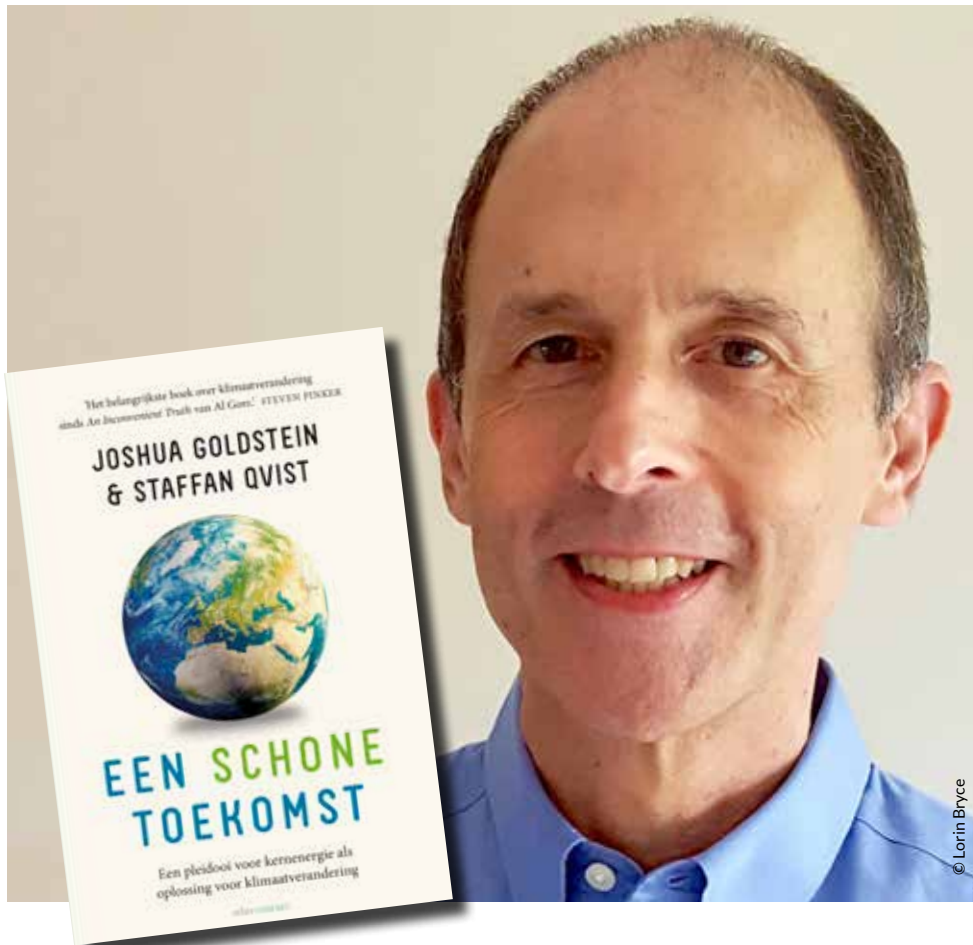
Coronacrisis

Tijdens de coronacrisis staan de auto’s stil, de instrumenten zijn opgeslagen in Utrecht en de bronnen bevinden zich in de zomerkluis. Ondertussen wordt gewerkt aan de nieuwe website van het

van beide scholentypen kregen tot nu toe wel dezelfde experimenten, maar krijgen natuurlijk verschillende eindexamenstof. We hebben nu tijd om daar eens naar te kijken.” Dat neemt niet weg dat de huidige situatie, zoals Van Rijn typeert ‘apart’ is. “Normaal rijd ik ongeveer duizend kilometer per week en nu ligt dat allemaal stil, waardoor ik in de afgelopen zes weken nog geen kilometer heb gereden.” **K**

Menno Jelgersma

Een schone toekomst - Een pleidooi voor kernenergie als oplossing voor klimaatverandering



Boven de titel op de kaft van het boek staat waarom volgens Steven Pinker Een schone toekomst gelezen moet worden: “Het belangrijkste boek over klimaatverandering sinds An Inconvenient Truth.” Bij het boek van Al Gore blijft voornamelijk het vooruitzicht van natuurrampen hangen, na het lezen van Een schone toekomst zie je ook hoe je een catastrofe kan voorkomen: snel en veel kerncentrales bouwen.

Reeds in oktober verscheen in Kernvisie Magazine de recensie van A Bright Future. Maar gelukkig, en terecht, is het boek nu ook in het Nederlands te koop en daarmee

toegankelijk voor een groot lezerspubliek. Een vaak gehoorde overtuiging is: hoe meer je weet over klimaatverandering, hoe banger je wordt. Hoe meer je weet van kernenergie,

hoe minder eng het wordt. Denk vooral niet dat Kyoto en Parijs ervoor zorgen dat het allemaal wel mee gaat vallen. Volgens Goldstein en Qvist hebben de internationale verdragen niet alleen nauwelijks wat opgeleverd; sinds het Kyoto-protocol uit 1997 is de mondiale CO₂-uitstoot met 50 procent gestegen. De orkanen, droogtes en ‘cold spells’ in de VS zijn kinderspel vergeleken met wat ons te wachten staat als we op dezelfde voet doorgaan en over het kantelpunt geraken waarop we met natuurrampen van catastofale omvang te maken krijgen, zoals een zeespiegelstijging die sneller zal gaan dan verwacht met stijgingen van 3 meter per eeuw. Waarom gebeurt er dan zo weinig? Het lijkt wel op de mythe van de kikker die in een pan water blijft zitten als water langzaam tot het kookpunt komt. Doe je een kikker direct in heet water, dan springt hij eruit. Zou er een meteorode op de aarde afsteveneren, dan zouden alle landen participeren in een initiatief om het gevaar het hoofd te bieden. Maar klimaatverandering gaat traag, dus blijven we gewoon zitten waar we zitten en wachten tot een ander wat gaat doen.

100 miljoen mensen per jaar
Het boek rekent af met de mythes en angsten waarmee kernenergie omgeven is en legt uit hoe het een succes werd in Zweden, Frankrijk en de Canadese provincie Ontario, waar zowel de kwaliteit van het milieu als de welvaart verbeterden. Zo wist Zweden van 1970 tot 1990 de CO₂-emissies te halveren terwijl de economie met 50 procent groeide. Hoe anders verging het buurland Duitsland dat sinds 2011 na het ongeluk in Fukushima een andere afslag nam. Terwijl de Zweden een derde meer energie gebruiken per persoon, stoten de Duitsers twee keer zoveel CO₂ uit per persoon. De reden hiervoor is helder. De oosterburen hadden verhoudingsgewijze al minder kernenergie en waterkrachtcentrales dan de Zweden. De Energiewende heeft ze na 2011 niet verder gebracht door kerncentrales te sluiten en kolencentrales voor basislast te laten

zorgen. “Als Duitsland de renewables had ingezet om kolencentrales te sluiten had het CO₂-plaatje er heel anders uitgezien”, aldus Goldstein en Qvist.

‘Echte stroom in plaats van nepstroom’
Terwijl de rijke landen goede sier maken met renewables en met energiebesparing, gaat de energiekraan in de arme landen juist open. “Elk jaar kunnen 100 miljoen mensen voor het eerst gebruik maken van energievoorzieningen.” 100 miljoen. In 2014 probeerde Greenpeace in India nog voor 400.000 dollar voor een dorp een micronet op zonne-energie te maken, maar faalde volledig omdat het net niet aan de toenemende stroomvraag kon voldoen. Toen de dorpelingen in opstand kwamen en echte stroom eisten in plaats van nepstroom, werd het dorp op een centraal net aangesloten gevoed met kolenstroom. 100 procent renewables? Het gaat niet lukken. De mondiale stijging aan nieuwe renewables houdt de trend van mondiale energietoename niet bij. Het gevolg tot nu toe is ongeveer een verdubbeling van de steenkoolproductie van 1990 tot heden. Dat neemt niet weg dat renewables een belangrijk deel kunnen zijn van de energiemix, stellen de schrijvers: “Maar laten we ons richten op wat nodig is in de komende tien, twintig jaar om op een snelle manier de wereld te ontkolen en niet het waandenkbeeld aan te houden dat renewables de oplossing zijn.” **K**

Menno Jelgersma

Overzicht

Boek: **Een schone toekomst - Een pleidooi voor kernenergie als oplossing voor klimaatverandering**
Auteur: **Joshua S. Goldstein en Staffan A. Qvist**
Uitgever: **Atlas Uitgeverij**
ISBN: **9789045041070**
Uitvoering: **Paperback**
Aantal pagina's: **320**

Nucleaire technologie voor energie en gezondheid.

Een NRG-visie op de Nederlandse nucleaire kennisinfrastructuur.

In de recent verschenen visie **Nucleaire technologie voor energie en gezondheid motiveert NRG op verzoek van de Externe BeoordelingsCommissie (EBC) dat nu investeren in nucleaire kennis en kunde betekent dat er straks meer alternatieven zijn voor het beantwoorden van cruciale vraagstukken. Geert-Jan de Haas, programmamanager NRG: “De vraag die de politiek zou moeten beantwoorden is in essentie: zijn wij bereid om nú substantieel te investeren in de mogelijkheden voor veilige betaalbare klimaatneutrale energie en effectieve, persoonlijke gezondheidszorg van onze kinderen.” NRG doet daarvoor in haar visie een appel op de overheid om een integraal Nederlands nucleair onderzoeksbeleid te formuleren. .**

De visie, die geschreven is door Ronald Schram, NRG director Strategic Alliances en Geert-Jan de Haas, programmamanager onderzoek- en “bijgestuurd”, zoals De Haas het formuleert door Ferry Roelofs, coördinator internationaal onderzoek - is een productie die primair op verzoek van de EBC tot stand is gekomen. Deze commissie komt jaarlijks tweemaal bijeen om de voorgestelde en uitgevoerde onderzoeksprogramma's van NRG te bespreken in de context van een overeengekomen langetermijnstrategie

en de beleidsdoelen van de overheid op het gebied van nucleair. De Haas: “Het document dient als opstap naar het nieuwe programma 2021-2024 met als achtergrond het idee: wat vindt NRG nou belangrijk om op de agenda te zetten voor de komende jaren waar het gaat om onderzoek naar de nucleaire kennisinfrastructuur.” Hierbij waren volgens De Haas twee onderdelen van belang. “Je hebt een beleidskader dat door de overheid wordt bepaald, maar die overheid zegt niets over de technische invulling. De vraag van de EBC was dus: **X**

kunnen jullie aangeven hoe die inhoud vormgegeven zou moeten worden. Met een geformuleerde visie kan je vervolgens gaan uitstippelen hoe je de inhoud binnen de kaders kan gaan vormgeven.”

Volop kansen

De Haas benadrukt dat de NRG-visie geen consensusdocument is. “We hebben wel de leden van Nucleair Nederland geconsulteerd, maar NRG draagt de verantwoordelijkheid voor de inhoud van dit document.” Waar richt het document zich op? “Nederland staat aan de vooravond van een belangrijke keuze: in hoeverre willen wij als samenleving investeren in de toekomst van onze nucleaire sector? De uitkomst van de politieke besluitvorming over dit onderwerp heeft grote invloed op de keuzemogelijkheden van onze toekomstige generaties.” Het is belangrijk te kijken naar de ontwikkelingen in de markt en in de nucleaire technologie en te bepalen hoe NRG daar invulling aan kan geven. De Haas: “In de visie schetsen we een beeld van de huidige situatie, voegen daar ons toekomstbeeld aan toe en hoe we daar invulling aan kunnen geven. Daarbij benadrukken we het gegeven dat de domeinen energie en medisch beide gebruik maken van dezelfde nucleair technologische kennisbasis die de afgelopen decennia zorgvuldig opgebouwd is”. De NRG-visie is daarmee als onderliggend document te zien van het nieuwe NRG-onderzoeksprogramma. Kansen en vragen zijn er op dit moment volop. “Wat je nu ziet is dat er beduidend meer aandacht is aan alles rondom nucleaire kennis- en kennisinfrastructuur. Ging het voorheen om een enkele keer per jaar dat er aandacht aan werd besteed, je ziet nu dat er een dynamiek ontstaat met factsheets, onafhankelijke rapportages, opiniestukken in de media, onderzoeken en visiedocumenten.”

Waar het om gaat is dat er meer mogelijkheden zijn om onze energiebehoefte veilig en klimaatneutraal in te vullen. Grotere kans op doorbraken in de nucleaire

gezondheidszorg met een betere kwaliteit van leven als gevolg. Nucleaire faciliteiten veilig blijven bedrijven. Bovendien zal de nucleaire sector bijdragen aan het behoud van hoogwaardige werkgelegenheid. De Haas: “Het gaat goed op dit moment. Ons nucleaire landschap floreert. We hebben een solide onderzoeksprogramma, we organiseren congressen. We zijn de belangrijkste producent van medische isotopen ter wereld, we zijn bezig met de ontwikkeling van het Field Lab en PALLAS komt op stoom. We weten onze middelen goed in te zetten en hebben veel ontwikkeld, maar we zien nu vragen komen die van een andere aard zijn; we willen ook, meer dan nu, een toegevoegde waarde kunnen leveren.” Daarnaast ziet De Haas dat kernenergie vleugels gaat krijgen. “Willen we daar echt mee aan de slag, dan hebben we daar middelen voor nodig en dat betekent een intensivering van de inkomsten.”

Vier domeinen

In de visie hebben de samenstellers vier hoofddomeinen apart benoemd: materialen, energie, medisch en omgang. “De eerste drie zijn hele concrete toepassingen. Het domein ‘omgang’ klinkt een beetje raar, maar daarmee doelen we op de randvoorwaarden voor het veilig bedrijven van nucleaire faciliteiten.” De Haas verwijst hierbij onder andere naar de noodzaak tot het in stand houden van de huidige kennisbasis, de ontwikkeling van methodieken voor de beoordeling van de structurele integriteit van reactorcomponenten en naar (Europees) onderzoek naar nieuwe concepten gericht op de beheersing van nucleaire processen en het formuleren van mitigerende maatregelen zoals in het geval van kernsmelt of het vrijkomen van waterstof.

Appel aan de overheid

De visie besluit met een appel aan de overheid, een appel voor energieonderzoek, een appel voor onderzoek in nucleaire geneeskunde en een taak voor de overheid om een integrale visie te formuleren. Samenvattend geldt: Investeer substantieel

in nucleair onderzoek omwille van kennis, kunde en ervaring. “De vraag die de politiek zou moeten beantwoorden is in essentie: zijn wij bereid om nú substantieel te investeren in de mogelijkheden voor veilige betaalbare klimaatneutrale energie en effectieve, persoonlijke gezondheidszorg van onze kinderen.” Het feit dat het op dit moment goed gaat is geen verzekering dat het in de nabije toekomst ook goed gaat. Maar De Haas benadrukt wel dat een eerste goede stap is gezet om de opties naar de toekomst open te houden. “De overheid levert een bijdrage aan de realisatie van het OYSTER-project bij de TU Delft, de ontwikkeling van de PALLAS-reactor en de bouw van het Field Lab in Petten voor onderzoek aan nieuwe medische isotopen. Dit domein van nucleaire infrastructuur ‘draait’ echter niet goed zonder de twee domeinen: Omgang met nucleaire materialen en faciliteiten en nucleaire kennis.” Een tweede goede stap zou zijn om hiervoor een integraal Nederlands nucleair onderzoeksbeleid te formuleren met bijbehorende financieringsmogelijkheden en budgetten. Programma’s waarin experimenteel onderzoek wordt uitgevoerd met behulp van de nucleaire onderzoeksinfrastructuur. De nucleaire kennis en praktische ervaring die hiermee wordt verkregen, zullen blijvend toegang geven tot de geschetste ambities met veilige betaalbare klimaatneutrale energie en effectieve, persoonlijke gezondheidszorg.

De Haas: “De EBC is tevreden over het stuk dat ook verspreid is onder andere stakeholders, waaronder de betrokken ministeries en betrokkenen bij het onderzoek op het gebied van energie en gezondheid.” Waar het om gaat is dat de boodschap helder is overgebracht. Het antwoord ligt nu bij de politiek. **K**

Menno Jelgersma

De visie is te downloaden onder: <https://www.nrg.eu/over-nrg/nieuws-pers/detail/news/nrgvisie.html>

IAEA-richtlijnen nucleair geneeskundigen tijdens coronacrisis

Het internationale atoomagentschap IAEA heeft richtlijnen ontwikkeld om de afdelingen nucleaire geneeskunde te helpen bij het aanpassen van de werkprocedures om het risico op COVID-19 infecties bij patiënten, personeel en het publiek tot een minimum te beperken. De richtlijnen vestigen ook de aandacht op mogelijke tekorten aan essentiële beeldvormende radiofarmaca als gevolg van de wereldwijde beperkingen van het luchtverkeer.

Het document is recent gepubliceerd in het European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging en bevat aanbevelingen op basis van de weg die een patiënt aflegt door een afdeling nucleaire geneeskunde. Elk jaar worden er wereldwijd meer dan 30 miljoen beeldvormingsonderzoeken gedaan om patiënten met onder meer kanker, hart- en vaatziekten of dementie te diagnosticeren.

Webinars

“Niet-overdraagbare ziekten blijven jaarlijks miljoenen mensen doden en patiënten moeten toegang hebben tot PET-CT-scans en radiotherapie om kanker te bestrijden”, aldus de directeur van de afdeling Menselijke Gezondheid van de IAEA, May Abdel-Wahab. “Artsen en personeel in de nucleaire geneeskunde hebben begeleiding nodig om beeldvormingsstudies uit te voeren en tegelijkertijd de verdere verspreiding van COVID-19 tijdens de procedures te voorkomen. Ze moeten ook voorbereid zijn op mogelijke verstoringen in de toeleveringsketen van essentiële radioactieve tracers.” De richtlijnen zijn opgesteld naar aanleiding van verzoeken

van afdelingen voor nucleaire geneeskunde in verschillende lidstaten van de IAEA. Zij zijn gebaseerd op een overzicht van de beschikbare literatuur en op bijdragen van een panel van internationale deskundigen en de resultaten van een door de IAEA georganiseerd webinar met de titel Coronavirus disease (COVID-19) Pandemic: Uitdagingen voor de afdelingen nucleaire geneeskunde. Het Agentschap heeft de afgelopen weken ook een aantal andere webinars gehouden om de uitdagingen voor de nucleaire geneeskunde en de radiotherapieafdelingen te bespreken en de beste praktijken tijdens de pandemie te delen.

Beperkingen in vliegverkeer

“Tijdens de COVID-19-pandemie moet speciale nadruk worden gelegd op de uitvoering van alle maatregelen ter voorkoming en bestrijding van infecties, zodat de essentiële diensten op het gebied van nucleaire geneeskunde kunnen worden verleend”, aldus Diana Paez, hoofdauteur van de richtlijnen en hoofd van de afdeling Nucleaire geneeskunde en diagnostische beeldvorming van de IAEA. “Het document

is een gerichte inspanning om afdelingen te ondersteunen bij het bereiken van deze doelstelling in deze meest uitdagende tijd.” In de richtlijnen wordt ook gewaarschuwd voor mogelijke verstoringen in de voorziening van essentiële radio-isotopen, zoals jodium en molybdeen-technetium, als gevolg van wereldwijde beperkingen in de luchtvaart. Zij adviseren managers om gedetailleerde inventarissen bij te houden en lijsten van alle mogelijke leveranciers en distributiekanaalen bij te houden. Op basis van de richtlijnen van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) voor essentiële gezondheidsdiensten tijdens een uitbraak, omvat het IAEA-document maatregelen zoals opleiding voor een grondige COVID-19 screening bij patiënten en personeel, strikt gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's), afstand nemen, gebruik van communicatietechnologieën bij de bespreking van gevallen en bevindingen, maatregelen voor handenwas- en ademhalingshygiëne en het reinigen en desinfecteren van apparatuur en toebehoren. Het verslag geeft ook aan hoe nucleaire geneeskundebeoefenaars te werk moeten gaan als tijdens procedures, zoals een PET-CT-scan voor de evaluatie van kanker, de bevindingen patronen vertonen die consistent zijn met een mogelijke extra COVID-19-besmetting.

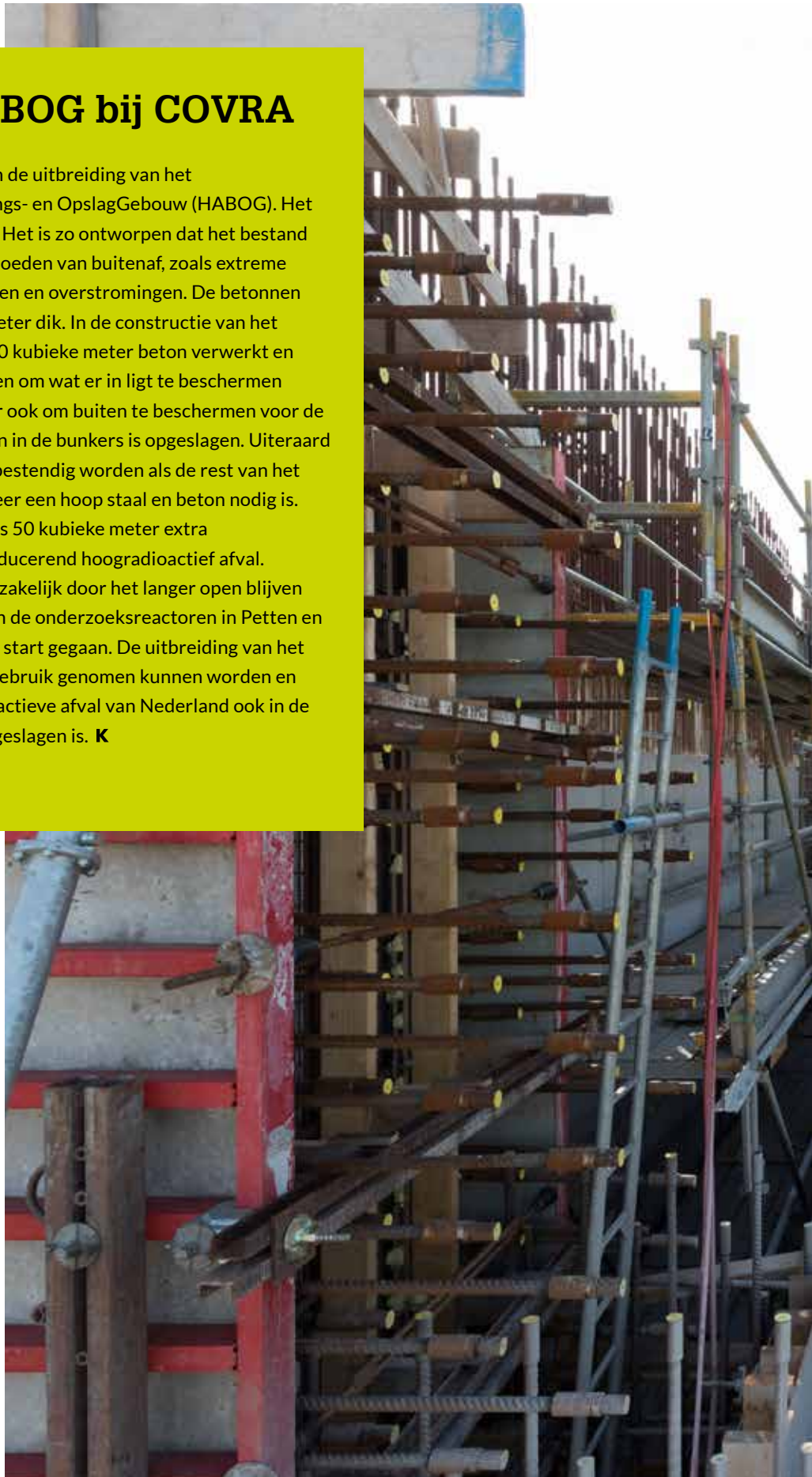
“De richtlijnen bieden een praktische checklist, die zeer welkom is op dit moment waar er veel onzekerheid en een gebrek aan consistente informatie bestaan in het hele medische veld”, zei Stefano Fanti, directeur van de afdeling nucleaire geneeskunde in het St. Orsola-Malpighi University Hospital in Bologna en een van de auteurs van het document. “Ze zullen helpen om ervoor te zorgen dat we deze essentiële diensten kunnen blijven leveren en tegelijkertijd het risico op COVID-19-infecties bij patiënten en personeel kunnen beperken.” **K**

Bron: IAEA

Uitbreiding HABOG bij COVRA

Op dit moment werkt COVRA aan de uitbreiding van het Hoogradioactief Afval Behandelings- en OpslagGebouw (HABOG). Het HABOG is een bijzonder gebouw. Het is zo ontworpen dat het bestand is tegen allerlei uitzonderlijke invloeden van buitenaf, zoals extreme windhozen, explosies, aardbevingen en overstromingen. De betonnen muren van het HABOG zijn 1,7 meter dik. In de constructie van het huidige HABOG is in totaal 32.000 kubieke meter beton verwerkt en 5.500 ton staal. En dat is niet alleen om wat er in ligt te beschermen voor invloeden van buitenaf, maar ook om buiten te beschermen voor de stralingsniveaus van wat er binnen in de bunkers is opgeslagen. Uiteraard moet de uitbouw net zo sterk en bestendig worden als de rest van het gebouw en dat betekent dat er weer een hoop staal en beton nodig is. De nieuwe uitbreiding biedt straks 50 kubieke meter extra opslagcapaciteit voor warmteproducerend hoogradioactief afval. De extensie is onder andere noodzakelijk door het langer open blijven van de kerncentrale in Borssele en de onderzoeksreactoren in Petten en Delft. Medio 2018 is de bouw van start gegaan. De uitbreiding van het HABOG zal halverwege 2021 in gebruik genomen kunnen worden en zorgt ervoor dat al het hoogradioactieve afval van Nederland ook in de toekomst gegarandeerd veilig opgeslagen is. **K**

COVRA





Lutetium-generator stapje dichterbij door Atomic Layer Deposition



©RID - Transmissie electron microscopy (TEM) foto van de met Lu-oxide gecoate deeltjes. De pijl geeft aan waar mogelijk Lu-oxide eilandjes zijn gevormd.

Medische isotopen zijn van levensbelang. Elk jaar vinden er wereldwijd ruim 48 miljoen onderzoeken en behandelingen plaats met behulp van medische isotopen. In meer dan 80 procent van alle gevallen maken ziekenhuizen voor SPECT-scans gebruik van technetium-99m voor medische beeldvorming. Om voldoende technetium beschikbaar te hebben, maken ziekenhuizen gebruik van radionuclidegeneratoren. Dat zijn productieapparaten die een specifieke radionuclide genereren door het verval van een moederradionuclide. De veelgebruikte technetium-99m-generator, die in de volksmond ook wel een technetiumkoe of moly-koe wordt genoemd, is een apparaat dat wordt gebruikt om de metastabiele isotoop technetium-99m als vervalproduct van het moedermateriaal molybdeen-99 te scheiden.

‘Op de plank’

Een medische isotoop die steeds vaker wordt toegepast is lutetium-177 dat bij de behandeling van neuro-endocriene tumoren en voor de behandeling van prostaatkanker wordt ingezet. Op dit moment wordt het meeste lutetium-177 geproduceerd via de zogenaamde directe methode, waarbij stabiel lutetium-176 in een kernreactor wordt bestraald. De halfwaardetijd van lutetium-177 bedraagt 6,7 dagen. Dat betekent dat ziekenhuizen afhankelijk zijn van gegarandeerd wekelijks transport. Daar komt bij dat een klein deel

Radionucliden worden vaak gebruikt bij nucleair medische toepassingen. De productie ervan vindt plaats in onderzoeksreactoren, versnellers of in radionuclidengeneratoren. Dr. ir. Josette Dezentje is onlangs gepromoveerd op een onderzoek naar het ontwikkelen van een generator voor lutetium-177 met behulp van Atomic layer deposition (ALD) waarmee uiterst dunne lagen zijn te maken. Dezentje: “De reden voor mijn onderzoek is dat ziekenhuizen niet afhankelijk willen zijn van wekelijkse levering van medische isotopen. Ze willen de garantie van een lutetium-177-generator die standaard ‘op de plank’ staat.”

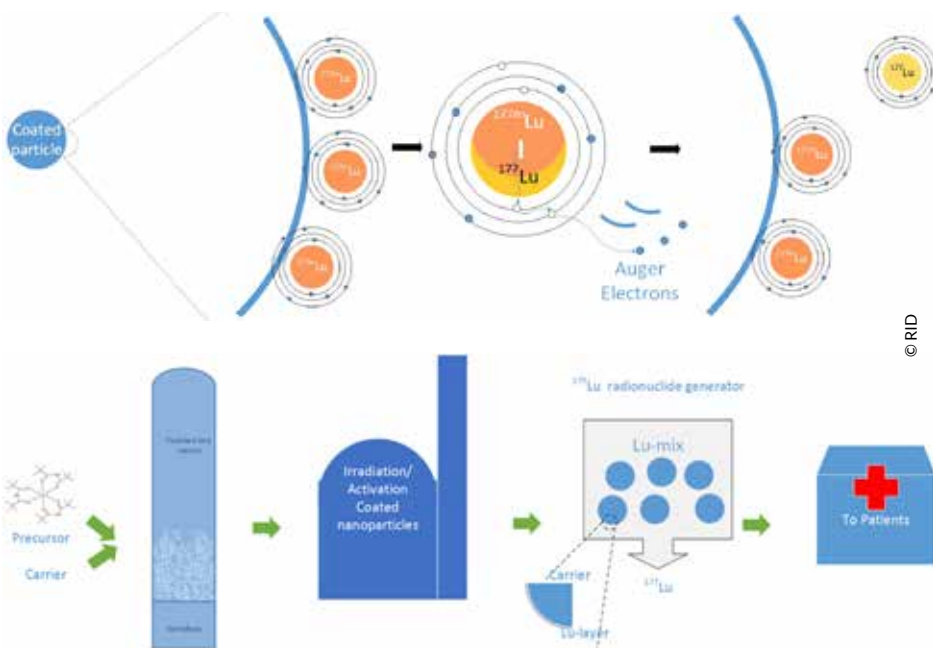
(0,02 procent) bestaat uit lutetium-177m (metastabiel) met een halfwaardetijd van 160 dagen. Dat blijkt geen probleem voor patiënten maar wel voor de afvalverwerking. Dezentje: “Daarnaast zien ziekenhuizen het als probleem dat wanneer ze patiënten behandelen het lutetium-177 elke week voor hen beschikbaar moet zijn. Dat moet je kunnen garanderen en een lutetium-generator die standaard ‘op de plank’ staat zonder afhankelijk te zijn van transport, vormt daarvoor een oplossing.” Lutetium-177m vervalft voor 78 procent naar het stabiele hafnium-177 en voor ruim 20 procent naar lutetium-177. Met een halfwaardetijd van iets meer dan 160 dagen geeft dat de basis voor het ontwerp van een lutetiumgenerator met lutetium-177m als de moederradionuclide die in theorie bijna een half jaar lang een ziekenhuis van de gewenste medische isotoop kan voorzien.

Atomic layer deposition

Conventionele radionuclidegeneratoren zijn gebaseerd op het feit dat de moeder en dochter radionuclide verschillende elektrostatische interacties hebben met het kolom materiaal waaraan de moeder is gehecht. De dochternuclide kan daardoor makkelijk van de radionuclide generator worden geëluëerd. Elueren is onttrekken van een element of chemische verbinding aan een vaste legering of een vast mengsel door oplossing. Voor de duidelijkheid wordt ook wel van ‘melken’ gesproken. Wanneer er gewerkt wordt met chemische identieke moeder-dochterparen zoals bij ^{177m}Lu en ^{177}Lu zijn andere scheidingsmethodes nodig. Atomic layer deposition (ALD) is een technologie die uitkomst kan bieden. Dezentje legt uit dat je aan de ene kant het vraagstuk hebt om tot het ontwerp van generatoren te komen en anderzijds wat de mogelijkheden van ALD zijn om daaraan bij te dragen. “Door gebruik te maken van ‘hot atom-principes’ kan het mogelijk zijn deze moeder-dochter paren te scheiden.” Een hot atom is een atoom met een hoge energie.

“Hot atom-principes beschrijven de chemische effecten die optreden door nucleaire interacties of verval. Een voorbeeld van deze effecten is het breken van chemische bindingen. De effectieve afstand waarover deze ‘hot atom’-principes werken is echter zeer beperkt. Dit maakt het noodzakelijk om gebruik te maken van hele dunne laagjes atomen.” ALD is daarbij

het lutetium-177 kan worden geëluëerd. Dat was het startpunt. Je moet dus op zoek gaan naar ‘lutetiumvormen’ die niet oplosbaar zijn. Vervolgens ga je uitzoeken wat de mogelijkheden van ALD zijn en doe je onderzoek naar mogelijk precursors en co-reactanten.” Dezentje beschrijft de rol van een precursor en dragerstof. “De drager is de stof waar ik het lutetium op wil afzetten



➤ Bovenste schema: Presentatie van het breken van de chemische verbinding tussen Lu en de drager door verval. Onderste schema: Stappen die moeten worden doorlopen in de ontwikkeling en productie van een radionuclide generator op basis van ALD-gecoate deeltjes.

de aangewezen techniek om dergelijke dunne laagjes te produceren. ALD wordt voornamelijk in de industrie gebruikt bij de productie van halfgeleiders, maar kan door de veelzijdigheid ook gebruikt worden voor het maken van katalysatoren of farmaceutica.

Precursor en dragerstof

De dunne lagen zijn chemisch gebonden met het gebruikte dragermateriaal en dat is belangrijk om ongewenst elueren te voorkomen. “Wil je een werkzame generator dan moet je een manier vinden om het lutetium-177m zodanig vast te zetten dat het niet zomaar los komt of oplost. Je wil immers bereiken dat alleen

en de precursor is de stof die het lutetium naar de drager transporteert. In de reactor reageert mijn precursor met de drager zodat een zeer dunne laag werkzame stof ontstaat.” Ze heeft met succes een laag lutetiumoxide kunnen afzetten op het dragermateriaal. “Maar toen ik daarna het materiaal ben gaan oplossen in respectievelijk water, een zoutoplossing en een organisch middel bleek helaas dat ik lutetium kon meten in de oplossing. Dat betekent dat de combinatie lutetiumoxide en drager die ik heb gebruikt nog niet geschikt is voor een generator.” Het idee is immers dat het moeder materiaal onoplosbaar is terwijl de dochter is te elueren en dat is mogelijk op het moment dat metastabiel lutetium ➤

vervalt naar de 'ground state' lutetium-177. "Op dat moment raakt het atoom zijn valentie-elektronen kwijt - de elektronen waarmee hij zijn binding aangaat - en kan er vervolgens uitschieten. Dat is dus het moment om het gewenste lutetium-177 te elueren."

Activeren

Het activeren van het lutetium-176 gebeurt net zoals bij de directe productie in de reactor. Om te voorkomen dat ook het dragermateriaal activeert in de reactor heeft Dezentje gebruik gemaakt van titaan- en silicaverbindingen. "Wanneer die activeren zijn het relatief kortlevende isotopen die je dan ook relatief weer snel kwijt bent." Dezentje licht toe dat op het moment dat het materiaal zich in de reactor bevindt van twee processen gebruik kan worden gemaakt. "Het ene is de productie van metastabiel lutetium waarmee we de generator kunnen maken. Het andere is het scheiden van het lutetium-177 dat direct ontstaat tijdens de bestraling van lutetium-176 en kan losschieten door de terugslag die ontstaat door de gamma-

Verbeterde technetiumgeneratoren

Maar ook het compleet doorgronden van het ALD-proces ziet Dezentje als noodzaak om verder te komen. "Hoe werkt ALD? Ik wil precies weten hoe het proces werkt. Daarom heb ik geoefend met het meest bekende ALD-proces: de depositie van aluminiumoxide door een reactie van trimethylaluminium (TMA) met een geprepareerd oppervlak. Dit levert een hele mooie laag op die in een generator gebruikt zou kunnen worden omdat er zo meer absorptiecapaciteit ontstaat." ALD is de techniek die zij heeft gebruikt om een laagje af te zetten. Het dragermateriaal behoudt het groot specifiek oppervlak doordat met ALD laagjes met uiterst geringe dikte kunnen worden afgezet. Dat biedt mogelijkheden voor de ontwikkeling van betere technetiumgeneratoren. "Er wordt op dit moment naast hoog specifieke activiteit molybdeen-99 uit uraniumspijting ook lager specifieke activiteit molybdeen geproduceerd uit alternatieve productieroutes (bijvoorbeeld door bestralen van ^{98}Mo -targets). Wil je dezelfde hoeveelheid technetium aan je patiënten geven dan moet je meer effectieve massa molybdeen in je generator hebben om dezelfde opbrengst te krijgen en dat betekent dat het absorptievermogen in de generator omhoog moet. Dezentje heeft in haar proefschrift beschreven dat de absorptiecapaciteit van de met ALD gecoatete deeltjes tweemaal hoger ligt dan bij de bestaande techniek in generatoren.

energie die vrij komt bij activeren. Hierdoor wordt de chemische band verbroken wat een scheiding van ^{177}Lu en de drager mogelijk maakt." Dit resulteert in een 'schonere' hoeveelheid lutetium-177 voor direct gebruik en een deel lutetium-177m

voor gebruik in een generator. Zijn we daar nog ver van verwijderd? "Het staat of valt allemaal met hoe onoplosbaar je laag is die je hebt afgezet op je dragermateriaal", aldus Dezentje die verwijst naar oplosbaarheidstabellen waaruit blijkt dat

Josette Dezentje



Josette Dezentje heeft technische scheikunde aan de TU Delft gestudeerd. "Tijdens mijn masteronderzoek had ik al het idee om niet de die-hard proces engineering in te gaan, maar mij meer richting 'de nucleaire kant' te ontwikkelen." Dat was voor haar de reden om haar masterproject bij de reactor te doen. "Ik vond dat echt een ontzettend leuke omgeving en wilde er graag mee doorgaan voor mijn PhD. Ik heb toen geïnformeerd of er nog nieuwe projecten waren en wat ik moest doen om dat te regelen. Het werd me toen duidelijk gemaakt dat er niet zoveel te regelen viel, maar wel dat ik mijn wensen kon aangeven." De begeleider van Dezentje kwam na verloop van tijd met een voorstel voor een onderzoek naar de ontwikkeling van lutetiumgeneratoren en de rol van ALD daarin, dat een combinatie van meerdere vakgebieden binnen een project inhield en dat sprak haar zeer aan. "In april 2014 ben ik ermee gestart. Dat het uiteindelijk zes jaar heeft geduurd komt doordat ik parttime ben gaan werken waardoor het project werd verlengd." Ze ziet het nu als voordeel dat ze als promovenda bij het RID-onderzoek heeft kunnen doen en tegelijkertijd als stralingshygiënist werkzaam is. "Ik zie het belang in van de combinatie goed onderzoek doen en veilig onderzoek doen." Dezentje heeft het gebruik van ALD voor de productie van radionucliden onderzocht. Door de veelzijdigheid van ALD kan deze techniek ook gebruikt worden voor de ontwikkeling van targets voor geladen deeltjes bestraling of verrijkingsexperimenten. Deze veelzijdigheid heeft ze aangetoond met drie casestudies: de productie van Cu-targets voor ^{64}Cu productie, de productie van ^{177}Lu met behulp van een radionuclide generator en de productie van ^{99}Mo op drie verschillende manieren.

stikstofverbindingen voor de hand liggen. “Bij ALD zou je gebruik kunnen maken van ammoniak om zo een lutetiumnitridelaag te maken, maar dat is nog niet gelukt. Omdat te hoge concentraties ammoniak tot explosies kunnen leiden, hebben we misschien een te veilige concentratie gebruikt, die te laag is voor in de ALD-



Column



Sabotereren

“Nothing in life is to be feared,” doceerde Marie Curie een eeuw geleden. “It only is to be understood.” Anno 2020 benutten de Aziaten de wijsheid van de tweevoudig Nobelprijswinnares op alle fronten beter dan wij, Europeanen. China, met anderhalf miljard inwoners, heeft evenveel coronadoden als Nederland. De Volksrepubliek begrijpt waar de beheersing van Covid-19 om draait: massaal testen en razendsnel,

radicaal isoleren. Terwijl wij nog maar zeer recent net voldoende testcapaciteit hebben, en China ons van zo'n beetje alles heeft moeten voorzien, van schorten en handschoenen tot de middelen om IC-patiënten in slaap te houden, draait de economie in Azië bijna alweer op volle kracht.

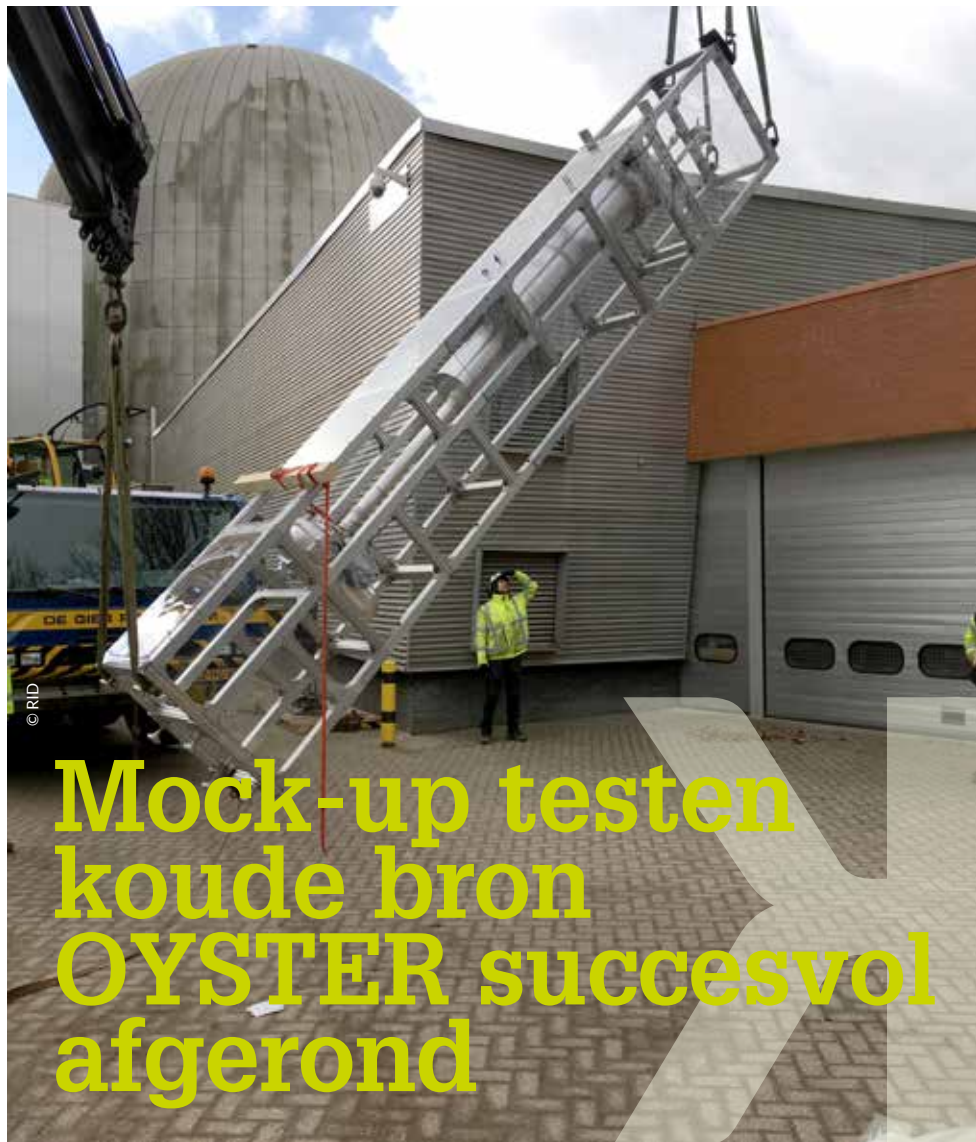
Wij echter blinken uit in de kunst van het saboteren. Onze scholen konden gewoon open blijven, maar twee artsen, voorzien van een krachtige megafon, wisten angstige docenten, weifelende bestuurders, en de NOS zo te beïnvloeden dat de scholen toch dicht gingen. Femke Halsema legde haar ambtsketting af, en werd een activiste die het racismevirus eventjes belangrijker vond dan het coronavirus. Michael Moore saboteerde de groene ideologie met zijn Planet of the Humans; YouTube saboteerde Moore met schending van auteursrechten. Zelf heb ik de corona slowtime benut om mijn powerpoint over verleden, heden, en toekomst van kernenergie te updaten. Alle gezaghebbende energieprojecties laten een groei van kernenergie zien. Helaas is die groei louter te danken aan de nucleaire projecten en programma's in Azië. Kernenergie in de VS en in het VK blijft zo'n beetje op peil. In de EU-27 daarentegen zal er rond 2050 geen kerncentrale meer draaien. Met dank aan decennia van antinucleaire sabotage door een armada van NGO's en groene profeten, bekroond met het monopolie voor groene energie in de Green Deal van klimaatpaus Timmermans. Goddank kwam de fraaiste sabotage uit Zeeland. In de Zeeuwse Energie Strategie blijft Borssele open tot 2053: tachtig jaar bedrijfsduur, klasse! Maar laat de KCB alsjeblieft niet de allerlaatste kerncentrale worden die dichtgaat in de EU-27. Die Green Deal moeten we saboteren. Nu! **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.

K Dit is de opstelling die Dezentje heeft gebruikt. Zichtbaar is de (fluidebed) ALD-reactor.

reactor, waardoor er wel reacties hebben plaats gevonden maar te weinig om terug te vinden”, aldus Dezentje. Na het afronden van haar studie blijft Dezentje als stralingshygiënist bij het RID werkzaam. Of de productie van lutetiumgeneratoren nu dichterbij is gekomen, kan ze niet zeggen. “Ik hoop natuurlijk wel dat het onderzoek naar de ontwikkeling van een lutetiumgenerator en eigenlijk al het onderzoek naar de nucleair medische toepassingen van ALD door volgende promovendi worden opgepakt, omdat dit unieke kansen biedt.” **K**



Mock-up testen koude bron OYSTER succesvol afgerond

Acht jaar geleden maakte de Nederlandse regering bekend dat zij het project OYSTER (Optimized Yield for Science, Technology & Education of Radiation) financieel wilde ondersteunen om zo een extra impuls te geven aan het nucleair stralingsonderzoek en -onderwijs van de TU Delft. Het project omvat onder meer de installatie van een koude bron naast de reactorkern en de ontwikkeling van nieuwe instrumenten die gebruik maken van de neutronen van de reactor. Inmiddels is het koelgebouw gereed en zijn de testen met de mock-up buiten de reactor afgerond. René Gommers is de projectleider van het niet-nucleaire gedeelte van het project, Camiel Kaaijk is hoofd reactorontwikkeling en projectleider van het nucleaire deel van het project. Samen vertellen zij over de werkzaamheden en de stand van zaken.

Het OYSTER-programma voorziet in de bouw van een koude bron in één van de bundelbuizen onderaan de kern van de onderzoeksreactor om de neutronen te

koelen tot bijna 20 K (-253 °C). Water modereert ofwel remt de neutronen af die vrijkomen in een kernreactor bij de splijting van uranium. De neutronen gaan

van 20 miljoen meter per seconde naar 2.000 meter per seconde. Door de koude bron zullen de neutronen nog meer energie verliezen en vertragen tot een snelheid van 500 meter per seconde. Hierdoor kunnen onderzoekers in Delft de neutronen nog efficiënter gebruiken voor nog betere onderzoeksresultaten. Voor het afkoelen van de neutronen tot dergelijke lage temperaturen wordt gebruik gemaakt van vloeibaar waterstof als moderator. Om het waterstof zo koud te krijgen en te houden is een grote koelinstallatie gebouwd in het koelgebouw dat zich naast de reactorhal bevindt. Gommers: "De kern van deze koelinstallatie bestaat uit zes Stirling cryogeneratoren die onafhankelijk van elkaar werken maar die allemaal zijn aangesloten op een 'header' of spruitstuk. In het koelgebouw koelen de generatoren helium dat met een blower richting de warmtewisselaar in het nucleaire gedeelte in de reactorhal wordt gestuwd." Deze warmtewisselaar maakt deel uit van de thermosifonkringloop die in het reactorbassin wordt geplaatst en waar ook de koude bron, de transportleidingen en de waterstoffoevoerleiding deel van uitmaken.

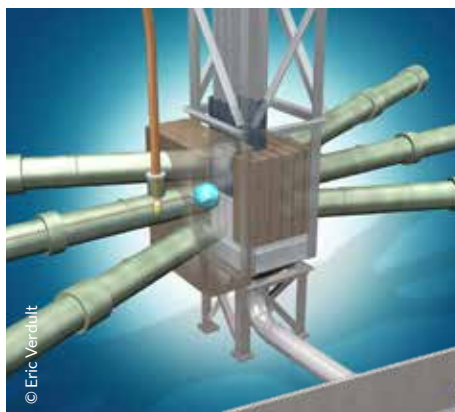
Natuurlijke convectie

Aangezien de moderatorkamer van de koude bron naast de reactorkern komt, zijn uitgebreide testen uitgevoerd met een mock-up buiten de reactor naast het koelgebouw. De mock-up, die door dezelfde Koreaanse firma is gebouwd als de installatie die in de reactor komt, is een kopie en bestaat dus ook uit een moderatorkamer met transportleidingen en een warmtewisselaar. Kaaijk legt uit waarom de tests zo belangrijk waren. "Bij de koeling van het waterstof wordt gebruik gemaakt van natuurlijke convectie in de thermosifonkringloop die ervoor moet zorgen dat het waterstof wordt rondgepompt. De convectie wordt op gang gebracht doordat het waterstof in de koude bron gaat koken door de warmte die tijdens de kernsplijting in de reactor ontstaat en door de straling. Hierdoor

stijgt de waterstofdamp via de leidingen richting warmtewisselaar. Daar koelt het helium dat vanuit het koelgebouw richting warmtewisselaar wordt gepompt het waterstof tot 20 K, waarna het als vloeistof door de zwaartekracht in de koude bron terecht komt en het proces zich herhaalt.” De testen bij de mock-up waren erop gericht om te onderzoeken waar en op welk moment er vloeibaar waterstof ging stromen. “Hiertoe hadden we verscheidene thermokoppels in de mock-up aangebracht”, aldus Kaaijk. “Om de omgevingswarmte in de reactor na te bootsen was de moderatorkamer in de mock-up voorzien van een interne heater. De mock-up is ook gebruikt om operators te trainen die zo dadelijk met de ‘echte’ koude bron aan het werk gaan.” De operators hebben diverse situaties kunnen nabootsen, bijvoorbeeld de opstart van de koude bron, maar ook extremere situaties zoals het wegvallen van de koeling of het afschakelen van de reactor.

Hypothetische explosie

De mock-up is inmiddels verwijderd. Kaaijk: “Testen doen is hartstikke leuk, maar we willen natuurlijk doorgaan met het project.” Op de plaats waar de mock-



© Eric Verdult

up stond staat nu het komende project op stapel met de bouw van een ‘brug’ tussen het koelgebouw en de reactorhal om een veilige overgang te bieden voor de twee leidingen waarin het koude helium richting warmtewisselaar gaat en het opgewarmde helium weer retour richting cryogene generatoren in het koelgebouw. Gommers: “Belangrijk voor dit onderdeel vormen de gasdichte doorvoeren in de reactorhal die hiervoor een aantal extra verstevigingsribben kreeg.” Hij legt uit dat alle leidingen afsluitkleppen krijgen:



➤ Links: artist impression van de koude bron in een van de bundelbuizen. Rechts: artist impression van de reactorhal, het bassin en de verschillende bundelbuizen.

“Het is niet zozeer dat de druk van 27 bar een probleem vormt maar wel de extreem lage temperatuur van het helium. Een koudebrug zou onmiddellijk ijsafzetting tot gevolg hebben.” Gommers legt uit dat alle leidingen van de nieuwe installatie die door de doorvoeren gaan van kleppen worden voorzien.

Omdat er waterstof in de koude bron zit is het systeem ontworpen volgens een veiligheidsfilosofie. Er bevinden zich geen bewegende delen in de waterstofkring. Voor rondstromen wordt gebruik gemaakt van het thermosifon-principe. Rondom de met waterstof gevulde delen bevindt zich een mantelgas om zuurstof-inlek te voorkomen. Tevens is er een vacuümschil om het koude waterstof thermisch te isoleren van de omgeving. De buitenschil van het met waterstof gevulde deel is zo uitgevoerd dat het een hypothetische explosie van waterstof kan weerstaan. Zo komt er bijvoorbeeld in de hal een waterstofbuffervat van twee kubieke meter dat zich weer in een groter vat met stikstof bevindt. De totale massa waterstof bedraagt ongeveer 700 gram; de moderatorkamer ➤

➤ Camiel Kaaijk, hoofd reactorontwikkeling en projectleider van het nucleaire deel van het project: “Testen doen is hartstikke leuk, maar we willen natuurlijk wel doorgaan met het project.”



© RID

van de koude bron heeft een volume vloeibaar waterstof van ongeveer 3 liter.

Reactorbeveiligingssysteem

In de huidige configuratie zijn er zes bundelbuizen die neutronen vanaf de reactorkern richting de verschillende onderzoeksfaciliteiten leiden. De koude bron wordt in een van de grotere van deze bundelbuizen geplaatst. Het hele systeem met leidingen en warmtewisselaar bevindt zich boven de moderatorkamer in het bassin. Kaaijk: "De bundelbuis die erboven zit, moeten we tijdelijk weghalen maar komt weer terug. We bevestigen de gewijzigde bundelbuizen met speciale dichtringen en klemmen en die op afstand zijn te openen met speciaal gereedschap. Met de aanpassingen krijgt ook het reactorbeveiligingssysteem een upgrade. Het bestaande reactorbeveiligingssysteem werkt met een relaisstelsel en heeft tot doel om bij overschrijding van bepaalde grenswaarden te voorkomen dat een onveilige toestand ontstaat. In dat geval volgen automatische acties waaronder het



✎ *René Gommers, projectleider van het niet-nucleaire gedeelte van het project: "Het is niet zozeer dat de druk van 27 bar een probleem vormt maar wel de extreem lage temperatuur van het helium."*

isoleren van de reactorhal of een afschakeling van de reactor. Met de uitbreiding schakelt de reactor ook af wanneer bijvoorbeeld de heliumkoelinstallatie uitvalt om te voorkomen dat door onvoldoende warmteafvoer de koude bron intern beschadigt. Hiertoe worden drukmeters geplaatst die de waterstofdruk continu in de gaten houden. Volgens Kaaijk en Gommers verlopen de voorbereidingen en werkzaamheden volgens plan. Wat onder

andere roet in het eten gooit, is ook hier de coronacrisis. Kaaijk: "Corona zorgt voor vertraging waardoor de Koreanen nu niet naar Europa kunnen komen. Hetzelfde geldt voor een onderaannemer uit Duitsland, maar we gaan ervan uit dat we in het eerste kwartaal van 2021 de reactor weer kunnen opstarten en de koude bron in gebruik nemen." **K**

Menno Jelgersma

OYSTER: de opwaardering van bestaande onderzoeksfaciliteiten

De in de reactor opgewekte neutronen worden binnen OYSTER met waterstof gekoeld. Onder in het bassin bij de reactorkern bevinden zich de zes bundelbuizen. De neutronen worden buiten de reactor naar het hart van iedere meetopstelling geleid. Door de extreem lage temperatuur van de koude bron in één van deze bundelbuizen veranderen de eigenschappen van neutronen zodanig dat ze beter zijn te geleiden. Hierdoor is het mogelijk tot honderdmaal meer neutronen bij de experimenten achter deze buis te krijgen dan bij 'warme' neutronen. Een ander voordeel van koude neutronen is dat ze minder snel door een testmateriaal bewegen. De grotere golflengte van de koude neutronen maakt het bovendien mogelijk om grotere structuren zichtbaar te maken. Naast de ontwikkeling en realisatie van de nieuwe neutronendiffractometer PEARL zullen bestaande instrumenten een upgrade krijgen en wordt een aantal overige nieuwe faciliteiten gebouwd. Zo krijgt de Reflectometer voor Oppervlakten en Grenslagenonderzoek (ROG) en de Small Angel Neutron Scattering (SANS) een geoptimaliseerd spectrum van koude neutronen waardoor onderzoek gedaan kan worden aan materialen als kwalitatief hogere halfgeleiders, Lithium batterijen en waterstofopslag. De wereld leidende Positron Annihilation Lifetime Spectrometer (POSH) krijgt een nieuwe variant voor onderzoek aan onder andere polymeren en supergeleiders. Tevens wordt de ontwikkeling doorgezet van het imaging station (FISH: First Imaging Station Holland) waarmee de echtheid en oorsprong van kunstobjecten kan worden onderzocht. Dat kan door een variant te bouwen die optimaal gebruik maakt van de koude neutronen waarbij de inwendige structuur van b.v. lassen kan worden gevisualiseerd. Met OYSTER kan de TU Delft de aansluiting bij de internationale topinstituten nog beter maken. Het is een impuls voor het wetenschappelijk onderzoek en voor productontwikkeling. Prof. dr. Bert Wolterbeek, directeur van het Reactor Instituut Delft verklaarde eerder in Kernvisie Magazine: "OYSTER is het logische vervolg op het succes en de voortdurende doorontwikkeling van de Hoger Onderwijs Reactor die in 1963 operationeel werd. Met de nieuwe ontwikkeling maken we de HOR breder inzetbaar en kunnen we nog beter voldoen aan vragen vanuit de wetenschappelijke wereld en vanuit de markt."

The Nuclear Dream – Verslag van een tijdperk



✎ Bernhard Ludewig

Als er mooiere boeken zijn over de nucleaire sector dan hoor ik dat graag, maar na het zien van *The Nuclear Dream* van Bernhard Ludewig, kan ik me dat nauwelijks voorstellen. Zeven jaar lang werkte hij aan een verslag van de opkomst tot de aangekondigde ondergang van de Duitse nucleaire industrie. Vier kilogram boek met driehonderd haarscherpe kleurenfoto's op A3-formaat. *The Nuclear Dream* is een boek dat iedereen met een hart voor de sector wil hebben.

Het ongeluk in maart 2011 in de Japanse Fukushima Daiichi kerncentrale bezegelde het lot van de Duitse kerncentrales. De zeven oudste kerncentrales in het land werden onmiddellijk gesloten; de overige moeten over twee jaar uit bedrijf zijn

genomen. Met de Duitse nucleaire sector in rap verval besloot wetenschapper en fotograaf Bernhard Ludewig in 2012 om verslag van het nucleaire tijdperk te doen, bijgestaan door kernfysicus en wetenschapsjournalist Dirk Eidemüller.

Het resultaat is een document van en eerbetoon aan de hoopvolle toekomstverwachting van de nucleaire sector, *The Nuclear Dream*, vanaf het midden van de jaren vijftig tot enkele jaren voor de aangekondigde sluiting van de laatste kerncentrales in 2022; van het Utopia van ongelimiteerde energie tot ontmanteling en eindberging.

Van Otto Hahn tot eindberging

Ludewig is niet over een nacht ijs gegaan en werkte zeven jaar aan dit project, bezocht 60 locaties in zeven landen. Hij fotografeerde koeltorens waar de Dom van Keulen bijna inpast, koeltorens die door hem als bijna sacrale locaties worden bestempeld: "Zoals het Pantheon in Rome, zo groot." Het boek toont en geeft inzicht in de winning van uranium, de verrijking, de opwerking en mogelijkheden voor eindberging in ruim 400 pagina's en 460 foto's, waarvan 300 paginagroot (A3). Het beschrijft het onderzoek dat zich uitstrekt van de ontdekking van de splijting door Otto Hahn, de prototypes van de thorium- en kweekreactor en 'reguliere' kernreactoren tot eindberging. In totaal zijn tientallen locaties weergegeven. In La Hague was hij bijvoorbeeld getuige van het lossen van een CASTOR, een ✎

✎ De kleedkamer in de kerncentrale Gundremmingen tijdens een revisie.





© Bernhard Ludewig

➤ *Werkzaamheden in de zoutkoepel bij Gorleben die ontworpen is voor de eindberging van kernafval.*

container die wordt gebruikt voor de opslag en het vervoer van radioactief materiaal en hij had ook de gelegenheid om de noodstop van een reactor in een trainingsfaciliteit te initiëren. Hij staat in de sarcofaag van Tsjernobyl, is getuige van het openen van reactorvaten, bezoekt onderzoeksreactoren, kerncentrales en trainingsfaciliteiten.

Internationale samenzwering

Ludewig laat zowel de positieve als negatieve kanten van de sector zien

en toont alle aspecten die de sector zo bijzonder maken. Het boek doorloopt chronologisch het nucleaire tijdperk, beginnend bij de proclamatie van die periode in 1955 met de UN-conferentie over het vreedzaam gebruik van kernenergie: het Atoms for Peace-programma. Omdat hij zich met name richt op de Duitse situatie gaat hij ook in op de nucleaire wetenschappelijke achterstand in navolging op de tweede wereldoorlog en de inhaalslag die de toenmalige West-Duitsers maakten met de bouw van onderzoeksreactoren in Karlsruhe, Jülich

en Geesthast. Vrijwel direct ontstond ook een tegenbeweging die aanvankelijk was gestoeld op angst voor straling tijdens de normale bedrijfsvoering van reactoren en het feit dat de centrales zo lelijk in het landschap stonden. De tegenbeweging werd ook gevoed door boeken zoals dat van de Oostenrijker Günther Schwab dat over een, door Schwab vermeende, internationale samenzwering ging om de mensheid met kernsplijting uit te roeien. Het heeft de toon gezet van twee onverzoenlijke kampen.

Het boek is compleet en goed leesbaar doordat de hoofdstukken worden versterkt door middel van verklarende feitelijke teksten en persoonlijke indrukken. Techniek wordt niet geschuwd. De complete Karlsruher Nuklidkarte is afgebeeld in hoge kwaliteit gedrukt op dubbel A3 en is daardoor toch nog nét te lezen. Onderverdeeld in hoofdstukken over onderzoek, bouw, training en testen, uranium, kerncentrales, Tsjernobyl en ontmanteling kom je bij het laatste hoofdstuk over kernafval terecht. In de appendix gaan de schrijvers in op de architectonische waarde van kerncentrales met hun eigen schoonheid. Het boek besluit met unieke tekeningen van

➤ *RM II in Garching, experimentenhal. De experimenten zijn geïnstalleerd in een cirkelvormige opstelling rond de reactor die verborgen is achter het donkerrode beschermingsschild.*



© Bernhard Ludewig

reactoren, een woordenregister en een literatuurverwijzing.

Jubilarissen

Ludewig neemt geen standpunt over kernenergie in, al is het duidelijk geschreven vanuit het overwegend Duitse gezichtspunt dat kernenergie haar tijd heeft gehad. Tijdens een van zijn bezoeken aan een kerncentrale vertelt Ludewig over de somberheid onder het personeel hoewel alle werknemers nog steeds trots zijn op de sector. Die somberheid leidt ook tot de opmerking: "Een boek? Er is niemand die dit wil zien." Ik denk dat deze werknemer ongelijk heeft. Ten eerste is het met de huidige aandacht voor kernenergie in een CO₂-vrije energiemix natuurlijk de vraag of het lot van kernenergie daadwerkelijk bezegeld is. Ten tweede, en daar ben ik van overtuigd, heeft Ludewig een boek gemaakt dat iedereen die in nucleair is geïnteresseerd, wil hebben. Het is gewoon een prachtig boek; ruim 4 kilogram aan heldere tekst, tekeningen, haarscherpe en fascinerende foto's, mooi gemaakt met oog voor techniek, compositie en detail. Het zou mij niets verbazen als The Nuclear Dream hét relatiegeschenk wordt voor jubilarissen en mensen uit de sector die met pensioen gaan. **K**

Menno Jelgersma

Overzicht

Titel: The Nuclear Dream

Auteurs: Bernhard Ludewig en Dirk Eidemüller

Gebonden met luxe stofkaft: 418 pagina's

Uitgever: Dom Publishers; 1 editie (10 maart 2020)

Engelse uitgave: ISBN-978-3-86922-080-2

Duitse uitgave: ISBN-978-3-86922-088-8

Productafmetingen: 28,8 x 36,6 cm

Gewicht: 4 kilogram

Prijs: bij Dom Publishers: € 98,00 maar ook via Bol.com of boekhandel verkrijgbaar



Kerncentrale Borssele uit bedrijf voor jaarlijks onderhoud

Op vrijdag 29 mei ging de kerncentrale Borssele uit bedrijf voor de jaarlijkse splijtstofwisselperiode. In verband met het risico op besmetting met het coronavirus zijn speciale maatregelen getroffen en werd het aantal mensen op het terrein zoveel mogelijk beperkt. Daarom koos EPZ ervoor om de werkzaamheden die niet noodzakelijk in 2020 uitgevoerd hoefden te worden, uit te stellen tot de volgende onderhoudsstop.

De organisatie neemt van de gelegenheid gebruik om naast het wisselen van de splijtstofelementen nog ongeveer 700 karweien extra werkzaamheden uit te voeren. Voor zover EPZ niet aan de werkzaamheden toekomt, schuift ze deze door naar 2021. Het huidige programma is door de vakspecialisten in nauw overleg met de toezichthouder ANVS (Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming) en leveranciers vastgesteld.

De werkzaamheden die worden uitgevoerd tijdens deze jaarlijkse onderhoudsstop zijn onder andere periodieke testen die aantonen dat de installaties naar behoren functioneren en inspecties die alleen mogelijk zijn als het reactorvat

is geopend, zoals de inspectie van de splijtstofelementen.

Naast de eigen EPZ medewerkers werken er tijdens een splijtstofwisselperiode extra mensen op het terrein. Er is een speciaal team opgericht dat goede, werkbare maatregelen heeft ontwikkeld en heeft deze op basis van de adviezen van het RIVM en ervaringen van andere kerncentrales wereldwijd ingevoerd om de risico's op besmetting met en verspreiding van het coronavirus te beperken. Zoals gebruikelijk is ook dit jaar de omgeving geïnformeerd over de splijtstofwisselperiode. Naar verwachting is de kerncentrale drie weken uit bedrijf. **K**

Bron: EPZ



K

KERNVISIE
MAGAZINE

NRG-visie
op nucleaire
kerninfra-
structuur

Letetium-
generator stapte
dichtbij

Mock-up koude
bron OYSTER
succesvol

3
Juni
2020

STICHTING 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 Energy te Zwijndrecht.



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

E-mail: kernvisie@kernvisie.com

THE NUCLEAR ELEPHANT SYMPOSIUM



Save the date!:

Op vrijdag 13 november
organiseert de Stichting KernVisie:

The Nuclear Elephant: de weg naar een CO₂-vrije toekomst

Locatie:

De Nieuwe Liefde, Amsterdam

Onderwerpen die aan bod komen:

- Hoe komen we tot de gewenste energiemix?
- Waarom moeten we alle CO₂-vrije opties meenemen?
- Welke rol spelen de landelijke en provinciale overheden?
- Hoe ziet een CO₂-vrije toekomst eruit?
- Wie zijn de belangrijkste spelers?

*De datum en locatie zijn onder voorbehoud.
In verband met eventuele maatregelen ter
bestrijding van het coronavirus, kan het
symposium worden omgezet in een online
bijeenkomst.*

Vooraankondiging:

KIVI-KE/NNS

is van plan om op de middag van
vrijdag 16 oktober aanstaande
een symposium te organiseren.

Nadere informatie te zijner tijd
op de website van KIVI: www.kivi.nl

