



**KERNVISIE
MAGAZINE**

SCK CEN stuurt
sensoren naar
de maan

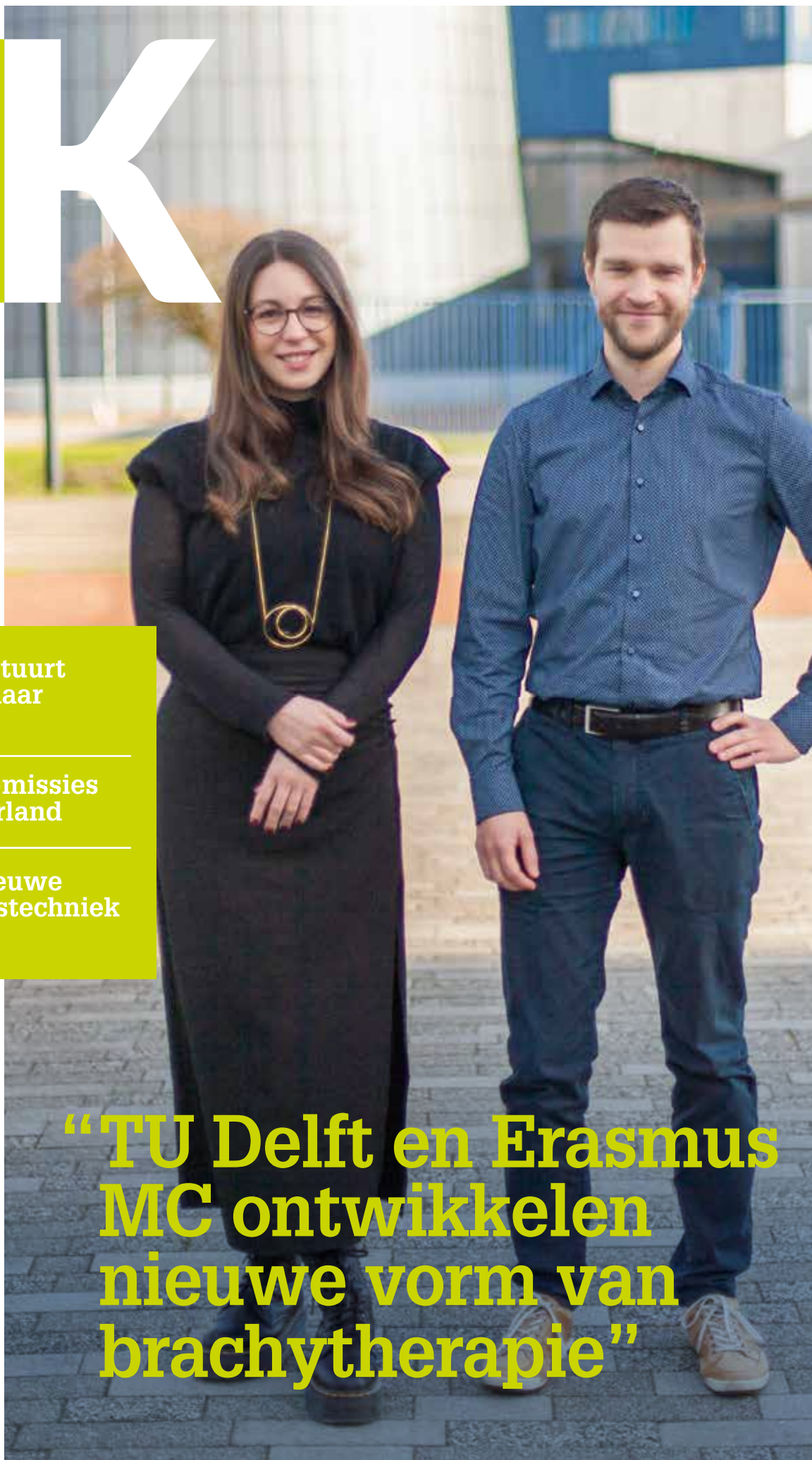
Drie IAEA-missies
naar Nederland

FLASH, nieuwe
bestralingstechniek
CERN

1
Februari
2023

UITGAVE VAN
STICHTING KERNVISIE

**“TU Delft en Erasmus
MC ontwikkelen
nieuwe vorm van
brachytherapie”**



Kernvisie Magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

Jaargang 18
Nummer 1
Februari 2023
Kernvisie verschijnt tweemaandelijks
Oplage 2.200 ex

Ontwerp & Grafische realisatie
StudioHusken.nl, Heiloo

Bestuur Stichting KernVisie

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

Redactie Kernvisie Magazine

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

Redactie adres

Dokter Bosmanshof 32, 6851 MJ Huissen
Telefoon 026-2130214
E-mail: kernvisie@kernvisie.com
Internet: www.kernvisie.com
Bankrekening NL19 INGB 0006 8513 70, t.n.v. Kernvisie,
Foundation for Nuclear Technology te Zwijndrecht.

Op de Cover

Alexandra Maier en Rogier van Oossanen
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 bevat een uitgebreide privacyverklaring over het gebruik van de persoonsgegevens die nodig zijn ten behoeve van de verzending van het Magazine.

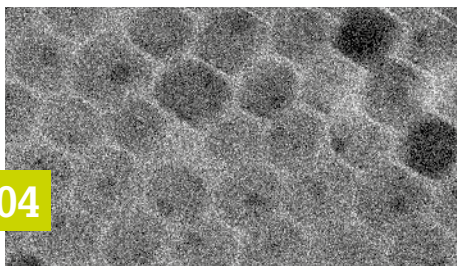
Voorwoord

Nieuwe mogelijkheden Brachytherapie en stralingsbelasting ruimtereizigers



In de eerste editie van Kernvisie Magazine van dit jaar gaan we uitgebreid in op het onderzoek van de twee promovendi van de TU Delft over de productie van palladium/ijzer-nanodeeltjes. Hiermee moet het in de nabije toekomst mogelijk zijn om tumoren in een vroeg stadium zeer effectief te bestrijden door ze te verhitten en vervolgens, wat er nog aan tumorcellen over is, met radioactief palladium te bestralen. Een veelbelovende vorm van brachytherapie waar we zeker nog veel van gaan horen. Een tweede groot onderzoek waar we aandacht aan besteden is dat van Olivier Van Hoey van het Belgisch onderzoeksinstituut SCK CEN. Met de intentie om mensen naar de maan en Mars te sturen wil het Amerikaanse NASA goed in kaart krijgen wat de stralingsdosis, tot op orgaaniveau, is die astronauten bij dergelijke missies oplopen. Eind vorig jaar vlogen er driehonderd sensoren van SCK CEN aan boord van de onbemande Artemis I-ruimtemissie van de NASA richting de maan. De sensoren waren verbonden aan poppen die gemaakt waren van materialen die lijken op menselijke botten, zachte weefsels en organen. De succesvolle missie is inmiddels afgerond, en hoewel de resultaten pas in de loop van het jaar zijn te verwachten, gaat Van Hoey diepgaand in op de redenen waarom het project zo belangrijk is. **K**

André Versteegh
voorzitter Stichting KernVisie



P04

Medisch

TU Delft en Erasmus MC ontwikkelen nieuwe vorm van brachytherapie

De promovendi Alexandra Maier (TU Delft) en Rogier van Oossanen (Erasmus MC) onderzochten de synthesemechanismen en hun effecten op de magnetische eigenschappen van hybride nanodeeltjes. Het onderzoek is een eerste stap voor een nieuwe behandeling van tumoren waarbij tumorcellen worden gedood door een combinatie van verhitting en bestraling van binnenuit.

P09 Maatschappij

Nederland ontvangt dit jaar drie IAEA-missies

Nederland ontvangt in 2023 drie teams van internationale experts. Tijdens deze missies onderzoeken experts of landen hun stelsel van nucleaire veiligheid en stralingsbescherming op orde hebben. De IAEA faciliteert deze missies; de ANVS doet de coördinatie en de voorbereiding samen met andere overheidsorganisaties.



P22

Energie

IEA publiceert rapport over schone energietechnologie

De wereld staat aan de vooravond van een nieuw industrieel tijdperk met de productie van schone energietechnologie. Dat biedt mogelijkheden, maar er zijn ook risico's. Hierdoor moeten landen over de hele wereld industriële strategieën bedenken om hun plaats in de nieuwe mondiale energie-economie veilig te stellen. Dit blijkt uit het recent verschenen rapport van het International Energy Agency (IEA): Energy Technology Perspectives 2023.

P16 Maatschappij

Dosimetrie-onderzoek SCK CEN draagt bij aan toekomstige bemande maanmissie

Eind vorig jaar vlogen er driehonderd Belgische sensoren mee aan boord van de onbemande Artemis I-ruimtemissie van de NASA richting de maan. De sensoren van het nucleaire onderzoekscentrum SCK CEN waren, met nog zo'n 10.900 andere sensoren, bevestigd aan twee vrouwelijke poppen. Het doel van de sensoren was het meten van de stralingsdosis die astronauten bij dergelijke missies oplopen tot op orgaaniveau.



P12 InBeeld

FLASH, de nieuwe bestralingstechniek

P14 Infographic

IAEA: de wetenschap achter radioactief verval

P19 Column

Lars Roobol: Een debatvol jaar

P20 Podcastbespreking

Titans of Nuclear van Bret Kugelmass



Onlangs verscheen de paper: Biomedicine for cancer treatment: Van structuur tot functie - Inzicht in synthetische omstandigheden in relatie tot magnetische eigenschappen van hybride Pd/Fe-Oxide nanodeeltjes. Alexandra Maier, promovendus TU Delft en Rogier van Oossanen, promovendus Erasmus MC onderzochten de synthesemechanismen en hun effecten op de magnetische eigenschappen van de hybride nanodeeltjes. Het onderzoek is een van de eerste stappen in de richting van een nieuwe behandeling van tumoren waarbij thermische ablatie - door verwarming doden van tumorcellen - wordt gecombineerd met brachytherapie, bestraling van binnenuit.

Medisch

“TU Delft en Erasmus MC ontwikkelen nieuwe vorm van brachytherapie”

Hybride magnetische nanodeeltjes tonen een groot potentieel voor verschillende toepassingen in de geneeskunde vanwege hun vermogen om meerdere functionaliteiten in één enkele structuur tot uitdrukking te brengen. Bij de ijzeroxide/palladium-103-nanodeeltjes (Pd/Fe-oxide NP's) gaat het om hybride deeltjes, waarbij de magnetische ijzeroxide component door de koppeling met een extern magneetveld zorgt voor thermische ablatie (het verwarmen tot zestig graden Celsius en daarmee doden) van tumorcellen en de radio-isotoop palladium-103 in de vorm van brachytherapie de tumorweefsel laaggradig bestraalt. Bij brachytherapie gaat het om inwendige bestraling, waarbij een stralingsbron in of naast het gebied van de vereiste behandeling wordt geplaatst. Het idee voor dit onderzoek ontstond tijdens een discussie tussen twee vakgroepen van de TU Delft en het Erasmus MC die samen een onderzoeksvoorstel hebben geschreven en ingediend bij de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Van Oossanen: "Bij een dergelijk voorstel ziet het NWO graag dat er niet alleen verscheidene instituten bij het onderzoek zijn betrokken maar zien ze ook graag betrokkenheid van het bedrijfsleven. Dat is gelukt met de deelname van VSParticle, een spin-off van de onderzoekslaboratoria van de TU Delft en Elekta, wereldwijd één van grootste fabrikanten op het gebied van brachytherapie", licht Van Oossanen toe. Die combinatie van onderzoeksinstituten en bedrijven is volgens Van Oossanen belangrijk omdat je daarmee kan laten zien dat de resultaten van het onderzoek in een later stadium door het bedrijfsleven kunnen worden toegepast.

Kookboek

De eerste stap bij het onderzoek was de fabricage van de nanodeeltjes, ofwel de synthese om de twee metalen palladium en ijzeroxide te combineren. Maier: "De grootste uitdaging was om te begrijpen hoe die synthese werkt. Bovendien zijn de Pd/Fe-oxide-NP's bedoeld om te worden

gebruikt als theranostische (= therapie en diagnostiek) middelen, dus ze vereisen zeer specifieke eigenschappen." Dit betekent dat een grote controle over de synthese nodig is om ervoor te zorgen dat de NP's precies die eigenschappen bezitten die je wilt hebben en behouden. Van Oossanen: "Je begint met een palladiumdeeltje waarop je een ijzeroxide laagje moet maken. De synthese gebeurt bij 300 graden Celsius. Wijk je daarvan af krijg je een andere vorm nanodeeltjes." De synthese vindt plaats in een zuurkast onder stikstof om de veiligheid tijdens de synthese te garanderen en te voorkomen dat er ongewenste bijproducten ontstaan. Maier: "Simpel gezegd is synthese een beetje als koken, dus het duurde even voordat ik het 'recept' had geperfectioneerd. Zo ontstond ook het artikel dat we publiceerden, het is eigenlijk mijn 'kookboek' voor de synthese van hybride Pd/Fe-oxide NP's."

Palladium-103

Van Oossanen: "Nadat het gelukt was, zijn we gaan kijken of ze de juiste magnetische en radioactieve eigenschappen hadden en of we ze veilig in het lichaam konden brengen." De nanodeeltjes met een formaat van 20 nanometer zijn opgebouwd uit een kern van radioactief palladium-103 dat ook bij andere vormen van LDR (low dose rate) brachytherapie wordt gebruikt, omgeven door een laagje van magnetisch ijzeroxide en een coating die voorkomt dat het lichaam de deeltjes als lichaamsvreemd ziet. Het palladium-103 waarmee de onderzoekers werken, wordt in de reactor van het RID geproduceerd door verrijkt palladium in een kwartsflesje naast de kern van de reactor te plaatsen. "Palladium-103 geeft laagenergetische straling met een beperkte dracht wat natuurlijk een voordeel is om op een gerichte afgebakende locatie te bestralen", aldus Maier. Het ijzeroxide en de coating schermen het (giftige) palladium-103 bovendien voldoende. Een zaadje is ongeveer 1 millimeter in diameter en 5 millimeter lang. Ook de dochternuclide rhenium blijft in de nanodeeltjes zitten en

kan verder geen schade aan het gezonde weefsel aanrichten.

Patent

Vervolgens hebben Maier en Van Oossanen gekeken of ze inderdaad konden verwarmen door het wisselend magneetveld in een testopstelling en hoeveel warmte ze leverden per gram. Dat bleek nog een flinke uitdaging omdat de vorm van de deeltjes van invloed is op de warmte die ze genereren bij het veranderen van het magneetveld. Van Oossanen kon uitrekenen hoeveel nanodeeltjes er nodig zijn om een tumor van een bepaald volume te kunnen verwarmen. Inmiddels weet hij ook dat het haalbaar is om tumoren vanaf 2,5 centimeter in diameter te behandelen met nanodeeltjes. Kleiner wordt het lastig om de tumor te 'vullen' met brachyzaadjes. Hij benadrukt het belang van patentering om het product uiteindelijk in de ziekenhuizen te krijgen. Van Oossanen: "Je kan die laatste stappen van ontwikkeling voor het in de kliniek komt niet zelf doen als wetenschapsinstituut. Daar heb je het bedrijfsleven, en in ons geval Elekta, echt voor nodig."

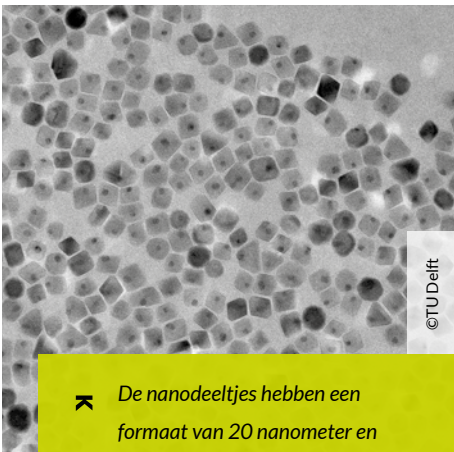
Alternatieve behandeling borstkanker

Bij het onderzoek richtten Maier en Van Oossanen zich in eerste instantie op de behandeling van borstkanker in een vroeg stadium waarbij er nog geen uitzaaiingen zijn. "De reden hiervoor is dat deze groep patiënten steeds groter wordt. Dat komt weer omdat steeds meer mensen door het bevolkingsonderzoek in een relatief vroeg stadium worden gescreend." Op dit moment is het zo dat als uit de beeldvorming mocht blijken dat er een tumor is, dan wordt deze bij een deel van de patiënten operatief verwijderd. "Aansluitend worden de patiënten voor een periode van vier tot zes weken dagelijks bestraald met externe radiotherapie." Van Oossanen legt uit dat deze aanpak op zich zeer succesvol blijkt. "Na vijf jaar is nog 98 procent van de mensen in leven." Waarom is het dan zinvol om op zoek te gaan naar een alternatieve behandeling? ✎



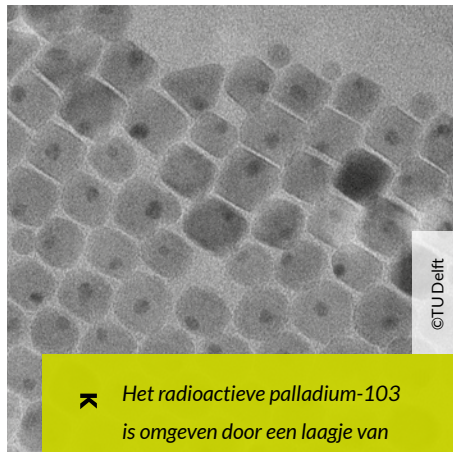
©TU Delft

De synthese vindt plaats in een zuurkast onder stikstof om de veiligheid tijdens de synthese te garanderen en te voorkomen dat er ongewenste bijproducten ontstaan.



©TU Delft

De nanodeeltjes hebben een formaat van 20 nanometer en zijn opgebouwd uit een kern van radioactief palladium-103 dat ook bij andere vormen van brachytherapie wordt gebruikt.



©TU Delft

Het radioactieve palladium-103 is omgeven door een laagje van magnetisch ijzeroxide en een coating die voorkomt dat het lichaam de deeltjes als lichaamsvreemd ziet.

Maier: “De gevolgen van de behandeling zijn heel groot. Het gaat om veelal jongere vrouwen. Niet alleen het verwijderen van een deel van een borst of de hele borst heeft een enorme impact, maar ook het ondergaan van de dagelijkse bestraling is een enorme belasting en dat geldt natuurlijk ook voor de ziekenhuizen.” De therapie met hybride nanodeeltjes is veel minder belastend voor de patiënt en kan voor een groot deel thuis worden afgemaakt. Dit betekent ook minder kosten en inspanning voor het ziekenhuis. Van Oossanen benadrukt dat er weliswaar voor een focus op borstkanker is gekozen maar dat de therapievorm ook voor de behandeling van andere tumoren geschikt

zou kunnen zijn. Met het onderzoek hoopt het onderzoeksteam een bijdrage te leveren aan een alternatieve behandelingsmethode waarbij er geen operatie plaatsvindt, maar de tumor wordt gedood door de thermische ablatie, waarna de externe bestraling wordt vervangen door inwendige bestraling. Bij deze brachytherapie worden kleine pellets die ‘zaadjes’ worden genoemd met behulp van een naald ingebracht in of op de tumor. Bij de reguliere brachytherapie bestaan die zaadjes uit een titanium kapsel waarin de radioactieve isotoop is opgenomen. Maier: “Wij hebben de zaadjes van de nanodeeltjes gemaakt die bijeen worden gehouden door een organische gel. De afmetingen van de zaadjes zijn identiek waardoor bestaande technieken

om de zaadjes in te brengen kunnen worden gebruikt.” De opbouw van de nanodeeltjes is een kern van palladium-103 met daaromheen een magnetisch ijzeroxide.

Magnetisch veld

Om de verwarming en daarmee het doden van het tumorweefsel tot stand te brengen wordt tijdens een behandeling gebruik gemaakt van een extern magnetisch veld. Bij de koppeling tussen de magnetische component van het veld en het magnetisch moment van de nanodeeltjes absorberen de deeltjes de energie en geven die af als warmte. Het externe magnetische veld zorgt zelf niet voor energieafgifte in de biologische weefsels, zodat deze techniek in principe veilig is voor alle levende organismen. Nadat het grootste deel van de tumor dood is kan de patiënt naar huis. Nu volgt het tweede deel van de behandeling waarvoor de patiënt niet meer dagelijks naar het ziekenhuis hoeft, omdat de bestraling door het radioactieve palladium-103 van binnenuit plaatsvindt. Van Oossanen: “De patiënt hoeft alleen nog maar terug te komen voor controle, maar verdere opname in het ziekenhuis voor bestralingen zal niet nodig zijn.” Na zestien à zeventien dagen is de stralingsdosis gehalveerd. Na verloop van tijd zijn de zaadjes dan ook niet of nauwelijks meer radioactief. Anders dan bij bijvoorbeeld de behandeling van prostaatkanker waarbij de patiënt de zaadjes uitscheidt, lossen de zaadjes bij de nieuwe techniek langzaam op waardoor de nanodeeltjes vrijkomen. “We weten uit de literatuur dat dit soort nanodeeltjes in de eerste weken in de tumor blijven en we verwachten dat dit bij onze deeltjes ook gebeurt. Als het palladium in de nanodeeltjes uiteindelijk is vervallen, zullen ze worden uitgescheiden door het lichaam”, licht Maier toe. Last heeft de patiënt er niet van, want de nanodeeltjes zijn zo klein dat je ze niet kunt voelen in het lichaam noch van binnen, noch van buitenaf.

Beeldvorming

Een tweede publicatie naast de paper waar Van Oossanen naar verwijst, gaat



Alexandra Maier komt uit Boekarest, Roemenië. Ze heeft haar bachelor Chemical Engineering gedaan aan de Universiteit Politehnica van Boekarest. Na een sollicitatie werd ze aangenomen voor het Chemical Engineering MSc programma Product track aan de TU Delft. Voor haar MSc thesis koos ze voor een project met biomedische toepassingen, onder de naam: Tubular Micro-origami: self-folding hydrogel patterns for vascular scaffolds. Na het afronden van het proefschrift werd ze benaderd voor een PhD-positie op het project waar ze nu aan werkt. Op dit moment schrijft Maier haar proefschrift en hoopt in juni-juli van dit jaar haar promotie te verdedigen.



Rogier van Oossanen is verbonden aan het Erasmus MC en werkt als promovendus samen in een project met de TU Delft met promovenda Alexandra Maier. Van Oossanen heeft natuurkunde gestudeerd bij de TU Delft en een master medische natuurkunde gedaan. Vervolgens kwam hij bij NRG terecht in Petten en Arnhem als Consultant Radiation Protection en werd toen gevraagd door een professor waarmee hij eerder contact had om zijn PhD te doen. Inmiddels is hij alweer vier jaar bezig met het onderwerp, officieel bij het Erasmus MC maar in de praktijk bijna elke dag bij de TU Delft.



Robin A. Nadar is in dienst bij het Erasmus MC en als postdoc onderzoeker betrokken bij de ontwikkeling van de hybride nanodeeltjes. Hij heeft een opleiding biotechnologie gedaan en een master in molecular bioengineering aan de Technische Universität Dresden.

over de stralingsdosis. Die betreft een simulatie omdat het niet mogelijk is vanwege de kleine schaal metingen te verrichten. De resultaten zijn vergeleken met reguliere brachytherapie. Hieruit bleek dat de 'gel' zaadjes een mooiere symmetrische dosis distributie heeft waardoor je gemakkelijker egaal de tumor kan bestrijden en over het geheel genomen een gelijkwaardig dosisprofiel konden geven. Ook heeft Van Oossanen inmiddels ervaring opgedaan met de bestraling van bolletjes kankercellen van tien- tot honderdduizend cellen in een oplossing met nanodeeltjes. Hieruit volgde onder meer dat de nanodeeltjes wel bewegen in de tumor maar heel langzaam. Omdat het belangrijk is te weten waar de nanodeeltjes

zich bevinden richt een volgend onderzoek zich op de beeldvorming. Dat kan volgens Van Oossanen zowel met CT als met MRI. Hij legt uit dat CT geschikt is voor beeldvorming kort nadat de nanodeeltjes zijn ingebracht en MRI op het moment dat de nanodeeltjes zich hebben verspreid. "MRI heeft een iets grovere resolutie en de nanodeeltjes geven een negatief contrast. Bij een hoge concentratie nanodeeltjes geeft dat een onzuiver beeld. MRI is daarom alleen nuttig bij lage concentraties nanodeeltjes en dat kan het geval zijn als ze zich door het lichaam verspreiden voor ze worden uitgescheiden. Voor CT geldt dat niet en zie je vooral verschil in dichtheid van het materiaal. Bij een hoge concentratie zie je dan juist goed contrast." Overigens merkt Van Oossanen nog op dat

het op zich geen probleem is voor de MRI dat de nanodeeltjes uit metaal bestaan vanwege de zeer kleine hoeveelheid waar het uiteindelijk over gaat. SPECT-beeldvorming is ook een mogelijkheid maar door de laagenergetische straling van het palladium-103 is deze beeldvorming alleen bij kleine dieren zoals muizen zinvol. Bij iets dieper gelegen tumoren is de dracht van de gamma's te klein om buiten het lichaam te komen en om waargenomen te worden.

Het onderzoek startte in september 2018 en loopt nu iets langer dan gepland door de vertragingen die zijn opgetreden ten gevolge van corona. Over een half jaar zullen de eerste dierenexperimenten starten. Van Oossanen: "Mocht dat goed verlopen dan zullen we de komende vijf jaar de techniek verfijnen en aantonen dat de techniek veilig is. Voordat deze techniek echt in de kliniek kan worden toegepast zijn we wel zeker tien jaar verder en dan ben ik heel optimistisch. Je weet van tevoren als je aan dit soort experimenten begint dat het lang gaat duren." **K**

Menno Jelgersma

IAEA publiceert nieuwe verklarende woordenlijst nucleaire veiligheid en beveiliging

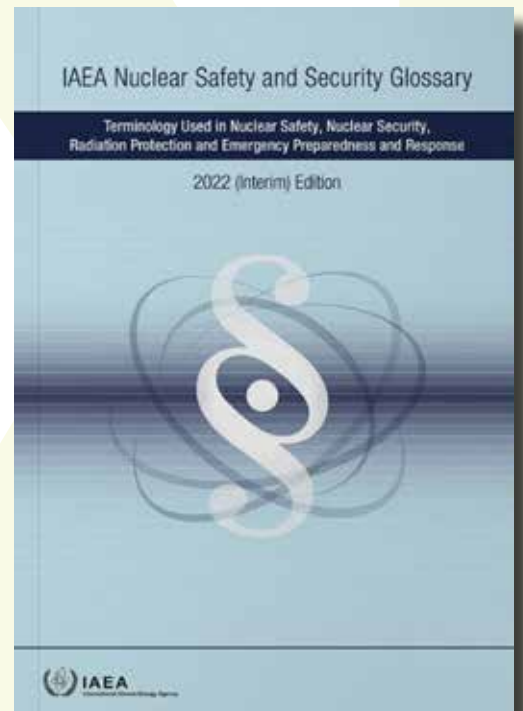
Wat wordt in nucleaire veiligheid en beveiliging bedoeld met een cliff edge effect? Wat is cloud shine? En wat is het verschil met ground shine? In de onlangs verschenen publicatie IAEA Nuclear Safety and Security Glossary, die zowel in gedrukte als digitale vorm beschikbaar is, worden deze en nog veel meer termen uitgelegd.

In één enkele publicatie worden definities en verklaringen gegeven van technische termen die in de veiligheidsnormen en richtlijnen voor nucleaire beveiliging van de IAEA worden gebruikt. “De IAEA-veiligheidsnormen en richtlijnen voor nucleaire beveiliging worden gebruikt door deskundigen en organisaties over de hele wereld”, aldus Katherine Asfaw, Senior Standards Specialist bij het Department of Nuclear Safety and Security bij de IAEA. “De IAEA Nuclear Safety and Security Glossary geeft een lijst van termen en definities die zijn vastgesteld in IAEA-veiligheidsnormen en nucleaire beveiligingsrichtlijnen die tot 2022 zijn gepubliceerd. De publicatie geeft ook aanvullende uitleg over het gebruik ervan in de veiligheidsnormen en richtlijnen voor nucleaire beveiliging, zodat ze op een consistente en geharmoniseerde manier kunnen worden gebruikt, ongeacht de toepassing.”

Er zijn meer dan 130 publicaties in de IAEA Safety Standards Series en meer dan 40 publicaties in de IAEA Nuclear Security Series, die alle betrekking hebben op specifieke aspecten van nucleaire veiligheid

en beveiliging. Deze series dienen als wereldwijde referentie en gedeelde bron voor nationale regelgevende instanties en andere bevoegde autoriteiten, opstellers van nationale wetgeving, internationale organisaties, en organisaties die nucleaire faciliteiten ontwerpen, vervaardigen en exploiteren. En ook voor degenen die betrokken zijn bij het gebruik en de toepassing van stralingstechnologieën. De IAEA-publicaties worden ook gebruikt als internationaal ijkpunt voor collegiale toetsingen en adviesdiensten op het gebied van nucleaire veiligheid en beveiliging.

In de IAEA Nuclear Safety and Security Glossary worden de betekenissen van technische termen en de specifieke betekenissen die in een bepaalde context aan gewone woorden of termen worden toegekend, toegelicht. Zo verwijst ‘radioactief’ gewoonlijk naar iets dat het verschijnsel radioactiviteit vertoont en wordt dus geacht alles wat radioactief is te omvatten. In de regelgevingscontext verwijst de term echter naar materiaal of afval dat onderworpen is aan wettelijke



controle op grond van het stralingsgevaar dat het inhoudt - waardoor materiaal met zeer lage concentraties radionucliden of in de natuur voorkomende radionucliden gewoonlijk wordt uitgesloten. De woordenlijst legt ook de verbanden en verschillen tussen soortgelijke termen uit. “In de veiligheidsnormen kan de term ‘detectie’ bijvoorbeeld verwijzen naar de detectie van straling van radioactief materiaal door een instrument. In de richtlijnen voor nucleaire beveiliging verwijst dezelfde term echter naar de detectie van een nucleaire beveiligingsgebeurtenis”, aldus Asfaw. De publicatie bevat waardevolle informatie over de interpretatie van termen en manieren om de woordenlijst te gebruiken, voor redacteurs, beoordelaars of opstellers, of voor degenen die de veiligheidsnormen en richtsnoeren voor nucleaire beveiliging van de IAEA gebruiken of in hun werk naar de terminologie verwijzen.

Een werk in uitvoering

Een term kan pas in de woordenlijst worden opgenomen als hij al is gedefinieerd in gepubliceerde IAEA-veiligheidsnormen of -richtlijnen voor nucleaire beveiliging. De IAEA Safety Glossary werd voor het eerst

gepubliceerd in 2007. In 2018 verscheen een herziene editie, waarin rekening werd gehouden met nieuwe terminologie en gebruik ervan in publicaties over veiligheidsvoorschriften die in de periode 2007-2018 zijn uitgebracht. De editie 2022 van de verklarende woordenlijst nucleaire veiligheid en beveiliging van de IAEA is de eerste poging om geharmoniseerde richtlijnen te verstrekken aan opstellers en gebruikers van zowel veiligheidsnormen als richtlijnen voor nucleaire beveiliging. Het

is een tussentijdse uitgave, omdat erkend wordt dat er, met name op het gebied van nucleaire beveiliging, verschillende termen en definities zijn waarvoor de verschillen in gebruik nog moeten worden weggewerkt en verdere harmonisatie noodzakelijk is. De woordenlijst is daarom bedoeld als basis voor een discussie- en overlegproces op langere termijn en zal worden herzien en aangepast aan de ontwikkelingen in beide reeksen publicaties. Een elektronische versie van de woordenlijst is geïntegreerd in

de IAEA Nuclear Safety and Security Online User Interface (NSS-OUI), een hulpmiddel dat directe toegang biedt tot de inhoud van de veiligheidsnormen en de richtlijnen voor nucleaire veiligheid en navigatie binnen de tekst. **K**



Bron: IAEA - Nayana Jayarajan, IAEA Department of Nuclear Safety and Security

Nederland ontvangt drie IAEA-missies in 2023

Nederland ontvangt in 2023 drie teams van internationale experts, ook wel missies geheten. Tijdens deze missies onderzoeken experts of landen hun stelsel van nucleaire veiligheid en stralingsbescherming op orde hebben. Het Internationaal Atoom en Energieagentschap (IAEA) faciliteert deze missies; de Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming (ANVS) doet de coördinatie en de voorbereiding, samen met andere overheidsorganisaties.

Lidstaten van de Europese Unie zijn verplicht om minstens eens in de 10 jaar het eigen kader van wet- en regelgeving te evalueren. Vervolgens komt het zogenoemde Integrated Regulatory Review Service-team (IRRS-missie) deze evaluatie toetsen. Deze groep van internationale experts bekijkt de regels en praktijken op het gebied van nucleaire veiligheid en stralingsbescherming en checkt in hoeverre deze aansluiten bij IAEA-documenten op het gebied van veiligheid.

IRRS-rapport

In Nederland vindt de eerste missie plaats van 4 tot en met 16 juni 2023. Tijdens de missie houden experts interviews met

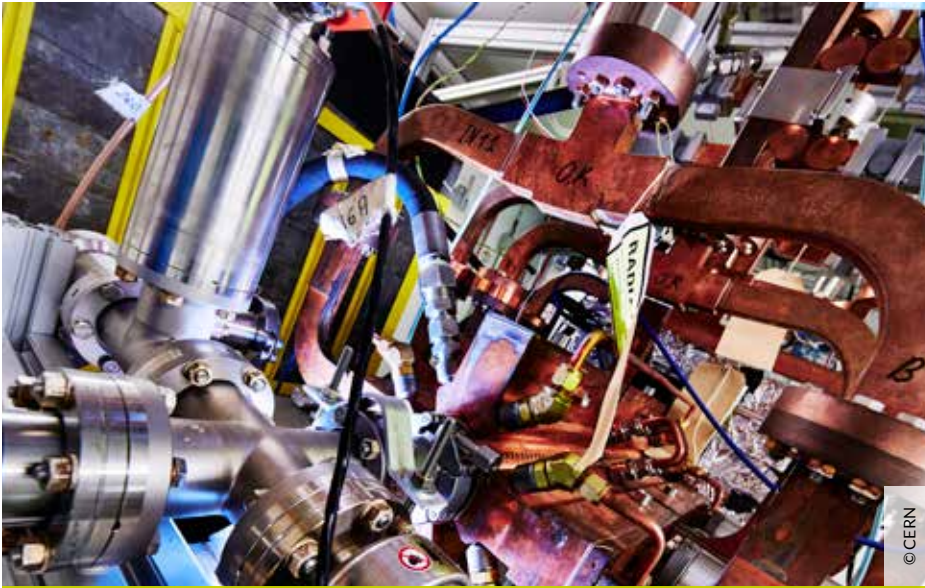
medewerkers van de ANVS. Dat levert een IRRS-rapport met concrete aanbevelingen op. Na drie of vier jaar komt de missie weer terug om te bekijken of de aanbevelingen zijn opgevolgd. Dit is de tweede keer dat Nederland een IRRS-missie ontvangt. De laatste keer was in 2014, waarna de vervolgmissie in 2018 plaatsvond. Uit deze missie kwam naar voren dat een land met een nucleaire toezichthouder een onafhankelijke toezichthouder moest hebben, waarna de ANVS werd opgericht. Bestuursvoorzitter Annemiek van Bolhuis: "De belangrijkste aanbeveling uit de vorige missie was dat er een onafhankelijke autoriteit ingesteld moest worden. Die aanbeveling is overgenomen:

deze maand hebben we tijdens onze nieuwjaarsbijeenkomst even stilgestaan bij het 8-jarig bestaan van de ANVS." Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat ontvangt namens Nederland de missie. De ANVS voert de missie uit. Naast de ANVS zijn het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, van Sociale Zaken en Werkgelegenheid en van Volksgezondheid, Welzijn en Sport ook betrokken.

IPPAS en ARTEMIS

Naast de IRRS-missie, die kritisch kijkt naar ons stelsel van nucleaire veiligheid en stralingsbescherming, zijn er dit jaar nog 2 missies. Zo is er de International Physical Protection Advisory Service-missie (IPPAS): een missie die zich, naast cybersecurity, richt op de beveiliging van nucleaire installaties en transporten. Deze vindt plaats van 2 tot en met 13 oktober. En als laatste is er van 19 tot en met 28 november de Integrated Review Service for Radioactive Waste and Spent Fuel Management, Decommissioning and Remediation (ARTEMIS). Dit is een missie die onderzoekt of het beheer van radioactief afval goed is geregeld, net als de ontmanteling van kerncentrales. Ook de IPPAS- en ARTEMIS-missies leveren concrete aanbevelingen op voor Nederland en de ANVS. **K**

Meer informatie over de missies en de voorbereidingen is te vinden op de website van de ANVS: <https://www.autoriteitnvs.nl>



Nieuwe bestralingstechniek van CERN voor behandeling resistente kankers

CERN, het Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV) en THERYQ (ALCEN-groep) hebben een overeenkomst ondertekend voor de ontwikkeling van een revolutionair FLASH-bestralingstoestel dat zeer hoog-energetische elektronen (VHEE) zal gebruiken om verschillende kankersoorten te behandelen die resistent zijn tegen conventionele behandelingen, met sterk verminderde bijwerkingen. Het apparaat is gebaseerd op CERN-technologie en zal naar verwachting binnen twee jaar operationeel zijn in het CHUV.

De ondertekening van de overeenkomst wordt gezien als mijlpaal en betekent een belangrijke stap voorwaarts in de behandeling van resistente kankers. De samenwerking zal zich richten op de ontwikkeling, planning, naleving van de regelgeving en bouw van 's werelds eerste radiotherapietoestel waarmee grote, diepgelegen tumoren kunnen worden behandeld met behulp van de FLASH-techniek. Het apparaat zal een compacte lineaire versneller omvatten, gebaseerd op CERN-technologie, en worden vervaardigd door THERYQ, dat deel uitmaakt van de divisie gezondheidszorg van ALCEN.

Preklinische dierstudies

Bestralingstherapie is een van de belangrijkste vormen van kankerbehandeling, samen met chemotherapie, chirurgie en immunotherapie. Momenteel is een derde van de kankers resistent tegen conventionele bestralingstherapie. Het is in deze context dat professor Jean Bourhis, hoofd van de afdeling stralingsoncologie van het CHUV, en zijn team de methode van FLASH-radiotherapie hebben ontwikkeld, die volgens CERN tot dusverre indrukwekkende resultaten heeft opgeleverd in preklinische dierstudies.

THERYQ, een spin-off van PMB-ALCEN, ondersteunt de ontwikkeling van de FLASH-therapie sinds het begin in 2013, met name via een langdurig partnerschap met het CHUV. FLASH wordt gezien als een van de meest veelbelovende doorbraken in de stralingsoncologie. Het algemene doel van bestralingsoncologie is het doden van tumoren en het beperken van toxiciteit voor het omliggende gezonde weefsel. FLASH-radiotherapie, of de toediening van ultrahoge stralingsdoses, is een bestralingmethode bij uitstek waarmee de tumor kan worden bestreden terwijl de toxiciteit voor de omliggende niet-kwaadaardige weefsels wordt geminimaliseerd. In de afgelopen jaren is uit preklinisch onderzoek gebleken dat FLASH-straling een kansrijke technologie is die de mogelijkheden van radiotherapie aanzienlijk kan verbreden.

Twintig centimeter diep

Het FLASH-bestralingstoestel maakt gebruik van elektronenbundels met een zeer hoge energie van 100 tot 200 MeV, waardoor het alle soorten kanker tot een diepte van twintig centimeter kan bereiken. Dat is een primeur, want de huidige toepassingen van FLASH-therapie kunnen maximaal tot drie tot vijf centimeter in het lichaam doordringen. De elektronen met hoge energie kunnen worden gefocust en gericht op een manier die met röntgenstralen bijna onmogelijk is. Bij radiotherapie, de klassieke behandeling van kanker, worden tumorcellen gedurende enkele minuten bestraald. Nevenschade aan omliggend gezond weefsel kan hiervan het gevolg zijn. Bij FLASH-therapie wordt in een fractie van een seconde heel gericht en lokaal een hoge stralingsdosis toegediend. Dit maakt de therapie doeltreffender dan conventionele radiotherapie omdat er minder gezond weefsel wordt geraakt en eventuele gezonde cellen die wel worden geraakt korter worden bestraald. De zeer korte bestraling van FLASH-therapie zou ook de noodzaak van bewegingsbeheer kunnen wegnemen, die bij de huidige radiotherapie nodig is bij de bestraling

van tumoren die met de ademhaling meebewegen. Een bijkomend voordeel van de ultrasnelle bestraling van FLASH-therapie is dat het dosisescalatie mogelijk maakt. Bovendien is de behandelingstijd korter waardoor uiteindelijk meer patiënten kunnen worden behandeld en dus de belasting voor ziekenhuizen per patiënt afneemt. Volgens CERN zou er bovendien daarnaast een kostenbesparing mogelijk zijn omdat een behandeling al na één of twee bestralingen is afgerond. Radiotherapietoestellen op basis van de elektronenversnellingstechnologie zijn volgens CERN ook nog eens aanzienlijk compacter en goedkoper dan de huidige protontherapietoestellen.

Klinische proeven

“Bij CERN is kennisoverdracht een onderdeel van onze missie en wij werken actief aan het vinden van toepassingen voor onze doorbraken buiten het domein van de deeltjesfysica ten behoeve van de maatschappij in het algemeen. Deze samenwerking toont aan hoe CERN-technologieën en -expertise, in combinatie met sterke partnerschappen met deskundigen op andere gebieden, echt een impact kunnen hebben”, aldus Mike Lamont, directeur Versnellers en Technologie van het CERN. CERN noemt de samenwerking een voorbeeld van hoe fundamenteel onderzoek bij CERN de ontwikkeling bevordert van nieuwe technologieën die de maatschappij veranderen, met name door samenwerking met belangrijke partners. “De FLASH-technologie biedt echte hoop op meer mogelijkheden om kanker met bestralingstherapie te genezen, en de huidige fase zal de eerste cruciale klinische ontwikkelingen op dit gebied mogelijk maken”, aldus professor Jean Bourhis, hoofd van de afdeling Bestralingsoncologie van het CHUV. Naar verwachting zal het apparaat binnen twee jaar operationeel zijn en zullen de eerste klinische proeven in 2025 plaatsvinden. **K**

Bron CERN



Stichting PALLAS start zoektocht naar hoofdaannemer

Het PALLAS-project heeft als doel de bouw en exploitatie van een nieuwe hoge flux reactor, die geschikt is voor de productie van medische isotopen en nucleair technologisch onderzoek. Het project is recent de detailontwerpfase ingegaan en heeft officieel een aanbesteding uitgeschreven voor een General Contractor. Dit gebeurde na een goed ontvangen marktconsultatie over de strategie.

De Stichting Voorbereiding Pallas-reactor (PALLAS) is gestart met de prekwalificatie van een hoofdaannemer voor de bouw van de PALLAS-reactor, inclusief verschillende gebouwen en nevenfaciliteiten overeenkomstig de EU-richtlijnen voor overheidsopdrachten. Na deze prekwalificatiefase worden gekwalificeerde kandidaten geselecteerd en uitgenodigd om deel te nemen aan de dialooffase die later dit jaar van start gaat. In het voorjaar van 2023 wil PALLAS maximaal 3 kandidaten selecteren om de rol van hoofdaannemer op zich te nemen en tegen het eind van het jaar wil het een definitieve overeenkomst met een van de geselecteerde kandidaten hebben ondertekend. De aanbesteding is aangekondigd via Mancell, TED en TenderNed. De basisontwerpactiviteiten voor het PALLAS-project zijn afgerond in samenwerking met ICHOS, een Nederlands-Argentijnse partij die voor de ontwerpactiviteiten is gecontracteerd. Het Argentijnse bedrijf INVAP (onderdeel van ICHOS) heeft ruime ervaring met nucleaire projecten zoals de OPAL-reactor in Australië.

Het besluit over de financiering van het totale PALLAS-programma wordt momenteel behandeld door de regering en wordt dit jaar verwacht. Ernst Kuipers, minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport heeft PALLAS opgedragen geen onomkeerbare stappen te ondernemen totdat de Nederlandse regering een definitief financieringsbesluit heeft genomen. Tegelijkertijd heeft Kuipers PALLAS gevraagd door te gaan met de projectvoorbereidingen om onnodige vertraging te voorkomen. Dit betekent dat de aanbesteding van de General Contractor doorgaat in afwachting van een definitief financieringsbesluit van de Nederlandse overheid. **K**

Bron: www.pallasreactor.com

Flash-therapie

Flash-therapie is een bestralingstechniek van CERN voor behandeling van resistente kankers. CERN is klaar om een nieuwe faciliteit voor kankerradiotherapie te realiseren op basis van de technologie die is ontwikkeld voor de Compacte Lineaire Collider (CLIC).

Voortbouwend op onderzoek dat al uit de jaren zeventig van de vorige eeuw stamt, denken oncologen dat ultrasnelle uitbarstingen (FLASH-effect) van elektronen meer schade toebrengen aan tumoren en minder aan gezond omliggend weefsel dan reguliere externe bestralingen. Het FLASH-effect kan worden gerealiseerd door gebruik te maken van versnellertechnologie met hoge snelheden van CLIC. Een eerste faciliteit staat gepland in het Zwitserse universiteitsziekenhuis van Lausanne (CHUV). Een studie uit 2014, uitgevoerd door onderzoekers van het CHUV-ziekenhuis en het Institute Curie in Parijs, toonde al een uitstekend gedifferentieerd FLASH-effect aan tussen tumoren en normale weefsels in muizen. De resultaten werden later bevestigd door verschillende andere vooraanstaande instituten. Vervolgens gebruikte het CHUV de FLASH-technologie om een multiresistente huidkanker bij een menselijke patiënt te behandelen, waardoor de tumor praktisch zonder bijwerkingen volledig verdween. **K**

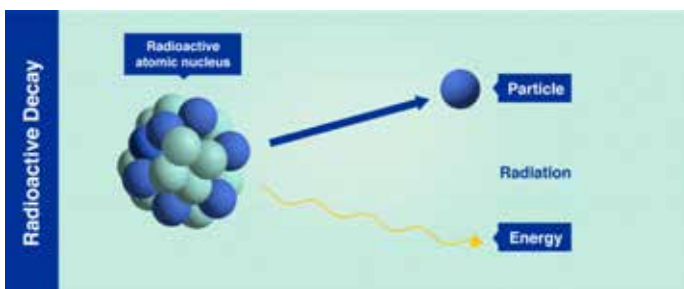




IAEA: De wetenschap achter radioactief verval en de daarbij behorende ioniserende straling

Ioniserende straling kan afkomstig zijn van bijvoorbeeld instabiele (radioactieve) atomen die overgaan naar een stabielere toestand en daarbij energie vrijmaken. De meeste atomen op aarde zijn stabiel, voornamelijk dankzij een evenwichtige en stabiele samenstelling van deeltjes (neutronen en protonen) in hun kern. Bij sommige soorten instabiele atomen is de samenstelling van het aantal protonen en neutronen in hun kern echter niet geschikt om die deeltjes bij elkaar te houden.

Dergelijke instabiele atomen worden radioactieve atomen genoemd. Wanneer radioactieve atomen vervallen, geven zij energie vrij in de vorm van ioniserende straling die, wanneer zij veilig wordt opgevangen en gebruikt, verschillende voordelen kan opleveren. Het gaat daarbij om bijvoorbeeld alfadeeltjes, bètadeeltjes, gammastralen of neutronen.



Figuur 01

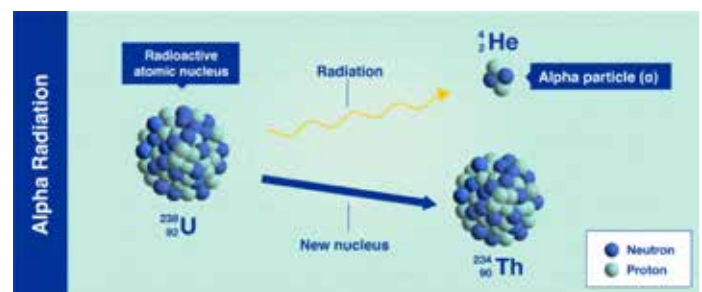
Het proces waarbij een radioactief atoom stabiel wordt door het vrijkomen van deeltjes en energie wordt radioactief verval genoemd. (Infographic: Adriana Vargas/IAEA)

Wat zijn de meest voorkomende vormen van radioactief verval? Hoe kunnen we ons beschermen tegen de schadelijke effecten van de resulterende straling?

Afhankelijk van het soort deeltjes of golven die de kern afgeeft om stabiel te worden, zijn er verschillende soorten radioactief verval

die leiden tot ioniserende straling. De meest voorkomende soorten zijn alfadeeltjes, bètadeeltjes, gammastralen en neutronen.

Alfastraling



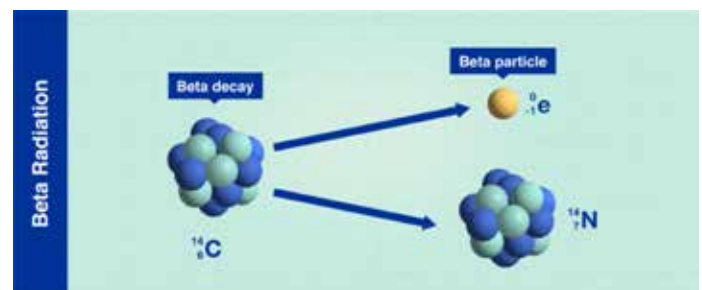
Figuur 02

Alfaverval (Infographic: A. Vargas/IAEA).

Bij alfastraling geven de vervallende kernen zware, positief geladen deeltjes af om stabiel te worden. Deze deeltjes kunnen niet door onze huid dringen om schade te veroorzaken en kunnen vaak worden tegengehouden door zelfs maar een vel papier te gebruiken. Als alfastralers echter in het lichaam worden opgenomen door inademen, eten of drinken, kunnen zij rechtstreeks inwendige weefsels eraan blootstellen en zo de gezondheid schaden.

Americium-241 is een voorbeeld van een atoom dat vervalt via alfadeeltjes en werd overal ter wereld gebruikt in rookmelders.

Bètastraling



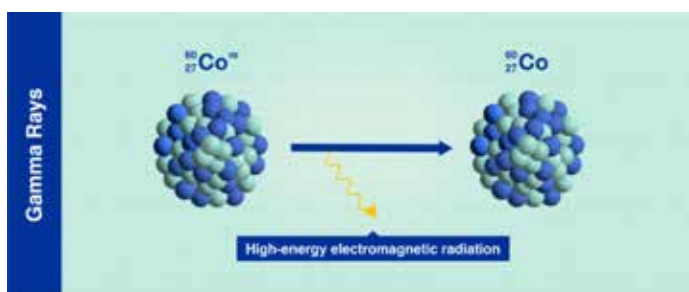
Figuur 03

Bètaverval (Infographic: A. Vargas/IAEA).

Bij bètastraling geven de kernen kleinere deeltjes (elektronen) af

die indringender zijn dan alfadeeltjes en die, afhankelijk van hun energie, door bijvoorbeeld 1-2 centimeter water kunnen gaan. In het algemeen kan een plaat aluminium van enkele millimeters dik bètastraling tegenhouden. Enkele van de instabiele atomen die bètastraling uitzenden zijn waterstof-3 (tritium) en koolstof-14. Tritium wordt onder andere gebruikt in noodverlichting om bijvoorbeeld uitgangen in het donker te markeren. Dit komt doordat de bètastraling van tritium bij interactie met fosfor dit materiaal doet gloeien, zonder dat er elektriciteit nodig is. Koolstof-14 wordt gebruikt om bijvoorbeeld voorwerpen uit het verleden te dateren.

Gammastralen



Figuur 04

Gammastralen (Infographic: A. Vargas/IAEA).

Gammastralen kennen verschillende toepassingen zoals de behandeling van kanker. Het is elektromagnetische straling vergelijkbaar met röntgenstraling. Sommige gammastralen passeren het menselijk lichaam zonder schade te veroorzaken, terwijl andere door het lichaam worden geabsorbeerd en daardoor schade kunnen veroorzaken. De intensiteit van gammastralen kan worden verminderd tot niveaus die minder risico opleveren door dikke muren van beton of lood. Daarom zijn de muren van radiotherapiekamers in ziekenhuizen voor kankerpatiënten zo dik.

Neutronen

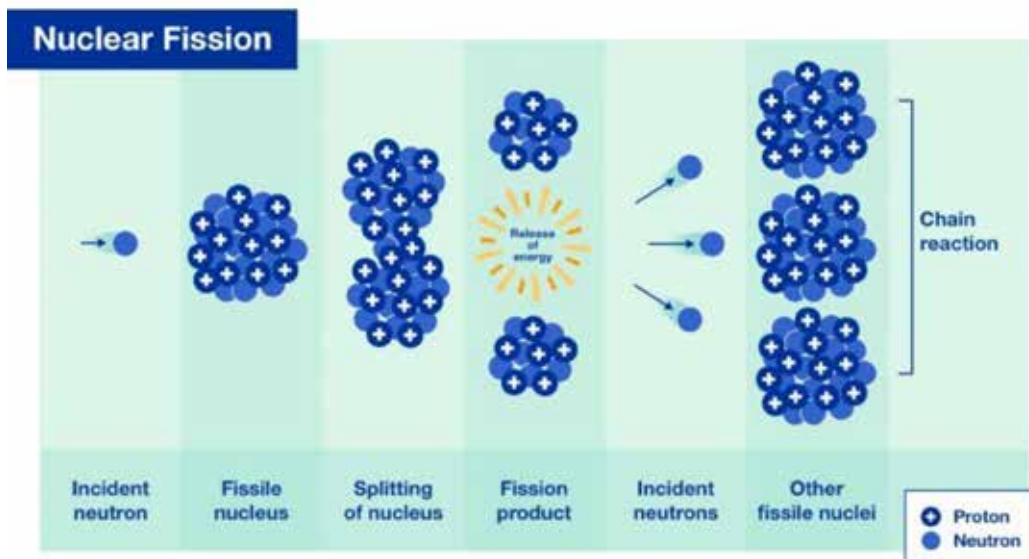
Neutronen zijn relatief massieve deeltjes die een van de primaire bestanddelen van de kern zijn. Ze zijn elektrisch ongeladen en veroorzaken daarom geen directe ionisatie. Maar hun interactie met de atomen van de materie kan aanleiding geven tot alfa-, bèta-, gamma- of röntgenstraling, die vervolgens tot ionisatie leidt. Neutronen zijn doordringend en kunnen alleen worden tegengehouden door dikke massa's beton, water of paraffine.

Neutronen kunnen op een aantal manieren worden geproduceerd, bijvoorbeeld in kernreactoren of in kernreacties die in gang worden gezet door hoogenergetische deeltjes in versnellerbundels. Neutronen kunnen een belangrijke bron van indirecte ioniserende straling vormen.

Wat is de rol van de IAEA?

- De IAEA staat zijn lidstaten bij in het gebruik van nucleaire technologieën, met inbegrip van het gebruik van straling voor gezondheid, landbouw, milieubescherming, waterbeheer, energie en industrie. Daartoe helpt de IAEA bij het onderzoek naar en de ontwikkeling van het praktische gebruik van straling en radioactieve bronnen. De IAEA coördineert onderzoeksactiviteiten en voert projecten uit in landen over de hele wereld.
- Via zijn veiligheidscontrole- en verificatieactiviteiten ziet de IAEA erop toe dat materialen die straling kunnen produceren alleen voor vreedzame doeleinden worden gebruikt.
- Ten slotte ontwikkelt de IAEA veiligheidsnormen en veiligheidsrichtlijnen en brengt het verslag uit over de best practices voor de bescherming van mens, maatschappij en milieu tegen de schadelijke effecten van ioniserende straling. **K**

Bron: IAEA



Figuur 05

Kernsplijting in een kernreactor is een voorbeeld van een radioactieve kettingreactie die in stand wordt gehouden door neutronen (Infographic: A. Vargas/IAEA).

Dosimetrie-onderzoek SCK CEN draagt bij aan toekomstige bemande maanmissie

© NASA/Lockheed Martin/DLR

Hoewel sciencefiction en Hollywood ons anders willen doen geloven, komt het grootste gevaar voor mensen tijdens ruimtereizen niet van aliens maar van kosmische straling. Eind vorig jaar vlogen er driehonderd Belgische sensoren mee aan boord van de onbemande Artemis I-ruimtemissie van de NASA richting de maan. De sensoren van het nucleaire onderzoekscentrum SCK CEN waren, met nog zo'n 10.900 andere sensoren, bevestigd aan twee vrouwelijke poppen die de namen Helga en Zohar droegen. Het doel van de sensoren was het meten van de stralingsdosis die astronauten bij dergelijke missies oplopen tot op orgaaniveau. Dosimetrie-expert dr. Olivier Van Hoey licht het project toe.

De Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA lanceerde eind vorig jaar de gloednieuwe maanraket SLS (Space Launch System) de ruimte in voor de Artemis I-ruimtemissie. Deze 98-meter hoge raket heeft het ruimteschip Orion in een baan om de maan gebracht, waarin drie poppen meevlogen. De mannelijke 'commandant' kreeg de naam Moonikin Campos mee en was uitgerust met sensoren om de druk en belasting die astronauten tijdens de lancering ondervinden te meten. De twee andere poppen – Helga en Zohar – waren uitgerust met in totaal 11.200 sensoren. "Driehonderd daarvan komen van ons onderzoekscentrum", aldus Van Hoey. Het doel van de sensoren was het meten van de stralingsdosis die astronauten bij dergelijke missies oplopen

tot op orgaaniveau. De atmosfeer en magnetische afscherming van de aarde beschermen ons tegen de meeste straling in het heelal, inclusief straling van onze zon. Wanneer astronauten echter de aarde verlaten, worden zij blootgesteld aan het gehele spectrum van straling in de ruimte.

Matroshka AstroRad Radiation Experiment (MARE)

Het Amerikaanse NASA onderzoekt de mogelijkheid om op termijn mensen naar de maan te sturen of nog verder richting Mars. Bij de verkenning op de maan en daarbuiten is ruimtestraling één van de grootste gevaren waarmee bemanningen worden geconfronteerd. In 2018 ondertekende NASA een overeenkomst met het Israëlische

Ruimteagentschap (ISA) en het Duitse Lucht- en Ruimtevaartcentrum (DLR) voor een experiment om het AstroRad-stralingsbeschermingsvest te testen op Artemis I. De naam Artemis is ontleend aan de Griekse mythologie. Zij is de dochter van Zeus en de godin van de maan. Daarnaast is Artemis de tweelingzus van Apollo en dus een referentie naar de Apollo-maanmissies van de jaren 60-70. Het doel van het MARE-onderzoek tijdens de laatste Artemis-missie is het verkrijgen van informatie over stralingsniveaus tijdens ruimtemissies. Tegelijkertijd werd de doeltreffendheid van vesten onderzocht die de ruimtereizigers moeten beschermen tegen straling. Uiteindelijk beogen de Artemis-missies de menselijke verkenning van Mars. Het initiatief voor de experimenten ligt bij NASA maar er is een intensieve samenwerking aangegaan met andere instituten, zoals het Duitse DLR (Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt) en bedrijven zoals Lockheed Martin en de Israëlische ruimtevaartorganisatie ISA en StemRad.

Pakketjes dosimeters

Het Belgische SCK CEN werkt al jaren samen met DLR. Van Hoey: "Vanaf 2009 doen wij al metingen op het internationaal ruimtestation ISS in samenwerking met dezelfde groep die nu aan het huidige MARE-experiment deelneemt." Bij het ISS worden pakketjes met dosimeters geplaatst om de straling in het ruimtestation te meten. Daarnaast hebben alle astronauten persoonlijke dosimeters die door de ruimtevaartorganisaties ESA en NASA worden uitgelezen. Bij het MARE-experiment zijn de poppen voorzien van dezelfde pakketjes. De materialen waaruit de poppen zijn opgebouwd lijken op menselijke botten met zachte weefsels en organen. De poppen, die geen armen en benen hebben omdat ledematen minder relevant zijn wat betreft stralingsbescherming, zijn 95 centimeter hoog en wegen 36 kilogram per stuk. Helga, vloog onbeschermd naar de maan. Zohar droeg het stralingsbeschermingsvest en



© DLR



© DLR (CC BY-NC-ND 3.0)

✎ De twee poppen, zogenaamde fantomen, bestaan elk uit 38 schijven en zijn 95 centimeter hoog. Binnenin zitten organen en botten van plastic van verschillende dichtheid. Elk fantoom heeft meer dan 6.000 passieve stralingsdetectoren van kleine kristallen en in totaal 16 actieve detectoren (M-42) van DLR geïnstalleerd op de meest stralingsgevoelige organen van het lichaam - longen, maag, baarmoeder en beenmerg.

werd voorzien van dosimeterpakketjes zowel op als onder het beschermingsvest. “Het grote voordeel van onze pakketjes is dat we hele nauwkeurige en betrouwbare resultaten kunnen verwachten omdat we al jaren onderzoek naar stralingsbelasting in de ruimte hebben gedaan.” Andere instituten hebben de poppen ‘inwendig’ voorzien van dosimeters om precies vast te stellen wat de stralingsbelasting in de ruimte op de verschillende organen is. Het AstroRad-vest is ontwikkeld door het Israëlische bedrijf StemRad in samenwerking met Lockheed Martin, de hoofdaannemer van Orion.

Gezamenlijke limiet

Beide poppen zijn vrouwelijke poppen. “Vrouwen, blijkt uit onderzoek, zijn meer stralingsgevoelig dan mannen. Het gaat dan bijvoorbeeld om borstweefsel en de baarmoeder.” Door de gegevens van mannen

en vrouwen te combineren krijgt je wat Van Hoey “een enigszins conservatieve schatting” noemt. “Als je de limiet voor vrouwelijke stralingsdosis neemt, dan zal het voor mannen ook in orde zijn.” Van Hoey legt uit dat er voorheen wel aparte limieten waren vastgesteld voor mannen en vrouwen. “Dat bleek toch wel lastig omdat vrouwen dan minder lang aan ruimtemissies konden deelnemen dan mannen. Daarom is nu bij NASA besloten om een gezamenlijke limiet vast te stellen.”

Bescherming tegen energetische protonen en zware kernen

“Anders dan op aarde waar bescherming meestal bestaat uit zware loodschorten, moet je in de ruimte juist op zoek gaan naar

lichtere materialen. Lood beschermt tegen gammastraling, maar in de ruimte heb je te maken met een ander spectrum waaronder energetische protonen en zwaardere kernen, waarvoor je ook een andere bescherming nodig hebt.” Onder invloed van energetische deeltjes zal lood juist uiteenvallen. “En je krijgt fragmenten van lood die nog schadelijker zijn dan de oorspronkelijke straling”, voegt Van Hoey toe. Het ideaalste lichte element voor stralingsbescherming in de ruimte is waterstof, maar dat is alleen geen constructief materiaal. “Daarom gebruikte men vroeger wel gewoon water als vulling van een vest. In het experiment is gekozen voor een speciaal soort plastic. Om gewicht te besparen, wat bij ruimtereizen altijd prioriteit heeft, verschilt de dikte van het vest al naar gelang waar zich de stralingsgevoelige organen of weefsels ✎



© Olivier

Olivier Van Hoey

Olivier Van Hoey heeft een studie fysica en sterrenkunde afgerond bij de Universiteit Gent en heeft zijn master in kernfusie gedaan. Zijn promotieonderzoek betrof een experimentele studie en numerieke modellering van erosie-, transport- en afzettingsprocessen in thermonucleaire fusieapparaten, met de nadruk op Monte Carlo-simulaties. Tijdens zijn promotie was hij al werkzaam bij het SCK CEN in Mol, maar nog wel gerelateerd aan de UGent. Na zijn doctoraat is Van Hoey bij het SCK CEN in de onderzoeksgroep stralingsbescherming en dosimetrie terechtgekomen, waar hij inmiddels acht jaar werkzaam is als wetenschapper op het gebied van stralingsbescherming dosimetrie. Daarnaast geeft hij verschillende cursussen over stralingsmetingen, dosimetrie en stralingsbescherming voor de SCK CEN Academy.

bevinden.” Idealiter krijgen de astronauten op termijn een persoonlijk pak met specifieke bescherming. “Dat zal zeker het geval zijn als astronauten in de toekomst naar Mars zullen reizen en ze voor langere tijd in de ruimte zullen zijn.”

Bunkers op de maan

Van Hoey denkt dat de beschermende pakken essentieel zullen blijken bij ruimtereizen. “Je hebt te maken met twee stralingscomponenten. Er is een continue straling als gevolg van ontplofte sterren. Die heeft een zeer hoge energie en is een constante component die op termijn kanker kan veroorzaken.” Hiertegen is door de hoge energie geen bescherming anders dan meters dikke muren of loodbarrières gewassen en dus geen optie om tegen te beschermen tijdens ruimtereizen. Eenmaal op de maan kun je voorstellen dat bunkers voor de benodigde bescherming kunnen zorgen. Van Hoey: “Daarnaast zijn er zonnestormen. Daar zijn wij op aarde goed tegen beschermd door het magneteveld van de aarde waar ook de astronauten in het ISS profijt van hebben. Maar eenmaal buiten dit veld kan een zonnestorm een dusdanige hoeveelheid straling geven dat die ernstige onmiddellijke gezondheidsproblemen kan opleveren en in uitzonderlijke gevallen zelfs dodelijk kan zijn.” Om astronauten te beschermen tijdens een zonnestorm zijn er speciale compartimenten in een ruimtestation waar ze kunnen schuilen. “Maar als de storm aanhoudt en



© NASA/DLR

➤ De twee DLR-poppen Helga en Zohar werden eind 2022 geïnstalleerd in de passagiersstoelen van de Orion-bemanningsmodule aan boord van de Space Launch System-raket in High Bay 3 van het Vehicle Assembly Building op NASA's Kennedy Space Center in Florida.

astronauten genoodzaakt zijn om buiten het compartiment handelingen te verrichten, bieden beschermingsvesten uitkomst.”

Naast de continue straling in de ruimte en zonnewinden zijn er nog de Van Allengordels, ook wel stralingsgordels genoemd, die de astronauten tijdens hun reis naar de maan of Mars moeten passeren. Dit zijn twee regionen van geladen deeltjes die door het magneteveld rond de Aarde in stand worden gehouden. De eerste gordel, op een afstand van 2.000 en 5.000 kilometer, bestaat voornamelijk uit protonen. De tweede gordel bevindt zich op een hoogte tussen de 13.000 en 19.000 km. Deze gordel bestaat voornamelijk uit elektronen. De deeltjes in de buitenste gordel zijn afkomstig van de

zonnewind, de deeltjes in de binnenste gordel zijn afkomstig van kosmische straling.

Computersimulatie

SCK CEN is nu in gesprek met het European Astronaut Centre (EAC) in Keulen om een nieuw soort dosimetrie te ontwikkelen specifiek voor ruimtereizen waarin geen metingen worden gedaan maar waar de bestralingsdoses worden bepaald op basis van berekeningen. “We passen dat ook al experimenteel toe op aarde, waarbij werknemers met camera's worden gevolgd en we vervolgens de stralingsdoses gaan berekenen met computersimulaties.” Voor de nabije toekomst hoopt Van Hoey in samenwerking met DLR en ESA een eerste experiment hiervoor op te kunnen zetten in het ISS. De volgende bemande Artemis-missie gaat mogelijk in 2025 of 2026 plaatsvinden. “Vooralsnog is het SCK CEN hier niet bij betrokken, maar ik hoop dat we wel metingen kunnen gaan doen bij missies naar het maanoppervlak en reizen naar Mars.” Het uitlezen van de dosimeters van het MARE-experiment zal in het eerste kwartaal van dit jaar plaatsvinden, maar Van Hoey denkt dat de eerste gecombineerde resultaten pas in de loop van het jaar bekend zullen worden gemaakt. **K**

Menno Jelgersma

Orion

De lancering van Orion vond plaats op 16 november 2022 vanaf Cape Canaveral, Florida, en was bevestigd bovenop NASA's Space Launch System (SLS). De SLS is momenteel de krachtigste raket ter wereld. Tijdens zijn missie van 26 dagen heeft Orion twee keer de maan bezocht. Op 25 november 2022 kwam het ruimtevaartuig maar liefst tot 432.200 kilometer van de aarde. Dit is de grootste afstand die een capsule die ontworpen is om mensen te vervoeren, ooit van onze planeet heeft afgelegd. Op 11 december keerde het ruimtevaartuig Orion na een recordreis van 2,2 miljoen kilometer terug in de atmosfeer met een snelheid van 40.000 kilometer per uur waarna de capsule volgens plan landde in de Stille Oceaan. Volgens NASA markeert deze missie de eerste stap in de terugkeer van de mens naar de maan.



Een debatvol jaar

In november 2022 hoorde ik in Utrecht een voordracht van Gerben Dijksterhuis, burgemeester van de gemeente Borsele. Hij vertelde dat de zorgen van inwoners die hij hoorde over nieuwe kerncentrales in Zeeland niet zozeer over kernenergie gingen, maar over milieu (warmt de Westerschelde niet te veel op?) en over de kwaliteit van het landschap (komen er horizonverpestende koeltorens? Hoogspanningsmasten?). Ook als je kijkt naar de poster die die groepen die tegen kernenergie zijn in Zeeland verspreiden zie je dat terug. Daar is de mogelijke landschapsaantasting het eerste bezwaar dat wordt genoemd.

En dat vind ik een heel goed punt. Als inwoner van de mooie Schermerpolder zou ik mij ook verzetten tegen “horizonvervuiling”, of dat nu een koeltoren, windmolenpark of iets anders is.

We hebben net het jaar 2023 opgestart, en wat blijkt? Er is weer ruimte voor debat! Want er komen verkiezingen aan. Voor de Provinciale Staten, de waterschappen en (indirect) voor de Eerste Kamer. En ook al is kernenergie niet de inzet van de verkiezingen, de resultaten van die verkiezingen zijn natuurlijk wel belangrijk voor wat er gebeuren gaat in Nederland, de komende jaren.

En er staat qua “nucleair” heel wat op de politieke agenda. Er moet een investeringsbeslissing genomen worden voor de bouw van de nieuwe Pallas reactor in Petten. De verlenging van de bedrijfsduur van de huidige kerncentrale is onderwerp van gesprek. En hoe richten we de aanloop naar de bouw van nieuwe kerncentrales in? Hoe zit het met de financiering, inspraak, inpassing in ons energiesysteem, enzovoorts? En er zijn firma's die zich aandienen, die wel een kerncentrale (groot of klein) willen leveren. En andere bedrijven, die wel een nucleair project willen ontwikkelen.

Voor de ambtenaren op de ministeries levert het in ieder geval veel drukte op. Daar wordt hard gewerkt om het kabinet te ondersteunen bij de (soms harde) noten die gekraakt moeten worden. Tel daarbij op: de bezoeken van allerlei groepen die een belang hebben bij nieuwbouw van kernenergie (of juist niet), de Kamervragen, de protestacties, de debatten in de Kamer, de moties, en u begrijpt dat het een jaar van hard werken wordt in den Haag.

En die burger uit het dorp Borssele, die zich zorgen maakt over een koeltoren? Die kan gerust zijn, is mijn overtuiging. Die koeltorens komen er niet, en de centrales wel. Ik wens u allen een “stralend” 2023 toe, en wijsheid in het stemhokje. **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.

Podcastbespreking

Titans of Nuclear: nucleair op zijn sterkst



Het was Bret Kugelmass die in 2018 zag dat er een hiaat was tussen de nucleaire industrie en aangrenzende gemeenschappen die innovatie, financiering en sociale acceptatie in de weg stond. Als werktuigbouwkundig ingenieur van Stanford MS, robotica-ondernemer en denker op het gebied van klimaatverandering besloot hij hier iets aan te doen. De website **Titans of Nuclear** was geboren: <https://www.titansofnuclear.com>.

Met meer dan 250 interviews is **Titans of Nuclear** een audio-encyclopedie van interviews met de grootste geesten in kernenergie. De podcast biedt allerhande voorlichting over de nuances van 's werelds meest vitale schone energiebron. Niet alleen belangrijke mensen uit de politiek, industrie, onderwijs en economie komen aan het woord, er is ook ruimte voor startups, milieuactivisten, journalisten en communicatiedeskundigen, experts op het gebied van non-proliferatie, medische toepassingen, wetgeving en straling. Kugelmass wordt bij het maken van de podcasts geholpen door Jadwiga Najder, een Poolse nucleaire ingenieur en Olubunmi Olajida, een Nigeriaanse energiebeleidsanalist. **Titans of Nuclear** telt op dit moment meer dan vijftigduizend abonnees in 147 landen en dat aantal stijgt nog steeds. Ten tijde van het schrijven van dit artikel telde de website 376 interviews,



© Bret Kugelmass

de laatste van voormalig Amerikaans politicus Bob Gallucci. Het zwaartepunt van de website ligt voornamelijk op de Amerikaanse nucleaire experts omdat de grondlegger uit de USA komt, maar er is ook een sectie Internationaal waarin ook de Finse klimaatactivist Rauli Partanen aan het woord komt over zijn boek *Climate Gamble*. Hier is ook Leon Cizelj, hoofd van de afdeling nucleaire technologie van het Sloveense instituut Jožef Stefan te horen.

Miniseries

Op het hoogtepunt van de COVID-19 epidemie was het lastig om interviews te

➤ *In totaal zijn er drie Nederlandse 'titans' in de uitzending geweest. De eerste was Mathijs Beckers in 2018 over zijn boek *Zero Climate Hour*. In 2021 werden Lars Roobol als afdelingshoofd *Met en Monitoring* bij het RIVM en George Verberg, de voorzitter van de *Stichting Energietransitie & Kernenergie* geïnterviewd.*

houden en zijn er vier miniserie gemaakt. Eerder al publiceerde Kugelmass een serie over Tsjernobyl, een onderwerp waar iedereen die in de nucleaire sector werkt vroeg of laat mee geconfronteerd wordt. In de serie wordt ingegaan op de aard en de gevolgen van het ongeval aan de hand van ooggetuigenverslagen. Maar experts worden ook geïnterviewd over de geloofwaardigheid van de televisieserie Tsjernobyl en geconfronteerd met publieksvragen zoals: "Zijn de slachtoffers van de Tsjernobyl-ramp nu radioactief?" Een andere miniserie gaat in op de technologie en biedt een interessante kijk op de verschillende soorten reactoren die beschikbaar zijn: onder andere gesmolten zout, hoge temperatuur gascentrales, vloeibaar metaal en kerncentrales voor de ruimtevaart.

Input

De website kan nog wel wat input gebruiken over de nucleaire sector in Nederland. Op dit moment zijn op de kaart alleen de KEMA-laboratoria in Arnhem aangegeven (50 medewerkers) en de ANVS in Den Haag (500 medewerkers). Internationale spelers als NRG, PALLAS en URENCO ontbreken in zijn geheel. Net als de Kerncentrale Borssele, de COVRA en de onderzoeksreactor van de universiteit Delft. In totaal zijn er drie Nederlandse 'titans' gepresenteerd. De eerste was Mathijs Beckers in 2018 over zijn boek Zero Climate Hour. Later werd Lars Roobol in 2021 geïnterviewd door Kugelmass als afdelingshoofd Meten en Monitoring bij het RIVM, evenals George Verberg oud-directeur van URENCO in datzelfde jaar maar daar bleef het ook bij. Voor wie enthousiast is geworden: het is mogelijk om zelf een Titan voor te dragen of om feedback te geven onder de knop contact in het menu. En wanneer je Bret Kugelmass wil horen spreken of zelfs wil uitnodigen op een evenement, ook dat is mogelijk onder de knop conferences. **K**

Ellen Jelgersma

In memoriam Ger Küpers

In deze tijden van verandering is het goed om diegenen te herdenken die de fakkel van de nucleaire technologie brandend hebben gehouden. Onze Ger Küpers was daar een lichtend voorbeeld van. Helaas is hij recent, op 22 januari in zijn geliefde Enschede overleden, na lange periode van strijd om met zijn afnemende conditie om te kunnen blijven gaan. Daarbij bleef hij naast zijn gezin, relaties en vrienden aandacht schenken en aan zijn collegiale en vaktechnische contacten.

Vanwege zijn grote interesse in (klassieke) muziek was hij met regelmaat in Amsterdam in het Concertgebouw te vinden. Ger was afgestudeerd aan de TU in Twente in de vakgroep Industriële Warmtetechniek, bij de bekende prof. Wiebe Draijer. Dat veld is in zijn belangstelling gebleven, ook professioneel. We hebben hem goed gekend als actief KIVI-lid, als voorzitter van de European Nuclear Society en als directeur Engineering&Technology binnen de Stork Engineering/Comprimo-Nucon divisie. Via Neratoom heeft hij jaren in Duitsland aan de voorbereidingen voor de SNR 300 snelleweekreactor mee mogen werken en daardoor lang contact met zijn internationale (en Twentse) collega's en vrienden kunnen blijven onderhouden.

Hij had veel belangstelling voor nieuwe ontwikkelingen, zoals de synergie met Gen IV systemen en de thoriumcyclus, maar ook op terreinen als biomassa. Vanuit zijn belangstelling voor jonge studenten in de Dutch Young Generation heeft hij hen vaak kunnen helpen in hun beroepsmatige aanloopfase. Ook voor het tot stand komen van het kennisgerichte PINC programma heeft hij een belangrijke bijdrage geleverd.

Behalve met het uitwisselen van de vele opgedane lessen in zijn lange actieve leven, inclusief het uitruilen van vakliteratuur in de vorm van collegedictaten, boeken en tijdschriften kwamen in onze contacten ook de karakteristieke eigenschappen van de spraak- en smaakmakers uit de energie- en de Nederlandse industriesector vaak over tafel.

Aan Ger Küpers denk ik terug als, naast een goede, betrouwbare en stimulerende collega ook een sparringpartner, goede relatie en vriend. **K**

Gerard Troost
5 februari 2023

IEA publiceert omvangrijk rapport over perspectieven van schone energietechnologie



© IEA

De energiewereld staat aan de vooravond van een nieuw industrieel tijdperk met de productie van schone energietechnologie.

Er zullen grote nieuwe markten ontstaan wat leidt tot miljoenen nieuwe banen, maar wat ook nieuwe risico's met zich meebrengt. Hierdoor moeten landen over de hele wereld industriële strategieën bedenken om hun plaats in de nieuwe mondiale energie-economie veilig te stellen. Dit blijkt uit het recent verschenen rapport van het International Energy Agency (IEA): *Energy Technology Perspectives 2023*.

Energy Technology Perspectives 2023 belicht de belangrijkste markt- en werkgelegenheidskansen, alsook de opkomende risico's, voor landen die alles op alles zetten om de leiding te nemen in de schone energie-industrie van vandaag en morgen. Het lijvige rapport dat maar liefst 458 pagina's telt, is de laatste publicatie die het IEA ziet als een van zijn paradepaardjes en is 's werelds eerste wereldwijde gids voor de schone technologie-industrieën van de toekomst. Het biedt een uitgebreide analyse van de huidige wereldwijde productie van schone energietechnologieën, zoals zonnepanelen,

windturbines, EV-batterijen, elektrolyzers voor waterstof en warmtepompen - en de toeleveringsketens daarvan, en brengt in kaart hoe deze zich waarschijnlijk zullen ontwikkelen naarmate de overgang naar schone energie de komende jaren vordert.

Mineralen geconcentreerd in een klein aantal landen

Uit de analyse blijkt dat de wereldmarkt voor belangrijke in massa geproduceerde schone energietechnologieën tegen 2030 ongeveer 650 miljard dollar per jaar waard zal zijn - meer dan drie keer het huidige niveau - als de landen wereldwijd hun

aangekondigde energie- en klimaatbeloften volledig nakomen. Het aantal banen in de sector schone energie zou meer dan verdubbelen van 6 miljoen vandaag tot bijna 14 miljoen in 2030. Bovendien verwacht de IEA in de volgende decennia een verdere snelle groei van de industrie en de werkgelegenheid naarmate de overgang vordert. Tegelijkertijd brengen de huidige toeleveringsketens van schone energietechnologieën risico's met zich mee in de vorm van hoge geografische concentraties van ontginning en verwerking van hulpbronnen en productie van technologie. Voor technologieën als zonnepanelen, windenergie, EV-batterijen, elektrolytische cellen en warmtepompen zijn de drie grootste producerende landen goed voor ten minste zeventig procent van de productiecapaciteit voor elke technologie - en China domineert in al

deze landen. Ondertussen is een groot deel van de ontginning van kritieke mineralen geconcentreerd in een klein aantal landen. De Democratische Republiek Congo produceert bijvoorbeeld meer dan zeventig procent van het kobalt in de wereld en daarbij zijn Australië, Chili en China goed voor meer dan negentig procent van de wereldproductie van lithium.

Nieuwe markten voor schone energietechnologie

De wereld ziet nu al de risico's van krappe leveringsketens, die de prijzen van schone energietechnologie de afgelopen jaren hebben opgedreven en de overgang van landen naar schone energie moeilijker en duurder hebben gemaakt. Stijgende prijzen voor kobalt, lithium en nikkel hebben geleid tot de eerste stijging ooit van de prijzen van EV-batterijen. Die in 2022 wereldwijd met bijna tien procent zijn gestegen. De kosten van windturbines buiten China zijn ook gestegen na jaren van daling, en soortgelijke trends zijn te zien bij zon-PV. "Het IEA benadrukte bijna twee jaar geleden dat er snel een nieuwe mondiale energie-economie aan het ontstaan was. Vandaag is het een centrale pijler van de economische strategie geworden en elk land moet nagaan hoe het de kansen kan benutten en de uitdagingen het hoofd kan bieden. We hebben het over nieuwe markten voor schone energietechnologie met een waarde van honderden miljarden dollars en miljoenen nieuwe banen", aldus Fatih Birol, uitvoerend directeur van het IEA. "Het bemoedigende nieuws is dat de wereldwijde projectpijplijn voor de productie van schone energietechnologie groot is en groeit. Als alles wat vanaf vandaag is aangekondigd, wordt gebouwd, zouden de investeringen in de productie van schone energietechnologieën twee derde leveren van wat nodig is op weg naar netto nul-emissies. Het huidige momentum brengt ons dichterbij onze internationale energie- en klimaatdoelstellingen, en er staat ons vrijwel zeker nog meer te wachten. Tegelijkertijd zou de wereld

profiteren van meer gediversifieerde toeleveringsketens voor schone technologie", voegde Birol eraan toe. "Zoals we hebben gezien met Europa's afhankelijkheid van Russisch gas, wanneer je te veel afhankelijk bent van één bedrijf, één land of één handelsroute, loop je het risico een hoge prijs te betalen als er verstoringen zijn. Ik ben dus blij dat veel economieën over de hele wereld met elkaar concurreren om een leidende rol te spelen in de nieuwe energie-economie en een impuls te geven aan de uitbreiding van de productie van schone technologie in de race naar netto nul. Het is echter belangrijk dat deze concurrentie eerlijk is en dat er een gezonde mate van internationale samenwerking is, aangezien geen enkel land een energie-eiland is en de energietransitie duurder en trager zal verlopen als landen niet samenwerken."

Concurrentievoordeel

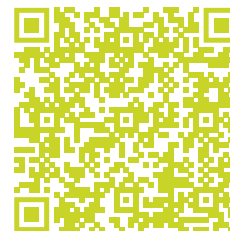
In het rapport wordt opgemerkt dat grote economieën maatregelen nemen om hun klimaat-, energiezekerheids- en industriebeleid te combineren tot bredere strategieën voor hun economieën. De Inflation Reduction Act in de Verenigde Staten is hiervan een duidelijk voorbeeld, maar er is ook het Fit for 55-pakket en het REPowerEU-plan in de Europese Unie, het Green Transformation-programma van Japan en de Production Linked Incentive-regeling in India die de productie van zon-PV en batterijen stimuleert - en China werkt eraan om de doelstellingen van zijn laatste vijfjarenplan te halen en zelfs te overtreffen. Ondertussen kijken projectontwikkelaars en investeerders in schone energie nauwlettend uit naar het beleid dat hen een concurrentievoordeel kan opleveren. De relatief korte doorlooptijd van gemiddeld 1-3 jaar om productiefaciliteiten online te brengen, betekent dat de projectpijplijn zich snel kan uitbreiden in een omgeving die bevorderlijk is voor investeringen. Volgens het rapport is slechts vijftwintig procent van de wereldwijd aangekondigde

productieprojecten voor zonne-energie in aanbouw of begint de bouw ervan binnenkort. Dit cijfer ligt rond vijftig procent voor EV-batterijen en minder dan tien procent voor elektrolysers. Overheidsbeleid en marktontwikkelingen kunnen een aanzienlijk effect hebben op waar de rest van deze projecten terecht komt.

Internationale samenwerking en strategische partnerschappen

Te midden van de regionale ambities om de productie op te voeren, onderstreept ETP-2023 de belangrijke rol van de internationale handel in de toeleveringsketens voor schone energietechnologie. Daaruit blijkt dat bijna zestig procent van de wereldwijd geproduceerde zon-PV-modules over de grens wordt verhandeld. Handel is ook belangrijk voor EV-batterijen en onderdelen van windturbines, ondanks hun omvang, waarbij China momenteel de belangrijkste netto-exporteur is. In het verslag wordt ook gewezen op de specifieke uitdagingen in verband met de kritische mineralen die nodig zijn voor veel schone energietechnologieën, met name de lange aanlooptijden voor de ontwikkeling van nieuwe mijnen en de behoefte aan strenge normen op het gebied van milieu, maatschappij en bestuur. Gezien de ongelijke geografische spreiding van kritieke minerale hulpbronnen zullen internationale samenwerking en strategische partnerschappen van cruciaal belang zijn om de continuïteit van de voorziening te waarborgen. **K**

Bron: IEA





**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 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