

# KVK

**KERNVISIE  
MAGAZINE**

Olkiluoto-3 in bedrijf

Informatiemarkt TU  
Delft Reactor Institute  
groot succes

Rondetafelconferentie  
Stichting KernVisie  
en SEK

**3**  
Juni  
2023

UITGAVE VAN  
STICHTING KERNVISIE

**Radiotherapie  
nog nauwkeuriger  
met AI**



KernVisie Magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**  
EEN ENERGIEK INITIATIEF

**Jaargang 18**  
**Nummer 3**  
**Juni 2023**  
**KernVisie Magazine**  
**verschijnt tweemaandelijks**  
**Oplage 2.200 ex**

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

### **Bestuur Stichting KernVisie**

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

### **Redactie KernVisie Magazine**

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

### **Redactie adres**

Dokter Bosmanshof 32, 6851 MJ Huissen  
Telefoon 026-2130214  
E-mail: [KernVisie@KernVisie.com](mailto:KernVisie@KernVisie.com)  
Internet: [www.KernVisie.com](http://www.KernVisie.com)  
Bankrekening NL19 INGB 0006 8513 70, t.n.v. KernVisie,  
Foundation for Nuclear Technology te Kapelle.

### **Op de Cover**

Oscar Pastor Serrano  
Foto © Irene van Kessel

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

### **Omgang met persoonsgegevens**

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

## Voorwoord

### Een welverdiende vakantie

**M**et de zomer voor de deur verheugen de meesten van ons

zich al op een welverdiende vakantie. Misschien ook wel eens aardig om je te realiseren wanneer je met je blote voeten in het meer van Annecy in Frankrijk staat, de Bodensee in Duitsland of in een van de honderden meren in Finland dat elk EU-land zelf bepaalt hoe zijn energiemix eruitziet. Terwijl Duitsland zijn laatste kerncentrales heeft gesloten (385 gram CO<sub>2</sub> per kWh\*), heeft Frankrijk (85 gram CO<sub>2</sub> per kWh) plannen voor 14 nieuwe kerncentrales en is in Finland (131 gram CO<sub>2</sub> per kWh) onlangs de nieuwe kerncentrale bij Olkiluoto in gebruik genomen. NucNet heeft een helder verhaal geschreven over de achtergrond en de belangrijkste feiten over Europa's grootste kernreactor in Olkiluoto in Finland. We berichten over de actie Standup for Nuclear die op de dag van de sluiting van de laatste werkende kerncentrale in Duitsland in Berlijn werd gehouden. Verder is er het nieuws dat Urenco splijtstof gaat leveren aan Bulgarije (400 gram CO<sub>2</sub> per kWh). Veel aandacht dit keer weer voor de medische toepassing van nucleaire technologie met de rol die Artificial Intelligence kan spelen bij radiotherapie en een bijdrage van de IAEA over wat radiotherapie precies inhoudt.

En nog even voor diegenen die in eigen land op vakantie gaan: Nederland zit qua uitstoot maar net onder Duitsland met 355 gram CO<sub>2</sub> per kWh. Maar het zou best wat kunnen zakken als we die twee nieuwe kerncentrales echt gaan bouwen en het Nederlands bedrijfsleven kiest voor het versnellen van de waterstofeconomie.

Het bestuur van de Stichting KernVisie wenst alle lezers een goede vakantie! **K**

*André Versteegh*  
voorzitter Stichting KernVisie





**P04**

## Medisch

### Radiotherapie nog nauwkeuriger met AI

Op 1 mei promoveerde Oscar Pastor Serrano aan de TU Delft. Hij deed onderzoek naar de toepassing van artificial intelligence (AI) voor de behandeling van kanker. Daarbij droeg hij bij aan de ontwikkeling van het Deep Learning Dose Transformer Algorithm (DoTA). De DoTA maakt het mogelijk om in enkele milliseconden een nauwkeurige inschatting te maken van de dosis voor een bestralingsbehandeling met protonen.

## P08 Energie

### Finse Olkiluoto-3 begint commerciële exploitatie

NucNet geeft de achtergrond en belangrijkste feiten over Olkiluoto-3, Europa's grootste kernreactor. Reactor nummer drie van de Olkiluoto-kerncentrale in het zuidwesten van Finland is een EPR-kerncentrale (European Pressurised Water Reactor) van 1.600 MW, geleverd door het Frans-Duitse consortium Areva-Siemens. Het is de grootste commerciële kerncentrale in Europa. Op 1 mei is de reactor, bijna 18 jaar na de start van de bouw, officieel volledig commercieel in bedrijf genomen.



**P22**

## Maatschappij

### Informatiemarkt TU Delft Reactor Institute groot succes

De informatiemarkt in het kader van 60 jaar onderzoek en onderwijs met de reactor, die op zaterdag 22 april werd georganiseerd door TU Delft Reactor Institute, was een groot succes. In totaal hebben 233 personen kennis gemaakt met verschillende disciplines binnen het instituut.

## P14 Maatschappij

### Rondetafelconferentie Stichting KernVisie en SEK

Op 10 mei organiseerden de Stichting Kernvisie en de Stichting Energietransitie & Kernenergie (SEK) een besloten rondetafelconferentie plaats over de relatie tussen kernenergie, warmte en waterstof in hotel New York in Rotterdam. De bijeenkomst liet duidelijk zien dat de keuze voor waterstofproductie weliswaar nog geen gelopen race is, maar wel dat het noodzakelijk is om alles op alles te zetten om naar een CO<sub>2</sub>-vrije economie te streven.



### P10 Energie

Aliki van Heek is de nieuwe partner bij Nuclear-21

### P12 InBeeld

Stand Up For Nuclear op de dag van de Atomausstieg

### P18 Medisch

Infographic van de IAEA: Wat is radiotherapie?

### P21 Maatschappij

Kiki Lauwers benoemd tot CEO bij Thorizon

### P23 Column

Lars Roobol: Energietransitie



Medisch

# Radiotherapie nog nauwkeuriger met AI

Promotie van Oscar Pastor Serrano aan de TU Delft

**O**p 1 mei promoveerde Oscar Pastor Serrano aan de TU Delft. Hij deed onderzoek naar de toepassing van artificial intelligence (AI) voor de behandeling van kanker. Daarbij droeg hij bij aan de ontwikkeling van het Deep Learning Dose Transformer Algorithm (DoTA). De DoTA maakt het mogelijk om in enkele milliseconden een nauwkeurige inschatting te maken van de dosis voor een bestralingsbehandeling met protonen. Dit is cruciaal voor het ontwerpen van robuuste behandelplannen die zich precies richten op de tumor met minimale bijwerkingen. Pastor Serrano: "Daarnaast is het oorspronkelijke DoTA-model uitgebreid met iDoTA om de dosisverdeling van brede fotonenbundels te voorspellen. Hierdoor kunnen de snelheidsvoordelen ook bij fotonenbehandelingen worden gebruikt."

Toen Pastor Serrano natuurkunde ging studeren, richtte hij zich vooral op kernfysica. Hij deed zijn master in Zweden over reactorfysica, “de fysica van het neutron”, zoals hij het zelf omschrijft. Maar hij was eigenlijk op zoek naar een bredere toepassing van de kernfysica en zo kwam hij terecht in het onderzoek naar geladen deeltjes, waaronder koolstofionen voor therapeutische doeleinden en protontherapie. Pastor Serrano is zich bewust van de complexiteit van zijn vakgebied: “Als familie en vrienden me vragen wat ik de afgelopen jaren precies heb gedaan, begin ik eigenlijk altijd met de medische behandeling die de meeste mensen kennen: radiotherapie voor de behandeling van kanker. Bijna iedereen is ermee bekend. Ongeveer 50 procent van alle mensen die voor kanker worden behandeld, krijgen radiotherapie, waarbij een externe of interne bron wordt gebruikt om tumoren te bestralen.” De meest gebruikelijke bestraling gebeurt met fotonen; een meer recent ontwikkelde techniek is bestraling met protonen, waarmee tumoren veel preciezer kunnen worden bestraald.

### Drie onzekerheden

Daar wringt volgens Pastor Serrano de schoen; hij noemt de keuze van bestralingsdoses een “tweesnijdend zwaard”. “Om er zeker van te zijn dat je de tumor raakt, moet je een gebied bestralen waarbinnen deze zich bevindt. Dat betekent dat het onvermijdelijk is dat je gezond weefsel bestraalt, en dat wil je natuurlijk zoveel mogelijk voorkomen.” Maar dan moet je wel precies weten waar de tumor zich bevindt en wat het volume ervan is. Pastor Serrano onderscheidt drie belangrijke onzekerheden, die de nauwkeurigheid van de bestraling beïnvloeden. “Wanneer een totale behandeling uit bijvoorbeeld dertig bestralingen bestaat, houdt dat automatisch dertig verschillende posities in voor de patiënt op de behandelafel. Ten tweede kan de tumor tussen

de behandelingen door van volume veranderen, bijvoorbeeld door de bestralingen. De derde onzekerheid is dat de tumor tijdens de behandeling beweegt onder invloed van de ademhaling of andere lichamelijke processen, want de blaas kan de positie van de prostaat beïnvloeden.”

### De ideale stralingsbundel


De huidige fotonen- en protonenplannen proberen vóór de toediening het nadelige effect van deze onzekerheden tijdens de planning van de behandeling te beperken. Bij de conventionele behandelplanning gaan medici uit van een planning op basis van een CT-scan van de patiënt, die wordt gemaakt voordat de behandeling begint. Dan volgt een ingewikkelde behandelplanning, waarbij de dosis van elke bundel wordt berekend en de straling voor elke bundel optimaal is. “Dit is een tijdrovend proces dat meerdere uren in beslag kan nemen. Om het effect van onzekerheden te beperken, maken fotonenbehandelingen gebruik van marge-uitbreidingen op het doelwit, waarbij direct wordt geprobeerd grotere volumes te bestralen. Fotonmarges zijn ontworpen om rekening te houden met instel- en berekeningsfouten, en kunnen tot op zekere hoogte rekening houden met anatomische veranderingen. Maar marges werken niet bij protonen. “Anders dan bij fotonenbehandelingen worden bij protonenbehandelingen onzekere scenario’s geëvalueerd en meegewogen tijdens de robuuste planning.” Een robuuste planning is een voorspelling op basis van een simulatie van de anatomie en die onderdeel uit laten maken van het behandelplan. “Helaas resulteren beide methoden in bestraalde volumes die groter zijn dan het werkelijke klinische doel.”

### Daily Anatomy Model

Een mogelijkheid om kleinere marges te verkrijgen bij fotonbestraling en lagere robuustheidsinstellingen bij protonenbestraling is een aanpassing van anatomische variaties. Idealiter zouden

dergelijke scenario’s met anatomische onzekerheden in de robuuste planning worden opgenomen. Dat gebeurt echter niet, deels door het gebrek aan realistische bewegingsmodellen voor anatomie in de literatuur. Een van de belangrijkste uitkomsten van het onderzoek van Pastor Serrano is het Daily Anatomy Model, of DAM, waarmee je voorafgaand aan de behandeling CT-scans kunt voorspellen, zodat ze kunnen worden meegenomen in de behandelplanning. “Op die manier neem je verschillende foutscenario’s mee om ervoor te zorgen dat het resulterende behandelplan onder al die scenario’s klopt. Je kunt je voorstellen dat er dan meer doses te berekenen zijn en dat de optimalisatie ingewikkelder is, wat hoge eisen stelt aan de snelheid van het proces”, licht Pastor Serrano toe.

### Monte Carlo en pencil beam algoritmen (PBA)

De volgende generatie werkprocessen zijn erop gericht de behandelplannen binnen enkele minuten voor elke behandelsessie te verifiëren - en zo nodig te corrigeren - om het effect van orgaan- en tumorbewegingen te minimaliseren. Het uitvoeren van dergelijke ‘online’ aanpassingen stelt nog hogere eisen aan de snelheid van dosisberekeningen dan de bestaande methoden, aangezien deze in enkele minuten voor het begin van de behandeling moeten worden uitgevoerd. Bovendien vereisen zij nieuwe algoritmen om de dosistoediening in seconden te voorspellen. De huidige benaderingen voor dosisberekening zijn Monte Carlo (MC) en analytische Pencil Beam Algorithms (PBA), maar deze kunnen niet voldoen aan de strenge eisen van snelheid en nauwkeurigheid die nodig zijn voor aanpassing. Monte Carlo-simulatie is een wiskundige techniek voor het schatten van mogelijke uitkomsten van een onzekere gebeurtenis. “Met Monte Carlo kunnen uitstekende benaderingen worden gemaakt. Het enige probleem is dat de verwerking tijdrovend is.” PBA daarentegen 



➤ *“AI-algoritmen zoals DoTA en iDoTA zijn de enige serieuze kandidaten zijn om de online aanpassing van behandelingen mogelijk te maken, met immense implicaties voor het behandelingsucces en de kwaliteit van leven van patiënten.”*

kan snel dosisverdelingen voorspellen door benaderende natuurkundige vergelijkingen op te lossen, ten koste van de nauwkeurigheid, vooral in zeer heterogene anatomieën zoals de long. Pastor Serrano: “Zo treden de grootste verschillen op in het gebied met hoge doses van de stralingsbundel. Hoewel de berekening van de dosis met de PBA zeer snel is, zijn de resultaten niet nauwkeurig genoeg.”

## DoTA

Pastor Serrano richtte zich in zijn onderzoek daarom op het oplossen van zowel het MC-probleem van de trage dosisvoorspellingsnelheid als de onnauwkeurigheden van de PBA met

een combinatie van Deep Learning en voorspellende modelleerconcepten: Deep Learning Dose Transformer Algorithm (DoTA). Deep Learning is een methode in de kunstmatige intelligentie (AI) die computers leert gegevens te verwerken door zeer complexe relaties tussen invoergegevens en voorspellingen te benaderen, in dit geval het leren van de kernfysica van protonen terwijl zij door de patiënt reizen. DoTA is in staat om protonendoses in enkele milliseconden te voorspellen met een nauwkeurigheid die dicht in de buurt komt van de op Monte Carlo gebaseerde dosisberekening. “Met de ontwikkeling van DoTA is het nu mogelijk om binnen twee minuten stralingsdosis en positieaanpassing te bepalen. Het

belangrijkste is dat DoTA kan worden aangepast voor real-time dosisvoorspelling tijdens de bestraling. Dit is mogelijk omdat we de CT-waarden in real time kunnen bijwerken en snel de bijbehorende afgegeven dosis kunnen berekenen, dankzij de hoge snelheid in milliseconden voor de berekening van de individuele potloodstralingsdosis.” Zoals blijkt uit de snelle voorspellingstijden, presteert DoTA beter dan bestaande benaderingen en vertegenwoordigt het een nieuwe stand van de techniek die de huidige klinische praktijk op tal van manieren ten goede kan komen. Naast de toekomstige implicaties voor ‘online’ aanpassing van behandelplannen, kan DoTA direct worden toegepast in huidige robuuste planningsbenaderingen. “Het kleine aantal onzekere scenario’s



© Irene van Kessel

extra steekproeven, waardoor een meer diverse en realistische reeks onzekerheden wordt vastgelegd. Dit resulteert in robuustere behandelplannen met een grotere kans op succes.”

### iDoTA

Het oorspronkelijke DoTA-model werd ook verder uitgebreid om de dosisverdeling van brede fotonenbundels te voorspellen, waardoor de snelheidsvoordelen ervan ook bij fotonenbehandelingen kunnen worden gebruikt. Deze verbeterde DoTA, of iDoTA, presteert ook beter dan andere deep learning-methoden voor dosisberekening en is state-of-the-art in de voorspelling van fotodosis. Net als zijn proton-DoTA tegenhanger is iDoTA een veelzijdig algoritme dat de rekentijd sterk kan verminderen in elke toepassing die herhaalde berekening van dosisverdelingen vereist, zoals bijvoorbeeld het verifiëren van de robuustheid van een behandelplan door een snelle voorspelling van de dosis in elk van de vele mogelijke foutsenario's of anatomische variaties van de patiënt. De meest voor de hand liggende toepassing van iDoTA is het verkorten van de rekentijden bij de berekening van stralingsdoses door 10 keer snellere voorspellingen te doen dan met Monte Carlo, waardoor de planning en evaluatie van behandelingen mogelijk sterk wordt versneld.

dat momenteel wordt gebruikt om de robuustheid van behandelplannen klinisch te evalueren, kan worden uitgebreid met veel

### Lopend onderzoek

De resultaten van het onderzoek zijn veelbelovend, maar Pastor Serrano waagt zich niet aan een datum waarop zijn techniek in ziekenhuizen zal worden toegepast. “Als je echt wilt begrijpen hoe de methode precies werkt en de resultaten in de praktijk wilt testen, zal er nog onderzoek moeten plaatsvinden.” Monte Carlo en PBA worden al toegepast in klinieken, zowel voor primaire dosisberekeningen als voor onafhankelijke secundaire berekeningen om de resultaten van de primaire dosismotor te verifiëren. “Wat wel eens zou kunnen gebeuren is dat DoTA voor die tweede berekening wordt gebruikt. Van daaruit kan het toepassingsgebied van DoTA verder worden uitgebreid naar meer kritische toepassingen, zoals het evalueren van de robuustheid van protonbehandelingen.” Binnen de groep waartoe Pastor Serrano behoort, maar ook bij onderzoekscentra als Erasmus MC en HollandPTC, pikken onderzoekers zijn werk al op en zetten het onderzoek voort. “Het belangrijkste is de constatering dat AI-algoritmen zoals DoTA en iDoTA vanwege hun snelheid en nauwkeurigheid tot nu toe de enige serieuze kandidaten zijn om de lang gewenste ‘online’ aanpassing van behandelingen mogelijk te maken, met immense implicaties voor het behandelings succes en de kwaliteit van leven van patiënten”, besluit Pastor Serrano. **K**

*Menno Jelgersma*

### Dr. Oscar Pastor Serrano

Oscar Pastor Serrano werd in 1994 geboren in Valencia, Spanje. In 2012 behaalde hij een bachelor in energietechniek aan de Polytechnische Universiteit van Valencia (Universidad Politecnica de Valencia) in Valencia, Spanje. Het laatste semester van zijn studie bracht hij door als gaststudent aan de Universiteit van Wisconsin-Madison in Wisconsin, VS, waar hij leerde over kernfysica en Monte Carlo-transportmethoden. Na zijn afstuderen in 2016 schreef hij zich in voor de Master Nuclear Engineering aan het Royal Institute of Technology (KTH Kungliga Tekniska Högskolan) in Stockholm, waar hij zich specialiseerde in fysica-gebaseerde simulaties voor kernreactor- en medische fysicaproblemen. Tijdens zijn afstudeerstage bij het radiotherapiebedrijf Elekta AB in Stockholm ontwikkelde hij Monte Carlo-deeltjestransportsoftware die de interactie van geladen deeltjes simuleert, toegepast op stralingsdosisberekeningen. In 2019 ging hij als promovendus aan de slag bij de afdeling Radiation Science & Technology van de Technische Universiteit Delft, Nederland. Tijdens zijn PhD had hij de gelegenheid om 6 maanden door te brengen als gastonderzoeker bij het Laboratory of Artificial Intelligence and Medicine and Biomedical Physics van Stanford University in Californië, VS. De resultaten van zijn 4 jaar onderzoek aan de TU Delft en Stanford University zijn samengevat in het proefschrift, Artificial Intelligence in Radiotherapy, waarop hij is gepromoveerd.

# Finse Olkiluoto-3 begint commerciële exploitatie

**NucNet Explainer: De achtergrond en belangrijkste feiten over Europa's grootste kernreactor.**



## Wat is Olkiluoto-3?

Reactor nummer drie van de Olkiluoto-kerncentrale in het zuidwesten van Finland is een EPR-kerncentrale (European Pressurised Water Reactor) van 1.600 MW, geleverd door het Frans-Duitse consortium Areva-Siemens. Het is de grootste commerciële kerncentrale in Europa. Op 1 mei is zij, bijna 18 jaar na de start van de bouw op 12 augustus 2005, officieel volledig commercieel in bedrijf genomen.

## Wat is de achtergrond?

Het verhaal van Olkiluoto-3 begon in 2000, toen het Finse nutsbedrijf Teollisuuden Voima Oyj (TVO) voor het eerst een aanvraag indiende voor de bouw van een nieuwe kerncentrale in een poging het land te verlossen van de invoer van elektriciteit

uit het buitenland en een nieuwe bron van koolstofarme energie aan te boren. In 2002 gaf het Finse parlement met meerderheid van stemming (107- 92) toestemming voor de nieuwe eenheid. En in december 2003 werd Finland het eerste land in West-Europa dat sinds 1988 een nieuwe kernreactor bestelde. Areva NP kreeg de opdracht Olkiluoto-3 voor TVO te bouwen in het kader van een turnkey-contract met een vaste prijs.

## Wat zijn de voordelen van Olkiluoto-3?

Kernreactoren kunnen basislast CO<sub>2</sub>-vrije stroom leveren. Olkiluoto-3 wordt gezien als een belangrijk onderdeel van de Finse plannen om de uitstoot van broeikasgassen tegen 2050 met 80 procent te verminderen. Daarnaast wil het een einde

maken aan de afhankelijkheid van de invoer van elektriciteit, vooral sinds de oorlog van Rusland in Oekraïne. De reactor zal voor minimaal 60 jaar koolstofarme elektriciteit leveren en de invoer van elektriciteit in Finland zal met ongeveer 60 procent afnemen. De productie dekt ongeveer 14 procent van de Finse elektriciteitsvraag. Volgens de IAEA werd in 2021 - voordat Olkiluoto-3 in bedrijf werd genomen - al bijna 33 procent van de Finse elektriciteitsopwekking door kernenergie geleverd. De reactor produceert 12 TWh elektriciteit per jaar, genoeg om 5,2 miljoen appartementen te verwarmen of 3,6 miljoen elektrische auto's op te laden. Het aandeel in de productie van koolstofvrije elektriciteit stijgt met de ingebruikname van 89 procent naar ongeveer 93 procent.



## Waarom heeft het bijna 18 jaar geduurd voordat de centrale operationeel werd?

Het Olkiluoto-3-project heeft aangetoond hoe complex de bouw van een nieuwe kerncentrale is. In 2006 liep Olkiluoto-3 door problemen met de bouw en de aankoop van onderdelen 12 maanden achter op schema. Areva gaf in 2006 toe dat haar nettowinst in de eerste helft van het jaar met 19 procent was gedaald, voornamelijk als gevolg van de kostenoverschrijdingen bij Olkiluoto. Het project heeft een aantal vertragingen opgelopen. In een presentatie van Jukka Laaksonen, directeur-generaal van de Finse autoriteit voor stralings- en nucleaire veiligheid (Stuk), in 2010 werd als een van de belangrijkste redenen voor de vertraging een te ambitieus oorspronkelijk tijdschema genoemd voor een centrale die de eerste in haar soort is en groter dan welke eerder gebouwde kerncentrale ook. Andere redenen waren: de ontoereikende voltooiing van de ontwerp- en engineeringwerkzaamheden vóór de start van de bouw; een tekort aan ervaren ontwerpers; gebrek aan ervaring van partijen met het beheer van een groot bouwproject; en een wereldwijd tekort aan gekwalificeerde fabrikanten van apparatuur. Volgens Statista hadden in 2021 op het net aangesloten kernreactoren een gemiddelde bouwtijd van 88 maanden.

## Hoeveel heeft Olkiluoto-3 gekost?

Volgens TVO bedroeg het oorspronkelijke budget voor het project ongeveer 3 miljard euro. Het bedrijf zei in zijn tussentijdse verslag over het eerste kwartaal dat de "totale investering" ongeveer 5,8 miljard euro zou bedragen. TVO kocht de centrale tegen een vaste prijs van Areva-Siemens en stapte naar de arbitragecommissie om een geschil over kostenoverschrijdingen te beslechten. Een industrieanalist in Finland vertelde NucNet dat de kosten voor de leveranciers, Areva-Siemens, het totaal waarschijnlijk op ongeveer 10 miljard

euro zullen brengen. Bloomberg schat het bedrag op ongeveer 8 miljard euro. In 2018 kwam TVO met Areva-Siemens tot een schikking in een langlopend geschil over kostenoverschrijdingen en vertragingen in Olkiluoto, waarbij Areva-Siemens ermee instemde TVO een schadevergoeding van 450 miljoen euro te betalen. De overeenkomst werd in 2021 gewijzigd. TVO en Areva-Siemens eisten miljarden euro's van elkaar als gevolg van de vertragingen. De partijen kwamen overeen om alle lopende rechtszaken in verband met het project, waaronder arbitrage van de Internationale Kamer van Koophandel, in te trekken. Volgens Fitch Ratings zou Areva-Siemens recht hebben op een 'aanmoedigingspremie' van maximaal 150 miljoen euro "bij tijdige voltooiing van het OL3-project". In 2016 werd Areva, dat onder staatscontrole staat, volledig geherstructureerd en geherkapitaliseerd in een door de overheid gesteunde deal, nadat jarenlange verliezen het eigen vermogen van het bedrijf hadden weggevaagd en het aan de rand van de afgrond hadden gebracht.

## Hoe zit het met nucleair afval?

Finland is bijna klaar met de eerste geologische opslagplaats ter wereld, Onkalo genaamd, voor verbruikte splijtstof in Olkiluoto. De opslagplaats - die rond 2025 operationeel moet zijn - zal de verbruikte splijtstof bevatten van alle vijf Finse kerncentrales en worden geplaatst in het gesteente op een diepte van ongeveer 400 meter. Volgens de IAEA beheert en verwijdert Finland ook het laag- en middelactief afval dat afkomstig is van de exploitatie van zijn kerncentrales. Finland heeft bovendien de toekomstige ontmantelingen gepland en beheert het afval dat afkomstig is van het gebruik van stralingsbronnen in medische en industriële toepassingen.

## De steun voor kernenergie is nu "groter dan ooit tevoren".

De exploitatie van Olkiluoto-3 en de

ationale wens om een einde te maken aan de invoer van energie uit Rusland hebben de steun voor kernenergie versterkt: een recordaantal van 68 procent is voor en slechts 6 procent is tegen, zo blijkt uit een enquête. Industriegroep Finnish Energy zei dat de steun voor kernenergie sinds 1983 voortdurend is gemeten en nu groter is dan ooit tevoren. Hoe zit het met andere EPR-centrales? Olkiluoto-3 is de eerste EPR-centrale die op het continent in bedrijf wordt genomen. In Frankrijk is een Flamanville-3 EPR bijna voltooid en in het VK zijn er twee EPR's in aanbouw en worden er nog twee overwogen. Sizewell C. Taishan-1 in China was de eerste EPR-eenheid die commercieel in bedrijf werd genomen, in december 2018. Een tweede EPR in Taishan begon in september 2019 met de commerciële exploitatie.

## Bouwt Finland meer kerncentrales?

Er zijn geen nieuwe kerncentrales in aanbouw of gepland, maar Petteri Orpo, de waarschijnlijke opvolger van Sanna Marin als premier na de recente verkiezingen, heeft opgeroepen tot meer aandacht voor kernenergie. "Een van de belangrijkste taken van de toekomstige regering is om de bouw van nieuwe kerncentrales in Finland sterk te versnellen", aldus Orpo in een blog die vóór de verkiezingsuitslag werd gepubliceerd. "De coalitie wil dat kernenergie de hoeksteen wordt van het energiebeleid van de regering." Het kernenergieconsortium Fennovoima was al begonnen met de bouwwerkzaamheden voor een nieuwe door Rusland geleverde kerncentrale in Hanhikivi. Het contract met het Russische Raos Project werd echter in mei 2022 beëindigd. Fennovoima noemde als redenen: aanzienlijke vertragingen, het onvermogen van Raos Project om het project op te leveren en toenemende risico's als gevolg van de oorlog in Oekraïne. **K**

David Dalton, NucNet

thank you!

# Aliki van Heek is nieuwe partner bij Nuclear-21

**N**a 7 jaar werkzaam te zijn geweest bij de IAEA is dr. ir. Aliki van Heek sinds 1 mei partner bij het nucleaire consultancybureau Nuclear-21. Binnen deze organisatie is zij verantwoordelijk voor de internationale activiteiten van Nuclear-21 met betrekking tot de rol van kernenergie in duurzame energiesystemen, inclusief de opties voor plannen van nieuwkomers op het gebied van kernenergie.

Voordat Van Heek bij Nuclear-21 terecht kwam, werkte zij 7 jaar bij de IAEA als Unit Head 3E Analysis (3E = Energy, Economics, Environment). Van Heek legt uit dat 7 jaar ook de maximale tijdsduur die iemand krijgt om bij het internationaal atoomagentschap in Wenen te werken. "Dit heeft te maken met de rotation policy. Het idee hierachter is dat er sprake is van een rotatie van mensen en werknemers niet

blijven hangen." Het betekent overigens niet dat je nooit meer mag terugkomen bij de IAEA, maar je moet minimaal een jaar ergens anders aan de slag gaan.

Een van de opties die Van Heek als mogelijke uitdaging zag na 7 jaar Wenen, was partner worden bij consultatiebureau Nuclear-21. Van Heek kende Nuclear-21 al geruime tijd. "Na mijn studie technische

✦ Aliki van Heek was een van de sprekers tijdens de rondetafelconferentie in mei die de Stichting Energietransitie en Kernenergie en de Stichting KernVisie in hotel New York in Rotterdam organiseerden.

natuurkunde in Delft ben ik naar Gent gegaan voor de opbouwstudie voor nucleair ingenieur. Aansluitend ben ik naar Duitsland verhuisd voor mijn promotieonderzoek. In Gent heb ik toen Luc Van den Durpel leren kennen, hij heeft Nuclear-21 in 2015 opgericht. Toen Van Heek jaren later bij NRG werkte, kwam zij weer in contact met Van den Durpel. Hij had een computercode ontwikkeld die NRG kon gebruiken voor het programma over de splijstofcyclusanalyses waar Van Heek op dat moment aan werkte.

Ook nadat het programma bij NRG was afgerond en Van Heek bij de IAEA ging werken, bleven Van den Durpel en Van

Heek contact onderhouden. Uiteindelijk heeft ze zelf het initiatief genomen door aan hem te vragen of en hoe zij deel kon gaan uitmaken van het team van Nuclear-21. “Onze ideeën en inzichten sloten op elkaar aan en zo is het balletje gaan rollen.” Ze vertelt dat het negenkoppige team van Nuclear-21 uitsluitend bestaat uit professionals die minimaal 30 jaar ervaring in de nucleaire industrie hebben opgedaan. “We zijn allemaal zelfstandig en werken samen in een soort maatschap, of zoals de Vlaamse Van den Durpel het ook wel noemt: een expertenkabinet.”

Binnen Nuclear-21 richt Van Heek zich op onderwerpen zoals duurzaamheid en climate change mitigation. Daarnaast kan ze potentiële klanten informeren hoe de IAEA te werk gaat, met welke instrumenten ze werken en hoe je de IAEA-rapporten moet lezen. Nuclear-21 is van oudsher sterk in de analyse van de nucleaire splijstofcyclus, waste management opties en hieraan gerelateerde nucleaire technologieontwikkeling, maar heeft zich in de loop der jaren ontwikkeld naar een breder pakket van expertise. “We zien dat er in de wereld een enorme behoefte is ontstaan bij regeringen en lagere overheden zoals provincies aan kennis over nucleair beleid en bedrijfsstrategieën met het oog op de ontwikkeling van veilige, economische en duurzame nucleaire oplossingen.” Nuclear-21 biedt dus ondersteuning bij de besluitvorming over nucleaire technologie. “Daarbij gaat het erom de strategische en programmatische prestaties te waarborgen, niet alleen op het gebied van kernenergie maar ook nucleaire geneeskunde, beheer van radioactief afval, stralingsdiagnostiek en stralingstoepassingen in schone technologieën.” Een belangrijk aspect in veel Nuclear-21 opdrachten betreft de kosten-



➤ *Voorblad van de studie die vorig jaar in opdracht van de provincie Limburg werd opgeleverd.*

en financiële risicoanalyse van specifieke nucleaire opties, zowel in de splijstofcyclus als voor nieuwbouw van centrales.

Als voorbeeld noemt Van Heek de studie die vorig jaar in opdracht van de provincie Limburg werd opgeleverd: Technische (on)mogelijkheden voor kernenergie in de Provincie Limburg, die Nuclear-21 tezamen met DNV, EVOCATI Consulting Alliance en Stork samenstelde. Uit dit oriënterende onderzoek volgde dat er in Limburg weliswaar geen plaats is voor grote kerncentrales, maar wel voor twee of meer SMR's. De studie laat zien dat: “Kernenergie inderdaad één van de, zonet de, optie(s) is om op afroep beschikbaar (“dispatchable”) regelbaar vermogen aan te bieden in de Provincie Limburg.” Naast overheden kloppen ook grote (nucleaire) en kleine bedrijven bij

Nuclear-21 aan voor advies. “Je kunt je voorstellen dat sommige bedrijven zien dat kernenergie groeit en vervolgens onderzocht willen hebben of zij een rol van betekenis kunnen spelen in bijvoorbeeld de toeleveringsketen. Wij kunnen dan onderzoeken aan welke diensten of producten behoefte ontstaat waarin de bedrijven kunnen voorzien.” Daarnaast zijn er bedrijven die niet zozeer aan de ontwikkeling willen bijdragen maar kernenergie als oplossing kunnen zien voor hun elektriciteitsbehoefte, warmtevraag en de productie van waterstof als alternatief voor fossiele brandstoffen, zoals staalbedrijven. Ook zij kunnen een beroep doen op de expertise van Nuclear-21.

De overgang van haar betrekking bij de IAEA naar Nuclear-21 verliep soepel. Precies tussen de functies in was Van Heek een van de sprekers tijdens de rondetafelconferentie die de Stichting Energietransitie en Kernenergie en de Stichting KernVisie in hotel New York in Rotterdam organiseerden. Haar presentatie ging over een van de publicaties waaraan zij had bijgedragen: Nuclear-Renewable Hybrid Energy Systems. In 2019 was Van Heek een van de organisatoren van de International Conference on Climate Change and the Role of Nuclear Power, die de IAEA tezamen met de Nuclear Energy Agency van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling organiseerde. “Ik heb mijn collega's bij de IAEA veel succes gewenst met de editie die dit jaar in oktober plaatsvindt. Ik zal er namens Nuclear-21 zelf ook een presentatie geven, maar ik zie er nu al naar uit om er zelf als deelnemer geheel ontspannen naar toe te gaan.” **K**

*Menno Jelgersma*



InBeeld

## Stand Up For Nuclear op de dag van de Atomausstieg

**H**et stond eigenlijk gepland voor december 2022: de sluiting van de laatste Duitse kerncentrales. Maar vanwege de oorlog in Oekraïne en zorgen over energietekorten besloot de overheid de centrales nog wat langer open te houden. Maar op 15 april was het dan toch zover, de Atomausstieg was een feit. Nuklearia organiseerde samen met Stand Up for Nuclear, Fota4Climate en Voix De Nucleaire die dag een pro-kernenergie demonstratie voor de iconische Brandenburger Tor in Berlijn



© standupnuclear.org

De boodschap van de samenwerkende organisaties was helder: Zelfs als Duitsland zijn laatste kerncentrales sluit, kunnen ze gereactiveerd worden en nog vele tientallen jaren schone elektriciteit blijven leveren. Ze blijven de beste optie om de klimaatverandering af te remmen en de welvaart te behouden. “Wij vieren kernenergie omdat deze wereldwijd wordt uitgebreid en door een meerderheid van de Duitsers wordt gesteund”, aldus Paris Ortiz-Wines, Global Director bij Stand Up for Nuclear.

Vertegenwoordigers van dertien verschillende landen en twaalf milieu-, wetenschaps- en belangengroepen namen deel

aan de manifestatie, variërend van Extinction Rebellion activisten uit Polen tot academici. Aan de andere kant van de Brandenburger Tor financierde Greenpeace een anti-nucleaire demonstratie om de sluiting te vieren. Hoewel frustrerend voor de pro-nucleaire demonstranten, zorgde het ook voor meer belangstelling van de media. Zo werd de manifestatie uitgebreid behandeld in de media, waaronder een Deens tv-station, Reuters en Getty Images. De demonstranten blijven strijdlustig: “Onze aandacht gaat nu uit naar Spanje en we blijven België in de gaten houden. Het is goed mogelijk dat België zijn nucleaire afbouw terugdraait.” **K**

# Succesvolle conferentie van Stichting KernVisie en SEK

**O**p 10 mei organiseerden de Stichting KernVisie en Stichting Energietransitie & Kernenergie (SEK) een besloten rondetafelconferentie over de relatie tussen kernenergie, warmte en waterstof. De succesvolle bijeenkomst vond plaats in het Rotterdamse hotel New York. De bijeenkomst liet duidelijk zien dat de keuze voor waterstofproductie weliswaar nog geen gelopen race is, maar wel dat het noodzakelijk is om alles op alles te zetten om naar een CO<sub>2</sub>-vrije economie te streven. Als het aan de organisatoren ligt, zullen nieuwe inzichten in de komende jaren bij de volgende rondetafelconferenties of symposia weer worden gedeeld.

In voorgaande jaren koos de Stichting KernVisie met de Nuclear Elephant-symposia voor een interactief concept waarbij enkele sprekers hun visie toelichtten voor een groter publiek en het accent lag op interactie met de sprekers onderling en genodigden. Dit keer lag de nadruk op het bij elkaar brengen van een kleinere groep deskundigen die vanuit hun professie en/of op basis van expertise een bijdrage konden leveren aan de discussie over kernenergie, warmte en waterstof. Onder de geldende Chatham House Rules

hadden alle deelnemers de ruimte om hun standpunten toe te lichten en met elkaar in discussie te gaan.

## Nuclear-Renewable Hybrid Energy Systems

Na de opening van de conferentie door de voorzitters van de Stichting KernVisie en de SEK, respectievelijk André Versteegh en Jacques de Jong, volgde de eerste presentatie van de dag. De basis voor de voordracht was een recent verschenen publicatie van de

IAEA, het internationaal atoomagentschap van de Verenigde Naties: Nuclear-Renewable Hybrid Energy Systems, een kernidee over de combinatie van kernenergie en hernieuwbare energiebronnen als de twee belangrijkste opties voor koolstofarme energieopwekking. De voordelen van een directe integratie van deze opwekkingsopties worden nu pas onderzocht. Maar het is duidelijk dat de koppeling van de bronnen in hybride energiesystemen niet alleen mogelijkheden biedt om betrouwbare, duurzame elektriciteit aan het net te leveren, maar ook om CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit te leveren om de productie van waterstof te realiseren, onafhankelijk van het wel of niet aanwezig zijn van wind of zon. Hoewel de koppeling leidt tot nieuwe uitdagingen ziet de IAEA grote kansen voor een duurzame ontwikkeling die voordelig kan zijn voor zowel de hernieuwbare als de nucleaire energiebronnen. Daarnaast zijn er ook maatschappelijk grote voordelen te behalen: ontzilting van zeewater, stadsverwarming, proceswarmte en natuurlijk de productie van waterstof.

## Lijvig rapport zonder kernenergie

De aanwezigen waren het onderling zeker niet altijd met elkaar eens. Waar de een benadrukte dat het onbestaanbaar is dat er nu en in de toekomst elektronen zonder kernenergie geproduceerd kunnen worden, lichtte iemand anders een lijvig rapport als oplossing voor het energievraagstuk toe, waarin kernenergie helemaal geen rol van betekenis heeft. Dat deze keuze binnen het gremium van aanwezige deskundigen, die de noodzaak van de inzet van alle CO<sub>2</sub>-vrije emissiebronnen inzien, hier en daar



➤ André Versteegh, voorzitter van de Stichting KernVisie, tijdens de opening van de conferentie.

een wenkbrauw deed rijzen, deed aan de stemming in de zaal niets af. De aanwezigen kregen harde cijfers voorgeschoteld over de (on)haalbaarheid om de economie, van een hoogontwikkeld land als Nederland, enkel te laten draaien op wind en zon. Maar ook de onwaarschijnlijkheid van een totale afhankelijkheid van kernenergie. Om alle energie door kernenergie te laten opwekken zijn op dit moment volgens één van de sprekers 65 nieuwe grote kerncentrales nodig, en dan groeit de energievraag ook nog eens met een factor drie in de komende decennia. Los van de haalbaarheid is wel duidelijk dat alle bronnen nodig zijn.

## Stroomstoringen

Een mogelijkheid van CO<sub>2</sub>-emissiereductie is het ombouwen van kolencentrales naar kerncentrales. In de Verenigde Staten is er al veel aandacht voor dit principe van Repower Coal, waarbij onderzocht wordt welke kolengestookte

elektriciteitscentrale geschikt is voor omschakeling op kernenergie. De voordelen zijn duidelijk: omdat de infrastructuur al aanwezig is, kunnen hoge investeringen in de bouw van decentrale netten worden voorkomen. Er zijn geen koolstofemissies meer en industriële kennis blijft behouden, evenals arbeidskrachten en kapitaal, wat weer bijdraagt aan de lokale en nationale economische ontwikkeling. Bedenk ook bij het uitsluiten van kernenergie als een 24/7 CO<sub>2</sub>-vrije energiebron, dat de publieke acceptatie voor stroomstoringen uiterst gering is. Voor veel industriële processen is uitval, hoe kort ook, onacceptabel. Internationalisering bij de ontwikkeling en uitvoer van plannen is dan ook onontbeerlijk, want de problemen en uitdagingen zijn grensoverschrijdend.

## Kampioen fossiele brandstoffen

De rol die waterstof kan spelen in een

toekomstige duurzame samenleving was een van de dragers van de rondetafelconferentie. Zonder kernenergie zal de prijs voor waterstof te hoog en daardoor onacceptabel worden en daardoor minder kans krijgen om een rol van betekenis te spelen. De conclusie luidt dat de keuze voor waterstof geen gelopen race is, niet in de laatste plaats omdat het over de productie van enorme hoeveelheden gaat, waarvoor eigenlijk nog niemand weet hoe, waar en wanneer die gaat plaatsvinden. Twintig sprekers met verschillende achtergronden weten alleen het 'waarom': Nederland is kampioen fossiele brandstoffen in Europa en we moeten van die verslaving af. Nationaal en internationaal worden stappen gemaakt. Als het aan de Stichting KernVisie en Stichting Energietransitie & Kernenergie ligt zullen nieuwe inzichten bij de volgende rondetafelconferenties of symposia weer worden gedeeld. **K**

## Chatham house rules

Voorafgaand aan de rondetafelconferentie was afgesproken dat iedereen kon praten in een vergadering onder Chatham House Rules. De regels zijn een hulpmiddel om vrije discussie te garanderen, waarbij het de deelnemers vrij staat om de ontvangen informatie te gebruiken. Ze mogen echter niet de identiteit noch de onderlinge relatie van de spreker(s), maar ook niet die van andere deelnemers onthullen. Dit resulteerde in Rotterdam in een open en respectvol evenement.

## De Stichting KernVisie

De stichting KernVisie zet zich in voor een breed maatschappelijk draagvlak voor vreedzaam gebruik van nucleaire technologie. Zij doet dit door het bevorderen van een open houding ten aanzien van deze technologie, door feitelijke en controleerbare informatie op een begrijpelijk wijze te verstrekken, en door het stimuleren van de ontwikkeling van nucleaire technologie en toepassingen ter verhoging van het wereldwijd welzijn. Dit streven van de stichting is gebaseerd op de overtuiging dat nucleaire technologie van doorslaggevende betekenis zal zijn voor het bevorderen en eerlijker verdelen van de welvaart in de eenentwintigste eeuw, met name in de gezondheidszorg, de voedselvoorziening en de energievoorziening, waarbij milieu en toekomstige generaties minimaal worden belast.

## De Stichting Energietransitie & Kernenergie

De Stichting Energietransitie & Kernenergie (SEK) heeft als belangrijkste speerpunt een tijdige energietransitie, zodat we in 2050 daadwerkelijk geen CO<sub>2</sub> meer uitstoten als samenleving. De SEK is expliciet voorstander van hernieuwbare energie om de energietransitie te doen slagen, maar is zich ervan bewust dat een systeem dat enkel put uit zonne- en windenergie op geen enkele manier concurrerend kan zijn. De bestuursleden van de SEK constateerden dat de nucleaire sector volledig buiten spel is gezet tijdens de onderhandelingen over het Klimaatakkoord 2030 en verbaasden zich daarover. De voorwaarden die wij aan het energiesysteem stellen zijn dat het CO<sub>2</sub>-vrij, leveringszeker en betaalbaar moet zijn. SEK kijkt dan ook naar het totale complex van factoren, waaronder de infrastructuur en de verhoudingen binnen de EU.



# Urenco ondertekent splijtstofovereenkomst ter ondersteuning van de diversificatie-inspanningen Bulgarije

**U**renco heeft een nieuwe overeenkomst getekend voor verrijkingdiensten aan de kerncentrale van Kozloduy in Bulgarije. De langetermijnovereenkomst houdt in dat Urenco de exploitatie ondersteunt van een van de twee eenheden van de kerncentrale van Kozloduy, die eigendom is van de staat en de doelstellingen van Bulgarije om zijn splijtstofvoorziening te diversifiëren, ondersteunt.

Urenco gaat deel uitmaken van een leveringsketen die ook brandstofpartners Cameco, Uranium Asset Management (UAM) en Westinghouse omvat. Kozloduy, gelegen in het noorden van Bulgarije nabij de rivier de Donau, is momenteel de enige kerncentrale in het land en produceert meer dan een derde van de totale binnenlandse elektriciteit. Door de overeenkomst zullen Urenco's verrijkinginstallaties in Europa (het VK,





© Kozloduy NPP

➤ De kerncentrale Kozloduy bestaat uit twee VVER-1000 drukwaterreactoren van Russische makelij met een gezamenlijk brutovermogen van 2.000 MWe.

Nederland en Duitsland) natuurlijk uranium (UF6) van Cameco ontvangen en verrijkt uraniumproduct (EUP) leveren dat vervolgens door Westinghouse tot splijtstofstaven wordt verwerkt. Volgens Cameco gaat het om een 10-jarig leveringscontract waardoor tot 2033 de levering van splijtstoffen voor eenheid 5 van Kozloduy gegarandeerd is.

## Vertrouwensvolle en langdurige samenwerking

Boris Schucht, Chief Executive Officer van Urenco, bracht eind april samen met vertegenwoordigers van Cameco, UAM en Westinghouse een bezoek aan Sofia om de nieuwe overeenkomst en de eerste bestelling van Kozloduy te markeren. Schucht: "Urenco staat klaar om landen te ondersteunen die hun energiezekerheid en -onafhankelijkheid willen vergroten, en ik ben blij Kozloduy als onze nieuwste klant te mogen verwelkomen. Wij zijn, tezamen

met onze partnerorganisaties, volledig uitgerust om Bulgarije te voorzien van een betrouwbare splijtstofvoorziening. We kijken uit naar een zeer vertrouwensvolle en langdurige samenwerking." Rob Dixon, de Britse ambassadeur in Bulgarije: "De aankondiging is een cruciale stap voorwaarts om de energiezekerheid van Bulgarije op lange termijn veilig te stellen. Door de invasie in Oekraïne en de daaruit voortvloeiende bedreiging van de energievoorziening in Europa is dit belangrijker dan ooit. Ik ben er erg trots op dat ik Urenco de afgelopen jaren heb gesteund bij het bereiken van deze overeenkomst."

## Diversificatie

De inval van Rusland in Oekraïne leidde ertoe dat een aantal landen in Europa niet meer afhankelijk wil zijn van splijtstoffen afkomstig uit Rusland. De Bulgaarse Nationale Vergadering heeft daarom

ingestemd met plannen voor een versnelling van het diversificatieproces, wat tot meer leveringszekerheid van splijtstoffen zal leiden. In het kader hiervan had de kerncentrale van Kozloduy al een contract ondertekend met Westinghouse Electric Zweden voor de ontwikkeling van veiligheidsanalyses voor de afgifte van vergunningen voor en de toepassing van alternatieve splijtstoffen op eenheid 5. De opstelling van een gedetailleerde en uitgebreide veiligheidsbeoordeling is een voorwaarde van de relevante Bulgaarse regelgeving voor het verkrijgen van een vergunning voor de invoering van een alternatief type splijtstofelementen. De ontwikkeling van veiligheidsanalyses is een van de fasen van het diversificatieproces, dat is vastgesteld in het programma voor de diversificatie van de splijtstofvoorziening van de kerncentrale van Kozloduy.

## Verschillende splijtstofleveranciers

Het programma is overeengekomen met het Voorzieningsagentschap van EURATOM. De Europese energiezekerheidsstrategie vereist voor alle exploitanten van kerncentrales in de Europese Unie een uitgebreide gediversifieerde portefeuille van nucleair materiaal en diensten binnen de splijtstofcyclus. Eind vorig jaar werd een afzonderlijke overeenkomst ondertekend met het Franse Framatome voor de levering van splijtstof voor de zesde eenheid in Kozloduy. Het Bulgaarse ministerie van Energie zei toen dat het feit dat de twee eenheden in Kozloduy verschillende splijtstofleveranciers hebben, was bedoeld om te voldoen aan de eisen van de Europese Unie om de continuïteit van de voorziening te waarborgen. De kerncentrale Kozloduy bestaat uit twee VVER-1000 drukwaterreactoren van Russische makelij met een gezamenlijk brutovermogen van 2.000 MWe. De eenheden 5 en 6 zijn respectievelijk in 1987 en 1991 gebouwd. De oudere en kleinere eenheden 1 tot en met 4 werden in 2007 allemaal gesloten. **K**

Bronnen: Urenco en Kozloduy npp

# Wat is radiotherapie?

**B**estralingstherapie of radiotherapie is een vorm van kankerbehandeling waarbij specialisten kankercellen in het lichaam doden door ze bloot te stellen aan ioniserende straling, zoals röntgenstralen, gammastralen, hoogenergetische elektronen of zware deeltjes. Het is een van de meest gebruikte kankerbehandelingen: ongeveer de helft van alle patiënten heeft op enig moment in het verloop van de ziekte radiotherapie nodig.

## Hoe werkt bestralings-therapie tegen kanker?

Kanker is een aandoening waarbij cellen in een bepaald deel van het lichaam ongecontroleerd beginnen te groeien en zich te vermenigvuldigen. Hierdoor ontstaan tumoren die omliggende weefsels en organen aantasten en zich soms via de bloedbaan of het lymfestelsel naar andere delen van het lichaam verspreiden.

Bij radiotherapie worden zorgvuldig geselecteerde doses ioniserende straling gebruikt om het DNA van de kankercellen te beschadigen. Het DNA bepaalt hoe de cellen zich delen. Bestraling zorgt ervoor dat de tumor krimpt en in sommige gevallen afsterft. Bestralingstherapie wordt sinds de jaren 1890 gebruikt om bijna alle soorten kanker te behandelen. Het wordt alleen of in combinatie met andere behandelingen, zoals

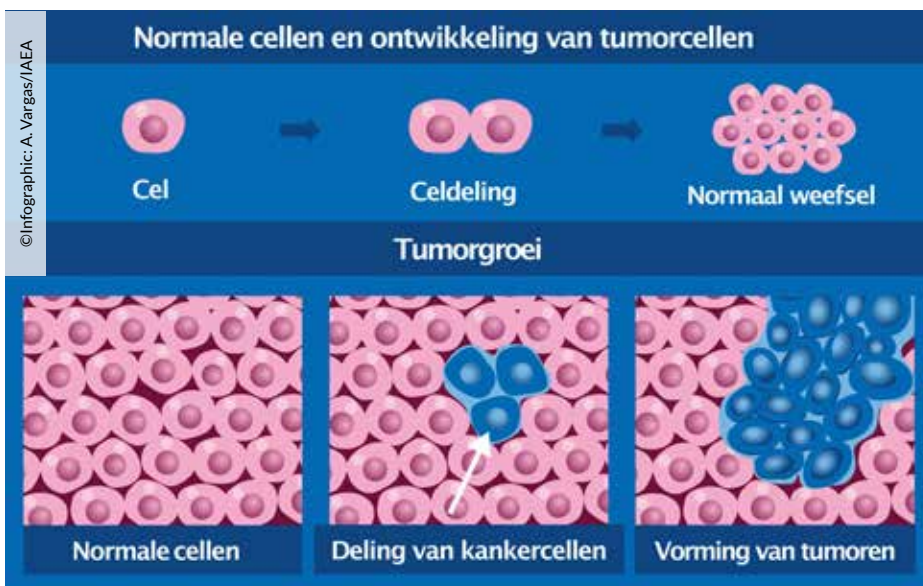
chemotherapie of chirurgie, toegepast om kanker te genezen of de symptomen van de ziekte onder controle te houden.

## Soorten bestralings-therapie

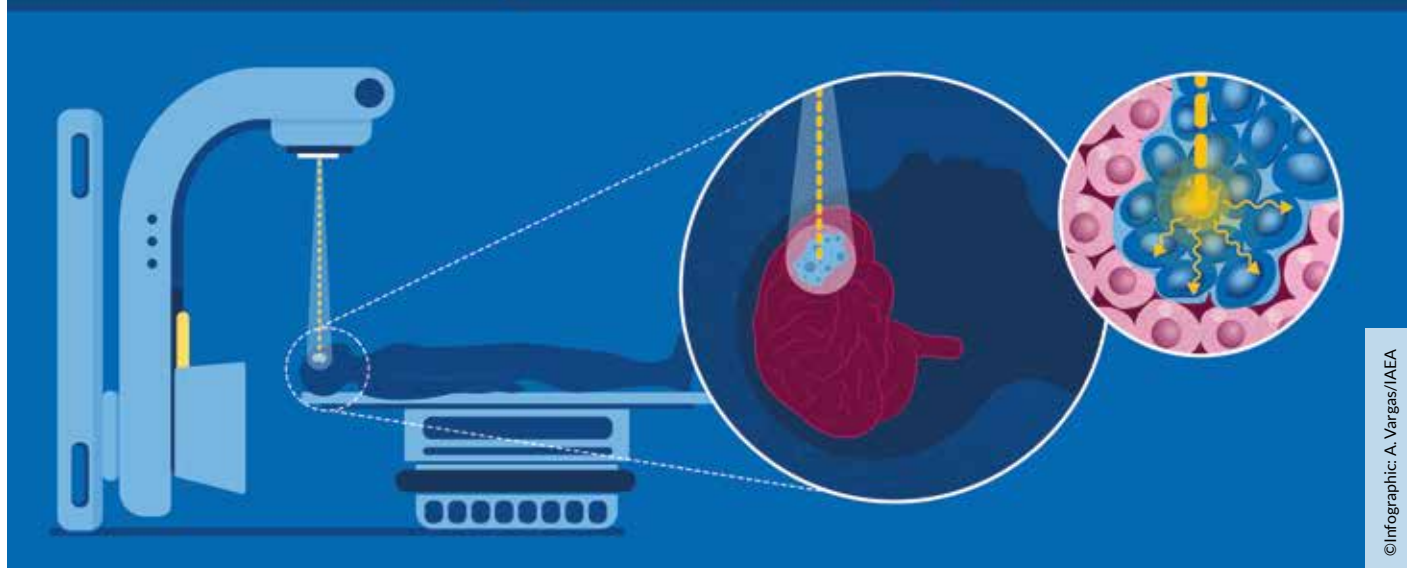
Afhankelijk van het type en de plaats van de kanker gebruiken radiotherapeuten twee soorten radiotherapie, alleen of in combinatie: externe, ook bekend als teletherapie, en interne, of brachytherapie. Voor de gekozen behandeling is een team van gekwalificeerde deskundigen nodig, bestaande uit een stralingsoncoloog, een medisch fysicus en een bestralingstechnoloog, die straling gebruiken om de tumor te vernietigen terwijl de schade aan gezonde cellen tot een minimum wordt beperkt.

## Teletherapie

De meest voorkomende vorm van bestraling is teletherapie, waarbij straling in de vorm van een hoogenergetische straal wordt afgegeven aan het tumorgebied. Deze straling wordt uitgezonden door een machine die zich op afstand van het lichaam bevindt, zoals een kobaltapparaat of een lineaire versneller. Tijdens de behandeling ligt de patiënt bewegingsloos op een tafel terwijl de machine rond het lichaam beweegt en vanuit verschillende hoeken nauwkeurige stralingsdoses op de tumor



## Teletherapie: Externe radiotherapie



© Infographic: A. Vargas/IAEA

➤ Externe radiotherapie wordt gebruikt om vele soorten tumoren te behandelen, onder meer in het hoofd, de hals, de borst, de longen of de dikke darm. (Infographic: A. Vargas/IAEA)

richt. De grootte en de vorm van de bundel worden zorgvuldig aangepast om de dosis op de tumor te richten en de normale weefsels te sparen.

### Brachytherapie

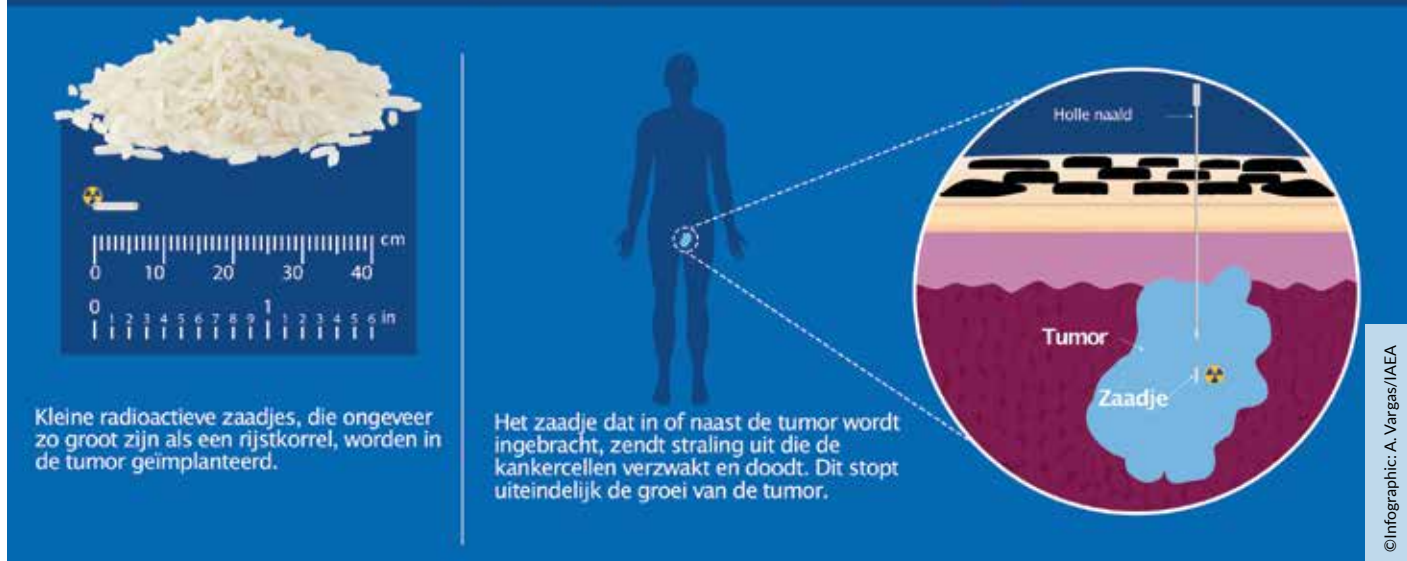
Bij brachytherapie wordt een kleine

ingekapselde radioactieve bron in het lichaam geplaatst, waardoor een hoge stralingsdosis rechtstreeks op de tumor kan worden afgegeven met slechts een minimale impact op de omliggende weefsels. De bron kan tijdelijk of permanent worden geplaatst. Voor tijdelijke toepassing wordt

een capsule met een cesium-, iridium- of kobaltbron via een naald of een speciale applicator ingebracht. Afhankelijk van de dosis die de bron afgeeft, kan de capsule enkele minuten tot enkele dagen in het lichaam blijven. Voor permanente toepassing wordt een implantaat - een voorbeeld hiervan is jodium-125 en is gewoonlijk ongeveer zo groot als een rijstkorrel - in het lichaam ingebracht en richt zich met straling op de tumor, waarna het na verloop van tijd zijn radioactiviteit verliest. ➤

➤ Brachytherapie wordt vaak gebruikt voor de behandeling van prostaat-, borst-, huid- en sommige hoofd- en halskankers. (Grafiek: A. Vargas/IAEA)

## Brachytherapie: Interne Radiotherapie



© Infographic: A. Vargas/IAEA

Kleine radioactieve zaadjes, die ongeveer zo groot zijn als een rijstkorrel, worden in de tumor geïmplant.

Het zaadje dat in of naast de tumor wordt ingebracht, zendt straling uit die de kankercellen verzwakt en doodt. Dit stopt uiteindelijk de groei van de tumor.

## Hoe doeltreffend is radiotherapie?

Radiotherapie is een zeer doeltreffende en beproefde behandeling die elk jaar door miljoenen patiënten wordt toegepast voor kanker van de hersenen, borst, hoofd en nek, baarmoederhals, prostaat, huid en andere soorten kanker. De effecten van de therapie zijn na verloop van tijd zichtbaar en niet onmiddellijk, en het kan dagen, weken of maanden na het einde van de behandeling duren voordat het effect van de radiotherapie op de tumor zichtbaar wordt. Enkele van de nieuwste ontwikkelingen in radiotherapie, waaronder 3D-conforme radiotherapie, intensiteitsgemoduleerde radiotherapie en beeldgestuurde radiotherapie, helpen het doelgebied zeer nauwkeurig te bepalen en effectief precieze stralingsdoses toe te dienen, waarbij slechts minimale schade wordt toegebracht aan gezonde cellen, weefsels en organen.

## Wat zijn de bijwerkingen van bestralingstherapie?

Bijwerkingen zijn afhankelijk van de hoeveelheid straling die bij radiotherapie wordt gebruikt en het deel van het lichaam dat is bestraald. Patiënten kunnen bijwerkingen op korte en lange termijn of helemaal geen bijwerkingen ondervinden.

## Is radiotherapie veilig?

Teletherapie, uitgevoerd met speciaal ontworpen apparatuur door een team van hooggekwalificeerde gezondheidswerkers, is veilig. Hoewel patiënten bijwerkingen kunnen ondervinden, lopen anderen, inclusief artsen of familieleden in de buurt van de patiënt tijdens de behandeling, geen enkel risico op straling. Teletherapie maakt patiënten niet radioactief. De gevaren van brachytherapie zijn eveneens minimaal. Wanneer de radioactieve bron tijdelijk binnen wordt geplaatst, blijft de patiënt in het ziekenhuis, onder speciale omstandigheden om te voorkomen dat het personeel en het publiek aan straling worden blootgesteld. Zodra de bron is verwijderd, is er geen reststraling meer aanwezig. Een permanent implantaat wordt zo

geplaatst dat de straling door de tumor wordt geabsorbeerd. Om ervoor te zorgen dat de stralingsniveaus voldoende laag zijn, voeren de artsen een speciale controle uit voordat zij de patiënt uit het ziekenhuis vrijgeven.

## Wat is de rol van medische beeldvorming bij radiotherapie?

Medische beeldvorming speelt een cruciale rol bij de behandeling van

kankerpatiënten en is noodzakelijk voor de planning, uitvoering en evaluatie van radiotherapiebehandelingen. De integratie van geavanceerde beeldvormingstechnieken in radiotherapie heeft de kankerzorg radicaal veranderd en de resultaten voor de patiënt verbeterd. In deze context omvat de rol van medische beeldvorming. **K**

*Artem Vlasov, IAEA Office of Public Information and Communication*



©iStockphoto ©gorodenkoff

### Evaluatie van de plaats en de verspreiding van de ziekte

Door middel van medische beeldvorming wordt bepaald of de kanker zich in een vroeg stadium bevindt of is uitgezaaid naar andere delen van het lichaam. Beeldgeleide procedures zoals biopsies zijn minimaal invasief en noodzakelijk voor een nauwkeurige weefseldiagnose.

Medische beeldvorming, zoals computertomografie (CT), echografie, magnetische resonantiebeeldvorming (MRI) en positronemissietomografie (PET), is essentieel voor een nauwkeurige kankerdiagnose en -stadiëring. Deze technieken helpen om de plaats, grootte en omvang van de tumor vast te stellen, evenals de relatie met aangrenzende structuren en de aanwezigheid van uitzaaiingen de plaats, grootte en omvang van de tumor vast te stellen, evenals de relatie met aangrenzende structuren en de aanwezigheid van uitzaaiingen.

### Planning van de behandeling

Beeldvorming wordt gebruikt voor de planning van de behandeling, van: medicatie en radiotherapie tot chirurgie of, in bepaalde gevallen, palliatie. Bij de planning van radiotherapie genereert medische beeldvorming driedimensionale beelden van de tumor, waardoor de bestraling beter op de tumor kan worden gericht en schade aan gezond weefsel tot een minimum kan worden beperkt.



# Kiki Lauwers benoemd tot CEO Thorizon

**K**iki Lauwers is onlangs als CEO toegetreden tot het management van Thorizon. Lauwers vervulde diverse leidinggevende functies in technology-driven scale-ups en gaat zich nu tezamen met de oprichters van Thorizon: Lucas Pool en Sander de Groot, inzetten om de Thorizon Molten Salt Reactor-technologie verder te ontwikkelen. Lauwers “We hebben dringend nieuwe vormen van energie nodig om onze ecologische voetafdruk te verkleinen. Ik ben ervan overtuigd dat de nucleaire technologie en het team van Thorizon de sleutel hebben om een fundamenteel verschil te maken voor toekomstige generaties.”

Thorizon is een technologisch bedrijf gespecialiseerd in kernenergie. Het bedrijf werkt onder andere samen met het Franse bedrijf Orano, wereldleider op gebied van de recycling van nucleaire materialen en de TU Delft. Thorizon ontwerpt en realiseert een innovatieve technologie voor gesmoltenzoutreactoren (Molten Salt Reactor - MSR), waarbij het doel is om zo snel mogelijk oplossingen beschikbaar te maken voor de schonere energie van de toekomst. Thorizons reactor produceert

emissievrije energie en reduceert nucleaire afvalstromen, door deze als splijtstof te gebruiken in combinatie met het ruim beschikbare metaal thorium. De systemen kunnen elektriciteit of hoge temperatuur warmte leveren voor gebruik in industriële processen, zoals bij de productie van waterstof.

### **Ambitieuze deep tech startup**

Lauwers vertelt dat ze tijdens de kerstvakantie in contact kwam met

de oprichters van Thorizon, Lucas Pool en Sander de Groot. “Na een interessant gesprek met hen ben ik mijzelf gaan verdiepen in de molten salt reactortechnologie. Ik werd steeds enthousiaster. Het voelt zowel als een logische oplossing als een noodzakelijke innovatie. Daarnaast was ik aangenaam verrast door de praktische hands-on mentaliteit en gedrevenheid binnen Thorizon.” Het bedrijf is opgericht in 2018 door Lucas Pool en Sander de Groot als spin-off van NRG, de Nederlandse producent van medische isotopen en exploitant van de Hoge Flux Reactor Petten. Externe partners roemden volgens Lauwers unaniem de expertise en het unieke concept van het team. “Thorizon is een ambitieuze deep tech startup, ik ben erg blij dat ik het team mag komen versterken”, aldus Lauwers.

### **Hoofd- en bijzaken onderscheiden**

Lauwers is afgestudeerd in Lucht- en Ruimtevaarttechniek aan de Technische Universiteit Delft en behaalde een MBA aan de INSEAD business school in Singapore. Ze begon haar carrière als strategieconsultant bij McKinsey & Company, gespecialiseerd in technologische sectoren. “Ik heb ervaring als consultant voor technologische bedrijven en als manager met het aansturen van technologische teams binnen een startup omgeving.” De nucleaire sector is voor haar een nieuwe discipline. “Tijdens mijn vakantie heb ik veel gelezen, ik ben begonnen met de basis (Nuclear Energy – Murray) en een introductie course van de TU Delft. Als luchtvaart- en ruimtevaartingenieur begrijp ik de balans tussen theorie en praktijk, van finite element analyses tot windtunneltesten. Het allerbelangrijkste is dat ik begrijp hoe een team multidisciplinair kan samenwerken, snel hoofd- en de bijzaken kan onderscheiden en nieuwsgierige vragen stel. Ik hoop dat team en partners even geduld met me hebben, nu is het juist nog een kracht dat ik alle simpele vragen mag stellen.” ➤

## Een groen, veilig en efficiënt sluitstuk

Met de liefde voor techniek komt ook het plezier in het oplossen van “lastige puzzels”, zoals ze het zelf noemt. Lauwers was al op zoek naar een baan met meer technische inhoud en door te kiezen voor kerntechnologie komt daar ook nog eens maatschappelijke relevantie bij. “De vraag naar energie neemt alleen maar toe - elektriciteitsvraag stijgt met 25%-30% tegen 2030 - en tegelijkertijd moet het aanbod drastisch veranderen om de opwarming van de aarde tegen te gaan. Ik denk dat nucleaire energie een noodzakelijk onderdeel is van deze puzzel en het concept van Thorizon een groen, veilig en efficiënt sluitstuk.” Lauwers is ervan overtuigd dat nucleaire technologie noodzakelijk is voor

het oplossen van het energievraagstuk. “Nucleaire technologie levert energie op grote schaal en zonder uitstoot van CO<sub>2</sub>. Het uitbreiden van zonne-energie en windenergie is ontzettend belangrijk, maar levert minder op dan we zouden willen en de energieproductie varieert met zon en wind. Steeds meer Europese landen heroverwegen nucleaire energie, in Azië wordt massaal ingezet op moderne kerncentrales, in Nederland is kernenergie een onderdeel van de klimaatplannen. Ik hoop dat we samen de twijfels rondom kernenergie kunnen wegnemen en samen in innovatie investeren.”

### First of a kind MSR

Sinds haar aantreden als CEO richt Lauwers zich als eerste op het uitbouwen

van het team. “Daarnaast wil ik de relaties met samenwerkingspartners en investeerders versterken en het team bijstaan om zo snel mogelijk hun baanbrekende concept te realiseren. Het allergeaafste zou zijn als we met support van Nederland en Frankrijk een SpaceX of ASML kunnen bouwen voor kernenergie.” Op dit moment werken er 20 internationale teamleden bij Thorizon. “We zijn een klein team met grootse plannen. Maar we kunnen dit niet alleen. Een goede samenwerking met partners zoals onder andere NRG, Orano en de TU Delft is noodzakelijk. Ik hoop dat we over 5 jaar de middelen, kennis en ervaring hebben om een ‘first of a kind’ molten salt reactor te realiseren via ons team en ons netwerk.” **K**

## Informatiemarkt TU Delft Reactor Institute groot succes

**D**e informatiemarkt in het kader van 60 jaar onderzoek en onderwijs met de reactor, die op zaterdag 22 april werd georganiseerd door TU Delft Reactor Institute, heeft veel bezoekers getrokken.

In totaal hebben 233 personen kennis gemaakt met verschillende disciplines binnen het instituut. De belangstelling was groot voor alle informatiepunten. Bezoekers hebben ontdekt hoe je straling kan zien met de Wilson Chamber, dat (alledaagse) voorwerpen straling uitzenden, hoe de reactor er van binnen uitziet aan de hand van een schaalmodel, hoe de reactor gebruikt wordt bij onderzoek naar materialen met toepassingen voor gezondheid, energie en vele andere gebieden. Ook is neutronenverstrooiing uitgelegd met behulp van een laser. En het Batterijenlab heeft uitgelegd hoe de kristallijnen structuur van batterijen eruitziet, hoe je een batterij maakt en op welke wijze gewerkt wordt aan de batterij van de toekomst! De bezoekers waren zeer enthousiast en brachten vaak twee uur door op de markt om alle informatie tot zich te nemen.

De komende periode kijken we terug op hoogtepunten uit de afgelopen 60 jaar en vooruit naar de komende 60 jaar! Volg TU Delft Reactor Institute en blijf op de hoogte: <https://www.linkedin.com/company/tud-reactor-institute/> **K**

Femke Werkman





## Energietransitie

**I**k had een tijd lang een hypotheek bij een vervelende bank, geen meedenk-bank, maar toen de rente steeg was het geen probleem om over te stappen naar een bank die WEL onze wensen om minder fossiele energie te gebruiken wilde ondersteunen.

Ons huis is 100 jaar oud en alleen tegen enorme kosten te super-isoleren, en dat geld had ik niet, ook al heb ik een heel mooi inkomen. In het afgelopen jaar heb ik in de belangrijkste ruimten van ons huis airco's (lucht-lucht warmtepompen) laten plaatsen, en heb ik 15 zonnepanelen op ons dak laten leggen. En is er geïsoleerd wat kostentechnisch haalbaar was.

Wat was het resultaat? Mijn energieverbruik halveerde. Ik ging bijna dubbel zo veel stroom gebruiken, maar mijn gasverbruik daalde naar een kwart van wat wij daarvoor als normaal beschouwden. De energieopbrengst van een kubieke meter gas staat ongeveer gelijk aan 10 kilowattuur aan stroom. Reken maar uit hoe veel lager onze persoonlijke jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot is geworden!

Tot zover het juichverhaal. Maar er zijn ook schaduwzijden: ik lever vooral zonnestroom als iedereen dat doet, de vraag relatief laag en de day-ahead prijs dus negatief is. Maar dan nog krijg ik hiervoor (dankzij de salderingsregeling) de prijs die ik in de winter, in tijden van schaarste betaal: 40 cent per kilowattuur. Die panelen heb ik in een paar jaar terugverdiend. Het is ook niet voor niets dat de energiemaatschappijen nu in hun nieuwe jaarcontracten bijna allen een lage terugleververgoeding bieden.

We willen zo snel mogelijk onze uitstoot verminderen. En op die 50% minder huiselijk energieverbruik binnen een jaar ben ik best trots. Maar ja: je moet het wel kunnen betalen, en dat kan lang niet iedereen realiseren ik mij, zeker niet in deze tijd van inflatie en stijgende hypotheekrente.

Als vijftiger kijk ik naar de jonge klimaativisten zoals die van Extinction Rebellion: ik waardeer hun drive om iets ten goede te veranderen. Ja, we moeten nu direct handelen, eens. Op hun leeftijd was ik net zo gedreven om kernwapens de wereld uit te bannen, en om de Koude Oorlog achter ons te laten. Iedere generatie heeft haar angstbeelden, en haar idealen.

Evenwel zal "cold turkey" stoppen met fossiel ons in chaos storten, ben ik bang, dat gaat slachtoffers eisen. Een rustige transitie is mijn ideaal. En ik denk persoonlijk dat kernenergie een aanzienlijk deel van de oplossing kan bieden. Want huishoudens maken maar 20% deel uit van de totale Nederlandse energiebehoefte, die wij als Nederland nu grotendeels met de opbrengsten van zon en wind willen invullen.

Wij staan daarmee nog maar aan het begin van de rest (80%) van de transitie, en zullen om in 2050 de nul CO<sub>2</sub>-uitstoot te bereiken alle zeilen moeten bijzetten, en alle technieken om energie op te wekken moeten omarmen, waaronder kernenergie. **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.



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

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

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

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

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

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

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

