

KERNVISIE MAGAZINE

**› VICI-BEURS VOOR
BATTERIJENONDERZOEK
TU DELFT**

**› SUCCESVOLLE
HEU-LEU-CONVERSIE
BIJ CURIUM**

**› DE GITZWARTE BACK-UP
VAN GROEN DUITSLAND**

**GROTE STAP
VOORWAARTS
ALFATHERAPIE**

COLOFON

KernVisie magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

JAARGANG 13, NUMMER 2, APRIL 2018
KERNVISIE VERSCHIJNT TWEEAANDELIJKS
OPLAGE 2200 EX

ONTWERP & GRAFISCHE REALISATIE
StudioHusken.nl, Den Helder

BESTUUR STICHTING KERNVISIE

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

REDACTIE KERNVISIE

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

REDACTIE ADRES

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

OP DE COVER

Dr. ir. Robin de Kruijff
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.



Radiotherapie is een medisch specialistische behandeling met hoogenergetische straling die wordt toegepast bij de behandeling van diverse soorten kanker. Door ontwikkelingen in de nucleaire medische technologie ontstaan steeds nieuwe behandelingen. Ook bij de alfatherapie waarbij een radioactief isotoop bij de tumor wordt gebracht om daar door verval met krachtige alfastraling de tumorcellen van vooral uitzaaiingen te lijf te gaan. Een probleem daarbij is het 'terugslageffect', waardoor dochters van het isotoop kunnen 'losraken' van hun drager, door het lichaam gaan zwerven en bijvoorbeeld de nieren beschadigen. Robin de Kruijff van de TU Delft promoveerde op een nieuwe techniek waarbij dit effect grotendeels teniet wordt gedaan. Een baanbrekend onderzoek waardoor de toepassing van alfatherapie verder verbeterd wordt. Het isotoop waar De Kruijff mee werkt, wordt op slechts een paar locaties in de wereld geproduceerd, maar met de toenemende aandacht voor deze behandeling zal ook dat in de nabije toekomst veranderen. Misschien op de onderzoeklocatie Petten met zijn HFR en de medische isotoopenproducent, die sinds april 2017 een nieuwe naam heeft: Curium. Voor de productie van medische isotopen voor diagnostische behandelingen zijn die overgegaan van hoog naar proliferatie-ongevoelig laagverrijkt uranium. En ook dat is weer een belangrijke stap voorwaarts.

André Versteegh
voorzitter Stichting Kernvisie

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

INHOUD

MEDISCH

GROTE STAP VOORWAARTS ALFATHERAPIE

Voor haar promotieonderzoek bij de TU Delft heeft dr. ir. Robin de Kruijff gewerkt aan het oplossen van het terugslagprobleem bij alfaradionuclidetherapie. Hiermee is een flinke stap voorwaarts gezet om deze therapie toe te kunnen passen zonder de schade aan gezond weefsel door de losgeslagen dochternucliden.



P10 KERNCENTRALE SIZEWELL C

Bouw van een tweede nieuwe kerncentrale Sizewell C in Suffolk kan zo'n twintig procent goedkoper.

P12 INBEELD

De IAEA heeft vrouwen geportretteerd in de hoop dat jonge vrouwen voor een bèta-carrière kiezen.

P17 COLUMN - LOUIS VAN GAAL

Zijn wij nou zo dom ... of zijn die Chinezen nou zo...?.

P08 GITZWARTE BACK-UP VAN GROEN DUITSLAND

Duitsland zet in op windenergie, maar stoot tweemaal meer CO₂ uit dan Frankrijk.

ENERGIE

EERSTE SMRS TUSSEN 2018 EN 2020 IN BEDRIJF

De IAEA heeft een Technische Werkgroep (TWVG) aangesteld om de activiteiten rond de ontwikkeling van kleine en middelgrote modulaire reactoren (Small Modular Reactor – SMR) te leiden. De IAEA acht het realistisch dat de eerste commerciële vloot aan SMRs tussen 2025 en 2030 in bedrijf wordt genomen.



MAATSCHAPPIJ

VICI-BEURS IMPULS BATTERIJEN-ONDERZOEK TU DELFT

Met een Vici-beurs van 1,5 miljoen euro en nog eens 250.000 euro van betrokken bedrijven gaat dr. ir. Marnix Wagemaker van de TU Delft op zoek naar een nieuwe techniek waarmee met behulp van neutronen de plaats van lithium in een werkende batterij nauwkeurig bepaald kan worden.



P14 MEDISCH SUCCESVOLLE HEU-LEU-CONVERSIE BIJ CURIUM

Sinds april 2017 heeft de medische isotopenproducent in Petten een nieuwe naam: Curium. Frank de Lange, vestigingsdirecteur bij Curium vertelt over de productie van medische isotopen voor diagnostische behandelingen en over de succesvolle conversie van hoogverrijkt naar laagverrijkt uranium.

MEDISCH

➤ Dr. Ir. Robin de Kruijff

➤ GROTE STAP VOORWAARTS ALFATHERAPIE

Voor haar promotieonderzoek bij de TU Delft heeft dr. Ir. Robin de Kruijff gewerkt aan het oplossen van het terugslagprobleem bij alfaradionuclidetherapie. Hier raken dochternucliden los van het tumor-specifieke antilichaam waardoor ze elders in het lichaam schade kunnen veroorzaken. Met haar onderzoek naar nanodeeltjes die in staat zijn de dochternucliden vast te houden in de tumor, is een flinke stap voorwaarts gezet om alfaradionuclidetherapie toe te kunnen passen zonder de schade aan gezond weefsel door de losgeslagen dochternucliden.

“EÉN VAN DE BELANGRIJKSTE PROBLEMEN IN DE ALFATHERAPIE IS HET TERUGSLAGPROBLEEM MET DE ONMIDDELLIJKE LOSKOPPELING VAN HET RADIOACTIEVE DOCHTERNUCLIDE VAN HET TUMOR-SPECIFIEKE ANTILICHAAM BIJ HET UITZENDEN VAN EEN ALFADEELTJE.”

Bij targeted therapy (doelgerichte therapie) worden patiënten met kanker behandeld met medicatie die de deling van kankercellen verhindert of kankercellen doodt. Het idee achter de doelgerichte therapie is dat gezonde cellen niet beschadigd raken. Bij targeted radiotherapie gaat het om direct bestralen op de tumor. Radboud UMC in Nijmegen is één van de Nederlandse ziekenhuizen die actief deze nieuwe vorm van therapie voor zijn patiënten beschikbaar wil maken. Patiënten die daarvoor in aanmerking komen verwijst het ziekenhuis door naar de universiteitskliniek in Heidelberg. Daar wordt naast lutetium-177, dat bètastraling afgeeft, actinium-225 ingezet voor de behandeling van prostaatkanker. Hierbij wordt actinium-225, een isotoop dat alfastraling afgeeft, gekoppeld aan een peptide dat bindt aan PSMA (Prostate-Specific Membrane Antigen). De actinide komt gekoppeld aan de peptide via een ader bij de celwand van de tumor aan en geeft daar zijn alfastraling af. Volgens De Kruijff is alfastraling bij uitstek geschikt voor het bestrijden van uitzaaiingen omdat de dracht van een alfadeeltje in een lichaam slechts vijf à zes cellen bedraagt (100 micrometer). Het deeltje zelf is 'fors' en bestaat uit twee protonen en twee neutronen (heliumkern) en geeft al zijn energie af in het korte bereik waarbij het

in staat is om dubbelstrengs breuken in een celkern te veroorzaken die leiden tot de dood van een cel. “Vanwege de geringe afstand die de alfadeeltjes afleggen, is alfatherapie dus eigenlijk met name geschikt voor kleine metastasen en minder voor grote tumoren.”

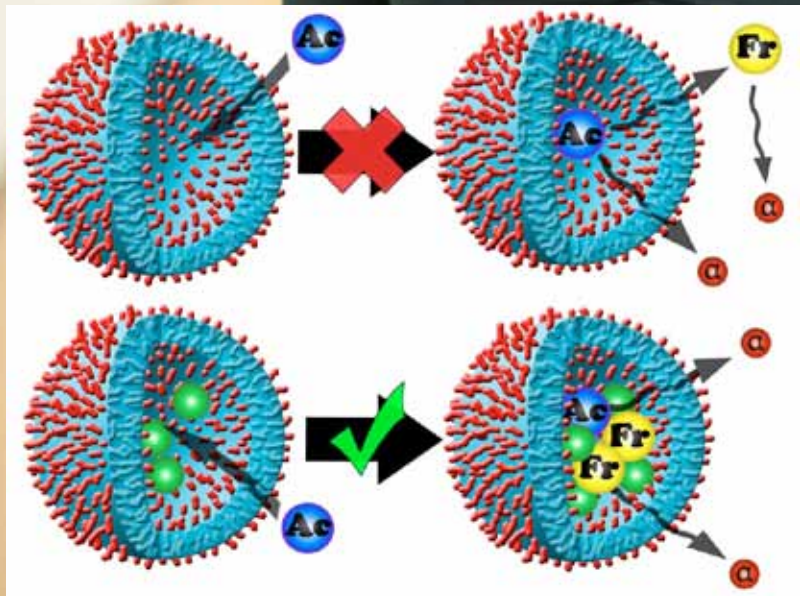
TERUGSLAGEFFECT

Maar hoewel de therapie de ultieme oplossing lijkt voor de vernietiging van uitzaaiingen is er ook een bijeffect dat voor problemen zorgt. “Eén van de belangrijkste problemen in de alfatherapie is het terugslagprobleem met de onmiddellijke loskoppeling van het radioactieve dochternuclide van het tumor-specifieke antilichaam bij het uitzenden van een alfadeeltje.” Als metafoor gebruikt De Kruijff het terugslageffect van een geweer bij het lossen van een schot. Bij het verval van het actinium schiet het alfadeeltje los en ondergaat de radionuclide een terugslageffect waarbij het tijdens de terugslag een weg aflegt van 100 nanometer. Dat is natuurlijk minimaal, maar de kracht die daarbij vrijkomt is voldoende om los te komen van de chemische binding met de peptide waaraan het isotoop gekoppeld is. “Dat komt omdat de sterkte van de chemische binding tot zes elektronvolt is terwijl de terugslag een energie van wel 100 kilo-elektronvolt heeft”, legt De Kruijff uit. Dat maakt alfatherapie met radio-isotopen die chemisch gebonden zijn aan tumorspecifieke moleculen minder geschikt. Ze legt ook uit dat het actieve actinium vier alfa's kwijtraakt voor het een stabiel bismut-isotoop is. “Dat is precies het probleem met actinium als je het op de 'normale' manier met peptiden zou gebruiken. Na de eerste alfa raakt het dochterisotoop los van zijn drager en gaat het lichaam in. Hierbij vervalt de dochter verder door uitzending van alfa's en veroorzaakt zodoende schade aan gezond weefsel.” Veel studies hebben aangetoond dat het daarbij vooral de nieren zijn die schade **▶**

oplopen omdat de dochters francium en bismut specifiek naar de nieren toegaan.

POLYMEERSOMEN

Om de radionuclide wel op zijn plek te houden, heeft De Kruijff tezamen met haar collega's nanodeeltjes ontwikkeld die in staat zijn om de teruggeslagen dochters vast te houden en er zodoende voor te zorgen dat de vervalreeks van alfa's van actinium-225 naar stabiel bismut bij het tumorweefsel plaatsvindt. Deze nieuwe nanodeeltjes bestaan uit polymeersomen, een soort liposomen die bestaan uit polymeren in plaats van 'vet'. Een groot percentage van de teruggeslagen dochter wordt binnen de nanosfeer gehouden. De polymeersomen zijn volgens De Kruijff eenvoudig te maken. "We bestellen de polymeren in Canada, maar we maken de polymeersomen zelf hier in Delft." De polymeermoleculen bestaan uit een deel dat hydrofoob en een deel dat hydrofiel is. "Als je die in een oplossing doet vormen zich de polymeersomen vanzelf." De deeltjes bestaan uit een 'wand' met water aan de binnenzijde waarin het actinium-225 wordt geladen door een aanwezig hydrofiel molecuul (DTPA). Ook bij dit proces wijst De Kruijff erop dat er geen ingewikkelde processtappen nodig zijn om het isotoop in de nanosferen te krijgen. "De bolletjes die we nu hebben, laden heel efficiënt." Een alternatief voor het DTPA is indiumchloride dat voor een betere binding van het actinium met het polymeersoos zorgt, waardoor er tijdens het verval minder actinium uit de bolletjes ontsnapt. De Kruijff: "Een deel van mijn promotieonderzoek betrof het zorgen voor een betere retentie van de dochternucliden in de polymeersomen door het actinium te laden en te laten neerslaan in indiumfosfaatdeeltjes in de polymeersomen. Aangezien de afstand die de teruggeslagen dochternuclide aflegt een stuk korter is in indiumfosfaat (~30 nanometer versus 100 nanometer in water) zorgt dat voor een aanzienlijk betere retentie."



➤ Afbeelding boven: Wanneer een isotoop vervalt door uitzending van een alfadeeltje ontstaat het terugslageffect waardoor dochternuclide losraakt van antilichaam. Afbeelding onder: Bovenin is het Ac-225 direct aan het antilichaam gekoppeld waardoor het terugslagproblemen ontstaat. Onderin is het isotoop gekoppeld aan het nanodeeltje en blijven de dochternuclides op hun plaats.

EPR-EFFECT

Om de bolletjes op hun plek te krijgen, wordt gebruik gemaakt van het EPR-effect (Enhanced Permeability and Retention effect). "Tumoren groeien veel sneller dan gezond weefsel. Daar hebben ze veel bloedvaten voor nodig en ook die groeien veel sneller dan gezond weefsel. Omdat het zo snel gaat, zijn de vaten rond tumoren vaak slecht 'gebouwd' en vertonen gaten. Hierdoor gaan de polymeersomen naar binnen om hun straling af te geven." De Kruijff legt uit dat het gaat om een bepaald percentage bolletjes dat daadwerkelijk in de tumor terechtkomt. "Een ander deel blijft in de bloedbaan en kan later alsnog door de tumor worden opgenomen, of door macrofagen uit het bloed gefilterd die dan uiteindelijk in de lever of milt terechtkomen. Uiteraard is dat minder gewenst."

ACTINIUMGENERATOR

Klinisch relevante hoeveelheden actinium worden op dit moment nog op twee plekken in de wereld gemaakt: in Oak

Ridge National Laboratory en in het Karlsruhe Institute of Technology, maar dat zal hopelijk snel veranderen door de toenemende vraag met de groeiende interesse in alfatherapieën. Het actinium waar het RID mee werkt, wordt gratis door Karlsruhe geleverd. "Daar hebben ze een thoriumbron geïsoleerd uit een grote voorraad 'afval', dat vervolgens vervalt tot het bruikbare actinium: een actiniumgenerator", aldus De Kruijff. Maar ook het vervalproduct bismut-213 van actinium-225 wordt als bruikbaar actinide voor medische toepassingen ingezet. Hierbij is het het actinium-225 dat in een bismut-213-generator wordt gebruikt. De keuze voor het ene of het andere isotoop is afhankelijk van de toepassing. "Bismut heeft een halfwaardetijd van 45 minuten en dat betekent dat je heel snel moet targeten. Als je een behandeling wil die meer tijd in beslag neemt, kies je in dat geval voor actinium met een halfwaardetijd van bijna tien dagen in plaats van bismut." **K**

Menno Jelgersma

© Irene van Kessel

ACHTERGROND

Robin de Kruijff heeft in Delft gestudeerd. Ze behaalde daar een bachelor in technische natuurkunde en is aansluitend doorgegaan voor een master in applied physics. "Tijdens mijn master kwam ik bij de groep Radiation and Isotopes for Health (RIH) van het RID terecht en dat beviel zo goed dat ik ben blijven hangen." Haar PhD heeft ze precies binnen vier jaar afgerond. Het onderwerp van haar promotieonderzoek was een schot in de roos. "Ik vind het gewoon heel interessant om nucleaire technologie met medische toepassingen te combineren. Wat dat betreft lag het projectvoorstel dat Antonia Denkova en Bert Wolterbeek hadden geschreven precies in mijn straatje. Vóór mij was er ook al iemand met dit project bezig, met hem heb ik in mijn master een tijd samengewerkt waar ook een paar publicaties uit zijn voortgekomen." Daarnaast legt De Kruijff uit dat er in het 'voortraject' en tijdens haar PhD project samenwerkingsverbanden zijn ontstaan met het Radboud UMC, het Erasmus MC en het Amsterdam VUMC. "Bij het Erasmus is een PhD'er werkzaam die vooral kijkt naar de interactie tussen de polymeersomen en cellen, bij het Amsterdam VU is de aandacht gericht op het inzetten van de techniek bij de behandeling van glioblastoom (hersentumor)." Het contact met het Radboud volgde uit de wens van De Kruijff om de alfadeeltjes in vivo te testen, in de vorm van dierenexperimenten. "Over het algemeen is men erg terughoudend als het gaat om het testen van en met alfastraling, maar bij het Radboud was het wel mogelijk en dat heeft het onderzoek enorm versneld. De samenwerking met het Radboud was echt heel erg goed." De Kruijff vertelt dat zij samen met het Radboud een nieuw voorstel heeft geschreven waarvoor inmiddels geld is gereserveerd om een volgend onderzoek te financieren. De subsidie is afkomstig van ZonMw dat gezondheidsonderzoek financiert en met het gebruik van ontwikkelde kennis de zorg en volksgezondheid wil verbeteren. In het nieuwe onderzoek gaat De Kruijff zich richten op het verbeteren van de tumoropname van de polymeersomen en hun 'efficacy and safety' ervan bepalen in muizen.



EERSTE SMRS TUSSEN 2018 EN 2020 IN BEDRIJF

K De IAEA heeft een Technische Werkgroep (TWG) aangesteld om de activiteiten rond de ontwikkeling van kleine en middelgrote modulaire reactoren (Small Modular Reactor – SMR) te leiden. De eerste drie geavanceerde SMRs worden naar verwachting tussen 2018 en 2020 commercieel in gebruik genomen in Argentinië, China en de Russische Federatie. De IAEA acht het realistisch dat de eerste commerciële vloot aan SMRs tussen 2025 en 2030 in bedrijf wordt genomen.

De IAEA doet er alles aan om de internationale samenwerking en coördinatie voor het ontwerpen, ontwikkelen en plaatsen van SMRs uit te breiden. Er is inmiddels een aanzienlijke vooruitgang geboekt op het gebied van SMRs. Sommige ontwerpen zijn voorzien van geprefabriceerde systemen en componenten om bouwprogramma's te verkorten en om te zorgen voor

grotere flexibiliteit en betaalbaarheid dan traditionele kerncentrales. "Met ongeveer vijftig SMR-concepten in diverse stadia van ontwikkeling wereldwijd, heeft de IAEA een Technische Werkgroep (TWG) in het leven geroepen om zijn SMR-activiteiten te leiden en een forum te bieden aan lidstaten om informatie en kennis te delen", zei IAEA Deputy Director General Mikhail Chudakov.

K *Compilatie artist impressions van SMRs*

AFGELEGEN GEBIEDEN

"Innovatie is cruciaal voor kernenergie om een belangrijke rol te blijven spelen bij het terugdringen van CO₂-emissies in de energiesector", verklaarde Chudakov op 15 februari tijdens een conferentie over SMRs in Praag. "Veel lidstaten die nu over kernenergie beschikken en/of willen uitbreiden, zijn buitengewoon geïnteresseerd in de ontwikkeling en plaatsing van SMRs." De mondiale interesse in SMRs groeit. SMRs hebben het potentieel om aan de behoeften van een breed scala van gebruikers te voldoen en zijn een oplossing voor het vervangen van verouderde installaties die op fossiele bronnen draaien. Zij zijn veiliger en bovendien geschikt voor niet-elektrische toepassingen, zoals koelen, verwarmen en waterontziltting. Bovendien bieden SMRs opties voor afgelegen gebieden met een minder ontwikkelde infrastructuur en voor energiesystemen die kernenergie en alternatieve bronnen, met inbegrip van renewables, combineren.

SMR-FORUM

De eerste drie geavanceerde SMRs worden naar verwachting tussen 2018 en 2020 commercieel in gebruik genomen in Argentinië, China en de Russische Federatie. De ontwikkeling van de SMR is ook in meer dan tien andere landen vergevorderd. De TWG, waarin ongeveer twintig lidstaten van de IAEA en overige internationale organisaties participeren, komt voor het eerst tussen 23 en 26 april bij de IAEA in Wenen bijeen. Het maakt deel uit van een uitbreidende reeks van diensten voor lidstaten voor de nieuwe kerntechnologie. Het betreft een SMR-computersimulatieprogramma dat gaat helpen bij het opleiden en trainen van nucleaire professionals; een techniek en een IT-hulpmiddel om verschillende SMR-actorttechnologieën te onderscheiden. Daarnaast is er een SMR-forum voor toezichthouders. Binnen dit forum, dat in 2015 is opgezet, kunnen lidstaten en andere

stakeholders kennis over regelgeving rond SMR-ontwerpen en ervaringen daaromtrent delen. Het draagt bij aan het verhogen van de veiligheid door vraagstukken te onderkennen en op te lossen die een uitdaging vormen voor de toezichthouders bij de beoordeling van SMRs en door gedegen en grondige besluiten mogelijk te maken.

Op verzoek van de lidstaten in Europa zette de IAEA onlangs een project op om regionale afdelingen op te zetten voor het nemen van goed geïnformeerde besluiten inzake SMRs, met inbegrip van technische beoordelingen voor SMRs die voor plaatsing op korte termijn commercieel beschikbaar kunnen zijn. Het project van twee jaar

heeft tot doel om aan de Europese vraag te voldoen naar flexibele bronnen voor de opwekking van elektriciteit die niet tot broeikasgasemissies leiden. De eerste vergadering vond bij de IAEA in Wenen plaats van 13 tot 15 maart.

MINDER 'UPFRONT' KAPITAAL

Een snelle plaatsing van SMRs zorgt voor uitdagingen waaronder de behoefte aan gedegen regelgeving, nieuwe voorschriften en normen, een veerkrachtige leveringsketen en goed opgeleid personeel. En hoewel SMRs minder 'upfront' kapitaal per eenheid eisen, zullen de productiekosten voor stroom waarschijnlijk hoger zijn dan die

door grote reactoren is opgewekt. De gedetailleerde technische informatie over SMRs in aanbouw of SMR-ontwerpen zijn bij het Advanced Reactor Information System van de IAEA te vinden.

"Realistisch gezien kunnen wij de eerste commerciële vloot aan SMRs tussen 2025 en 2030 verwachten", aldus Hadid Subki, Scientific Secretary van TWVG en Team Leader van SMR Technology Development bij de IAEA. "Wij vertrouwen erop dat de nieuwe Technische Werkgroep de SMR-technologie verder zal ontwikkelen en de IAEA zal bijstaan bij zijn programma's en projecten op dit gebied." **K**

Bron: IAEA

CANADA ZET EEN STRATEGISCHE ROADMAP VOOR SMRS OP

Om te zien welke mogelijkheden de SMR-technologie biedt, gaat Canada een roadmap ontwikkelen. Het gaat daarbij om installaties die aan het net zijn gekoppeld en voor stand alone-installaties, aldus de Natural Resources Canada (NRCan).

De roadmap moet dienen om Canada in staat te stellen een positie als wereldleider in de opkomende SMR-markt in te nemen. Het roadmap-proces is onderdeel van NRCan's Energy Innovation Program, het werd bekend gemaakt op 22 februari van dit jaar door Kim Rudd, parlementair secretaris namens de minister van Natural Resources Jim Carr.

Namens diverse lokale en landelijke bedrijven en nutsinstellingen wordt het proces uitgevoerd door de Canadian Nuclear Association. De stakeholders worden erbij betrokken om voor hen te verhelderen om welke belangen het gaat en welke prioriteiten er zijn in het kader van mogelijkheden en

toepassingen van SMRs in Canada. Participatie bij de roadmap zal uiteindelijk uitgroeien tot alle mogelijke partners zoals bouwers/constructeurs, onderzoekers, organisaties voor afvalmanagement en de nationale nucleaire toezichthouder, de Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC). NRCan geeft aan dat de roadmap mikt op enerzijds bevordering van innovaties en het ontwikkelen van een langetermijn visie voor de industrie en anderzijds het vaststellen van de karakteristieke punten van de SMR technologie en het in lijn brengen van de technologie met Canadese vereisten en prioriteiten.

De in 2017 plaatsgevonden Generation Energy dialoog leerde dat er een Canada-brede benadering vereist is op het punt van

nucleaire technieken ter voorbereiding van belangrijke zowel privaat als publiek te nemen besluiten door onze besluitnemers, aldus Rudd.

De nationale organisatie Canadian Nuclear Laboratories (CNL) formuleerde vorig jaar het doel dat er per 2026 een nieuwe SMR moet komen op haar site Chalk River. Er kwamen daarop 19 reacties van belangstellende binnen voor de bouw van een prototype of demonstratiereactor. Het Canadese Terrestrial Energy startte vorig jaar juni een haalbaarheidsonderzoek naar een plek voor de eerste commercieel bedreven Integrated Molten Salt Reactor bij Chalk River.

Op dit moment is CNSC betrokken bij de voorbereidingen voor het opstellen van licenties ten behoeve van een project voor de verkoop van een tiental te bouwen reactoren op basis van de technologie van de verkoper. De reactoren zullen vermogens krijgen van 3 tot 300 MWe.

De roadmap zal naar verwachting in het najaar gereed zijn. **K**

Bron: World Nuclear News



© EDF Energy

KERNCENTRALE SIZEWELL KAN TWINTIG PROCENT GOEDKOPER DAN HINKLEY POINT C

Volgens EDF Energy kan de bouw van een tweede nieuwe kerncentrale Sizewell C in Suffolk Groot-Brittannië zo'n twintig procent goedkoper dan het Hinkley Point C-project in aanbouw in Somerset. De kosten voor deze kerncentrale zijn geraamd op 23 miljard euro. Voorwaarde is wel dat de Britse overheid nog dit jaar met garanties komt. Gebeurt dat niet dan kan EDF Energy zich terugtrekken zoals Simone Rossi, de nieuwe CEO van EDF Energy, recentelijk in The Times verklaarde.

In zijn eerste belangrijke openbare toespraak zei Rossi in The Guardian dat Sizewell C beduidend goedkoper zou kunnen zijn dan Hinkley Point C en concurrerend met alternatieven. Een voorbeeld van lagere bouwkosten geeft Rossi door te wijzen op de acht

noodgeneratoren die Hinkley Point C krijgt. "Die generatoren zijn ontworpen en gecertificeerd om aan de eisen van nucleaire veiligheid te voldoen. Dat betekent dat de eerste twee 45 miljoen euro kosten, maar de volgende zes slechts de helft daarvan. Bij Sizewell C

hoeven we de kosten voor ontwikkeling en certificering niet meer over te doen. Dit maakt een kostenreductie van twintig procent mogelijk." Volgens Rossi levert EDF Hinkley Point C zeker op tijd op en zal de eerste elektriciteit in 2025 worden opgewekt. Andere projecten in Frankrijk en Finland met hetzelfde reactorontwerp lopen jaren achter op het bouwschema. EDF heeft er zelf ook al voor gewaarschuwd dat de bouw in Hinkley achttien maanden zou uitlopen. Hinkley Point C is de eerste kerncentrale die in het UK sinds decennia wordt gebouwd en was door de financieel toezichthouder van de overheid vorig jaar geëtiketteerd als "duur en riskant".

Rossi liet zich echter onlangs in The Times onvallen dat de bouw op losse schroeven komt te staan als de Britse regering niet snel met garanties komt voor "haalbare financieringsopties" die nodig zijn voor de bouw van twee EPR-eenheden voor Sizewell C. Mocht dat niet lukken dan kan EDF Energy besluiten dat het project niet uitvoerbaar is en zich terugtrekken. Interesse in financiering van het project is er echter wel degelijk. Eerder dit jaar verklaarde Rossie dat pensioenfondsen zeer geïnteresseerd waren als potentiële investeerders van het project. Desondanks zei hij: "Dit is het jaar waarin wij te weten moeten komen of dit gehele project wel of niet haalbaar is." Het uitblijven van garanties brengt het project in gevaar maar ook een trage besluitvorming daarover. Door vertraging tussen de bouw van Sizewell C en het Hinkley Point C-project verdwijnen eventuele kostenbesparingen voor Sizewell C.

FINANCIËLE HAALBAARHEIDSTUDIE

Een model dat EDF Energy onderzoekt voor Sizewell C is de benadering die het Britse bedrijf Thames Water heeft ondernomen voor de financiering van

het 'super-riool' van Londen. Thames Water koos ervoor om het bijna vijf miljard kostende nieuwe riool uit de bedrijfsbalans te houden en een nieuw bedrijf te creëren waar investeerders vermogen in kunnen storten. Voor EDF zouden dat de pensioenfondsen zijn. Rossi benadrukte ook de beperkte reikwijdte waarover andere technologieën beschikken voor de low carbon-energie die het VK tegen 2030 nodig heeft. "Energie-efficiëntie is belangrijk maar niet genoeg om de groei te compenseren van andere sectoren zoals elektrische auto's", zei hij. Gas was nuttig maar niet groen genoeg volgens hem om de Britse klimaatdoelstellingen te behalen. Desondanks vindt hij dat wind- en zonne-energie welkom zijn ondanks de beperkte rol die zij spelen. Hij benadrukte daarbij dat Groot-Brittannië wind van wereldklasse heeft. Over zonne-energie is hij sceptisch: "Als Italiaan weet ik dat Groot-Brittannië niet één van de zonnigste plaatsen op de planeet is." Grootschalige opslag in batterijen waarmee EDF in het VK werkt, is nuttig maar zijn volgens Rossi binnen een half uur leeg. Ondanks de kritiek op concurrerende technologieën vindt hij dat Groot-Brittannië zoveel mogelijk hernieuwbare energie zou moeten installeren. "Het recept zou moeten bestaan uit zo veel mogelijk wind in combinatie met wat zon, enkele batterijen, een beetje gas, maar dit alles op een basis van kernenergie."

EDF Energy en zijn partner China General Nuclear Ltd hebben gezamenlijk een voorstel gedaan voor de bouw van de nieuwe Sizewell C-kerncentrale ten noorden van de bestaande Sizewell B-kerncentrale. Het initiatief zal volgens het samenwerkingsverband leiden tot 25.000 banen. **K**

DE DERDE RONDE VAN HET TESTEN VAN PENNEN MET THORIUM SPLIJTSTOF IS BEGONNEN.

De bestraling van twee penen met thoriumplutoniumoxide is momenteel gaande in de onderzoeksreactor in het Noorse Halden. Thor Energy is het leidende bedrijf binnen het consortium dat het onderzoek laat uitvoeren. De huidige testen vormen de derde fase van een vijf jaar durende operationele test van op thorium gebaseerde splijtstof voor kerncentrales.

De thorium-MOX-tabletten zijn geproduceerd in het splijtstoflaboratorium van het Institute for Energy Technology's (IFE's) in Kjeller nabij Oslo. Solvay leverde de thoriumoxidetabletten. Ze zijn in een tweetal penen geplaatst die tezamen met een referentiepen de testopstelling vormen. De referentiepen bevat uraniumoxide tabletten.

De onderzoeksreactor levert continue gegevens aan terwijl de splijtstof in de testpenen de reactor aan de gang houdt. Met de verkregen gegevens willen de onderzoekers aantonen dat de splijtstof veilig en productief kan worden gebruikt in een commercieel geëxploiteerde reactor. "Dit is de eerste keer dat thorium-mox-tabletten voor industrieel gebruik met het zicht op commercieel bedrijf gemaakt zijn en bestraald worden", aldus Thor Energy. De tabletten bestaan uit een dichte keramische thoriumoxidematrix waarin fijn verdeeld plutoniumoxide als 'splijtingsaanjager' aanwezig is. Het aandeel plutoniumoxide bedraagt tien procent.

De mixed-oxide (MOX) variant is als uranium-mox bekend, maar de thorium-MOX-variant heeft ten opzichte van de uranium-MOX-variant voordelen bij het gebruik. De veiligheidsmarges zijn ruimer, de warmtegeleiding is beter en het smeltpunt is hoger. Bovendien wordt hiermee niet opnieuw weer plutonium geproduceerd.

Thor Energy stelt dat thoriumplutoniummengsels een nieuwe manier vormen om civiele en militaire plutoniumvoorraden te verminderen.

De eerste tabletten werden in april 2013 in de reactor geplaatst, de tweede batch in december 2015. Beide keren was het bedoeling om eerdere testresultaten te bevestigen.

Øystein Asphjell, CEO van Thor Energy: "We hebben de laatste vijf jaar besteed aan het ontwikkelen van het splijtstofrecept en het kunnen produceren van de tabletten. Door de Haldenreactor te laden met deze tabletten bereikten we een mijlpaal en een belangrijk startpunt op weg naar goedkeuring voor commercieel gebruik van thoriumgebaseerde splijtstof in bestaande lichtwaterreactoren. "Wij denken dat we hiermee een volgende stap zetten in de thoriumevolucie die bijdraagt aan de duurzaamheid van kernenergie in het algemeen", aldus Thor Energy.

Het Thorium Irradiation Consortium, geleid door Thor Energy, werd in 2011 opgericht. Partners zijn IFE, Westinghouse, het Finse Fortum, in het VK het National Nuclear Laboratory, het EU Joint Research Centre in Karlsruhe en het Korea Atomic Energy Research Institute. **K**

Bron: World Nuclear News



INBEELD

VROUWEN IN NUCLEAIR

In een recent artikel kopt Trouw: 'Meiden veroveren het technieklokaal'. Ook De Ingenieur berichtte al eerder dat meisjes wel degelijk interesse blijken te hebben in exacte vakken. De Ingenieur baseert zich op een onderzoek dat softwarebedrijf

Microsoft publiceerde aan de vooravond van de Internationale Vrouwendag. Hierin staat dat meisjes tussen elf en twaalf jaar geïnteresseerd zijn in techniek maar die interesse weer laten varen rond hun vijftiende. Eén van de uitkomsten die



© IAEA

uit de enquête van Microsoft (waaraan 11.500 meisjes tussen de elf en achttien jaar in twaalf Europese landen deelnamen) volgt, is dat rolmodellen belangrijk zijn bij wat meisjes uiteindelijk gaan doen. Volgens de IAEA kunnen die helpen om het

stereotype beeld aan te passen van hoe een 'nucleaire wetenschapper' eruit zou zien. In het kader van de Internationale Vrouwendag van dit jaar heeft de IAEA daarom een aantal vrouwen geportretteerd in de hoop jonge vrouwen ertoe te

bewegen voor een bèta-carrière te kiezen, met onder andere de Nederlandse Alike van Heek (5e van links). **K**

Download de pdf van het onderzoek via:
<http://bit.ly/2lIiHnr>



SUCCESSVOLLE HEU-LEU-CONVERSIE BIJ CURIUM

Sinds april 2017 heeft de medische isotoopenproducent op de onderzoekslocatie Petten een nieuwe naam: Curium. Het bedrijf heeft al diverse naamswijzingen doorstaan van Mallinckrodt, naar Tyco, via Covidien weer naar Mallinckrodt en nu dus Curium. Frank de Lange, vestigingsdirecteur bij Curium in Petten vertelt over de productie van medische isotopen voor diagnostische behandelingen en over de succesvolle conversie van hoogverrijkt naar laagverrijkt uranium. De Lange: "Vanaf 2010 hebben we budget vrijgemaakt, een projectteam geïnstalleerd en een organisatie op touw gezet om de conversie te laten slagen."

Curium is een internationaal bedrijf en heeft ongeveer 1.600 werknemers waarvan 320 in Petten. Curium heeft drie grote SPECT-fabrieken met elk ongeveer 300 à 330 mensen: één in Petten, één in Maryland Heights bij St. Louis (VS) en één in Saclay bij Parijs (F). Het bedrijf ontwikkelt, produceert en levert producten voor PET- en SPECT-onderzoeken in ziekenhuizen. Elk jaar krijgen ongeveer 14 miljoen patiënten producten van Curium toegediend. "Wij zijn de enige van de fabrieken binnen Curium met een molybdeen-productiefaciliteit (MPF). Het molybdeen is een grondstof voor onszelf maar ook voor onze fabrieken in Amerika en Frankrijk. Aan de 'andere kant van de

K Frank de Lange: "De markt voor diagnostiek zal in de komende jaren een kleine groei laten zien maar we verwachten veel groei in het aandeel therapie."

straat' in Petten vervaardigen wij de molybdeen/technetiumgeneratoren, maar we maken ook jodium-131-capsules en injecteerbare radioactieve vloeistoffen gebaseerd op bijvoorbeeld indium-111, thallium-201 of jodium-123." Binnen het brede spectrum van medische isotopen vervaardigt Curium ook rubidium-81 (voor rubidium-kryptongeneratoren voor longonderzoek) en iridium-192-bronnen voor onder andere Nuclotron in Veenendaal. "Dit isotoop wordt voor brachytherapie gebruikt ter bestrijding van tumoren in bijvoorbeeld prostaat, longen of borst."

LEVERINGSZEKERHEID

De Lange benadrukt dat er binnen de drie vestigingen van Curium een groot deel overlappende productie is. "Elke fabriek beschikt over een steriele productiefaciliteit waar we niet-nucleaire producten maken die worden gebruikt om te labelen met technetium. Een voorbeeld hiervan is HDP dat ziekenhuizen gebruiken voor botsctigrafie om het skelet of delen daarvan in beeld te brengen." De productieoverlap komt voor een deel voort uit de halfwaardetijd van de producten. De Lange: "Neem jodium-123 met een halfwaardetijd van 13,5 uur. Dit isotoop moet je echt op het continent van bestemming maken. Als het in Petten zou zijn geproduceerd en naar de VS gevlogen, voldoet het niet meer aan de vereiste specificaties." Daarnaast legt De Lange uit dat overlap voortkomt uit de capaciteitsbegrenzing van de faciliteiten en het bovendien in veel gevallen tot voordeel strekt als er zich een backup-capaciteit op relatief korte afstand bevindt. Dit zorgt voor benodigde leveringszekerheid.

COMPLEX PROCES

Voor de productie van medische isotopen maakt Curium in Petten gebruik van de hoge flux reactor, de BR2 in België en de Maria-reactor in Polen. Daarnaast beschikt de vestiging zelf ook over twee cyclotrons. Er staan er nog eens twee in Saclay en vijf in St. Louis. In deze installaties wordt onder andere



➤ Medewerkers van Curium aan het werk in de molybdeen-productiefaciliteit

indium-111 en gallium-67 gefabriceerd. "Erbium, yttrium en rhenium worden in Petten bestraald en gaan aansluitend naar Parijs voor verdere verwerking." De Lange legt uit dat de productie van molybdeen een bijzonder complex proces is dat een aparte faciliteit behoeft: "Anders dan bij de isotopen die in de reactor worden bestraald en naar Parijs op transport gaan en waar dus het bestraalde product direct naar de eindverwerking gaat, ligt het bij molybdeen ingewikkelder omdat je daar nog een tussenstap hebt waarbij we het molybdeen uit het uranium in de bestraalde targets moeten halen voordat we er een farmaceutisch product van kunnen maken. Een dergelijke fabriek is er niet bij onze vestiging in Frankrijk

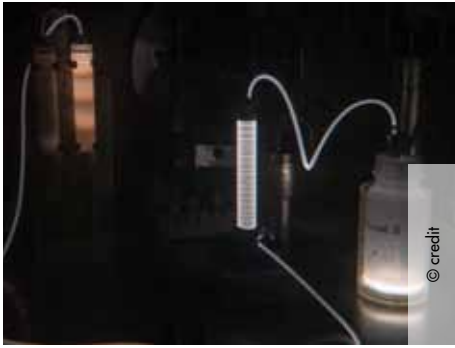
➤ Bovenaanzicht op de hal tussen de twee productielijnen



noch in de VS. Wij leveren daarom het molybdeen aan Parijs en St. Louis. Viermaal per week naar de VS en drie tot vier keer per week naar Parijs."

AMBITIEUS

Al in 2010 is Curium gestart met de conversie van hoogverrijkt uranium (HEU) naar laagverrijkt uranium (LEU) voor de productie van molybdeen. Onder druk van vooral de VS werd begin 2012 tijdens de Nuclear Security Summit (NSS) in Seoul en twee jaar later toen de top in Nederland werd gehouden afgesproken dat Nederland geen HEU meer zou gebruiken in de targets. Aanleiding voor de conversie zijn de zorgen dat het HEU als 'weapons grade material' in handen kan komen van terroristen of landen die niet onder toezicht staan van de IAEA. "Al voor 2010 keken we al naar mogelijkheden voor een eventuele conversie, maar vanaf 2010 hebben we daadwerkelijk budget vrijgemaakt, een ➤

**➤** Cherenkov-effect

projectteam geïnstalleerd en een organisatie op touw gezet met als doel om in 2015 geconverteerd te zijn." Dat bleek iets te ambitieus. De technische uitdaging was groter dan geanticipeerd waardoor Curium twee jaar extra tijd nodig had. "Er waren eigenlijk twee belangrijke processen te onderscheiden waarbij drie partijen betrokken waren. De eerste partij is NRG die zich vooral richtte op het bestralingproces in de reactor. Wij zijn de tweede partij, die zich bezighield met het chemische proces in de molybdeenfabriek en de derde partij is Cerca, tegenwoordig Framatome, die de LEU-targets produceert,

**➤** Assemblage van de technetiumgeneratoren

een soort aluminium 'envelop' waarin het uranium is opgenomen."

Bij voorkeur zou je voor het vergroten van de molybdeenopbrengst zoveel mogelijk uranium in het target kwijt willen, dus een zo dik mogelijk target willen. Tijdens de bestraling moet de warmte, die door de splijtingsreactie van het uranium in het target ontstaat, worden afgevoerd naar het koelwater. Om ruimte te maken voor het koelwater, moet het target juist weer zo dun mogelijk zijn, dus de aluminium envelop zou je zo dun mogelijk willen houden vanuit dat oogpunt. Echter, als die envelop

**➤** Verzendklaarmaken met behulp van een robot

te dun is, bestaat de kans dat hij gaat lekken en verontreinigen in het koelwater van de reactor terechtkomen en dat wil je natuurlijk ook niet." Bij het ontwerpen ging het dus om het zo dun mogelijk maken van de target bij een zo groot mogelijke hoeveelheid uranium met de garantie dat de envelop intact blijft tijdens bestraling in de reactor, waarbij rekening moest worden gehouden met de kwaliteitseisen die NRG bepaalde. Bovendien moest Cerca kunnen garanderen dat hun productieproces targets levert die continu aan die eisen konden voldoen. "Wij wilden dat het aluminium zo zuiver mogelijk zou zijn

NAAMSWIJZIGINGEN

Bedrijven die onderdeel zijn van internationale 'groepen' of eigendom van investeerders ontkomen er niet aan dat ze naamswijzingen ondergaan. De meesten kennen de producent van de molybdeen/technetiumgenerator uit Petten nog onder de naam Mallinckrodt. Tot aan het jaar 2000 werd deze naam gevoerd waarna het overging in Tyco. De Lange: "Het hoofdbedrijf bedacht toen dat het misschien beter was om een aparte afdeling Tyco Healthcare (TH) in het leven te roepen. TH is toen verzelfstandigd van Tyco onder de naam Covidien in 2007." Covidien heeft daarna besloten om zich op te splitsen in een 'devices'-tak (medische apparatuur) en een farmaceutisch onderdeel dat weer onder de naam Mallinckrodt Pharmaceuticals met eigen beursnotering verder ging. In 2016 besloot de directie om de nucleaire afdeling te verkopen aan CapVest. Dit is een investeringsmaatschappij die eigenaar was van het Franse IBA Molecular. "In januari 2017 werden de bedrijven IBA Molecular en Mallinckrodt Nuclear Medicine LLC samengevoegd met vestigingen in Petten, Maryland Heights bij St. Louis (VS) en Saclay onder Parijs (F). In april van dat jaar lanceerde de combinatie de nieuwe bedrijfsnaam Curium." De naam Curium is een verwijzing naar het baanbrekende werk dat het echtpaar Marie en Pierre Curie heeft verricht op het gebied van nucleaire technologie. Bij al die naamswijzingen kon de vestiging in Petten ook nog steeds de statutaire handelsnaam Mallinckrodt Medical B.V. blijven voeren. De nieuwe firma is onderdeel van investeringsmaatschappij CapVest. "Van investeringsmaatschappijen weten we dat ze over het algemeen niet echt heel lang eigenaar zullen zijn. Maar we gaan ervan uit dat dit een aantal jaren wel het geval blijft. Het kan natuurlijk ook zo zijn dat na verkoop of een beursgang de naam Curium voor nog veel langere tijd behouden blijft." Een wisseling van de bedrijfsnaam heeft natuurlijk gevolgen voor het 'briefpapier'. Maar volgens De Lange is dat niet zozeer het probleem. Sinds de afsplitsing is het concern Mallinckrodt Pharmaceuticals nog steeds als farmaceutisch bedrijf actief en in de afsplitsingsovereenkomst is opgenomen dat Curium de naam Mallinckrodt op termijn niet meer mag voeren. Op de vergunningen en labels, die nu bij Curium-producten horen, staat nog steeds Mallinckrodt Medical B.V. vermeld en dat vergt volgens De Lange heel wat meer inspanning om die over te zetten naar het nieuwe bedrijf dan de wijziging van de huisstijl. "We willen er in ieder geval voor zorgen dat dit in 2020 geheel is overgezet."

omdat dat goed oplost bij de verwerking in de MPF om het molybdeen eruit te kunnen halen." Omdat Curium extra uranium in de target wilde is er door Cerca voor een iets hardere legering gekozen waarin onder andere meer magnesium zit. "En dat betekende dat het oplos- en filtratieproces bij ons aanzienlijk moest worden aangepast waardoor het gehele proces langer ging duren dan was voorzien."

SUCCESVOL BLIJVEN

De verhoging van de hoeveelheid uranium in de targets is een direct gevolg van de conversie. In HEU is het aandeel splijtbaar uranium-235 93 procent. In LEU bedraagt dat 19,5 procent. In een target zou dus vier à vijf keer meer uranium moeten passen om aan dezelfde opbrengst te komen. "Maar dat past niet. Ruim drie keer meer gaat wel en dat betekent dat de 'opbrengst' ongeveer 75 procent is van wat we voorheen met HEU-targets hadden." Volgens De Lange is hiermee het proces duurder geworden omdat Curium niet alleen meer targets moet verwerken maar ook meer bestralingposities in de reactoren moet huren. Bovendien levert het proces meer radioactief afval op en zijn er meer transporten nodig. Prijs dit Curium niet uit de markt? "Het product is met de HEU-LEU-conversie duurder geworden. Maar er was ook een noodzaak om naar laagverrijkt uranium over te stappen. Bovendien zullen transporten van HEU uit Amerika vanaf 2020 voor deze toepassing vanuit de Amerikaanse wetgeving niet meer geoorloofd zijn. Het is voor ons van belang om die boodschap aan onze klanten over te brengen." Voor de toekomst ziet De Lange een groeiende markt voor medische isotopen. "De markt voor diagnostiek zal een kleine groei laten zien maar we verwachten veel groei in het aandeel therapie." Aan de huidige eigenaar kan het volgens hem niet liggen. "We krijgen veel ruimte van de moedermaatschappij CapVest om te investeren en dat is echt iets wat we nodig hebben om ook in de toekomst succesvol te blijven." **K**

Menno Jelgersma

COLUMN



LOUIS VAN GAAL

Een kort berichtje was het: België sluit in 2025 z'n kerncentrales. Nou ja, zeer waarschijnlijk. Alleen als tegen die tijd de energieprijzen de pan uit rijzen of er stroomtekort dreigt, blijven ze langer open. Om dat tekort te voorkomen, worden nieuwe gascentrales gebouwd. Maar, zo verklaarde het kabinet, de klimaatafspraken worden gehaald. Ook Frankrijk, Europees kampioen kernenergie, sluit voor 2025 een

aantal reactoren. Het aandeel nucleaire stroom moet van 75% naar 50%. Dat zei de verantwoordelijke Franse minister juni vorig jaar. Het was een serieuze stap en uiteraard zou Frankrijk, met president Macron als dé voorvechter van het klimaatakkoord van Parijs, het klimaatakkoord van Parijs halen.

In november moest de minister zijn woorden al terugnemen. Die 50% per 2025 gaat toch niet worden gehaald. Het zou namelijk 'gecompliceerd' zijn om de klimaatdoelstellingen te halen bij aanmerkelijk minder kernenergie, zo had de Franse netbeheerder vastgesteld.

Gecompliceerd of niet, in het Westen sluiten steeds meer kerncentrales de deuren. Ook in de Verenigde Staten. Het Internationaal Energie Agentschap (IEA) ziet daar de komende twintig jaar een halvering van het nucleaire vermogen. Dat liet IEA-directeur Fatih Birol onlangs in Den Haag zien tijdens een presentatie voor de Nederlandse energietop en Kamerleden.

Afgezien van dalende lijnen van de VS en Frankrijk was er in Birol's grafiek nóg een land afgebeeld: China. Dat land bouwt zich scheel aan kernreactoren en zal dat zeker tot 2040 blijven doen. De reden? De komende twintig jaar groeit de energievraag gigantisch, namelijk met evenveel als de Verenigde Staten nu gebruiken. En dus zet het land in op én fossiel én hernieuwbaar én kernenergie. Ook China wil 'Parijs' halen.

Ik zag de grafiek, ik hoorde Birol praten over de ontwikkelingen in de Volksrepubliek en ik moest ineens aan Louis van Gaal denken. Zijn die Belgen, Fransen en Amerikanen nou zo dom ... of zijn die Chinezen nou zo...? **K**

Remco de Boer

Ir. Remco de Boer is onderzoeker, publicist en interviewer. Hij adviseert, schrijft en spreekt over de energietransitie, onder meer bij BNR Nieuwsradio en energienieuwsdienst Energeia. De Boer is sinds 2012 columnist bij Delft Integraal, het wetenschappelijke magazine van de TU Delft. In 2015 verscheen zijn boek 'Tussen hoogmoed en hysterie', een reconstructie van de strijd tegen schaliegas in Nederland.



VICI-BEURS IMPULS BATTERIJENONDERZOEK TU DELFT

Met betrekking tot de ontwikkeling van batterijen zijn volgens Wagemaker, hoofd van de sectie storage of electrical energy twee zienswijzen mogelijk.

"Je kunt er optimistisch naar kijken en concluderen dat er van alles gebeurt. Batterijen zijn in de loop der jaren echt een stuk beter geworden en die lijn zal zich in de toekomst naar verwachting voortzetten." Hij verwijst naar de bekende batterijen die we allemaal kennen in bijvoorbeeld mobiele telefoons en naar batterijen die we in de nabije toekomst nodig zullen hebben in bijvoorbeeld onze woningen om energie op te slaan en naar behoefte af te geven. "Dat vereist een andere chemie die goedkoop, ruim voorradig en milieuvriendelijk is." Er is dus een grote behoefte aan nieuwe batterijchemie om de ontwikkeling naar een hernieuwbare energietoekomst mogelijk te maken. "En dat gaat gebeuren; daar ben ik heel optimistisch over." Maar er is ook een sceptische kant aan het verhaal. "De lithium-batterij dateert al

X Onlangs kreeg dr. ir. Marnix Wagemaker van de (TU Delft) een Vici-beurs van 1,5 miljoen euro van de NWO met daarbovenop nog eens 250.000 euro van betrokken bedrijven om onderzoek te doen naar de werking van batterijen. De ontwikkeling van een nieuwe techniek waarmee met behulp van neutronen de plaats van lithium in een werkende batterij in 3D en met hoge resolutie bepaald kan worden, ziet Wagemaker als de "kleine holy grail van het batterijenonderzoek".

van 1991 (SONY) en is gebaseerd op grafiet-lithium-kobaltoxide. De state of the art-batterij die nu in de Tesla zit, maakt gebruik van dezelfde chemie met grafiet, en weliswaar minder kobalt, maar wel iets wat daar heel erg op lijkt. De prestaties zijn overigens wel enorm verbeterd." Je

hoort al tien jaar van doorbraken maar dat heeft volgens Wagemaker nog niet tot een nieuwe grootschalige batterij geleid.

HOLY GRAIL

"Ik wil heel graag, zoals in mijn voorstel stond, instrumenten en methodes

K *Marnix Wagemaker: "Erachter komen waar het lithium zich exact in een batterij bevindt en wanneer het werkt, dat is het doel."*

ontwikkelen waarmee ik nog beter in batterij-materialen kan kijken terwijl de batterij wordt opgeladen of ontladen." Nu heeft Wagemaker al de beschikking over onder andere: Neutron Depth Profiling (NDP), Neutron Diffraction, Micro Beam Diffraction en vaste stof NMR. "NDP is een techniek die al enige tijd bestaat, maar nog niet voldoende goed ontwikkeld is om in werkende Li-ion batterijen te kijken." Voor de plaatsbepaling van lithium met behulp van NDP maakt Wagemaker gebruik van de neutronen uit de onderzoeksreactor van het RID. De NDP-techniek is gebaseerd op het invangen van een thermisch neutron door een Li-ion, wat vervolgens splitst in een tritium- en een heliumkern, beide met een heel specifieke energie. "Die twee deeltjes kunnen we vervolgens detecteren en aan de hand van het energieverlies bepalen waar het lithium zich in de batterij bevindt." Nieuw is nu dat hij met zijn groep gaat samenwerken met bedrijven om een ander soort detector te maken waarmee hij het hele pad dat tritium aflegt veel beter kan volgen. Met het nieuwe instrument kan Wagemaker namelijk een 3D-projectie in hoge resolutie maken in plaats van de huidige 1D-projectie in werkende batterijen. Hij legt uit dat met

de nieuwe techniek een resolutie van 100 nanometer of minder haalbaar is, terwijl de plaats-resolutie van de alternatieve technieken om Li in werkende batterijen te zien veel te grof is. "Erachter komen waar het lithium zich exact in een batterij bevindt en wanneer het werkt, dat is het doel", benadrukt Wagemaker. Dit typeert hij als de kleine 'holy grail' van het batterijenonderzoek: onderzoek op mesoschaal. "Aan de ene kant kan je

✎ *Marnix Wagemaker voor de koepel van het Reactor Instituut Delft (RID) dat onderdeel is van de TU Delft*

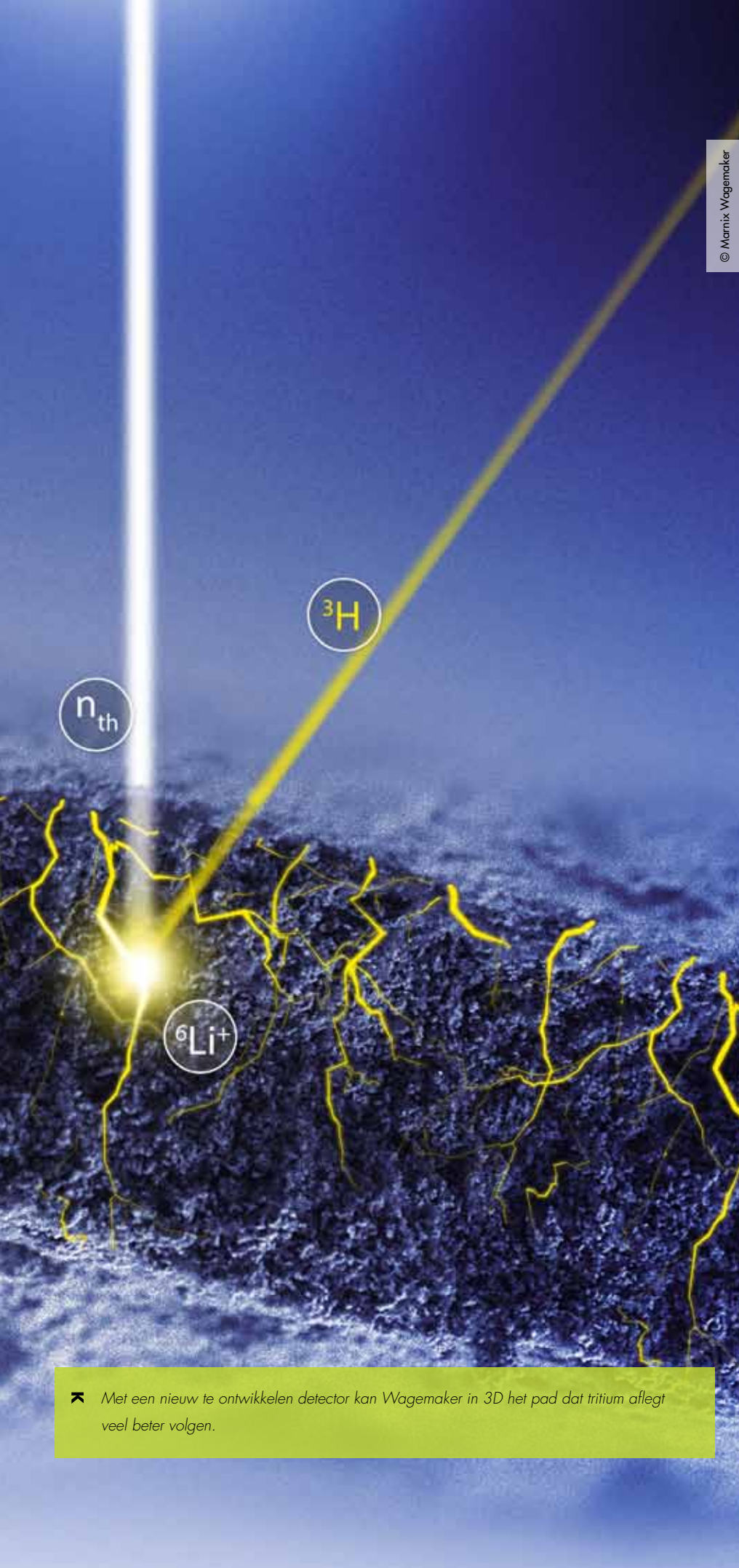
met diffractietechnieken op atomaire schaal (Ångström – nanometer) de atoomcomposities van lithium bepalen, maar dan wel gemiddeld en overal. Het andere uiterste is de macroscopische schaal die we goed begrijpen aan de hand van bestaande chemie en natuurkunde. Aan die uitersten van de lengteschalen begrijpen we alles goed. Op atoomschaal kan je Schrödvergelijkingen loslaten en op macroschaal kan je bijvoorbeeld gewoon met een microscoop kijken en meten. Op de tussenliggende mesoschaal komen de vele processen samen en dat is precies het gebied dat je wil zien om de ✎



© Irene van Kessel

ACHTERGROND

Marnix Wagemaker is afgestudeerd en gepromoveerd in Delft op wat hij zelf "neutronenwerk" noemt, waarbij het neutronenwerk voor zijn promotie was gericht op batterijen. Tijdens zijn promotie kwamen daar synchrotron en experimentele vaste stof-NMR (Nuclear Magnetic Resonance) technieken bij. "Hierbij wordt gebruik gemaakt van de kernspinresonantie om de structuur en dynamiek van vaste stoffen te bestuderen." Aansluitend is Wagemaker naar het Massachusetts Institute of Technology (MIT) in de VS gegaan. "Daar was toen een groep aan het werk met een onderwerp waar ik mij in wilde bekwamen op het gebied van Density Functional Theory (Dichtheidsfunctionaaltheorie)." Dit is een kwantummechanische methode die wordt toegepast in de natuur- en scheikunde. De theorie wordt onder meer gebruikt bij het onderzoek naar de elektronenstructuur van grotere moleculen. "En dat was weer heel mooi complementair aan de metingen die ik altijd deed." Daarna kwam Wagemaker weer terug in Delft om met Veni-, Vidi- en Vici-beurzen batterijgerelateerde onderzoeken te doen.



© Marnix Wagemaker

werking van batterijen goed te begrijpen.” Met hun grote penetratie door batterijen heen in combinatie met hun relatieve gevoeligheid zijn neutronen belangrijk in dit onderzoek, omdat het metingen tijdens het werken van de batterij mogelijk maakt, en dat is wanneer de relevante processen plaatsvinden.

DEUROPENING

“Met het nieuwe instrument gaan we ontzettend veel leren over wat er, in met name de toekomstige batterijen misgaat.” Bij dat misgaan doelt Wagemaker op steeds minder presterende batterijen na herhaald opladen. “Het lithium blijft klaarblijkelijk ergens ‘hangen’ waar het niet zou moeten blijven, want anders zou de batterij zijn capaciteit behouden.” Wat is bijvoorbeeld de invloed van snel of langzaam laden van een batterij voor de positie van het lithium? Waarom duurt het een half uur om een batterij te laden en geen vijf minuten? Ergens zit er een ‘deuropening’, zoals Wagemaker het typeert, waar al het lithium doorheen moet en waar het dringen is en waar dus de remmende factor zit. Het komende onderzoek is van belang voor huidige batterijen maar nog veel belangrijker voor de batterijen van de toekomst gebaseerd op lithiummetaalanodes. “Hoe die werken of niet werken, dus wat er mis gaat, weten we eigenlijk niet goed genoeg.” Voor het beantwoorden van alle vragen is het van belang om te weten waar het lithium zich bevindt en dat moet mogelijk worden met 3D-projectie.

EÉN ONDERZOEKSGROEP

De nieuwe lithiummijn in Tsjechië waarvan onlangs in de media melding werd gemaakt, is voor Wagemaker een positief bericht. “De mondiale voorraden zijn niet klein, maar de schaalvergroting waar we voor staan, is enorm. Dus daarom is dit goed nieuws. Bovendien ben je nu strategisch beperkt tot een aantal gebieden in de wereld en een grotere verdeling is

➤ Met een nieuw te ontwikkelen detector kan Wagemaker in 3D het pad dat tritium aflegt veel beter volgen.



➤ *“De rode draad is het begrijpen van fundamentele processen in batterijen en het zoeken van de relatie ervan met de prestaties die batterijen leveren. Met die inzichten kunnen we de ontwikkeling van batterijen stimuleren.”*

positief. De capaciteit van een mobiele telefoon is maximaal ongeveer 10 Wh, terwijl dat rond de 65 kWh is voor een Tesla. Je hebt het dan echt over een andere orde van grootte waarvoor je veel meer lithium nodig hebt.” Recyclen is volgens hem daarom heel belangrijk. Daarnaast is er een alternatief in de vorm van natrium

dat chemisch vrijwel hetzelfde is als lithium en vrijwel onbepaald en praktisch gratis gewonnen kan worden. Natriumbatterijen zijn volgens Wagemaker mogelijk, hoewel je iets moet toegeven op de energiedichtheid. “Heel grof gezegd heb je twintig tot dertig procent minder prestaties, maar als lithium in de toekomst door enorme toename in de vraag duurder gaat worden, dan komt het er vanzelf.” In China zijn de eerste startups met de fabricage van natriumbatterijen. Dat het toch weer in China is, ligt volgens Wagemaker voor de hand. China pompt miljarden in de

ontwikkeling dus je mag verwachten dat het daar sneller gaat. “Wij hebben hier in Nederland maar één onderzoeksgroep die zich volledig met batterijen bezighoudt. In China zijn dat er wel duizend.” Overigens is voor de ontwikkeling van natriumbatterijen de nieuwe 3D-NDP-techniek wat minder geschikt omdat het een radioactief natrium vereist. “Maar ik vermoed dat de uitkomsten van het lithiumonderzoek te vertalen zijn naar een natriumbatterij”, aldus Wagemaker. **K**

Menno Jelgersma

NWO

De Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) financiert toponderzoekers, geeft sturing aan de Nederlandse wetenschap via programma's en beheert de (inter)nationale kennisinfrastructuur. De NWO kent drie financieringsvormen voor talentvolle, creatieve onderzoekers die vernieuwend onderzoek doen. Dit is de Vernieuwingsimpuls en betreft een competitief programma dat talentvolle en creatieve onderzoekers een persoonsgebonden financiering biedt. De Vernieuwingsimpuls richt zich op de toekomstige topgroep van wetenschappelijke onderzoekers. Het financieringsinstrument maakt het mogelijk onderzoek naar eigen keuze te doen. Zo krijgt vernieuwend onderzoek een stimulans en wordt de doorstroom bij wetenschappelijke onderzoeksinstituten bevorderd. De Vernieuwingsimpuls omvat drie financieringsvormen, afgestemd op verschillende fasen in de wetenschappelijke carrière van onderzoekers: Veni, voor pas gepromoveerde onderzoekers; Vidi, voor onderzoekers die na hun promotie al enkele jaren onderzoek hebben verricht; Vici voor senior onderzoekers die hebben aangetoond een eigen onderzoekslijn te kunnen ontwikkelen.



DE GITZWARTE BACK-UP VAN GROEN DUITSLAND

Op 1 januari behaalde Duitsland een mijlpaal door op één dag de complete vraag naar stroom met windenergie op te wekken. Het land betreft 36 procent van zijn totale energiebehoefte uit renewables. Duitsland als het groene voorbeeld voor de rest van de wereld; het lijkt een succesverhaal. Toch blijkt Duitsland in de praktijk in zijn totale energieverbruik tweemaal meer CO₂ uit te stoten dan Frankrijk en voor stroom alleen wel vijf keer of meer ondanks de honderden miljarden investering in wind- en zonne-energie.

Duitsland behaalde dit jaar op 1 januari een mijlpaal op het gebied van energietransitie door, hoewel kort, de complete vraag aan stroom met renewables te voorzien. Over het gehele jaar 2017 gezien, presteerde de vierde wereldeconomie het om 36 procent van zijn totale elektriciteitsbehoefte met renewables op te wekken. Het grootste deel aan energie kwam van windturbines. Aan het einde van 2017 telde Duitsland dan ook zo'n 28.000 windturbines op land en ruim duizend op zee. Ook voor 2018 staat weer een grote uitbreiding van het aantal turbines op het programma, al neemt de stijging ten

opzichte van vorige jaren wel wat af. Dat het op 1 januari om 6 uur 's ochtends met renewables lukte, kwam door een combinatie van heel harde wind en geringe vraag na oudjaar, iedereen lag klaarblijkelijk nog op bed op dat vroege tijdstip. 85 procent van de energie was afkomstig van windenergie en de rest van waterkracht en biomassa. Zonne-energie deed natuurlijk niet mee op dat moment van de dag. Zoals breed in de media uitgemeten lijkt Duitsland hiermee het lichtend groene voorbeeld voor de rest van Europa of wellicht zelfs de hele wereld. Want de opstook van steenkool,

bruinkool, gas en kernenergie was volgens Clean Energy Wire op nieuwjaarsdag tot een minimum teruggedraaid en dat is goed nieuws. Aan de andere kant waren de stroomprijzen ook tot een minimum gedaald en op die ochtend zelfs negatief, waardoor het de Duitsers geld kostte om van hun energie naar buurlanden af te komen en daarmee overbelasting van het eigen net te voorkomen.

VERWOESTEND EFFECT VAN BRUINKOOL

De torenhoge investeringen in de renewables die inmiddels honderden miljarden euro's bedragen, heeft nog niet geleid tot waar het allemaal om was begonnen: het tegengaan van de klimaatverandering door het terugdringen van de CO₂-emissies. Dat komt naar het zich laat aanzien door de twee grote spoken die Duitsland tegelijkertijd bevecht: CO₂-reductie en kernenergie. Door Merkels besluit om alle kerncentrales te sluiten, lijkt het CO₂-spook alleen maar manifester te worden. Bij harde wind op zee betalen de Duitsers om van hun overtollige stroom af te komen; als het niet waait draaien de bruin- steenkoolcentrales volop omdat de kernenergie in de ban is gedaan en al verscheidene kerncentrales uit bedrijf zijn genomen. In 2016 waren volgens The Energy Collective zeven van de tien meest vervuilende energiecentrales in Europa Duitse bruinkoolcentrales, wat het idee van Duitsland als ons groene voorland toch wel in een ander daglicht plaatst. Met



het stijgend aantal zonne- en windparken floreert de bruinkoolindustrie ook in 2017 volgens *Trouw*. In heel Duitsland zijn er 43 werkende bruinkoolcentrales. Plus nog eens 64 steenkoolcentrales. Veertig procent van alle opgewekte Duitse stroom komt nog steeds van kolen. Dat die bruinkoolindustrie catastrofaal is voor het milieu is duidelijk. Het is de 'vieste' energiebron met de hoogste emissie en heeft een verwoestend effect op het landschap.

DORPEN ONDER DE SLOOPHAMER

Zo werd onlangs, ondanks protest van de plaatselijke bevolking en activisten de negentiende-eeuwse Sint-Lambertusbasiliek van Immerath in Noordrijn-Westfalen gesloopt. Het duizendjarige dorpje ging al eerder volledig onder sloophamer. De inwoners van Immerath werden massaal verplaatst naar een ander dorp, acht kilometer verderop. Met Immerath zijn in totaal vijftien dorpen van de kaart geveegd voor de lokale Garzweiler bruinkoolmijn die een oppervlakte heeft van maar liefst 66 vierkante kilometer. Saillant was de aanwezigheid van actievoerders van Greenpeace die de sloop probeerden te voorkomen. Ze zien klaarblijkelijk de ironie niet in van enerzijds blind inzetten op renewables maar geen oplossing hebben voor het onbetrouwbare en wisselende energieaanbod van zon en wind. Volgens Ludwig De Wolf en Jos Van der Velden van de Belgische VRT is de Duitse onteigeningswet heel flexibel als het gaat om

het delven van brandstoffen en nog door het naziregime in 1937 uitgevaardigd. Volgens hen hebben Duitse beleidsmakers van de laatste decennia, waaronder een rood-groen bestuur, de wet nooit in twijfel durven trekken. De economische belangen waren te groot. Bruinkool blijft ook de komende jaren een belangrijke energiebron. De grootste bruinkoolreserves bevinden zich in de Lausitz in de zuidoostelijke punt van de voormalige DDR. Vooral hier zullen de komende jaren nog een aanzienlijke hoeveelheid woon- en natuurgebieden moeten verdwijnen. Er zijn twaalf bruinkoolcentrales in dit gebied verdeeld over drie plaatsen, en ze draaien volgens Wilfred van de Poll in *Trouw* op volle toeren. Bruinkool wordt in dagmijnbouw gemijnd met reusachtige machines. Voor de machine aan de gang gaat, wordt het grondwater weggepompt waardoor meren droogvallen, infrastructuur wordt opgeofferd, bomen gekapt en hele dorpen platgewalst. En dat alles om de backup van de renewables te garanderen.

VIEZE MAN VAN EUROPA

Duitsland heeft volgens EUobserver en de German Environment Agency met 906 miljoen ton meer CO₂ geproduceerd dan in het jaar daarvoor. Als je dat wegzet tegen Frankrijk dat in datzelfde jaar 447 miljoen ton CO₂ produceerde: welk land doet dan meer voor het klimaat en wie zou nou eigenlijk het positieve model moeten zijn? Als je je dan realiseert dat Duitsland vol inzet op de stroomproductie blijkt de relatie

nog schever. Op www.electricitymap.org kan je op elk moment van de dag kijken wie er meer CO₂ produceert bij de elektriciteitsproductie en wat blijkt? Op een willekeurige dag (woensdag 14 maart om 17:00 uur) produceert Duitsland 477 gCO₂eq/kWh (low carbon 42% - renewable 26%) en Frankrijk 53 gCO₂eq/kWh (low carbon 94% - renewable 26%). Dat is negen maal minder CO₂ bij een gelijke percentuele inzet van renewables en 97% procent low carbon. Duitsland blijkt op dit tijdstip gewoon bij de vieze mannetjes van Europa te horen, samen met Denemarken dat op datzelfde moment acht keer meer CO₂ produceert dan Frankrijk, ondanks diens claim van 44 procent dekking van windenergie voor de stroomproductie. Beide landen presteren op 14 maart net zo goed als Turkije, maar minder goed dan Rusland of Oekraïne. Misschien kunnen onze Tweede Kamerleden daar hun licht opsteken om net zo 'goed' als Duitsland te presteren voor ze verantwoordelijkheid gaan nemen voor de honderd miljard euro aan windmolens in de Noordzee. Maar ik raad ze aan op bezoek te gaan bij de schoonste landen: Noorwegen, Zweden en Frankrijk. Noorwegen heeft bergen en heel veel waterkracht. Zweden en vooral Frankrijk hebben kernenergie. Wij hebben geen bergen, wel voldoende koelwater. De keuze is aan u. **K**

Menno Jelgersma



**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 magazine Kernvisie en de website. Daarnaast verzorgen vertegenwoordigers van de stichting lezingen en gastcolleges. De stichting streeft er naar om de informatie over kerntechnologie toegankelijk en aantrekkelijk te maken voor haar lezers en bezoekers van hun website.

WILT U ZICH AANMELDEN ALS BEGUNSTIGER VAN STICHTING KERNVISIE?

Geef dan uw gegevens door via het contactformulier op de website:

www.kernvisie.com

** De bijdrage is minimaal 25,- euro per jaar (studenten 10,- euro), 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