

# XK

**KERNVISIE  
MAGAZINE**

Urenco recyclet  
splijtstof

Candu-reactor  
produceert kobalt-60

Ontwikkeling  
U-Battery bij RID

**1**  
Februari  
2022

UITGAVE VAN  
STICHTING KERNVISIE

**Gemeente  
Borsele blij met  
nieuwbouwplannen  
kerncentrales**

DE BOL

De reactor zit in een stalen bol  
stalen m... zorgt ervoor dat  
...  
...  
om de reactor  
...  
... op 24 meter f

Kernvisie Magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**  
EEN ENERGIEK INITIATIEF

**Jaargang 17**  
**Nummer 1**  
**Oktober 2022**  
**Kernvisie verschijnt tweemaandelijks**  
**Oplage 2.200 ex**

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

### Bestuur Stichting KernVisie

Ir. A.M. Versteegh, voorzitter  
Ir. G.H. Boersma, secretaris  
Ir. E.W. Schuuring, penningmeester  
J.D. Bruin  
Ing. W. Hiddink  
Drs. J.J. de Jong  
Ir. J.C.L. van Cappelle  
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  
Internet: www.kernvisie.com  
Bankrekening NL19 INGB 0006 8513 70, t.n.v. Kernvisie,  
Foundation for Nuclear Technology te Zwijndrecht.

### Op de Cover

Gerben Dijksterhuis  
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

### Twee nieuwe kerncentrales en de KCB langer open

**W**e hebben er jaren op moeten wachten maar nu lijkt er toch echt sprake te zijn van een ommezwaai: In het nieuwe regeerakkoord staat dat de kerncentrale Borssele (KCB) langer open mag blijven maar ook dat het nieuwe kabinet de benodigde stappen wil zetten voor de bouw van twee nieuwe kerncentrales. Dat is goed nieuws voor de sector en goed nieuws voor een toekomstige CO<sub>2</sub>-vrije energiemix. Maar ook voor Gerben Dijksterhuis, burgemeester van Borsele. Hij is heel enthousiast over het nieuwe kabinetsvoornemen en wil het belang van bedrijfsduurverlenging en nieuwbouw voor de gemeente Borsele onder de aandacht brengen. Helaas is er ook treurig nieuws. Emeritus-hoogleraar ir. Rob Kouffeld is op 21 januari is overleden. Rob was de 'founding father' van de Stichting KernVisie. Nadat hij in 2011 het stokje van het voorzitterschap doorgaf, bleef hij actief als eindredacteur van Kernvisie Magazine. Wij verliezen met Rob een gewaardeerde collega en vriend en zullen zijn humor, betrokkenheid en deskundigheid zeer missen. **K**

*André Versteegh*  
voorzitter Stichting KernVisie





**P04**

## Energie

### Gemeente Borsele blij met nieuwbouwplannen

In het nieuwe regeerakkoord staat niet alleen dat de kerncentrale Borssele (KCB) langer open mag blijven, maar ook wil het nieuwe kabinet de benodigde stappen zetten voor de bouw van twee nieuwe kerncentrales. Gerben Dijksterhuis, burgemeester van de gemeente Borsele wil graag het belang van bedrijfsduurverlenging, nieuwbouw voor de gemeente Borsele en de noodzaak van het koesteren van het draagvlak onder de aandacht brengen.

## P14 Maatschappij

### Urenco recyclet splijstof voor Franse kerncentrales

Urenco heeft een langjarig recycling contract met het Franse elektriciteitsbedrijf EDF. EDF levert aan Urenco opgewerkt uranium dat is teruggewonnen uit gebruikte splijstof uit hun kerncentrales. Door het terugwinnen van het uranium en het herverrijken in de verrijkingsfabriek in Almelo wordt tot 96% van de materialen uit de splijstofstaven gerecycled.



**P16**

## Medisch

### Candu-reactor produceert ook kobalt-60

Onlangs werd tijdens een onderhoudsstop uit eenheid 7 van de Canadese Bruce-kerncentrale voldoende kobalt-60 gehaald om 10 miljard stuks medische apparatuur te steriliseren. Het kobalt-60 is een 'bijvangst' afkomstig van de roestvaststalen regelaars in de reactorkern.

## P08 Energie

### Promotieonderzoek RID draagt bij aan ontwikkeling U-Battery

Sinds april 2021 werkt Marc van den Berg voor zijn promotieonderzoek bij het Reactor Instituut Delft / TU Delft aan een high-fidelity code voor de U-Battery®, een micro modulaire reactor die makkelijk te vervoeren is en ongeveer tien jaar met dezelfde lading splijstof  $\text{CO}_2$ -vrije elektriciteit of warmte kan opwekken. Aansluitend zal Van den Berg met 'gereduceerde orde modellen' een code schrijven waarmee de reactor heel snel kan worden doorgerekend.



## P12 InBeeld

Het RID van de TU Delft zet weer stap vooruit als proeftuin voor innovatie.

## P17 Column

Lars Roobol: Energietransitie: wat is het grote plan?

## P20 Maatschappij

Twee doctoren ontvangen doctoraat aan de TU Delft: Jaén Alonso Ocadiz Flores en Sara Mastromarino.

## P20 Boekbespreking

Rationaliteit van Steven Pinker.



**I**n het nieuwe regeerakkoord staat niet alleen dat de kerncentrale Borssele (KCB) langer open mag blijven maar ook wil het nieuwe kabinet de benodigde stappen zetten voor de bouw van twee nieuwe kerncentrales. Gerben Dijksterhuis, burgemeester van de gemeente Borsele, is heel enthousiast over dit voornemen en wil graag twee onderwerpen onder de aandacht brengen: Het belang van bedrijfsduurverlenging en nieuwbouw voor de gemeente Borsele en de noodzaak van het koesteren van het draagvlak.

Energie

# Gemeente Borsele blij met nieuwbouwplannen kerncentrales

Burgemeester Gerben Dijksterhuis: “We hebben de ruimte, de bestemmingen, de ervaring, de knowhow, dus we willen gewoon dat er geïnvesteerd wordt en het doorgaat.”

Om de aangekondigde stappen mogelijk te maken wordt tot 2030 vijf miljard euro uitgetrokken. Ook gaat het kabinet zorgen voor “veilige, permanente opslag van kernafval.” Dijksterhuis, sinds 2017 de burgemeester van de gemeente Borsele, waar het dorp Borssele deel vanuit maakt, is uitgesproken positief. “Het komt allemaal precies op tijd. Het feit dat de coalitie kiest voor de bedrijfsduurverlenging van de Kerncentrale Borssele die anders in 2033 zijn deuren moet sluiten en de bouw van twee nieuwe kerncentrales betekent veel voor Nederland, Zeeland als regio maar vooral voor de gemeente Borsele. Natuurlijk staat veiligheid voorop, maar ik ben ook blij dat we nu stappen gaan zetten.”

## Belang voor de gemeente Borsele

Dijksterhuis heeft naar aanleiding van het regeerakkoord twee onderwerpen die hij graag onder de aandacht wil brengen. Ten eerste wil hij uitleggen waarom de bedrijfsduurverlenging en nieuwbouw van twee kerncentrales voor de gemeente van belang zijn. Dijksterhuis: “Borssele is de ideale locatie voor een uitbreiding. De mensen in de omgeving zijn al gewend aan de Kerncentrale Borssele die al sinds 1973 operationeel is. Het draagvlak is hier groot. EPZ, de eigenaar van de centrale is ook een belangrijke werkgever in de regio.” Dijksterhuis ziet geen problemen waar het gaat om eventuele demonstraties. Dat er mensen zijn die willen demonstreren vindt Dijksterhuis prima. “Ik vind dat mensen die er een andere mening op na houden juist bijdragen aan het gesprek, zolang we het maar wel over dezelfde feiten hebben, als gemeente willen we graag bijdragen aan de dialoog.”

Overall in Nederland mogen kerncentrales gebouwd worden, mits aan de veiligheidseisen wordt voldaan en het bestemmingsplan dat toestaat. Er zijn in Nederland echter locaties aangewezen waar ruimtelijke ontwikkelingen niet mogen leiden tot het belemmeren van het bouwen van een kerncentrale, de

zogenoemde waarborglocaties: Borssele, Eemshaven en Maasvlakte I. Eén daarvan is afgefallen. De Tweede Kamer heeft onlangs een motie aangenomen om Eemshaven te schrappen als waarborglocatie. Dijksterhuis laat geen twijfel bestaan over zijn voorkeur voor de locatie. “Die kerncentrales komen wat ons betreft in de gemeente Borsele. Want als het ergens kan, dan kan het hier. We hebben de ruimte, de bestemmingen, de ervaring, de knowhow, dus we willen gewoon dat er geïnvesteerd wordt en het doorgaat.” Ook voor wat betreft de grote behoefte aan geschoold personeel heeft Dijksterhuis al een oplossing bedacht. “Hemelsbreed, ongeveer 20 kilometer hiervandaan en net over de grens met België staat de kerncentrale Doel die vier kernreactoren telt. Met de op handen zijnde sluiting in 2025 komen er heel veel ervaren mensen op straat te staan die we in de nieuwe kerncentrales heel goed zouden kunnen gebruiken.”

## Koester het draagvlak

Het tweede onderwerp dat Dijksterhuis wil toelichten betreft het draagvlak voor ingrijpende ontwikkelingen voor de regio. Dat er draagvlak voor kerntechnologie is in Zeeland is waardevol, maar volgens Dijksterhuis is het dit geen vanzelfsprekende zaak. Hij benadrukt dan ook dat luisteren naar en communiceren met de Zeeuwen essentieel is. Het gaat daarbij niet alleen om het draagvlak voor de bedrijfsduurverlenging van de KCB en de nieuwbouw maar voor het totaal aan grote infrastructurele aanpassingen die met de energietransitie te maken hebben. “We zijn als Borsele één van de stopcontacten van Nederland. Windenergie van de Borssele-windparken komt hier aan land en over enige tijd ook de windenergie afkomstig van IJmuiden Ver. De infrastructuur die daarbij hoort, heeft impact op de omgeving. Willen we dat voor de directe omgeving dragelijk houden dan moet je daar vooraf heel goed over nadenken.” Dijksterhuis vertelt dat de nieuwe bovengrondse 380 kV

hoogspanningsleiding heel prominent aanwezig is. “Dat is op zich niet zo'n probleem en we zijn zeer betrokken bij de regionale industrie, maar we houden ook wel heel erg van ons unieke landschap.” Er is groot draagvlak voor de energietransitie, maar om dat te behouden is planning en overleg noodzakelijk.

Wat betreft planning en langetermijnvisie geeft Dijksterhuis als voorbeeld dat je moet voorkomen dat er enerzijds een bos wordt aangeplant als CO<sub>2</sub>-compensatie terwijl datzelfde bos in een later stadium weer op de schop moet als er bij wijze van spreken waterstofleidingen moeten komen. “We willen bovendien aan ‘de voorkant’ betrokken blijven en niet het resultaat zijn van landelijk beleid dat wordt doorgespeeld naar de provincie, waarna de gemeentes op de hoogte worden gebracht van wat er staat te gebeuren.” Dijksterhuis wil het draagvlak koesteren door de omgeving te betrekken bij de ontwikkelingen die er gaan komen om gezamenlijk tot een acceptabele route richting de energietransitie te komen. Om tot acceptatie te komen denkt hij bijvoorbeeld aan de mogelijkheid om een deel van de leidingen ondergronds aan te brengen. “Als de regio zich wil inzetten voor de energietransitie dan moet daar natuurlijk ook wel wat tegenover staan.” Op zich zijn de contacten tussen de verschillende overheden al gelegd. Borsele heeft met betrekking tot de windenergie die via de gemeente Borsele verder het land ingaat al de nodige contacten bij de desbetreffende ministeries. “Maar als ik zie wat er nog allemaal aankomt aan ontwikkelingen op het gebied van waterstof en kernenergie dan hebben we echt nog wel het nodige te doen. We moeten niet iedere ontwikkeling als los onderdeel zien, maar als één plaatje voor de energietransitie. Dan kunnen we samen met de directe omgeving nadenken over passende oplossingen.”

## Een goed gesternte

Dijksterhuis heeft contacten met andere Europese gemeenten waar kerncentrales



© Irene van Kessel

**➤** Burgemeester Dijksterhuis: "EPZ, de eigenaar van de Kerncentrale Borssele is een belangrijke werkgever in de regio."

een voorwaarde om overschrijdingen te voorkomen, is dat er vooraf wordt vastgesteld welke wetten en regels er nodig zijn en wat de toezichthouder vindt. Bepaal de koers, geef er een klap op en ga vervolgens onder een goed gesternte nieuwe centrales bouwen zonder van de regels af te wijken." Als de bouw van start gaat vergt dat voor de regio een enorme omschakeling. Gedurende de bouwfase zullen duizenden mensen hun weg naar de bouwplaats moeten vinden. Dat heeft niet alleen gevolgen voor de bouwbedrijven die er aan de slag gaan maar ook voor toeleveringsbedrijven, horeca en lokale overheden, en dat alles voor een periode van acht tot tien jaar. Ook denkt Dijksterhuis aan bijvoorbeeld de mogelijkheid om samen met de Hogeschool Zeeland een module te ontwikkelen waarmee studenten die zich verder willen ontwikkelen in nucleair een goede basis krijgen. "Maar het zijn niet alleen WO- en HBO-banen. Je hebt geschoold personeel nodig op alle niveaus. Daar moet je als regio ook iets mee. We steken de hand uit, we weten dat het goed past en laten we vooral kijken wat we nodig hebben om het tot een succes te maken." **K**

worden gebouwd, zoals bij Hinkley in het VK en Flamanville in Frankrijk. "Wat ik op beide locaties hoor, is dat er vertragingen optreden omdat tijdens de bouw de regels

van het bouwproces veranderen. Dat vind ik een belangrijk punt van aandacht. Wil je bouwen, dan is er op de markt beschikbaar wat zich bewezen heeft. Maar

*Menno Jelgersma*

## Gerben Dijksterhuis

Gerben Dijksterhuis is de burgemeester van de gemeente Borsele sinds juni 2017. Voor zijn aanstelling was Dijksterhuis wethouder in Zeewolde en hield hij zich onder meer bezig met de ontwikkeling van windparken op land. "Het stond voor mij helemaal niet vast dat ik burgemeester wilde worden en ook na het lezen van verscheidene profielschetsen had ik nog steeds niet het idee dat het ambt bij mij zou passen." Tot de vacature in Borsele voorbijkwam. "Die sprong er echt uit en dan vooral omdat het om een gemeente met een 'opgestroopte mouwenmentaliteit' gaat en dat spreekt mij aan." De praktische insteek die de Zeeuwen eigen is en familiebanden in de provincie deden de rest. Wat Borsele natuurlijk uniek maakt in Nederland is dat het de enige gemeente is met een kerncentrale en ook de opslag voor nucleair afval is binnen de gemeentegrenzen. Om ingebed te raken in de materie heeft Dijksterhuis diverse kennissessies gevolgd. Regelmatig contact met EPZ en COVRA hebben ervoor gezorgd dat de kennis gaandeweg is gegroeid, zoals Dijksterhuis het zelf omschrijft. "Daar komt bij dat ik vice president ben van GMF Europe (Group of European Municipalities with Nuclear Facilities), een internationale vereniging van gemeenten met nucleaire faciliteiten." Dijksterhuis legt uit dat de leden binnen de vereniging werken aan thema's rond nucleair. Zo zijn er werkgroepen ontmanteling, nieuwbouw en veiligheid. In oktober zal GMF Europe een bezoek aan Nederland brengen. "Tijdens dat bezoek zullen we ons met name op het onderwerp veiligheid richten." Dijksterhuis onderhoudt nauwe contacten met de mensen van de COVRA en de KCB. "We weten elkaar regelmatig te vinden", licht Dijksterhuis toe: "Als er nieuwe burgemeesters zijn in Zeeland of mensen uit Den Haag dan neem ik ze altijd mee naar de KCB. We proberen de contacten altijd warm te houden en dat lukt heel goed."

# IAEA wil kankerzorgcapaciteit verhogen

**D**e Internationale Organisatie voor Atoomenergie (IAEA) heeft op Wereldkankerdag (4 februari) een plan gelanceerd om het ernstige tekort aan kankerzorgcapaciteit in veel armere landen aan te pakken. De focus ligt hierbij op Afrika waar mensen vaak aan de ziekte sterven omdat zij geen toegang hebben tot mogelijk levensreddende nucleaire geneeskunde en radiotherapie.

Directeur-Generaal Rafael Mariano Grossi benadrukte dat de tijd dringt om de groeiende mondiale kanker crisis aan te pakken en kondigde het IAEA-initiatief Rays of Hope aan, aan de vooravond van een top van Afrikaanse staatshoofden in de Ethiopische hoofdstad Addis Abeba. Van de 55 leden van de Afrikaanse Unie beschikken meer dan 20 landen nog niet over één radiotherapieapparaat. "Miljoenen mensen in minder ontwikkelde landen sterven aan kanker die vaak te behandelen en te genezen is. Wij hebben de morele plicht ons uiterste best te doen om deze trieste situatie om te buigen", aldus Grossi. Hij legde een gezamenlijke verklaring af met directeur-generaal Tedros Adhanom Ghebreyesus

van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO), waarin hij verklaarde dat de behandeling van kanker in vele delen van de wereld ontoegankelijk blijft en dat "de ongelijkheid bijzonder acuut is" in Afrika. Het totale aantal sterfgevallen door kanker zal de komende twee decennia wereldwijd naar verwachting met 60 procent stijgen, tot 16 miljoen mensen per jaar, waarbij de lage- en middeninkomenslanden - in Afrika en elders - het zwaarst te lijden hebben onder dit mondiale gezondheidsdrama, met sterftcijfers die veel hoger liggen dan in rijkere regio's. "Samen, en met de nieuwe impuls van Rays of Hope blijven de IAEA en de WHO vastbesloten hun langdurige nauwe samenwerking op te voeren om

gemeenschappelijke doelen te bereiken, de ongelijkheidsverschillen in de kankerzorg weg te werken en sneller vooruitgang te boeken bij de verwezenlijking van de 2030 VN-agenda voor duurzame ontwikkeling," aldus de gezamenlijke verklaring. "Rays of Hope biedt een manier om de wereldwijde ongelijkheid in kankerzorg te verhelpen, met concrete projecten die de vereiste infrastructuur opzetten of uitbreiden, radiotherapeutische apparatuur aanschaffen en personeel opleiden," vertelde Grossi van de IAEA aan het publiek van Afrikaanse leiders en hoge regeringsambtenaren. "Hiermee kunnen we vele levens redden en gemeenschappen en economieën ondersteunen die afhankelijk zijn van de gezondheid van hun bevolking." Rays of Hope zal een coalitie van partners en donoren uit de overheidssector, de particuliere sector en de bredere internationale gemeenschap tot stand brengen, waarbij ook nauw met de WHO zal worden samengewerkt. Verschillende landen hebben al te kennen gegeven dat zij het initiatief willen steunen. De openingsmanifestatie werd mede georganiseerd door de Senegalese president Macky Sall, de aanstaande voorzitter van de Afrikaanse Unie, en Didier Mazenga, minister van Regionale Integratie van de Democratische Republiek Congo **K**

Bron: IAEA



## In Memoriam: Rob Kouffeld

Ons bereikte het droevige bericht dat emeritus hoogleraar ir. Rob Kouffeld op 21 januari is overleden. Rob was onze 'founding father'. Hij studeerde in de jaren zestig Koude Techniek aan de Technische Universiteit Delft. Na zijn afstuderen in 1965 ging hij werken bij TNO. Van 1 september 1984 tot 1 mei 1988 was hij deeltijdhoogleraar Energievoorziening aan de TU Delft. Ook werkte hij in de jaren tachtig bij Electron in Maassluis. Al ging hij op 1 september 2000 officieel met pensioen, hij bleef verbonden met zijn vakgebied en richtte in oktober van hetzelfde jaar nog de Stichting KernVisie op. In de oprichtingsstatuten staat vermeld dat het doel van de stichting het realiseren van een maatschappelijk draagvlak voor kernenergie is. Bovendien richtte de stichting zich op het stimuleren van onderzoek ten behoeve van de ontwikkeling van een inherent veilige en economisch aantrekkelijke vorm van kernenergie, met name de 'High Temperature Reactor-Gas Turbine'. Het bestuur bestond naast Rob als voorzitter uit Gulian Crommelin, prof. dr. ir. Tim van der Hagen, prof. dr. ir. Hugo van Dam, dr. ir. Alike van Heek en Henk Brand. Rob heeft als voorzitter de stichting jaren met veel enthousiasme en kennis van zaken geleid. Nadat hij in 2011 het stokje van het voorzitterschap doorgaf, bleef hij actief als eindredacteur van het door de stichting uitgegeven Kernvisie Magazine. Helaas zag hij zich door toenemende gezondheidsklachten genoodzaakt het bestuur te verlaten. Wij verliezen met Rob een gewaardeerde collega en vriend en zullen zijn humor, betrokkenheid en deskundigheid zeer missen. We wensen zijn familie en vrienden veel sterkte met het verlies. **K**

## Promotieonderzoek RID draagt bij aan ontwikkeling U-Battery

**S**inds april 2021 werkt Marc van den Berg voor zijn promotieonderzoek bij het Reactor Instituut Delft / TU Delft aan een high-fidelity code voor de U-Battery® (een initiatief van Urenco), een micro modulaire reactor die makkelijk te vervoeren is en ongeveer tien jaar met dezelfde lading splijtstof CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit of warmte kan opwekken. Aansluitend zal Van den Berg met 'gereduceerde orde modellen' een code schrijven waarmee de reactor heel snel kan worden doorgerekend. "Hiermee kunnen we een real-time simulator bouwen of onzekerheidsanalyses uitvoeren", aldus Van den Berg.

In november vorig jaar kwamen wereldleiders uit bijna 200 landen bijeen in Glasgow voor de COP26, de Conferentie van de Verenigde Naties over Klimaatverandering. Eén van de opmerkelijkste bevindingen van de COP26 was de duidelijke wereldwijde steun voor kernenergie. "Deze COP is misschien wel de eerste waar kernenergie een stoel aan de tafel heeft, waar erover is nagedacht en iedereen van gedachten heeft kunnen wisselen zonder de ideologische last die daarvoor bestond", zei Rafael Mariano Grossi, hoofd van het Internationaal Agentschap voor

Atoomenergie (IAEA). Een relatief nieuwe en kansrijke benadering van kernenergie is de ontwikkeling van Small Modular Reactors (SMRs) die op industriële locaties kunnen worden geplaatst en een specifieke bron van warmte en kracht leveren. U-Battery® maakt deel uit van deze nieuwe reactoren.

### High-fidelity

Bij het RID van de TU Delft werkt Van den Berg op dit moment als promovendus aan een high-fidelity code voor de U-Battery®, een micro modulaire SMR. High-fidelity verwijst

naar de natuurgetrouwheid van het model. De term is wellicht meer bekend van het luisteren naar muziek waarbij een HiFi-installatie een zo natuurgetrouw mogelijke weergave van de originele muziek geeft. Zo probeert Van den Berg een zo exact mogelijke kopie van de reactor op zijn computer te krijgen. "Het doel daarvan is om natuurgetrouwe resultaten te simuleren. Dat doe je door de 'werkelijkheid' in heel veel kleine stukjes op te delen en daar een versimpelde versie van lastige formules op te laten. En als je die stukjes maar klein genoeg maakt, krijg je een nauwkeurig beeld." Dus hoe meer onderdelen deel uitmaken van de berekening, hoe nauwkeuriger de resultaten. Net als de grootte van de input bij statistiek een betere weergave van de werkelijkheid biedt, of een groter aantal pixels bij een foto de kwaliteit verbetert. "Je hakt je onderwerp in losse delen die allemaal van invloed zijn op elkaar en deze los je allemaal tegelijk op. Dit is beter bekend als de finite element methode of eindige-elementenmethode."

### Gereduceerd ordemodel

Van den Berg hoopt dat hij met de uitkomsten van zijn huidige onderzoek al in april 2022 een groot deel van de gewenste scenario's kan doorrekenen. Als voorbeeld noemt hij het doorrekenen van de neutronenhuishouding die van invloed is op de vermogensontwikkeling, wat deze ontwikkeling voor gevolgen heeft voor de temperatuur en wat dat dan weer tot gevolg heeft voor de neutronenhuishouding. "Uiteindelijk wil je weten hoeveel neutronen je nodig hebt om de kettingreactie in stand te houden en bij welke temperatuur dat gebeurt." Het onderzoek van Van den Berg staat los van de ontwikkelingen bij het U-Battery®-consortium, maar hij wil wel graag in contact komen om de berekeningen die uit zijn onderzoek volgen te vergelijken met de berekeningen die door het consortium zijn uitgevoerd. "Niet in de laatste plaats omdat zij veel meer input hebben over bijvoorbeeld de materialen die ze willen toepassen." Naast dit doel is er nog een tweede doel en dat betreft de ontwikkeling van een zogeheten 'gereduceerd ordemodel'. "Dat is een code



waarmee de reactor heel snel (seconde of sneller) kan worden doorgerekend. Zo kunnen we een real-time simulator bouwen of onzekerheidsanalyses uitvoeren." Het gereduceerd ordemodel is een techniek om de rekenkundige complexiteit van wiskundige en natuurkundige modellen in simulaties drastisch te verminderen.

De basis hiervoor zijn de uitkomsten uit het high-fidelity-onderzoek. "Als je de oplossing hebt van de neutronenhuishouding in elk van de honderdduizend elementen op 100% en op 80% vermogen, dan zal het duidelijk worden dat het profiel van deze neutronenflux een veel globaler karakter heeft. In plaats van een oplossing op elk van de elementen, kan deze goed worden benaderd door een tiental fundamentele vormen met elk een afzonderlijke wegingsfactor op vol en half vermogen en alles daartussen, wat de berekeningen enorm versimpelt. Hetzelfde geldt voor de temperatuur." Dit heeft tot gevolg dat je veel sneller berekeningen kan uitvoeren en ook veel sneller kan reageren op veranderingen. Volgens Van den Berg is het gereduceerd ordemodel een nieuwe en veelbelovende stap binnen de modellering van nieuwe reactoren. In 2024 zal Van den Berg zijn promotieonderzoek afronden. **K**

Menno Jelgersma

## Marc van den Berg

Marc van den Berg studeerde technische natuurkunde aan de TU Delft waar hij in 2018 afstudeerde, waarna hij filosofie ging studeren aan de UvA en in 2020 afstudeerde. Hij weet niet of hij filosofie direct kan inpassen in zijn huidige werk, maar ziet wel dat bepaalde vraagstukken duidelijkheid kunnen verschaffen. "Waar komt ethiek nou eigenlijk vandaan? Hoe komt het dat we dingen willen en vinden zonder dat we daar een basis voor hebben?" De belangrijkste reden om filosofie te gaan studeren was om weg te stappen bij het exacte en meetbare. "Bij de meeste studies in Delft worden studenten opgeleid tot logische denkers. Maar juist het niet-meetbare zoals onze emoties en morele kompas spelen in het leven een minstens zo grote rol." Filosofie zal nooit een eenduidig of absoluut antwoord geven op de vraag of een technologie zoals kernenergie inherent goed of fout is: "Maar het geeft er wel grip op en kan nieuwe perspectieven bieden zodat iedereen zijn of haar kompas kan richten." Van den Berg denkt dat de gemiddelde natuurwetenschapper ernaar neigt zich tot feiten te beperken (wat in onderzoek overigens goed werkt), maar het kan zeer nuttig kan zijn om onderwerpen intuïtief te benaderen. "In werkelijkheid ontstaat een probleem pas in onze interpretatie van de feiten, waarbij voor- en tegenstanders van bijvoorbeeld kernenergie als het ware samenkomen. Feiten krijgen pas betekenis tegen de achtergrond van ons gevoel. Ik zou iedere natuurwetenschapper (of eigenlijk ieder mens) dan ook van harte aanmoedigen de filosofie in te duiken." Na zijn afstuderen stond Van den Berg open voor een promotieonderzoek, met name waar het ging om een onderzoek op het gebied van kernenergie. "Ik vind vooral de natuurkunde die erachter zit interessant en het was mijn gok dat kernenergie weer 'nodig' zou worden." Een vooruitziende blik gezien het recente voornemen van het kabinet om twee kerncentrales te bouwen. "Als er gebouwd mag worden, ontstaat er onmiddellijk een enorme behoefte aan kennis die nu ontbreekt." Afgelopen april is Van den Berg gestart. Een promotietraject loopt standaard 4 jaar.

## U-Battery®

De U-Battery® is een voorbeeld van de zogeheten Small Modular Reactors (SMR) die CO<sub>2</sub>-vrije stroom en warmte kunnen leveren, maar verschilt van de meest voorkomende ontwerpen. Het gaat om een micro reactor die aanzienlijk kleiner, grafietgemodereerd en gasgekoeld is. De U-Battery® is gebaseerd op bestaande technieken, maar is door zijn kleine afmeting en relatief lage vermogen een inherent veilige reactor. De reactor is met name geschikt voor industriële complexen en locaties die niet op het net zijn aangesloten. De reactor maakt gebruik van TRISO-splijtstof die bestaat uit bolletjes uraniumdioxide voorzien van een koolstof coating wat elk deeltje zijn eigen containment geeft. Deze bolletjes worden met grafiet in pellets geperst, die samen brandstofstaven vormen. Elke U-Battery® unit produceert 10 MWth en kan tot 4 MWe stroom leveren en proceswarmte tot 750 graden Celsius. Daarnaast is de U-Battery® geschikt voor modulaire fabricage, is terrorismebestendig en kan draaien zonder personeel. Het concept van de U-Battery® werd in 2008 op initiatief van Urenco ontwikkeld door het Dalton instituut van de universiteit van Manchester (VK) en de TU Delft. Het ontwerp bureau van U-Battery® is gevestigd op de Britse vestiging van Urenco in Capenhurst. In september maakte het U-Battery®-consortium bekend dat het een mock-up van de reactor op ware grootte had gebouwd met een reactordrukvat, het tussenvat voor de warmtewisselaar en het verbindingskanaal. De mock-up stelt de fabrikant in staat de vereisten voor het conceptontwerp te bepalen en de operationele veiligheid van de kerncentrale te rechtvaardigen.



# Twee kerncentrales VS blijven open door actie Generation Atomic

**D**e pro-nucleaire beweging Generation Atomic heeft in de Verenigde Staten een grote overwinning behaald, omdat ze voor belangrijke wetgeving heeft gezorgd die de toekomst van de kerncentrales van Byron en Dresden in Illinois veiligstellen. De twee centrales produceren met 35 TWh per jaar ruim twee keer meer CO<sub>2</sub>-vrije energie in Illinois dan wind en zon tezamen.

**K** Eric Meyer, oprichter en uitvoerend directeur van Generation Atomic.

Er staan zes kerncentrales in Illinois die tezamen voor 85 procent van de koolstofvrije elektriciteit zorgen. Byron en Dresden leveren van die 85 procent maar liefst 30 procent, maar stonden op het punt van sluiten als gevolg van extreem lage gasprijzen en het niet in aanmerking komen van groene subsidies die zonne- en windenergie wel krijgen terwijl beide centrales ruim twee keer meer CO<sub>2</sub>-vrije stroom aan het net leveren onafhankelijk van weer en wind.

## 1132 faxberichten

Niet alleen zou Illinois een derde van zijn schone energie zijn kwijtgeraakt, maar als

de twee centrales dicht gingen zouden meer dan 2.000 mensen hun baan verliezen en 4 miljoen huizen op fossiele brandstoffen overschakelen. Achter de overwinning zit de 'grassroots' organisatie Generation Atomic die in de afgelopen twee jaar onvermoeibaar heeft gestreden vanaf het moment dat de sluitingen waren aangekondigd. Met vrijwilligerswerk gericht op media, wetgevers en belangrijke onderhandelaars heeft Generation Atomic een cruciale rol gespeeld bij het voorkomen van deze sluitingen. Met een formulier op de website van Generation Atomic konden voorstanders van kernenergie direct faxberichten sturen

naar vice-gouverneur Christian Mitchell van Illinois, verschillende senatoren en vertegenwoordigers. In totaal zijn er 1132 verstuurd. Generatie Atomic heeft ook verschillende ontmoetingen gehad met wetgevers en hun medewerkers, waarbij rechtstreeks met hen is gesproken over de consequenties van het sluiten van Byron en Dresden juist nu, midden in een klimaatcrisis. In samenwerking met de afdeling van de American Nuclear Society aan de universiteit van Illinois werden twee trainingssessies voor wetgevingsbezoeken gehouden om vrijwilligers voor te bereiden op hun lobbycampagnes.

## Hartstochtelijk pleidooi

“We hebben verschillende argumenten gebruikt, afhankelijk van de partij en de geografische ligging ten opzichte van de kerncentrales. Bij Democraten benadrukten we de goede vakbondsbanen en de klimaatvoordelen. Bij Republikeinen lag de nadruk op betaalbare en betrouwbare stroomvoorziening en de werkgelegenheid in plattelandsgebieden”, aldus Eric Meyer, oprichter en uitvoerend directeur van Generation Atomic. Hij vertelt dat in de laatste week voordat de wet werd goedgekeurd, vrijwilligers van Generation Atomic bijna 70 telefoontjes vanuit een callcenter pleegden naar de kantoren van belangrijke onderhandelaars over het wetsvoorstel, om onze zaak te bepleiten om de centrales te redden. Tot slot hield nucleair ingenieur Alyssa Hayes een hartstochtelijk pleidooi voor de Assemblee om de kerncentrales te redden. Hayes getuigenis richtte zich op de essentiële belastinginkomsten die grote kerncentrales opleveren voor verarmde gebieden in het land.

## Diablo Canyon

In de VS krijgen alle centrales een exploitatievergunning voor 40 jaar, waarna ze verlengingen van 20 jaar kunnen aanvragen. Onlangs hebben centrales in Pennsylvania en Florida hun tweede verlenging tot 80 jaar gekregen. Byron heeft al een vergunning gekregen tot 2045. De eerste verlenging van Dresden loopt af in 2030. Zij zullen nog eens 20 jaar moeten aanvragen om daarna in bedrijf te blijven. Naast de Dresden- en de Byron-kerncentrale staan er nog enkele kerncentrales onder economische druk, zoals de Davis Besse en Perry in Ohio en de Palisades-centrale in Michigan. Meyer: “De federale wetgeving zal waarschijnlijk voor de financiering van schone energie-infrastructuur kredieten voor schone energie verstrekken voor bestaande kerncentrales (naast financiering voor geavanceerde reactoren). We zullen onze

aandacht binnenkort wel verleggen naar de redding van Diablo Canyon, de laatste kerncentrale van Californië.” Volgens Meyer zijn de belangrijkste uitdagingen voor Diablo Canyon van politieke aard. “In 2016 werd besloten de centrale in 2024-25 te sluiten, maar in het licht van de strijd van de staat met stijgende elektriciteitsprijzen en een wankel

(Finland) zijn enkele van de groepen waar we graag mee samenwerken, naast de vele geweldige afdelingen van de Young Generation in Nuclear en Women in Nuclear. De Young Generation in Nuclear heeft de leiding genomen in de planning van de COP26-aanwezigheid van dit jaar en het was een plezier om met hen samen te werken.” Met de



✎ *Generation Atomic is internationaal georiënteerd. Meyer: “We hebben in het verleden veel samengewerkt bij internationale acties en dat zullen we blijven doen.”*

elektriciteitsnet, kunnen we dit besluit misschien ongedaan maken.”

## Duitsland en België

Generation Atomic is internationaal georiënteerd. Meyer: “We hebben in het verleden veel samengewerkt bij internationale acties en dat zullen we blijven doen. We hebben eerder dit jaar meer dan 5.000 e-mails gestuurd naar de Europese Commissie en haar medewerkers om de opname van kernenergie in de Sustainable Finance Taxonomy te ondersteunen. Voices of Nuclear (Frankrijk), Nuklearia (Duitsland), Fota4Climate (Polen), Jovenes Nucleares (Spanje), en Suomi Ekomodernistit

sluiting van kerncentrales in Duitsland en de op handen zijnde sluiting van de kerncentrales Doel en Tihange in België ziet Meyer dat lokale organisaties zich sterk maken om het belang van kernenergie onder de aandacht te brengen. Meyer: “Horizon-238, Stand Up for Nuclear Belgium, Mothers for Nuclear Germany-Austria-Switzerland en anderen doen allemaal geweldig werk om het belang van Belgische en Duitse kernenergie onder de aandacht te brengen. Ze hielden een grote manifestatie op 11 september en kregen een mooie persreportage in Politico.” **K**

Menno Jelgersma

## Het RID van de TU Delft zet weer een stap vooruit als proeftuin voor innovatie

Het Reactor Instituut Delft (RID) investeert voortdurend in betere meetmethoden en technieken om baanbrekend onderzoek te kunnen faciliteren. Met het programma OYSTER (Optimized Yield - for Science, Technology & Education - of Radiation) is dit versneld. De eerste fase van de upgrade van de reactor en instrumenten is afgerond, waardoor de Hoger Onderwijs Reactor (HOR) nu een stuk preciezer en breder inzetbaar is in het onderzoek en beter kan voldoen aan vragen vanuit de wetenschappelijke wereld en vanuit de markt.

### Rondleiding College van Bestuur en decaan

Om het moment van de afronding van de eerste fase te markeren hebben twee leden van het College van Bestuur, Tim van der Hagen en Marien van der Meer, samen met Paulien Herder, decaan TNW, een rondleiding gehad. Deze werd verzorgd door Bert Wolterbeek, directeur van het RID, Jan Leen Kloosterman, hoofd RST en Camiel Kaaijk, hoofd ontwikkeling van de HOR.

### Onderzoek

Het potentieel voor straling gerelateerd wetenschappelijk onderzoek en innovatie op het gebied van gezondheid, duurzame energie en materialen wordt aanzienlijk verbeterd en uitgebreid. Het brede toepassingsgebied loopt van medische isotopen voor diagnose en behandeling van kanker, batterijen en zonnecellen tot aan betere staalsoorten. Sinds de start van het OYSTER-project is er al een aantal unieke, nieuwe instrumenten gerealiseerd, zoals de neutroondiffractometer PEARL waarmee wetenschappers uit binnen- en buitenland onderzoek doen naar nieuwe energiematerialen en de flexibele bestralingsfaciliteit voor onderzoek naar nieuwe productieroutes van medische isotopen. Met deze aanpassingen kan men honderd keer beter of sneller metingen uitvoeren dan nu het geval is. Deze verbetering zal bijdragen aan hoogstaand wetenschappelijk onderzoek, versnelde innovatie en daarmee aan onze Nederlandse kenniseconomie. **K**

TU Delft/fotograaf Guus Schoonewille





© Guus Schoonewille

# Urenco recyclet splijtstof voor Franse kerncentrales

**U**renco heeft een langjarig contract met het Franse elektriciteitsbedrijf EDF waarbij gebruikte splijtstof wordt gerecycled. EDF levert aan Urenco opgewerkt uranium dat is teruggewonnen uit gebruikte splijtstof uit hun kerncentrales. Door het terugwinnen van het uranium en het herverrijken in de verrijkingsfabriek in Almelo wordt tot 96% van de materialen uit de splijtstofstaven gerecycled.

Het grootste deel van het materiaal dat uit de gebruikte splijtstofstaven wordt gehaald, is uranium. Het wordt gescheiden van andere elementen, gereinigd en gezuiverd. Op isotopisch niveau lijkt het uranium uit de gebruikte splijtstof veel

op natuurlijk uranium, maar het is niet 100 procent identiek, vandaar dat de term reprocessed uranium (RepU – of opgewerkt uranium) wordt gebruikt. EDF levert aan Urenco opgewerkt uranium dat is teruggewonnen uit gebruikte

splijtstof uit hun kerncentrales. Nadat de splijtstofstaven gedurende meerdere jaren in een kernreactor zijn gebruikt om CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit te produceren, worden ze uit het reactorvat verwijderd en tijdelijk opgeslagen in een bassin op het terrein van de kerncentrale om af te koelen. Na een aantal jaren wordt de verbruikte splijtstof overgebracht naar de opwerkingsfabriek in la Hague in Frankrijk waar het uranium wordt teruggewonnen uit de splijtstofstaven. Het uranium wordt vervolgens weer geconverteerd naar uranium-hexafluoride. Urenco voedt het geconverteerde uranium in de centrifuges om het te verrijken, zodat er weer nieuwe splijtstofelementen van kunnen worden gemaakt. Deze gaan vervolgens terug naar de Franse kerncentrales om er weer CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit mee op te wekken. Door hergebruik van materialen wordt de hoeveelheid radioactief afval die door kerncentrales wordt geproduceerd, aanzienlijk verminderd.

## Technische audit

In het verleden had Urenco ook al een contract met EDF voor het verrijken van gebruikte splijtstof, dat is destijds succesvol uitgevoerd in verrijkingsfabriek SP4. Deze is niet toereikend voor het nieuwe contract dus wordt SP5 gebruikt. Deze hal heeft een grotere capaciteit. Het nieuwe contract is ook complexer. Werd eerst alleen gestuurd op verrijking van U-235, nu gaat het om drie isotopen: U-234, U-235 en U-236. Het RepU-team van Urenco maakt gebruik van de ervaring, expertise en kennis uit het verleden om het huidige project tot een succes te maken. Vanwege de complexiteit van de opdracht moesten er technische aanpassingen worden gemaakt aan de procesinstallaties. Op 9 december 2021 ontving het commerciële en operationele team van Urenco vertegenwoordigers van EDF voor een technische audit om te bekijken hoe het stond met de aanpassingen. De audit is een mijlpaal in het meerjarige project

waarbij Urenco Nederland het komende decennium een grote hoeveelheid RepU gaat verrijken.

## Footprint minimaliseren

Jan Koop, Head of Operations van Urenco, over het verschil tussen natuurlijk uranium verrijken en opgewerkt uranium verrijken: "In reprocessed uranium zitten sporen van het splijttingsproces uit de kerncentrale. Hoewel het gezuiverd wordt, blijven er altijd minimale sporen achter die we niet in onze installaties willen hebben. Daarom moeten er filtersystemen worden geïnstalleerd om deze sporen eruit te halen. Dit is ook direct het grote verschil tussen natuurlijk en reprocessed uranium." Het proces van het hergebruiken van de splijtstof is waarschijnlijk kostbaarder dan het maken van nieuwe splijtstof. De keuze om toch op te werken en te herverrijken is dan ook vooral ingegeven door de zorg om het milieu. "Het minimaliseren van de impact op het milieu is voor ons en de klant leidend. Door grondstoffen te hergebruiken kunnen we samen een bijdrage leveren om de klimaatverandering tegen te gaan en dit is voor ons en onze klant een manier om de footprint zoveel mogelijk te minimaliseren", legt Koop uit. Na het verrijken blijft er verarmd uranium over. Dit gaat niet terug naar Frankrijk. "Dat is voor ons reguliere tails, verarmd uranium dat we in eerste instantie opslaan op ons terrein om in de toekomst verder te verwerken. Dat kan zijn verder verarmen of langdurig opslaan."

Urenco verwacht in 2022 de eerste RepU te kunnen uitleveren aan EDF. Koop: "We verwachten de eerste batch voedingsmateriaal in de loop van dit jaar te ontvangen. Dan hebben we enkele maanden nodig voor we het als product kunnen uitleveren." De eerste splijtstofelementen met in Almelo verrijkt RepU zullen naar verwachting in 2023 in gebruik worden genomen in de Franse kerncentrale van Cruas. **K**



© SKB - Svensk Kärnbränselhantering AB

## Zweedse eindberging goedgekeurd door regering

**D**e Zweedse regering heeft de plannen goedgekeurd voor de bouw van een diepe, geologische eindberging voor radioactief afval in Forsmark in de gemeente Östhammar. Ook de bouw van de bijbehorende splijtstofverpakingsfabriek in Oskarshamn kan doorgaan, zo heeft de Zweedse minister van Klimaat en Milieu Annika Strandhäll in januari 2022 bekendgemaakt. Zweden is hiermee, samen met Finland, een van de Europese koplopers op het gebied van de eindberging van radioactief afval.

- SKB (Svensk Kärnbränselhantering) werkt al meer dan 40 jaar aan onderzoek en ontwikkeling van de opslagplaats.
- Tijdens het onderzoek naar de Forsmark-locatie werden ongeveer 800 wetenschappelijke rapporten opgesteld.
- Er werden in de voorbereiding 25 boringen verricht tot op een diepte van 1.000 meter. In totaal werd 16 kilometer aan boorkernmonsters genomen.
- De bergingsfaciliteit zal ergens in de jaren '80 van de deze eeuw klaar zijn.
- Ondergronds is de opslagplaats drie tot vier vierkante kilometer groot.
- De eindberging heeft ongeveer 60 kilometer aan tunnels.
- In de faciliteit kunnen 6.000 capsules met in totaal 12.000 ton radioactief afval worden opgeborgen.
- Het afval wordt opgeborgen in een gangenstelsel op een diepte van ongeveer 500 meter.
- De bouw van de eindberging zal 1.500 banen creëren.
- In juni 2018 stemde de gemeenteraad van Oskarshamn voor het plan van SKB om een faciliteit voor het verpakken van de gebruikte splijtstof in de gemeente te bouwen. De gemeenteraad van Östhammar keurde in oktober 2020 de geplande opslagplaats in Forsmark goed.
- In totaal zal SKB ongeveer 1,8 miljard euro investeren, voornamelijk in de bouwsector, rotswerken en installaties.
- Zweden heeft 6 commerciële reactoren in bedrijf in 3 kerncentrales: twee in Ringhals, drie in Forsmark en één in Oskarshamn.
- Volgens het Internationaal Atoomenergieagentschap heeft kernenergie in Zweden in 2020 ongeveer 30 procent van de elektriciteit van het land opgewekt. **K**



# Candu-reactor produceert naast stroom ook een grote hoeveelheid kobalt-60

**O**nlangs werd tijdens een onderhoudsstop uit eenheid 7 van de Canadese Bruce-kerncentrale voldoende kobalt-60 gehaald om 10 miljard stuks medische apparatuur te steriliseren. Het kobalt-60 is een 'bijvangst' afkomstig van de roestvaststalen regelaars in de reactorkern waar kobalt-59 in de legering is opgenomen.

Eigenaar van de Bruce-kerncentrale, Bruce Power, heeft onlangs bekend gemaakt dat het een nieuwe productie van kobalt-60 heeft afgerond bij Bruce 7, een Candu-reactor die sinds 1986 stroom opwekt in Ontario. Kobalt-60 zendt gammastralen uit die worden gebruikt om medische apparatuur snel en in grote hoeveelheden te steriliseren. Het wordt ook gebruikt in ziekenhuizen voor niet-invasieve behandelingen zoals bijvoorbeeld voor de bestraling van tumoren.

De kernen van een Candu 6-reactor, zoals die van Bruce, zijn uitgerust met roestvrijstalen regelaars die de vermogensafgifte optimaliseren en een efficiënte versplijting van de uraniumbrandstof garanderen door de neutronenflux te sturen. Deze kunnen worden vervangen door exemplaren die natuurlijk voorkomend kobalt-59 bevat dat neutronen die tijdens het splijten van uranium vrijkomen, kan absorberen en zo kobalt-60 wordt zonder enig verschil

te maken voor de werking van de reactor. Na ongeveer vijf jaar in de reactorkern worden de rvs-regelaars verwijderd en verscheept naar de Nordion-faciliteit in de buurt van Ottawa om te worden verwerkt tot kobalt-60 bronnen. Van daaruit wordt het kobalt-60 over de hele wereld verscheept om medische benodigdheden, implantaten en diverse voedingsproducten te steriliseren. Volgens Bruce Power wordt kobalt-60 afkomstig uit Ontario gebruikt "om tot 10 miljard paar chirurgische handschoenen en medische hulpmiddelen voor eenmalig gebruik te steriliseren."

Kobalt-60 steriliseert 40 procent wereldwijd van alle medische apparatuur voor eenmalig gebruik. Het steriliseert medische benodigdheden sneller en in grotere volumes dan andere vormen van sterilisatie, waardoor benodigdheden efficiënt worden klaargemaakt voor eerstelijnsgezondheidszorgwerkers



en ziekenhuizen. Tijdens de pandemie, toen de vraag naar persoonlijke beschermingsmiddelen toenam, ondersteunde Bruce Power de levering van deze cruciale isotoop. Meer recent wordt kobalt-60 gebruikt in Gamma Knife-behandelingen in de strijd tegen borstkanker en hersentumoren in meer dan 600 ziekenhuizen verspreid over de hele wereld, waaronder vijf eenheden verspreid in Canada. De toepassingen en het gebruik van deze technologie groeien elk jaar. Bruce Power werkt ook aan de productie van lutetium-177, dat wordt gebruikt bij de behandeling van prostaatkanker en neuro-endocriene tumoren en van molybdeen-99, dat tot technetium-99m vervalst en wordt gebruikt in voor medische beeldvorming. De Candu-reactoren in Wolsong in Zuid-Korea, Embalse in Argentinië en in de kerncentrale Qinshan-III in China produceren ook kobalt-60. **K**

*Bron: Bruce Power*

## Wisseling van de wacht.

Een column is een kort artikel, gericht op de actualiteit zoals de columnist die ziet, maar vaak geformuleerd op een pikkelende wijze. Dat maakt een tijdschrift op een 'kruidige' manier interessanter. De column zet aan tot denken, soms 'dwarsdenken'.

Tot en met de laatste aflevering in 2021 vervulde André Wakker die rol op een uitstekende, hem eigen wijze. Maar de ene columnist doet dat op volstrekt andere wijze dan de andere. Dat verschil maakt een tijdschrift weer aantrekkelijker.

Vanaf dit nummer van Kernvisie Magazine neemt Lars Roobol het stokje over van André Wakker. De redactie is blij met zijn bereidheid op dit punt de kar verder te gaan trekken.

*Gerrit Boersma,*  
*hoofdredacteur Kernvisie Magazine.*

## Column



## Energietransitie: wat is het grote plan?

We weten waar we naartoe willen: een energiesysteem dat nauwelijks CO<sub>2</sub> uitstoot, betaalbaar en betrouwbaar is, ook geopolitiek gezien, en het milieu weinig belast. Waar staan we nu? In 2021 is circa 12,5% van onze energie hernieuwbaar opgewekt: ongeveer 50% zon+wind en 50% biomassa. Wij staan wat dat betreft dus nog maar aan het begin van de Energietransitie. Zeker is dat we in 2050

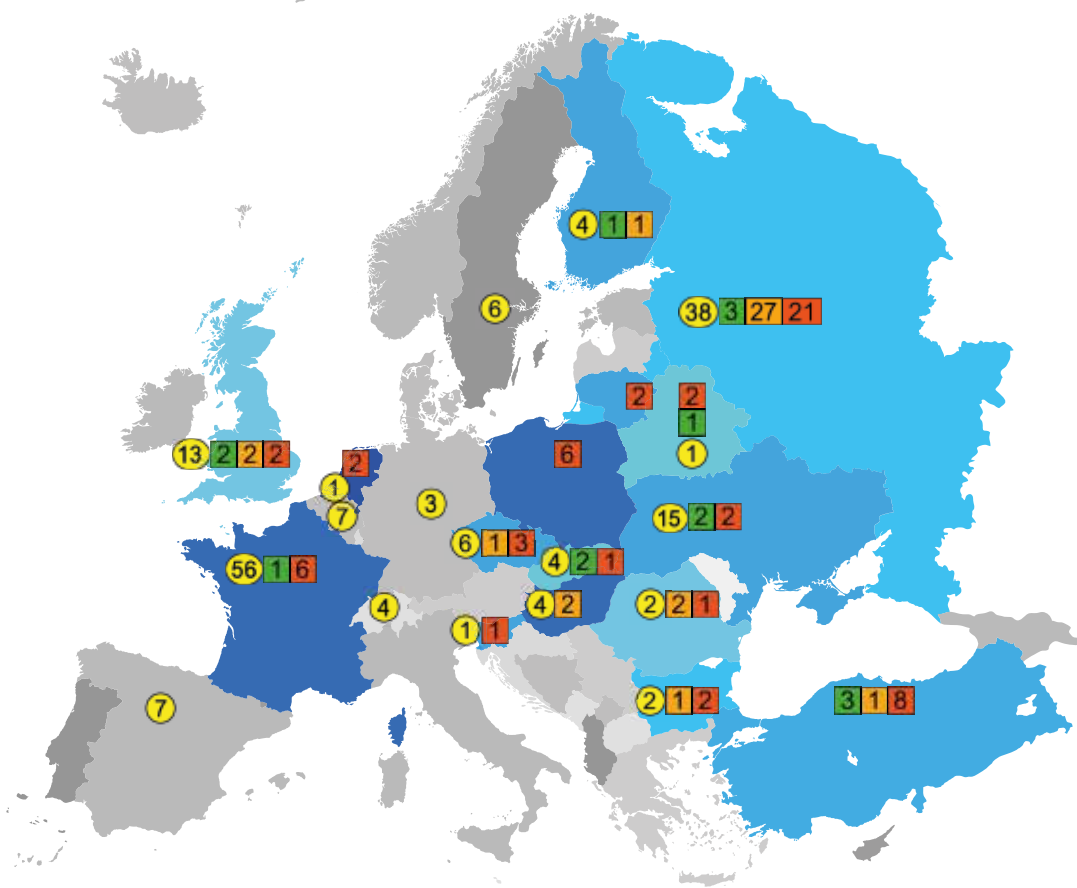
veel meer elektriciteit zullen gebruiken: auto's opladen, huizen verwarmen met een warmtepomp, of voor industriële processen. Nu al piept en kraakt ons systeem omdat vraag en aanbod niet in balans zijn. De aardgascrisis is daar een goed voorbeeld van. Ook bestaat er 'file' op het elektriciteitsnet: afnemers krijgen niet meer automatisch een aansluiting, en particulieren met zonnepanelen bijvoorbeeld kunnen niet altijd meer hun overvloedige stroom verkopen. Omdat wij steeds meer weersafhankelijke stroom in onze mix opnemen, zal vanaf 2025 de betrouwbaarheid van leverantie afnemen, zo meldt TenneT. Duitsland sluit haar kerncentrales en stimuleert extra gebruik van aardgas op middellange termijn, terwijl Nederland juist wil stoppen met aardgas en meer kernenergie wil hebben. En de Europese Commissie wil zowel aardgas als kernenergie stimuleren. Snapt u het nog? Is de rest nu zo slim, of bent u zo dom? Volgens mij hebben we voor de rest van de transitie een integraal 'deltaplan' nodig dat beschrijft hoe ons energiesysteem jaar voor jaar verandert en welke strategische reserves wij moeten opbouwen. Met politiek gestelde randvoorwaarden en nadere uitwerking door industrie en wetenschap. Dat plan moet wat mij betreft door een groep onafhankelijke wetenschappers en technici worden beoordeeld op effectiviteit, integrale kosten (inclusief de kosten van de verbouwing van het elektriciteitsnet) en vooral: praktische uitvoerbaarheid. Wij weten dan zeker dat wij niet met politiek wensdenken bezig zijn, maar met bewezen oplossingen, getoetst door mensen die gepokt en gemazeld zijn in hun vak. En het project moet vanzelfsprekend regelmatig beoordeeld en bijgesteld worden: plan, do, check, act. En omdat kernenergie zowel stroom als warmte voor huizen en de industrie kan leveren, verwacht ik dat deze techniek een mooie plek zal innemen binnen onze Energietransitie. **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. Dit opiniestuk is op persoonlijke titel geschreven.

# Groei van kernenergie in Europa

**W**anneer de Europese Unie haar doelstelling van een CO<sub>2</sub>-vrije energievoorziening in 2050 wil halen, moet er rond de 500 miljard euro worden geïnvesteerd in kernenergie. In het regeerakkoord van het kabinet Rutte IV staat dat er vijf miljard euro is gereserveerd om de bouw van twee nieuwe kerncentrales te ondersteunen. Daarnaast blijft de Kerncentrale Borssele langer open. In principe zijn er twee zogenaamde waarborglocaties aangewezen waar ruimtelijke ontwikkelingen niet mogen leiden tot het belemmeren van het bouwen van kerncentrale: Borssele en Maasvlakte I. Ook elders in Europa wordt stevig aan de weg getimmerd om kernenergie als CO<sub>2</sub>-vrije energiebron een prominente plek in de toekomstige energiemix te geven.



- 15 Kernreactoren in aanbouw
- 37 Geplande reactoren
- 59 Voorgestelde reactoren
- 174 Kernreactoren in bedrijf

## Olkiluoto

De vijfde kernreactor van Finland, Olkiluoto 3 is een European Pressurized Reactor (EPR), een derde generatie kernreactor, met een capaciteit van 1600 MW. De EPR bereikte zijn eerste criticiteit op 21 december 2021. De EPR zal vanaf begin 2022 stroom leveren en uiteindelijk ongeveer 14% van de elektriciteit van het land produceren.



© Shutterstock



© EDF Energy

## Flamanville

De kerncentrale Flamanville staat in Normandië, Frankrijk. De centrale heeft twee drukwaterreactoren. Een derde reactor van het type EPR is in aanbouw. De opleverdatum is in de afgelopen jaren vaak uitgesteld, de laatste keer vanwege de Covid-19-pandemie. De datum voor het laden van de splijtstof staat gepland in het tweede kwartaal van 2023.

## Hinkley Point C

De kerncentrale Hinkley Point C is een project voor de bouw van twee EPR-reactoren in Somerset, Engeland. In oktober 2020 is met de bouw is begonnen. De voltooiing van de basis voor de eerste reactor werd bereikt in juni 2019 en voor de tweede in juni 2020. Naar verwachting is de kerncentrale in juni 2026 gereed. **K**

Bronnen: World Nuclear Association, EDF, World Nuclear News. Foto's Hinkley en Flamanville: ©EDF Energy - Olkiluoto: Shutterstock, achtergrondfoto Kerncentrale Borssele: ©EPZ



© EDF Energy



**K** Dr. Jaén Ocadiz Flores te midden van zijn promotoren: dr. Anna Smith en prof. dr. Rudy Konings, en andere commissieleden.

## Twee nieuwe doctoren aan TU Delft op nucleair gebied

© TUDelft - RID

**I**n november en december 2021 ontvingen twee jonge doctoren hun doctoraat aan TU Delft. Jaén Alonso Ocadiz Flores ontving zijn doctoraat voor zijn proefschrift getiteld **Molten Salt Reactor Chemistry**. Promotoren waren dr. Anna Smith en prof. dr. Rudy Konings. Sara Mastromarino ontving haar doctoraat uit handen van haar promotoren dr. ir. Martin Rohde en prof. dr. ir. Jan Leen Kloosterman op basis van haar proefschrift getiteld **New Measurement Methods and Physico-chemical Properties of the MSFR Salt**.

### Dr. Jaén Alonso Ocadiz Flores - Molten Salt Reactor Chemistry

Gesmolten zouten vormen een groep van ionaire vloeistoffen die onderwerp van uitgebreid fundamenteel onderzoek zijn geweest in de afgelopen jaren. Een van de meest opmerkelijke toepassingen van gesmolten zouten is als splijtstof en koelvloeistof in de gesmoltenzoutreactor (MSR). Een MSR is een type kernreactor waarin splijtbare isotopen (U-235, U-233, Pu-239) en/of isotopen waaruit splijtbaar materiaal kan worden gekweekt (bijv. Th-232, U-238), zijn opgelost in een zout. Dit mengsel is zowel splijtstof als koelmiddel. De twee prototypes die in het verleden zijn gebouwd, maakten beide

gebruik van een fluoride-splijtstof, wat ertoe heeft geleid dat historisch gezien het meeste onderzoek zich richtte op fluoride-zoutmengsels. Desalniettemin zijn hedendaagse reactorontwikkelaars ook geïnteresseerd in chloride splijtstoffen, dus beide families van gesmoltenzoutsplijtstoffen zijn momenteel relevant. Als gevolg van de kernsplijting is MSR-splijtstof een mengsel met een grote chemische complexiteit. Het bestaat uit een vloeibare oplossing van meerdere componenten, edelgassen en neergeslagen deeltjes van edelmetalen. Een thermodynamische beschrijving van dit complexe systeem ligt ten grondslag aan iedere systematische poging om de initiële zoutsamenstelling te bepalen, het gedrag in de reactorkern – zowel tijdens normaal

bedrijf als ongevalsituaties – te voorspellen, en verwerkingschema's voor de opgebrande splijtstof te ontwerpen.

In dit proefschrift wordt de expliciete link onderzocht tussen de structuur, thermodynamica en toestandseigenschappen (dichtheid, viscositeit) voor een groep zouten die is samengesteld uit alkali-actinide-halogeniden, relevant voor MSR-technologie. Om bovengenoemd doel te bereiken is gebruik gemaakt van diverse experimentele en computationele technieken: differentiële scanning calorimetrie (DSC), röntgendiffractie (XRD), lage-temperatuurcalorimetrie, röntgenabsorptie-spectroscopie (XAS), moleculaire dynamica (MD), en dichtheidsfunctionaaltheorie (DFT). Met behulp computationele thermodynamica zijn verzamelde data in modellen verwerkt. Samenvattend kan worden gesteld dat dit proefschrift de kennis van de topologie van de bestudeerde fase-diagrammen verder heeft gebracht. Dwars door het werk zijn de structuurkenmerken van actinide-houdende gesmolten zouten besproken, met als doel het voorspellen van de eigenschappen van systemen die tot op heden nog niet zijn verkend. Het quasi-chemische formalisme is onderhand gemeengoed geworden in

de computationele thermodynamische beschrijving van de chemie van de MSR. Het aantal geëvalueerde systemen is inmiddels aanzienlijk. Dit werk dient als voorbeeld hoe databases van gesmolten-zoutspijstofstoffen kunnen worden uitgebreid om dichtheid en viscositeit in combinatie met de thermodynamische eigenschappen te beschrijven.

### Dr. Sara Mastromarino - New Measurement Methods and Physico-chemical Properties of the MSFR Salt.

De gesmoltenzoutreactor (MSR) is een van de zes typen kernreactoren van de vierde generatie, die wereldwijd grote belangstelling trekt. Talrijke instituten voeren onderzoeksprojecten uit met betrekking tot gesmoltenzoutreactoren. In Europa is het onderzoek toegespitst op de ontwikkeling van een snel-spectrumontwerp, de Molten Salt Fast Reactor (MSFR), die uitgebreid is onderzocht in de Europese SAMOFAR en SAMOSFER-projecten gecoördineerd door TU Delft.

De bijzonderheid en innovatie van de MSR-technologie is het gebruik van vloeibare brandstof; een mengsel van gesmolten zout waarin zowel splijtbaar

isotopen als kweekstoffen zijn opgelost. Voor het ontwerp van de reactor moet een aantal technologische uitdagingen worden aangegaan en moet een veiligheidsaanpak worden vastgesteld. Eén van de doelstellingen van het SAMOFAR-project dat tot dit proefschrift heeft geleid, is de karakterisering van het splijstofzout onder normale omstandigheden en bij ongevallen, waarmee de basis wordt gelegd voor de veiligheidsevaluatie van de reactor. Betrouwbare gegevens over de thermische eigenschappen van gesmolten zoutmengsels zijn schaars. Dit onderzoek richt zich op de experimentele meting van diverse thermodynamische eigenschappen van gesmolten zouten. Het proefschrift presenteert nieuwe methoden voor het meten van thermische diffusiviteit en viscositeit, en gevestigde methoden voor het meten van het smeltpunt en het oplossend vermogen van zout in water.

Een nauwkeurige meting van de viscositeit is noodzakelijk om de stroming en de turbulente warmteoverdracht van het splijstofzout door het reactorcircuit te voorspellen. De huidige technieken voor het meten van de viscositeit kunnen niet worden gebruikt voor gesmolten zouten vanwege de

kleine hoeveelheid beschikbaar splijstofzout en de radioactiviteit van de monsters. Daarom is een innovatieve methode ontwikkeld op basis van ultrasone golven. Bij deze methode is gebruik gemaakt van een golfgeleider om ultrasone afschuifgolven op afstand in de vloeistof uit te zenden. De demping van de amplitude van de afschuifgolven is gebruikt om de viscositeit van de vloeistof te bepalen. Metingen aan vloeistoffen met een vergelijkbare viscositeit als gesmolten zout hebben aangetoond dat de methode met succes veranderingen in de demping ten gevolge van de viscositeit van de vloeistof kan meten. Dit proefschrift verschaft nieuwe gegevens over enkele thermische eigenschappen van gesmolten zoutmengsels en toont de toepasbaarheid aan van nieuwe methoden voor de bepaling van de viscositeit en de thermische diffusiviteit van gesmolten zouten. **K**

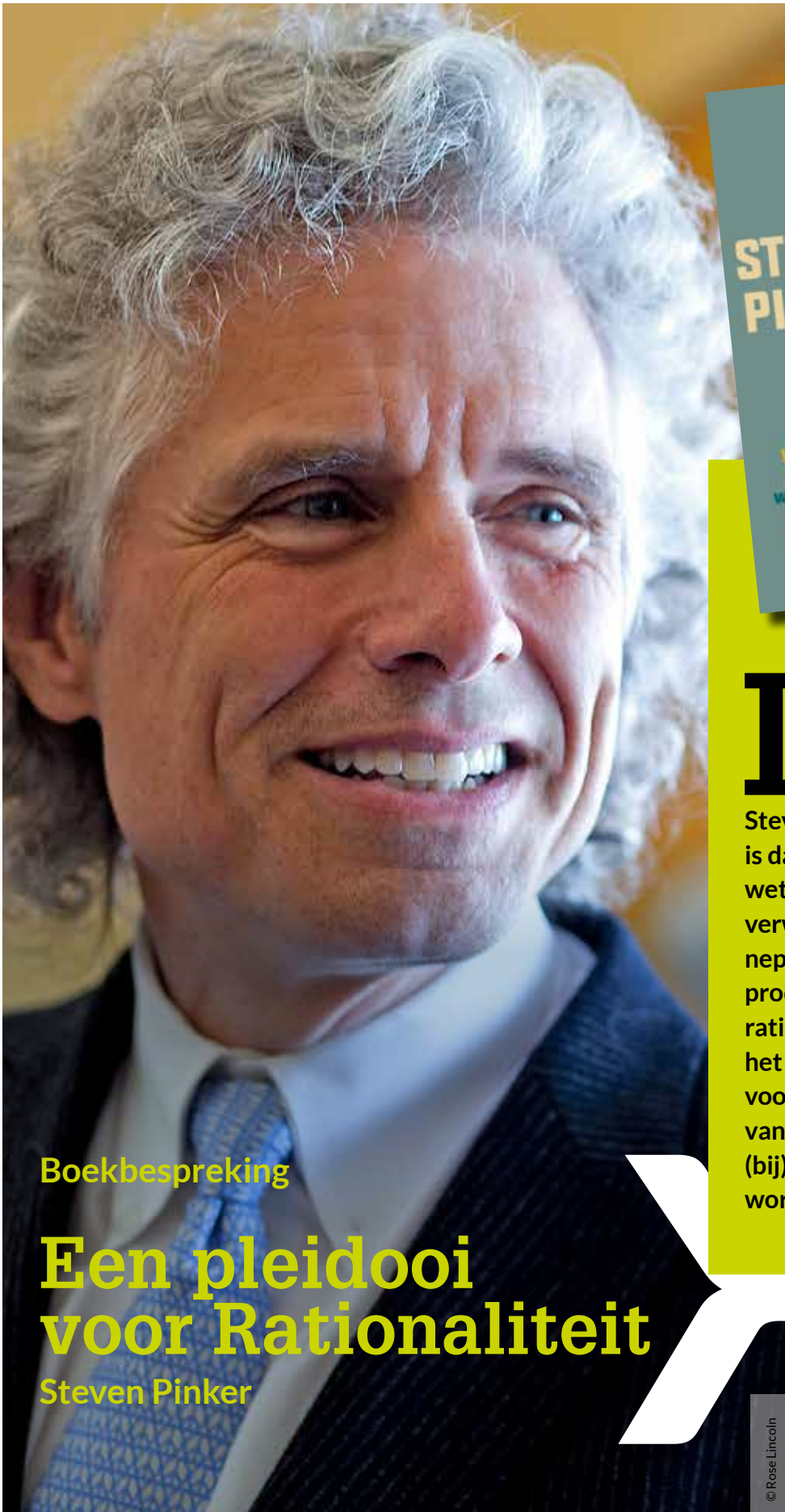
Beide proefschriften kunnen worden gedownload via de TU Delft repository website: **scan de Qr code**



Jan Leen Kloosterman, TU Delft.

✂ Dr. Sara Mastromarino omringd door haar promotoren: dr. ir. Martin Rohde en prof. dr. ir. Jan Leen Kloosterman, en andere commissieleden.





Boekbespreking

# Een pleidooi voor Rationaliteit

Steven Pinker



**I**n zijn nieuwe boek *Rationaliteit, Wat rationeel denken is en waarom we het meer dan ooit nodig hebben*, vraagt auteur Steven Pinker zich af hoe het mogelijk is dat de mens enerzijds de grootste wetenschappelijke inzichten heeft verworven en anderzijds steeds meer nepnieuws en complottheorieën produceert. Pinker pleit ervoor rationaliteit een plek te geven in het curriculum op scholen om te voorkomen dat de verworvenheden van de verlichting door populisten, (bij)gelovigen en complotdenkers worden tenietgedaan.

Steven Pinkers voorlaatste boek: Verlichting nu! is vooral een pleidooi voor de rede, humanisme en wetenschap. Want als je de media moet geloven, gaat het allemaal niet zo best: moord en doodslag, oorlog, armoede en ongelijkheid voeren de boventoon. Pinker wijst in Verlichting Nu! vooral op de vooruitgang. Hij kijkt naar de feiten en die zijn hoopvol. Met de coronaepidemie is het er allemaal niet beter op geworden. De Verlichting staat onder druk en populisten ondermijnen het vertrouwen in redelijk denken. Wereldwijd maken populistten steeds meer - en met succes - gebruik van sociale media om de burgers op te zetten tegen een vermeende elite.

Mensen hebben een beeld van de realiteit dat gevoed wordt door overtuigingen en feiten. Realiteit wordt daarbij eerder door logica en natuurkundige wetten bepaald dan door duivelskunsten en tovenarij. De achtergrond van feiten is het geleverde bewijs. Maar waar komt het bewijs vandaan? Tijdens de presidentsverkiezingen in de VS in december 2016 drong een man gewapend met een geweer een pizzeria binnen in Washington, D.C., om een halt toe te roepen aan wat hij dacht dat een netwerk voor kinderseks-handel was dat werd geleid door Hillary Clinton en prominente Democraten. Ieder weldenkend mens gelooft natuurlijk niet dat zo'n netwerk bestaat. Maar waarom geloven mensen, ook in Nederland in dergelijke pedofielen-netwerken? "Wat is er mis met mensen?", vraagt Steven Pinker zich af in zijn laatste boek. Het gaat niet alleen om complotdenkers met overtuigingen die niet op bewijs zijn gebaseerd. 55 procent van de Amerikanen gelooft in paranormale genezing en 41 procent gelooft in buitenzintuiglijke waarneming. 37 procent van de Amerikanen gelooft in spookhuizen, terwijl slechts 32 procent in geesten gelooft. Dat betekent, zoals Pinker opmerkt, "dat sommige mensen geloven in door geesten behekste huizen zonder in geesten te geloven."

Net zoals in zijn vorige boek pleit hij voor de ontwikkeling van de rede. En rationaliteit kun je leren. In het boek geeft Pinker veel voorbeelden waar de meesten van ons de mist in gaan als het gaat om statistieken en kansberekening. Stel dat 1 procent van de vrouwen borstkanker heeft. Er is een test voor borstkanker beschikbaar met een gevoeligheid van 90 procent. Als een vrouw positief test, hoe groot is de kans dat ze de ziekte daadwerkelijk heeft? De meeste mensen gokken ergens tussen de 80 en 90 procent. Het juiste antwoord is 9 procent. Je moet de 'regel van Bayes' gebruiken om het uit te rekenen. Met betrekking tot kansberekening haalt Pinker onder andere het Monty Hall-dilemma aan. Dit probleem betreft de keuze die iemand moet maken uit drie deuren. Achter twee staan geiten en achter de derde staat een nieuwe auto. Laten we zeggen dat je deur 1 kiest. Maar voordat de deur wordt geopend, opent iemand die weet wat er achter de deuren zit een van de andere twee deuren, waardoor een geit tevoorschijn komt, en vraagt of je je keuze wilt veranderen in de derde deur. Het Monty Hall-probleem is te beslissen of je wisselt van deur. De meeste mensen denken dat het geen zin heeft om van keuze te veranderen, maar dat is een foute veronderstelling. Blijf je bij de eerste keuze dat blijft ook de kans om de auto te winnen een derde. Als je echter van deur wisselt, is er een kans van 2/3 dat je de auto wint, hoe contra-intuïtief het ook lijkt.

De invloed van media en beeldvorming zorgt ervoor dat verkeerde keuzes worden gemaakt. Vooraanstaande klimaatwetenschappers hebben na grondige bestudering van de cijfers gewaarschuwd dat er geen geloofwaardige route naar een stabiel klimaat is waarbij niet een substantiële rol is weggelegd voor kernenergie. "Kernenergie is de veiligste vorm van energie die de mensheid ooit heeft gebruikt", schrijft Pinker. Toch ziet het publiek kernenergie als extreem gevaarlijk. Het verzet tegen kernenergie, schrijft Pinker, wordt grotendeels

gedreven "door herinneringen aan drie ongelukken: Harrisburg in 1979, waarbij niemand omkwam; Fukushima in 2011, dat één arbeider jaren later het leven kostte en de kernramp bij Tsjernobyl in 1986, waarbij 31 mensen omkwamen door het ongeval zelf en mogelijk verscheidene duizenden door kanker, ongeveer hetzelfde aantal sterfgevallen dat dagelijks wordt veroorzaakt door de uitstoot die gepaard gaat met het gebruik van steenkool.

De zwaarte van het boek ligt bij onderwerpen als logica, kansberekening, bayesiaanse argumentatie, statistische beslis-kunde en speltheorie, waaraan Pinker negen van de elf hoofdstukken besteedt. In de laatste twee hoofdstukken vraagt hij zich af wat er mis is met mensen en komt alles samen in: Waarom is rationaliteit belangrijk? De meeste mensen reageren wel 'rationeel' op de oproep om zich te laten vaccineren tegen corona. Het gevaar voor de maatschappij zit in de minderheid die zich als meerderheid ziet geprofileerd in de media, maar of die Rationaliteit zullen gaan lezen en rationeler zullen gaan denken is de vraag. Zinnig is zijn suggestie om rationaliteit als onderwerp in het curriculum op scholen mee te nemen naast lezen, schrijven en rekenen. Al met al sluit Rationaliteit heel mooi aan op zijn eerder verschenen Verlichting nu!, om te voorkomen dat de verworvenheden van de verlichting, rede en wetenschap door populistten, (bij)gelovigen en complotdenkers worden tenietgedaan. **K**

## Overzicht

Boek: **Rationaliteit**  
Auteur: **Steven Pinker**  
Uitgeverij: **Atlas Contact**  
Vertalers: **Aad Janssen, Jan Willem Reitsma, Frits van der Waa**  
ISBN: **9789045034416**  
Pagina's: **432**  
Gebonden: **€ 27,99**  
E-boek: **€ 5,99**



Stichting **KernVisie**  
EEN ENERGIEK INITIATIEF

**Vacature**

Het bestuur van Stichting KernVisie zoekt met spoed een enthousiast bestuurslid met kennis van financiën voor de functie van penningmeester. De functie van bestuurslid is onbezoldigd.

# Penningmeester

## Stichting KernVisie

De ANBI-stichting KernVisie zet zich in om gedegen, begrijpelijke en betrouwbare informatie te verstrekken over de toepassing van kerntechniek voor energie, milieu en gezondheid. Ze wil daarmee het maatschappelijke belang van deze technologie breed bekend maken en het draagvlak ervoor vergroten. Nederland speelt internationaal een belangrijke voortrekkersrol op diverse nucleaire gebieden zoals onderzoek naar nieuwe generaties kernenergiecentrales, productie van medische isotopen voor de diagnose en behandeling van kanker en materiaalonderzoek voor de energietransitie naar een duurzamere samenleving.

De Stichting KernVisie onderhoudt de website [www.kernvisie.com](http://www.kernvisie.com) en brengt een wekelijkse digitale nieuwsbrief uit. Eens in de twee maanden publiceert de stichting het Kernvisie Magazine. Daarnaast organiseren we symposia en het geven van lezingen en gastcolleges. Het bestuur bestaat uit betrokken vrijwilligers en komt tweemaandelijks bij elkaar bij het Reactor Instituut Delft maar vanwege de coronamaatregelen zijn de vergaderingen nu online.

### Werkzaamheden

Als penningmeester ben je nauw betrokken bij de werkzaamheden van het bestuur en ben je verantwoordelijk voor de financiën van de stichting. Taken zijn onder andere:

- Doen en ontvangen van betalingen;
- Verzorgen van de boekhouding van de Stichting;
- Maken van het financieel jaarverslag en een begroting;
- Bewaken van de plannen van het bestuur aan de hand van een begroting;
- Deelnemen aan de bestuursvergaderingen.

### Profiel

We zijn op zoek naar een nieuw bestuurslid dat samen met de zittende bestuursleden een evenwichtig bestuur kan vormen. Daarom leggen we de volgende accenten in het profiel voor de werving:

- Kandidaten hebben affiniteit met nucleaire technologie;
- Gezien de ervaringen en competenties van de huidige bestuursleden zijn we op zoek naar een bestuurslid met een financiële achtergrond;
- Kennis van toepassingen van nucleaire technologie is een pre maar geen voorwaarde.

### Uren inschatting

Activiteit	Uren	Frequentie
Financieel jaarverslag en begroting	8	1 x per jaar
Maken en verzenden per post van facturen begunstigers	24	1 x per jaar
Maken en verzenden facturen bedrijven/sponsors	4	1 x per jaar
Controle en overschrijven van circa 50 facturen voor KV Magazine	2	1 x per maand
Bestuursvergaderingen bijwonen	4	6 x per jaar

### Solliciteren of meer informatie

Wil je solliciteren of wil je meer informatie neem dan contact op met: Stichting KernVisie, ter attentie van de secretaris dhr. G.H. Boersma, Stichting KernVisie, Dokter Bosmanshof 32, 6851 MJ HUISSEN of per e-mail: [kernvisie@kernvisie.com](mailto:kernvisie@kernvisie.com)