

KERNVISIE MAGAZINE

SPECIAL

➤ **DE BRITSE OPLOSSING:
KOOLSTOFARME
ENERGIEMIX**

➤ **HINKLEY POINT C
MARKEERT START
NIEUWBOUW**

➤ **HERVORMING VAN
DE ENERGIEMARKT**

**BRIDGING THE
ENERGY-GAP**

COLOFON

KernVisie magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

JAARGANG 10, NUMMER 7, DECEMBER 2015

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

Drs. J.J. de Jong

Ir. J.C.L. van Cappelle

Dr. F.C. Klaassen

Prof. Ir. R.W.J. Kouffeld

Ir. G.C. van Uiter

REDACTIE KERNVISIE

Ir. G.H. Boersma

M. Jelgersma (Sherpa en de Fries)

E.S. Jelgersma

Dr. Ir. A. van Heek

I. van Kessel (Irene van Kessel Fotografie)

REDACTIE ADRES

Notarisappel 37, 6662 JN Elst

Telefoon: 0481-841156

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

Houses of Parliament, © Iakov Kalinin

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.



Het was voorpaginanieuws eind november toen de PvdA en GroenLinks met een ontwerpwet kwamen waarmee ze willen verankeren dat de CO₂-uitstoot in Nederland in 2050 minstens 95 procent minder zal zijn dan die in 1990. Fijntjes werd erop gewezen dat binnen Europa alleen Groot-Brittannië ook een klimaatwet heeft. De Britten zijn dus op de goede weg. Een mening die ik met ze deel. De Britten kiezen voor een duurzame CO₂-arme energiemix waar kernenergie een cruciale rol van deel uitmaakt. Dat zag je echter niet terug in de Nederlandse plannen, die reppen van 100 procent wind, zon, biomassa en aardwarmte. Wetenschappers reageerden sceptisch. Hoe garandeer je in dit scenario zonder base-load de noodzakelijke leveringszekerheid? Duitsland doet dat, nu ze kernenergie uifaseren, met steenkool en bruinkool. De Britten hebben een verstandiger visie op de toekomst van energie en het klimaat. Ze hebben niet alleen programma's om de levensduur van hun bestaande nucleaire centrales te verlengen, er staat ook een omvangrijk nieuwbouwprogramma op de agenda. De Britse regering heeft met de Chinezen en Fransen een principeakkoord gesloten voor de bouw van Hinkley Point C, een nieuwe EPR naast de bestaande reactoren. Daarnaast moet er nog een EPR bij Sizewell komen en komt er mogelijk een Hualong One bij Bradwell. Dat kan wel eens de eerste Chinese Gen III+ reactor zijn die buiten Azië wordt gebouwd. Een buitengewoon interessante en belangrijke ontwikkeling, niet alleen voor de Britten maar ook voor de rest van Europa, inclusief Nederland. Genoeg reden om in deze KernVisie Special ons te verdiepen in de Britse energie aanpak. Pakt Groot-Brittannië de rol van gidsland in Europa?

André Versteegh
voorzitter Stichting Kernvisie

K INHOUD

BRIDGING THE ENERGY-GAP

Met teruglopende reserves, sluiting van oude elektriciteitscentrales en de opwarming van de aarde zag de energie-toekomst er voor Groot-Brittannië somber uit. Maar de Britten kiezen voor een vooruitstrevende aanpak en keren het tij door alle beschikbare technologieën en middelen in te zetten voor hun koolstofarme energie-mix.



P04

BRITTEN POSITIEF OVER NUCLEAIR

Stroomproductie, werkgelegenheid en een 'boost' voor de economie. Dat zijn de voornaamste redenen waarom het merendeel van de Britse bevolking vóór kernenergie is. Veiligheid, mogelijke milieuschade en eindberging zijn de struikelblokken. Het onafhankelijke Institution of Mechanical Engineers roept de overheid op om een communicatieprogramma op te zetten.

P09

CHINSE HUALONG ONE IN ESSEX

In het Britse Bradwell in Sussex verrijst straks de eerste Generatie III Chinese kerncentrale in Europa: de Hualong One. Gebaseerd op de Franse reactorontwerpen van de ACP-1000 en de ACPR-1000 is de Hualong One de eerste reactor van eigen bodem waar China actie mee de buitenlandse markt betreedt.



P19

P12 BLACKSTONE PROJECT

EDF heeft zeven Advanced Gas Cooled Reactors in bedrijf die grafiet gebruiken als moderator. In afwachting van de bouw van nieuwe reactoren streeft EDF naar levensduurverlenging van deze reactoren. In Petten bestraalt NRG grafietmonsters in de Hoge Flux Reactor om zo de veroudering van het grafiet na te bootsen. Op die manier kan de levensduur nauwkeurig worden berekend.



© Magnox Limited (www.magnoxsites.com)

Gebruikte bronnen voor deze special van Kernvisie Magazine:
<http://www.imeche.org/>
<http://www.world-nuclear.org/>
<http://www.world-nuclear-news.org/>
<http://www.nucnet.org/>
<https://photocenter.edf.com/>
<http://media.edfenergy.com/Media/MediaLibrary.aspx>

K **P16 60 JAAR KERNENERGIE IN HET VK**

Al vanaf de jaren vijftig beschikt het VK al over een civiel nucleair programma. Een historisch overzicht van 60 jaar kernenergie. Van de experimentele BEPO naar 's werelds eerste commerciële kerncentrale. En van de AGR - de grootste doorbraak aller tijden - naar Small Modular Reactors.



Sizewell B - © John Fielding / Sir Robert McAlpine

➤ 'BRIDGING THE ENERGY-GAP': DE KOOLSTOFARME-ENERGIEMIX VAN GROOT-BRITANNIE

Het Verenigd Koninkrijk ziet zich gesteld voor een aantal grote uitdagingen op energiegebied. Sluiting van oude elektriciteitscentrales, afname van eigen reserves en Noordzee-gas en de wens om klimaatverandering tegen te gaan betekent een potentieel elektriciteitstekort. Indien er geen elektriciteitscentrales bijkomen, zal de elektriciteitsvoorziening in de nabije toekomst niet meer aan de vraag kunnen voldoen. Om dit tij te keren moeten er vanaf 2020 nieuwe centrales worden bijgebouwd.

Hoewel energie-efficiëntie maatregelen zeker zullen bijdragen aan het verlagen van de vraag wordt tegelijkertijd verwacht dat de vraag zal toenemen omdat elektriciteit in toenemende mate wordt gebruikt voor transport en verwarming. Nieuwe elektriciteitscentrales zijn dus noodzakelijk. De ontwikkeling en bouw van nieuwe energiecentrales nemen echter veel tijd in beslag en energiecentrales blijven doorgaans

voor 60 jaar operationeel. Daarom heeft elk besluit dat vandaag wordt genomen consequenties voor de lange termijn en zal de keuze voor elektriciteitsopwekkingsbronnen zorgvuldig moeten worden afgewogen. Echter, op dit moment is er geen enkele energiebron die een complete oplossing voor het energietekort biedt. Sommige dragen bij aan de klimaatverandering maar zijn duur of maken een land afhankelijk van import.

Andere zijn niet in staat om een evenwichtige base-load te genereren en dan zijn er ook nog bronnen die uitgeput raken. Maar door ze te bundelen in een energiemix, kunnen de verschillende soorten energiebronnen de tekortkomingen van elkaar uitvlakken. Dit is de reden waarom de Britse overheid zich actief heeft gebogen over deze beslissingen die verder reiken dan de vier jaar dat een kabinet zit. Dit vraagt om lef waarbij de overheid noodzakelijke beslissingen durft te nemen en erkent dat het moet kiezen uit verschillende soorten energiebronnen, ieder met hun eigen beperkingen en afwijkende wijze van opwekkingstechnologieën.

Bestaande Britse energiecentrales hebben een geschatte gecombineerde capaciteit van ongeveer 90 GW. Dat is voldoende om aan de huidige elektriciteitsvraag te voldoen, die piekt op ongeveer 60 GW plus een acceptabele marge. Maar de Europese richtlijnen geven aan dat negen van de Britse fossiel gestookte centrales vanaf 2015 (Wylfa) tot 2035 (Sizewell B) de deuren moeten sluiten. De richtlijnen zijn opgesteld om verontreinigingen zoals de oxides van



© EDF - Philippe Erranian

✘ *Sizewell B is de enige Britse pressurised water reactor (PWR) power station en is voorzien van een enkele reactor. Hij werd tussen 1987 gebouwd en in gebruik genomen in 1995.*

zwavel en stikstof te reduceren. Sommige centrales mogen misschien in bedrijf blijven op voorwaarde dat de Office for Nuclear Regulation (ONR) hiermee akkoord gaat, maar uiteindelijk moeten ook zij worden vervangen. De sluitingen zouden een capaciteitsverlies voor het VK van 20 GW betekenen. Ook wanneer er geen piek in de energievraag zou zijn, betekent dit dat alle elektriciteitscentrales

op volle capaciteit zouden moeten draaien met een potentieel risico van een energietekort en de gevreesde 'energy gap' dreigt. Het dichten van dit 'gat' kan alleen wanneer wordt gewerkt aan het verlagen van de elektriciteitsvraag door energie-efficiency maatregelen en de bouw van nieuwe elektriciteitscentrales. De opties voor nieuwbouw zijn begrensd door de

bependingen van verschillende energiebronnen. In 2050 moet het VK zijn CO₂-emissies hebben teruggebracht tot een niveau dat 80 procent lager is dan het niveau van 1990. Dit is voor de Britten de belangrijkste motivatie om te kiezen voor low-carbon energieopwekking.

De beste oplossing: een energiemix in combinatie met energie-efficiëntie. Geen enkele energiebron geeft een absolute oplossing. Elke bron heeft zijn beperkingen: fossiele brandstoffen zorgen voor teveel CO₂ in de atmosfeer en zijn eindig in hun winbaarheid; kernenergie zorgt voor radioactief afval; renewables zoals wind- en zonne-energie leveren te onregelmatig energie en zijn duur. Voor veel technologieën is geen locatie beschikbaar, ze lijden onder moeizame planning en goedkeuringsprocedures of hebben onvoldoende industriële capaciteit. Maar door de beschikbare technologieën gezamenlijk in te zetten kunnen verschillende bronnen met hun eigen voordeel ervoor zorgen dat de zwakheden van andere worden opgevangen. Het is dan ook deze oplossing die de Britten hebben gekozen om de 'energy-gap' te overbruggen: een koolstofarme energiemix. **K**

Bron: www.worldnuclear.org



© EDF - Laurent Vautrin

✘ *Sizewell B in de schemer*



HET HINKLEY POINT C-PROJECT

In Somerset is in november begonnen met de bouw van Hinkley Point C, de eerste nieuwe kerncentrale in Groot-Brittannië sinds 1995. In 2015 moeten deze twee EPR-reactoren 7 procent van de Britse stroombehoefte leveren.

Het Hinkley Point C-project is in een vergevorderd stadium. Zo is er overeenstemming over de planning, de ontwerpgoedkeuring voor de EPR-reactor en een locatievergunning voor een nucleaire installatie. Ook is er een toeleveringsketen met geselecteerde aanbieders die al bezig zijn met de bouwplanning. Training voor de nodige vaardigheden en kennis is onderweg en overeenkomsten met vakbonden zijn gesloten. EDF zal de 'verantwoordelijk ontwerper' voor het Hinkley Point C-project zijn met een centrale rol voor ontwerp en engineering van de energiecentrale. De totale bouwkosten tot ingebruikname zijn geraamd op 25 miljard euro nominaal waarbij het



effect van inflatie per jaar is inbegrepen. De bouwkosten zijn stabiel gebleven sinds de aankondiging ervan in oktober 2013. Definitieve contractvoorwaarden voor een aantal van de belangrijkste leveranciers zijn ook overeengekomen. Zo zal Areva NP het nucleair stoomgeneratorsysteem, de instrumentatie- en de controleapparatuur leveren, is Alstom France verantwoordelijk voor de turbines en Alstom UK voor services during operations. De civiele techniek wordt verzorgd door Bouygues TP/Laing O'Rourke en het grondwerk door BAM Nuttal/Kier Infrastructure. Omdat een groot deel van het werk in de leveringsketen wordt gedaan door Britse toeleveranciers zal meer dan 60 procent van het project in het VK worden besteed. De verwachting is dan ook dat het project niet alleen kennis en vaardigheden zal opleveren voor de Britse industrie maar ook 25.000 extra banen.

HISTORISCHE OVEREENKOMST

Het Franse energiebedrijf EDF en China General Nuclear Power Corporation (CGN) sloten eind oktober een overeenkomst voor een strategische investering met het oog op de bouw van nieuwe kerncentrales bij Hinkley, Sizewell en Bradwell in Groot-Brittannië. EDF en CGN werken al dertig jaar samen als industriële partners. Hieronder valt ook de joint venture tussen **X**

“DRIEVOUDIGE WINST”

Voorzitter van China General Nuclear Power Corporation (CGN) He Yu: “Het betreden van de Britse nucleaire markt markeert een nieuwe fase voor CGN. Tegelijkertijd is het ook drievoudige winst voor de bestaande samenwerking voor kernenergie tussen China, Frankrijk en het VK. CGN heeft zich nadrukkelijk verplicht om te zorgen voor de levering van veilige, kostenefficiënte en duurzame energie en om bij te dragen aan het Britse doel een koolstofarme maatschappij te worden.”

BRADWELL B

EDF en CGN hebben ook reeds de contractvoorwaarden van een principeovereenkomst ondertekend voor het in gang zetten van de officiële goedkeuring door de Britse toezichthouder van de Britse versie van een Hualong, een derde generatie HPR 1000-reactor (Zie elders in deze special). De basis voor de HPR 1000 is de Fangchenggang-kerncentrale unit 3 en 4 van CGN in China en geldt als referentie voor het Britse Hualong-ontwerp. Binnen de voorwaarden van de overeenkomst zal een aparte joint venture het proces van de Generic Design Assessment (GDA) voor haar rekening nemen. Naar verwachting neemt CGN een aandeel van 66,5 procent en EDF 33,5 procent. Beide bedrijven hebben de contractvoorwaarden getekend van een principeovereenkomst voor de ontwikkeling van Bradwell B in Essex tot de uiteindelijke investeringsbeslissing met het oog op de bouw en ingebruikname van de Britse Hualong-reactortechnologie die is goedgekeurd door de Britse toezichthouder met behulp van het GDA-proces.

CGN en EDF voor de bouw van twee EPR-reactoren in Taishan. Dit is dezelfde technologie die nu bij Hinkley Point C wordt toegepast. De overeenkomst werd ondertekend in Londen in aanwezigheid van de Chinese president Xi Jinping en de Britse premier David Cameron. EDF zal de grootste aandeelhouder zijn in de 'two-unit' Hinkley Point C-centrale in Somerset en ook in Sizewell, Suffolk. In Bradwell, Essex, zal China de grootste zijn met een aandeel van 66,5 procent in het project. Na het ondertekenen van het akkoord moeten nog een paar formele besluiten worden genomen. Het gaat hierbij om onder meer de voltooiing van een uitgebreide documentatie gebaseerd op de overeenkomst op hoofdlijnen, de afronding van het financieringsplan van EDF en het akkoord van de raden van bestuur. Premier Cameron sprak van een historische overeenkomst die ertoe zal leiden dat Hinkley Point C vanaf 2025 stroom gaat leveren. Het zal de eerste Britse nieuwe kerncentrale zijn sinds Sizewell B, die twintig jaar geleden commercieel in gebruik werd genomen. De twee geplande Areva 1.600 MWe EPR-reactoren bij Hinkley zullen naar verwachting zes miljoen huishoudens van stroom gaan voorzien. **K**

SIZEWELL C

EDF en CNG hebben de contractvoorwaarden van een principeovereenkomst ondertekend voor de ontwikkeling van Sizewell C in Suffolk voor een definitief investeringsbesluit met het oog op de bouw en ingebruikname van twee EPR-reactoren. Gedurende de ontwikkelingsfase wil EDF een aandeel van 80 procent nemen en CGN 20 procent. Als onderdeel van het planning-proces werden de eerste voorstellen voor Sizewell C gepubliceerd in november 2012 en de eerste formele ronde van lokale volksraadpleging heeft al plaatsgevonden.



© Graeme Williams

"HET VK STAAT OPEN VOOR HANDEL EN DAT IS GOED VOOR IEDEREEN."

Energy Secretary Amber Rudd: "We pakken een erfenis van onder-investering aan en bouwen een energie-infrastructuur die past bij de 21ste eeuw als onderdeel van onze plannen om te voorzien in schone, betaalbare en veilige energie waar hardwerkende gezinnen en bedrijven door het hele land op kunnen vertrouwen, nu en in de toekomst. Het Verenigd Koninkrijk (VK) staat open voor handel en dat is goed voor iedereen. Hinkley Point C zal aan onze strenge veiligheidsvoorschriften blijven

voldoen en voorziet bijna 6 miljoen huishoudens van low-carbonstroom, levert 25.000 banen op en daarmee ook meer financiële zekerheid voor hen die werken en hun gezinnen. De overheid zal de nieuwe kerncentrales steunen terwijl we ons richting een low-carbon toekomst begeven. Hinkley Point C zal hiervan de aftrap zijn en wordt naar verwachting opgevolgd door meer kerncentrales, inclusief Sizewell in Suffolk en Bradwell in Essex. Een en ander zal de essentiële financiële zekerheid en energieleveringszekerheid geven voor de toekomstige generaties."

"ONZE AMBITIEUZE PROJECTEN ZULLEN HET VK, FRANKRIJK EN CHINA VOORDEEL OPLEVEREN."

EDF Chairman Jean-Bernard Lévy: "De ondertekening markeert een grote stap voorwaarts voor de 30 jaar die wij als EDF met onze Chinese partner CGN hebben samengewerkt. Onze ambitieuze nucleaire projecten worden krachtig ondersteund door de Britse, Chinese en Franse overheden en zullen alle drie de landen voordeel opleveren. Ik vertrouw erop dat onze ervaring en deskundigheid betekent dat wij Hinkley Point C en navolgende projecten met succes zullen opleveren. In de komende weken staat een laatste investeringsbeslissing gepland zodat we aan de slag kunnen gaan met de bouw."



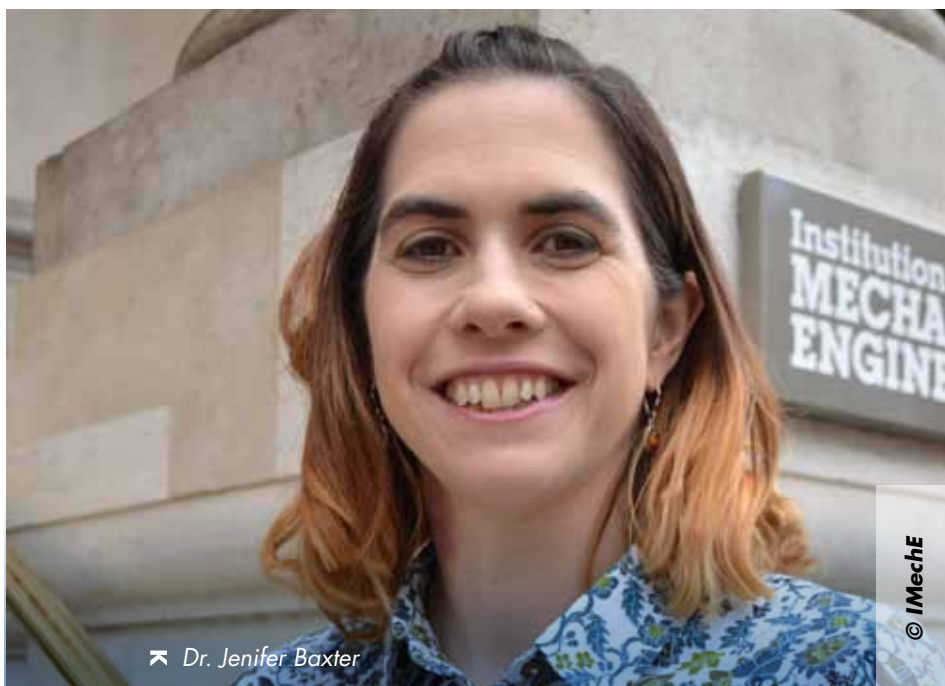
© EDF - Laurent Chamussy



© EDF - Lionel Moreau

"VEILIGE KOOLSTOFARME ENERGIE"

EDF Energy CEO Vincent de Rivaz: "Hinkley Point C en volgende nucleaire projecten garanderen het VK de betrouwbare, veilige koolstofarme energie die het in de toekomst nodig heeft. Kernenergie zal de klanten geld besparen vergeleken met andere energieopties en zorgt voor een enorme stimulans voor de Britse industrie, banen en deskundigheid zowel in het VK als daarbuiten. De aankondigen voor samenwerking en bouw zijn goed nieuws in de strijd tegen klimaatverandering."



➤ Dr. Jenifer Baxter

MEERDERHEID BRITSE BEVOLKING POSITIEF OVER KERNENERGIE

voor ogen heeft, laten de onderzoeken zien dat er duidelijk behoefte is bij de industrie en overheid om de kennis over de economische voordelen en extra banen door kernenergie te vergroten. Er is ook een noodzaak om de uitgebreide reeks van veiligheidsprocedures onder de aandacht te brengen die de risico's en milieuschade verminderen. Zowel bij het produceren van kernenergie als bij het beheer van nucleair afval." Er wordt veel gepraat over de hoge initiële kosten van kernenergie. Toch zijn de meeste tegenstanders van kernenergie meer bezorgd over de veiligheid of het milieu dan over de kosten. En terwijl de meeste mensen de noodzaak inzien van meer kernenergie, zou een groot deel daarvan bezwaar maken indien er een opslag voor nucleair afval in de buurt van hun huizen zou komen. "Dit illustreert de potentiële drempel van het 'Not In My Back Yard' effect dat zou kunnen spelen als we doorgaan met de ontwikkeling van een geologisch eindberging.

Overheid en industrie moeten goed contact houden met de gemeenschap en communicatieprogramma's inzetten om de mensen bewust te maken van de voordelen voor lokale gemeenschappen, naast de inspanningen om de zorgen over veiligheid en langetermijneffecten te verminderen", aldus Baxter. Terwijl de Britse overheid vooruit gaat met nieuwbouwplannen voor kernenergie, zoals Hinkley Point C, is het tijd om de hele splijstofcyclus en het radioactief afval nader te beschouwen. Baxter: "Van nucleair is bekend dat het een aantrekkelijke low-carbon manier is van energieopwekking, maar we hebben nog steeds goede methodes nodig voor onderzoek en ontwikkeling waar het gaat om het recyclen en het maximaliseren van energieopbrengsten uit nucleair afval. Het VK heeft te lang gewacht om dit onderwerp aan de orde te stellen. Lange termijn diepe geologische berging biedt een potentiële oplossing." **K**

Meer dan de helft van de bevolking in het Verenigd Koninkrijk (VK) is voor kernenergie. Dit blijkt uit een onderzoek dat is uitgevoerd door het onafhankelijke Institution of Mechanical Engineers (IMechE). Uit de enquête waaraan ruim 2.000 mensen deelnamen bleek dat 56 procent van de ondervraagden vóór toepassing van nucleaire technologie was, 44 procent gaf wel te kennen dat ze zou protesteren tegen plannen voor een eindberging dichtbij huis.

Het IMechE roept de overheid op om het publiek te wijzen op de voordelen van kernenergie nu er zicht is op nieuwe kerncentrales in het VK. Momenteel zijn er zestien kernreactoren in bedrijf. Er zijn plannen voor de bouw van een nieuwe centrale bij Hinkley en er zijn afspraken gemaakt voor nieuwbouw op de locaties Bradwell en Sizewell. Van de mensen die voor kernenergie zijn, verklaarde 82 procent dit te zijn vanwege de stroomproductie, 56 procent vanwege de werkgelegenheid en 54 procent omdat nieuwbouw een 'boost' voor de economie betekent. Van de respondenten zei 19 procent tegen

kernenergie te zijn en 25 procent twijfelde. De belangrijkste zorgen van tegenstanders betreffen de veiligheid en de mogelijke schade voor het milieu. Slechts 27 procent vond het te duur.

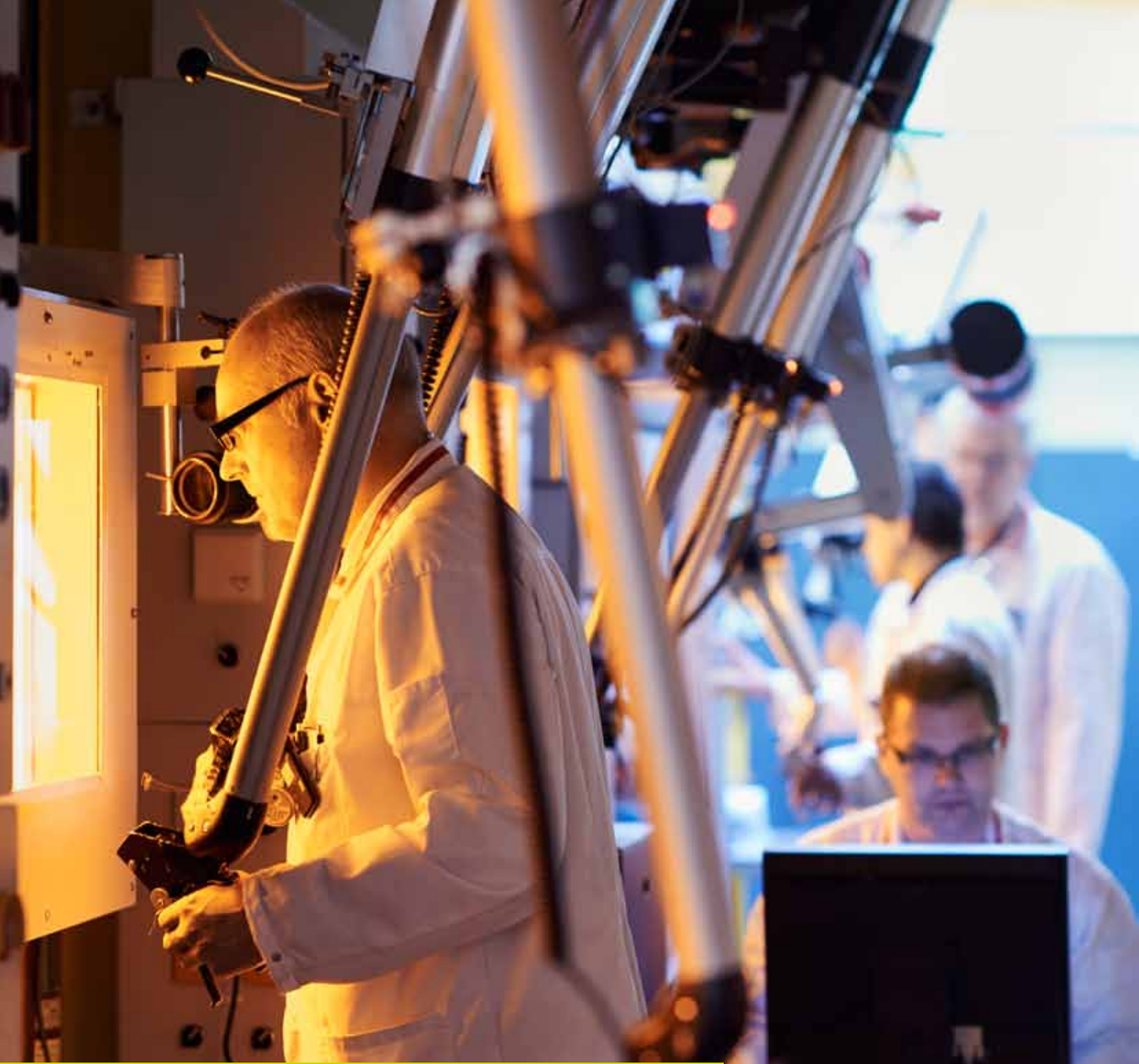
Dr. Jenifer Baxter, hoofd van de afdeling Energie en Milieu van de IMechE: "Het resultaat van het onderzoek toont aan dat het merendeel van het publiek zich realiseert dat kernenergie een belangrijke rol speelt wanneer we het licht willen aanhouden in het VK. Maar er is een gebrek aan kennis over nucleaire technologie en de manier waarop met afval wordt omgegaan. Met een Britse overheid die de vervanging van oude kerncentrales en uitbreiding van kernenergie



COMPILATIE BOUW HINKLEY







**NRG MAAKT
LEVENSDUURVERLENGING
ENGELSE ADVANCED
GAS-COOLED REACTORS
MOGELIJK**



In Engeland bedrijft EDF Energy zeven kerncentrales met elk twee reactoren van het type Advanced Gas Cooled Reactor (AGR). Het gezamenlijke vermogen van deze reactoren bedraagt 7.730 MW, waarmee ze voorzien in ongeveer 15 procent van de totale elektriciteitsbehoefte in het Verenigd Koninkrijk. De AGR is een verbeterd ontwerp ten opzichte van de zogenaamde MAGNOX-centrales die in de jaren '50 en '60 zijn gebouwd. Sinds de jaren '70 en '80 draaien de AGR-reactoren op verschillende locaties in Engeland en Schotland. In de huidige strategie van EDF Energy wordt gestreefd naar levensduurverlenging van de reactoren in afwachting van nieuw te bouwen centrales.

De AGR maakt gebruik van grafiet als moderator en wordt gekoeld met CO₂-gas. De kern van de reactor is opgebouwd uit grafietblokken die geplaatst zijn in een betonnen reactorvat. De grafietblokken zijn voorzien van kanalen voor plaatsing van de brandstof en regelstaven, en voor doorvoer van het koelgas.

Een belangrijke technische uitdaging voor bedrijven van de AGR-reactoren zijn de verandering van eigenschappen die in de grafietblokken optreden. Door invloed van neutronenstraling kan grafiet van dimensies veranderen, en dit resulteert in spanningen in de componenten. Daarnaast geeft de neutronenstraling in combinatie met CO₂-koeling aanleiding tot 'radiolytische oxidatie'. Bij dit proces reageert CO₂ met het koolstof in het grafiet waardoor er een geleidelijk gewichtsverlies in de kern optreedt.

Voor de huidige bedrijfsvoering worden monitoringsprogramma's uitgevoerd waarbij materiaal uit de kern wordt geoord en geanalyseerd. Voor het toekomstig veilig bedienen van de reactoren moet bekend zijn hoe de grafieteigenschappen zich ontwikkelen.

K *Het bestraalde grafiet wordt geanalyseerd en gekarakteriseerd met verschillende meettechnieken.*

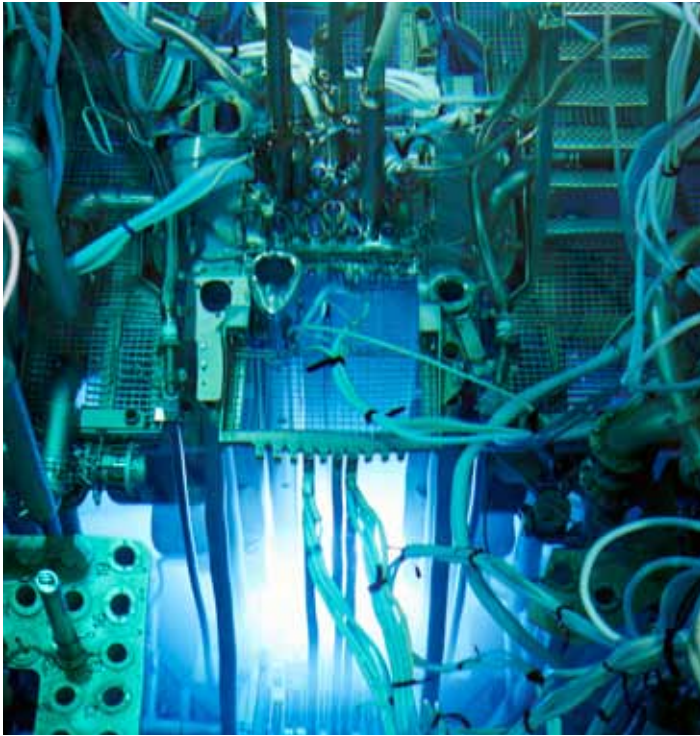
✓ *Na bestraling in de reactor wordt de capsule met monsters ontmanteld in de Hot Cell Laboratories.*



✚ *NRG kan tijdens bestraling van de grafietmonsters de gassenstelling in de bestralingsfaciliteit online aanpassen en meten via een Gas Handling System (GHS) dat specifiek voor deze toepassing is ontworpen.*

De essentiële functies van het grafiet, moderatie en vorming van doorvoeren voor brandstof, regelstaven en koelgas, moeten gewaarborgd blijven. NRG kan met behulp van de Hoge Flux Reactor versneld de veroudering van grafiet in AGR reactoren nabootsen. In de NRG hot cell laboratories kan het veranderde gedrag van grafiet vervolgens worden bepaald en gemeten. Binnen het programma genaamd Blackstone wordt grafiet uit de AGR-reactoren getransporteerd naar Petten. Uit dit materiaal worden monsters gemaakt die na een pre-karakterisering worden geladen in een bestralingsfaciliteit. Het bijzondere aan de bestralingsfaciliteit is dat deze door spoeling met CO₂ de omstandigheden in een AGR nabootst. Door de combinatie van de oxidatie door het CO₂ en de hoge flux in de HFR (ongeveer een factor 10 hoger dan in een AGR) wordt vervolgens een versnelde veroudering van de grafietmonsters bereikt. Na bestraling in de HFR worden van de monsters met hoge precisie dimensieveranderingen, thermische en mechanische eigenschappen gemeten.

De uitkomsten van de metingen worden gerapporteerd aan de klant, die met behulp van de data een nauwkeurigere verwachting kan maken van de levensduur van de centrale. Daarnaast zijn het **✚**



✦ De Hoge Flux Reactor in Petten wordt gebruikt om een versnelde veroudering van grafiet in een reactor te simuleren. In totaal hebben verschillende Blackstone-capsules meer dan 50 cycli aan bestralingen voltooid in de HFR.

mogelijk om met een betere voorspelling van het gedrag van grafiet het aantal inspecties te verminderen, waardoor een kostenbesparing gerealiseerd wordt. Essentieel in het gehele proces is dat de zowel de bestraling in de HFR als de data uit grafietmetingen van hoge kwaliteit zijn. De expertise en kwaliteit van NRG worden erkend door zowel de klant als de Britse toezichthouder. Inmiddels worden data uit het BLACKSTONE-programma gebruikt als onderdeel voor de veiligheidsstudies, op basis waarvan ongeveer 40 reactorjaren levensduurverlenging aan de AGR-reactorvloot zijn toegevoegd. Het grote succes van vier voltooide BLACKSTONE-bestralingen heeft geleid tot een vijfde en zesde bestralingscampagne die in 2016 zal starten.

NRG GRAFIET EXPERT

NRG is wereldwijd toonaangevend op het gebied van grafietbestraling en -kwalificatie. Naast de inzet van de NRG-grafietexpertise bij de huidige Britse kerncentrales voor de onderbouw van een veilige levensduurverlenging, wordt deze expertise ook ingezet bij innovatieve reactoren zoals de Hoge Temperatuur Reactor en de gesmolten zout reactor. NRG heeft eind vorig jaar de bestralingskwalificatie voltooid voor in China geproduceerde brandstof voor de HTR-PM-reactor. **K**

NRG

COLUMN



INNOVATIEF ENGELAND

In de begintijd van de kernenergie was het Verenigd Koninkrijk zeer innovatief bezig in de kerntechniek. Maar liefst vier reactortypen werden in eigen beheer ontwikkeld: de Magnox, AGR, SGHWR en een eigen versie van de snelle natriumgekoelde reactor (FBR). Het VK had als eerste in 1956 een

commerciële kerncentrale: Calder Hall met 4 kleine Magnox-reactoren.

Echter, deze energiebron is daar lang niet altijd populair geweest. Allereerst hadden de Magnox en AGR in het begin veel operationele problemen, waardoor ze tot de jaren '90 bijna nooit meer dan de helft van de tijd in bedrijf waren. De SGHWR en FBR bleven prototypes. Uiteindelijk werd besloten om over te gaan op de PWR, zoals de hele wereld al deed. Daarvan bleef het echter bij één exemplaar, Sizewell B, die in 1995 in bedrijf ging. Toen werd het stil. In 1995 besloot staats elektriciteitsbedrijf Nuclear Electric dat nieuwe kerncentrales niet aan de orde waren, vooral uit economische overwegingen. Dit werd nog eens bevestigd in 2003 door een White Paper van de regering, maar dan met vooral het afval als argument. Over en uit, zou je zeggen.

Maar het eigen gas raakte op en het klimaatprobleem werd dringender, dus ook de UK moest wát. En ja, ze bleven innovatief bezig, echter nu niet op technisch maar op bedrijfskundig vlak. Er moest een constructie worden bedacht om nucleaire nieuwbouw ook te realiseren in een geprivatiseerde elektriciteitsmarkt. Die kwam er: zo zijn er ook voor de nieuwe kernenergie gegarandeerde afzetprijzen afgesproken en is er een overeenkomst met een Chinese investeerder. Mooi, Engeland is dus terug van weggeweest. Ze investeren nu flink in eigen supply chain en workforce. Ooit liep dit land voorop met industriële innovatie, ook op nucleair vlak. Ik noem alleen even het thermisch rendement van de AGR centrales, die met 40 à 41 procent substantieel hoger is dan die van andere kerncentrales. Wie weet komen ze op nog meer goede ideeën. **K**

Aliki van Heek



K JACQUES
DE JONG

VRAAG & ANTWOORD

In de rubriek 'Vraag & Antwoord' beantwoordt een panel van experts lezersvragen. In elke Kernvisie komen er een aantal aan bod. Heeft u misschien zelf ook een vraag? U kunt deze direct stellen aan de Stichting KernVisie via: info@kernvisie.com.

HOE KOMT HET DAT DE BRITTEN ER WEL IN SLAGEN MAATSCHAPPELIJK DRAAGVLAK TE VERKRIJGEN VOOR KERNENERGIE?

Een goede vraag, met daarachter dan vooral naar het wat en hoe in het kernenergie-debat in het VK. Het land waar het civiele nucleaire programma begon, in 1956, en waar het nucleaire aandeel in de stroomproductie piekte in 1997 met 26%, en thans nog zo rond de 15% beweegt. Over die jaren is er heel veel gebeurd. De stroommarkt is revolutionair veranderd, de Britse stroomsector verregaand geprivatiseerd en de resterende 15 reactoren zijn alle eigendom van het Franse EDF. Maar, de Britse regering heeft ook steeds sterk ingezet op een actief klimaatbeleid. Een beleid dat ondersteund werd door het gehele politieke spectrum en inzet op een forse reductie van de CO₂-uitstoot welke zelfs wettelijk is vastgelegd op 80% minder uitstoot in 2050 t.o.v 1990. Daarbij kiest het VK een brandstofmix van gas, kernenergie en off-shore wind. Schotland wil niet meedoen met de kerncentrales.

Een beleid evenwel dat op onderdelen niet onomstreden is en tot

veel debat leidt in politiek en samenleving. Ook over de toekomst van kernenergie. De verschillende regeringen hebben menigmaal alle zeilen bij moeten zetten om de plannen voor nieuwbouw (vooral ter vervanging van de ouder wordende reactoren) door te kunnen zetten. Zo waren er aanpassingen nodig bij de organisatie van het toezicht en de uitvoering van het afvalbeleid en zijn de plannings- en lokatieprocedures aanmerkelijk verstevigd en inmiddels grotendeels afgerond.

De uitdaging waar de Britten nu voor staan is meer economisch dan politiek of maatschappelijk. Zo hebben E.ON en RWE afgehaakt om mee te doen bij nieuwbouw en heeft Londen EDF forse prijs- en afnamegaranties voor de nieuwbouw in Hinkley Point B moeten geven. En ook dan was het nog nodig dat het Chinese staatsbedrijf CGN voor een derde in het £25 miljard kostende project gaat meedoen.

Opiniepeilingen van de laatste jaren laten zien dat er een kleine meerderheid is die voor nieuwe kerncentrales is vanwege het klimaatvraagstuk, als ook fors wordt ingezet op duurzame bronnen. De gebeurtenissen in Fukushima hebben daar wel een dip aan gegeven, maar die is zich weer redelijk aan het herstellen. Wel is er veel kritiek op de prijsgarantie van maar liefst 95£/MWh voor een periode van 35 jaar, een prijs die nagenoeg het dubbele is van de huidige marktprijs en zijn er ook veel vragen over de deelname van de Chinezen. **K**

Jacques de Jong



HISTORISCH OVERZICHT: 60 JAAR KERNENERGIE IN HET VK

➤ **Het Verenigd Koninkrijk (VK) beschikte als één van de eerste ter wereld over een civiel nucleair programma, te beginnen met de kerncentrale Calder Hall I die op 27 augustus 1956 werd aangesloten op het net. Uiteindelijk werd een vloot van zesentwintig Magnox kerncentrales gebouwd, later gevolgd door veertien geavanceerde gasgekoelde reactoren (AGR's) en tot slot een enkele PWR bij Sizewell B.**

Direct na de Tweede Wereldoorlog richtte het nucleaire onderzoeksprogramma in het VK zich vooral op militaire defensie toepassingen. De allereerste kernreactor, een 3 kWth luchtgekoelde grafietgemodereerde reactor genaamd GLEEP (Graphite Low Energy Experimental Pile) werd gebouwd bij het Atomic Energy Research Establishment in Harwell in Oxfordshire. In 1946 begon de constructie van de British Experimental Pile 'O' (BEPO), met een vermogen van 6MW de eerste grote kernreactor die buiten de Verenigde Staten werd gebouwd. BEPO bereikte criticaliteit in juli 1948. De reactor toonde de haalbaarheid van commerciële kerncentrales aan en was dan ook de voorloper van de latere reactor Windscale Piles 1. Deze werd gebouwd op het terrein van de voormalige Sellafield munitiefabriek die in 1947, omgedoopt tot Windscale. Dit gebied werd aangewezen als nucleair ontwikkelingsgebied.

EERSTE NUCLEAIRE PROGRAMMA

In februari 1955 publiceerde de regering een White Paper getiteld A programme of nuclear power waarin ze aankondigde voor 1965 tussen de 1.400 en 1.800 MWe aan capaciteit te gaan bouwen en tegelijk onderzoek te gaan doen naar het toekomstige gebruik van snelle kweekreactoren. Een jaar eerder was al onder de Atomic Energy Authority Act 1954 de United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA) opgericht. Deze zou als toezichhouder verantwoordelijk zijn voor de uitvoering van het nucleaire programma. Het was de taak van de UKAEA om niet alleen zorg te dragen voor de levering van nucleair materiaal voor defensiedoeleinden maar ook om de reactortechnologie voor civiele doeleinden verder te ontwikkelen. Hieronder viel ook de bouw van een experimentele snelle kweekreactor en in maart 1954 werd het voormalige militaire vliegveld Dounreay

in Caithness aan de kust van Schotland aangewezen als locatie voor de Dounreay Fast Reactor (DFR).

Calder Hall was 's werelds eerste kerncentrale die op grote schaal elektriciteit leverde voor commerciële doeleinden. In oktober 1956 werd de centrale officieel geopend door koningin Elizabeth II. Het was de eerste in een serie van acht kleinere prototype Magnox-eenheden die zou worden gebouwd in Calder Hall en Chapelcross in het zuidwesten van Schotland. Al deze reactoren waren aanvankelijk gebouwd voor zowel elektriciteitsopwekking als de productie van plutonium voor kernwapens, een functie die later door de andere faciliteiten op Windscale werd overgenomen. De eerste Magnox-centrales maakten gebruik van 'natural uranium metal fuel', een grafietmoderator met koolstofdioxidekoeling. De volgende Magnox-

reactoren werden geleidelijk opgeschaald tot een vertienvoudiging van het vermogen van de eerste reactoren en geoptimaliseerd voor continue elektriciteitsproductie. Hoewel het rendement eerst zeer laag was met 22 procent voor de vroege reactoren, steeg dit tot 28 procent bij de 26 reactoren die later in het VK werden gebouwd. Twee werden verkocht aan Japan en Italië en vergelijkbare eenheden werden in Frankrijk gebouwd.

'GROOTSTE DOORBRAAK ALLER TIJDEN'

De Suez-crisis in 1956 zorgde voor een toenemende zorg over dreigende olie- en steenkooltekorten, en de overheid kwam daarop in april 1957 met een nieuwe White Paper, *Capital investment in the coal, gas and electricity industries*, waarin het nucleaire nieuwbouwprogramma werd opgeschroefd naar een vermogen tussen de 5.000 en 6.000 MWe. Uiteindelijk werden minder eenheden gebouwd dan was voorzien in de White Paper maar doordat de nieuw gebouwde centrales werden opgeschaald werd toch een vermogen van rond de 4.200 MWe gerealiseerd.

De volgende fase van het Britse nucleaire programma werd aangekondigd in de in april 1964 gepubliceerde White Paper, passend getiteld: *The second Nuclear Power Programme*. De verwachting was om 5.000 MWe te verkrijgen tussen 1970 en 1975. Na wat gesteggel over de ontwerpkeuze werd de *Advanced Gas-cooled Reactor (AGR)* aangenomen als de Britse standaard. In mei 1965 noemde de toenmalige minister van Energie de AGR 'de grootste doorbraak aller tijden' en kondigde hij aan dat de eerste centrale zou worden gebouwd in Dungeness B in Kent. Tussen 1976 en 1989 werden in totaal zeven tweeling-eenheden AGRs opgestart. Het ontwerp is exclusief voor het VK. De bouw van de eerste AGR verliep niet vlekkeloos, tijdens de constructie kwamen tal van problemen in het ontwerp aan het licht. Dit leidde tot vertraging en daarmee tot financieringsproblemen.

DERDE NUCLEAIRE PROGRAMMA

De problemen tijdens de bouw van de AGRs zorgden voor discussie over de reactorontwerpen maar in 1975 werd toch gekozen voor de 'Steam-Generating Heavy Water Reactor' (SGHWR) en werd vergunning verleend voor twee SGHWR-centrales in Sizewell B en één in Torness. Overheidsbezuinigingen in combinatie met oplopende projectkosten zorgden echter voor een tijdelijke bevrozing van de contracten. Vier jaar later vond er een politieke verschuiving plaats toen de Labourregering van James Callaghan plaats moest maken voor het conservatieve kabinet van Margaret Thatcher. Deze regering was een voorstander van de PWR en er werd dan ook een startsein gegeven voor de bouw van een Westinghouse PWR. Hoewel de regering minder enthousiast was over de AGR werd toch toestemming verleend voor continuering van de bouw van twee AGR-centrales bij Heysham en Torness. In 1994 startte de PWR in Sizewell B op. Er waren plannen voor meer PWRs, waaronder in Hinkley Point C, Wylfa B en Sizewell C. Na een onderzoek in de jaren tachtig werd er zelfs akkoord gegeven voor Hinkley Point C maar aan het einde van 1989 kondigde de overheid aan dat ze in 1994 haar kernenergiebeleid wilde herzien en dat tot die tijd geen nieuwe kerncentrales zullen worden gebouwd. In mei 1995 kwam de conclusie van de herziening: nucleaire nieuwbouw zou onvoldoende steun uit de publieke sector krijgen. Hierop besloot Nuclear Electric, de private opvolger van de overheidsorganisatie Central Electricity Generating Board, dat de bouw van nieuwe kerncentrales op dat moment economisch niet haalbaar was en zette haar plannen voor nieuwbouw in de ijskast.

Eind 1990 was nog 25 procent van de jaarlijkse Britse elektriciteitsproductie afkomstig van kerncentrales. In de daaropvolgende jaren nam dit percentage af naarmate oudere reactoren uit bedrijf gingen. In 2014 was het aandeel kernenergie 19 procent. In 2008 nam de overheid de Energy Act aan. Dit wetsvoorstel over het energiebeleid richtte zich op de twee

lange termijnuitdagingen voor het VK: de aanpak van de klimaatverandering door de vermindering van de uitstoot van kooldioxide en het waarborgen van veilige, schone en betaalbare energie. De EU richtlijnen dicteren dat in 2020 30 procent van alle energie in de VK afkomstig moet zijn van renewables. In de afgelopen jaren is de nadruk komen te liggen op het terugdringen van CO₂-emissie en minder op leveringszekerheid en kostenefficiëntie. Vanaf 2010 is de prijs van renewables in het VK aanzienlijk gestegen. In augustus 2015 werden de subsidies op renewables stopgezet, wat de overheid 3,9 miljard pond in vijf jaar oplevert.

In november van dit jaar maakte de Britse overheid haar nieuwe beleidsprioriteiten ten aanzien van energie bekend. De focus komt te liggen op het eventueel afstoten van kolencentrales, de bouw van nieuwe gascentrales en een grotere bijdrage van kernenergie en offshore windenergie. De staatssecretaris van Energie en Klimaatverandering Amber Rudd verwoordde het als volgt tijdens haar speech aan het Instituut voor civiele ingenieurs in Londen: "We hebben te maken met een erfenis van onderinvestering maar met de planning om Hinkley Point C in 2020 stroom te laten leveren, zijn we dit al aan het veranderen. We moeten er absoluut voor zorgen dat we niet dezelfde fouten maken als in het verleden door slechts één kerncentrale te bouwen. Daarom zijn er plannen voor een nieuwe 'vloot' aan kerncentrales waaronder in Wylfa en Moorside. Dit betekent ook dat we nieuwe kansen moeten onderzoeken zoals de kleine, geschakelde reactoren, de Small Modular Reactors. Zij dragen de belofte van goedkope, koolstofarme energie." Voor het VK is nucleair een belangrijk onderdeel van de oplossing voor het dreigende energietekort en de klimaatdoelstellingen. Rudd in dezelfde toespraak: "Tegenstanders van nucleair interpreteren de wetenschap verkeerd. Het is veilig en betrouwbaar. De grote uitdaging, net als met andere low carbon technologieën, is om kernenergie te leveren die betaalbaar is. Groene energie moet goedkope energie zijn." **K**



K DE HERVORMING VAN DE BRITSE ELEKTRICITEITSMARKT

In mei 2012 publiceerde de overheid ontwerpwetgeving om de Britse elektriciteitsmarkt te hervormen en zo de noodzakelijke investering veilig te stellen voor een low-carbon energiemix inclusief nieuw nucleair. De overheid schat dat 155 miljard euro nodig is om in de komende tien jaar de low-carbon capaciteit te ontwikkelen om aan de klimaatdoelstellingen te voldoen.

Een aantal maanden eerder, in juli 2011, bracht de Britse regering de Electricity Market Reform (EMR) white paper uit. De belangrijkste voorstellen waren: een CO₂-bodemprijs; lange termijncontracten met feed-in tarieven (FIT) en 'contracts for difference' (CfD) als stimulans om investeringen in low-carbon energieproductie en financiële rendementen van low-carbon energieopwekking te stabiliseren. Het model garandeert dat er nationaal in voldoende energie-genererende capaciteit wordt voorzien in combinatie met een Emissions Performance Standard dat de bouw van high-carbon energieopwekking verbiedt. Nieuw nucleair met renewables en fossiele brandstoffen in combinatie met CO₂-afvang en -opslag (CCS) worden in het document genoemd als de 'drie families' van low-carbon energieopwekking. Ze worden allemaal gekenmerkt door hoge investeringsinkomsten. Daarom moeten

investeerders enige zekerheid krijgen op winstgevende, of minimaal, stabiele opbrengsten. De EMR-wet geeft uitvoerig inzicht in de politieke instrumenten. Een daarvan is het hanteren van feed-in-tariffs (FIT).

Deze 'minimumprijzen' zijn in een aantal landen inmiddels redelijk bekend en zorgen ervoor dat specifieke low-carbon producenten een vaste opbrengst per kWh krijgen, onafhankelijk van de heersende marktprijzen. In het VK komen de FIT in 2017 ter vervanging van de bestaande UK Renewables Obligation die handelaren verplicht een zeker deel vermogen afkomstig van renewables te kopen, exclusief kernenergie. Naast de FIT zijn er de Contracts for Difference (CfD) die ervoor zorgen dat investeerders gestabiliseerde opbrengsten tegemoet kunnen zien wanneer ze in low-carbon projecten (renewables,

nieuw nucleair en CCS) investeren. De dubbele aanpak snijdt aan twee kanten: de investeerder weet zich gegarandeerd van rendement en de energiekanten zijn beschermd tegen stijgende energierekeningen. De FIT in combinatie met CfDs werkt zodanig dat wanneer de marktprijs lager is dan de afgesproken 'strike price' de overheid het verschil per kWh bijlegt. Is de marktprijs boven de strike price dan betaalt de energieproducent de overheid. Het idee achter de hervorming van de energiemarkt is dat met een stijgende prijs op CO₂-emissie (koolstof bodemprijs) op termijn de markt richting een FIT of strike price zal verschuiven. In oktober 2014 keurde de Europese Commissie deze vorm van staatssteun goed. Tsjechië, Hongarije, Polen en Slowakije overwegen inmiddels om het Britse CfD-model voor hun eigen nucleaire projecten te introduceren. **K**

HUALONG ONE



De Hualong One is het eerste Generatie III-reactorontwerp van eigen bodem waarmee Chinese bedrijven actief de buitenlandse markt op gaan. De eerste reactoren van dit type worden op dit moment in China gebouwd en in Pakistan komt mogelijk de eerste buitenlandse Hualong. En onlangs is de principeovereenkomst ondertekend voor een Hualong One in het Britse Bradwell, Sussex.

De China National Nuclear Corporation (CNNC) werkt al sinds begin jaren negentig aan een 'eigen' 1.000 MWe kernreactor gebaseerd op kleinere units in Quishan die vanaf 1994 in bedrijf zijn. Het besluit van de overheid om voor de AP1000 van Westinghouse te gaan, begin 2007, zag CNNC aanvankelijk als een probleem omdat het niet met de ambitie strookte om voor een Chinese reactor te kiezen met eigen intellectuele rechten. Maar na een paar jaar kwam CNNC dan toch met een nieuw ontwerp, de ACP-1000. Tegelijkertijd was de tweede grote Chinese kerncentralebouwer China General Nuclear Power (CNG) bezig met de doorontwikkeling van de Franse M-310. Dit werd de succesvolle CPR-1000 die bijna compleet binnen de Chinese leveringsketen geproduceerd kon worden. Het probleem was echter dat Areva nog steeds een aantal patenten op het ontwerp had en bovendien ging het hier om een Generatie-II reactor.

Terwijl in China een optie stond om nog 57 reactoren te bouwen, gaf de overheid na het ongeluk bij Fukushima te kennen voortaan alleen nog goedkeuring af te geven voor Generatie-III-ontwerpen. Er zijn momenteel zes CPR-1000 in bedrijf en er worden er nog zestien reactoren (ACPR-1000 en ACPR-1000+) afgebouwd.

DERDE GENERATIE REACTOREN

Vanaf 2011 moesten CNNC en CGN dus met de National Energy Administration (NEA) om de tafel om gezamenlijk te komen tot 'rationalisatie' van reactorontwerpen met als einddoel een ontwerp van een Generatie III-kernreactor op basis van de respectievelijke ACP-1000- en de ACPR-1000+-reactoren. Beide bestaande ontwerpen kennen een opbouw met drie koelkringen. Maar de reactorkern van beide ontwerpen wijkt onderling behoorlijk af: de ACP1000 heeft 177 brandstofstaven van 3,66 meter lang en de ACPR1000+ telt

De Hualong One kent een splijtstofwissel met een interval van 18 tot 24 maanden waarbij bij elke stop 72 brandstofstaven worden gewisseld voorzien van 4,45 procent verrijkt uranium. De drieloops-koelkring levert 3.150 MWt, 1.150 MWe. De reactor heeft een dubbele containment en een actief veiligheidssysteem met passieve veiligheidselementen en een ontwerp-technische levensduur van 60 jaar. De gemiddelde opbrand (burn-up) is 45.000 MWd/tU. Instrumentatie en controlesystemen komen van Areva-Siemens.

157 staven met een lengte van 4,3 meter. Dit betekende dat het eenvoudig over elkaar heen leggen van bouwtekeningen niet mogelijk was en men echt op zoek moest naar een nieuw ontwerp. Dit leidde tot de ontwikkeling van de HPR1000 of Hualong One met 177 brandstofstaven van 3,66 meter lang. Het overleg tussen CNNC en CGN heeft een hybride kernreactor opgeleverd, maar de bedrijven blijven hun 'eigen' reactor maken omdat ze ook over een eigen toeleveringsketen beschikken en daarmee hun eigen versie van de Hualong One kunnen bouwen.

Inmiddels zijn de eerste units in aanbouw als de Fangchenggang 3 en 4 (CGN) en de Fuqing 5 en 6 (CNNC). De Fangchenggang 3 en 4 zijn de referentiereactoren voor de Bradwell-locatie in Groot-Brittannië. De eerste Hualong One die waarschijnlijk buiten China wordt gebouwd komt bij het Pakistaanse Karachi Coastal Power station. Maar ook Argentinië heeft een overeenkomst met China ondertekend voor een nieuwe kerncentrale. Volgens een woordvoerder van CNNC wordt het ontwerp op dit moment in ongeveer twintig landen actief gepromoot. **K**

UITNODIGING

LEDENVERGADERING KIVI KERNTCHNIEK / NNS

**KIVI KERNTCHNIEK / NNS NODIGT U GRAAG UIT VOOR DE JAARLIJKSE
LEDENVERGADERING MET VOORDRACHTEN EN EEN NIEUWJAARSBORREL!**

DATUM: VRIJDAG 22 JANUARI, TIJD: 13:00 UUR

LOCATIE: KIVI GEBOUW, PRINSESSEGRACHT 23, DEN HAAG

Dit jaar heeft de KIVI Kerntechniek / NNS weer een tweetal zeer interessante sprekers uitgenodigd:

Prof. Dr. Wim van Westrenen, Professor planetary evolution aan de VU in Amsterdam en Rob de Meijer van Stichting EARTH en verbonden aan het Department of Physics van de University of the Western Cape. Samen schreven ze onder andere het boek "Hoe werkt de aarde".

Van Westrenen zal tijdens zijn voordracht ingaan op het bestaan van natuurlijke kernreactoren in het binnenste van de aarde (ook wel georeactoren genoemd). De Meijer zal zich richten op detectie van anti-neutrino's voor het safeguarden van nucleaire reactoren.

Aanmelden kan via de vernieuwde KIVI website:
www.kivi.nl/afdelingen/kerntechniek

Graag tot dan!

Bestuur KIVI kerntechniek / NNS



PROGRAMMA

13:00 ONTVANGST MET KOFFIE

**13:30 LEDENVERGADERING
IN PRINCIPE ALLEEN VOOR
KIVI-KERNTCHNIEK LEDEN.
NNS/DYG/KERNVISIE
BEGUNSTIGERS ZIJN WELKOM
ALS TOEHOORDER**

14:30 KOFFIE

14:45 VOORDRACHTEN

16:15 NIEUWJAARSBORREL

De Stichting KernVisie streeft naar het vergroten van het draagvlak voor kerntechnologie 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