

KERNVISIE MAGAZINE

» **THORIUM KAN
DE WERELD VOOR
DUIZENDEN JAREN
VAN ELEKTRICITEIT
VOORZIEN**

» **KERNENERGIE
SPAART LEVENS**

» **INSPECTIE BEVESTIGT:
GEEN DOEL-3 FENOMEEN
IN KERNCENTRALE
BORSSELE**

**THORIUM VOOR HTR
ONDERZOEK NAAR
INHERENT VEILIGE
KWECKREACTOR**



COLOFON

KernVisie magazine is een uitgave van:



Stichting **KernVisie**
EEN ENERGIEK INITIATIEF

JAARGANG 8, NUMMER 3, JUNI 2013
KERNVISIE VERSCHIJNT TWEEMAANDELIJKS
OPLAGE 2200 EX

ONTWERP & GRAFISCHE REALISATIE
DeOntwerpStek.nl, Den Helder

BESTUUR STICHTING KERNVISIE

Ir. A.M. Versteegh, voorzitter
Ir. G.H. Boersma, secretaris
Ir. E.W. Schuuring, penningmeester
Ir. J.C.L. van Cappelle
Dr. F.C. Klaassen
Prof. Ir. R.W.J. Kouffeld
Ir. G.C. van Uitert

REDACTIE KERNVISIE

Ir. G.H. Boersma
Dr. F.C. Klaassen
Menno Jelgersma (Sherpa en de Fries
communicatiebureau)
Dr. Ir. Alike van Heek

REDACTIE ADRES

Notarisappel 37, 6662 JN Elst
E-mail: kernvisie@kernvisie.com
Internet: www.kernvisie.com
Bankrekening 6851370, t.n.v. Kernvisie,
Foundation for Nuclear Energy te Zwijndrecht.

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.



VOORWOORD **WETENSCHAPPELIJKE** **ONTWIKKELING** **EN VEILIGHEID**

Waar de onderlinge verdeeldheid van de EU-lidstaten de ontwikkeling van een duurzaam energiebeleid nog al eens in de weg staat, gaan de wetenschappelijke ontwikkelingen gewoon door. In deze Kernvisie Magazine vertellen reactorfysicus Jan Leen Kloosterman en onderzoeker Frank Wols, beiden van het Reactor Instituut Delft (RID), over thoriumreactoren. Ieder van hen belicht een aspect van dit onderzoeksgebied waarbij thorium als alternatief voor uranium als grondstof voor een reactor wordt gebruikt. Nucleaire energie staat mondiaal volop in de belangstelling. Hiermee neemt ook de behoefte aan geschoolde security-managers toe. Dit jaar startte de TU Delft in samenwerking met vijf andere Europese academische centra en het internationale atoomagentschap IAEA de nieuwe breed georiënteerde master-opleiding Nuclear Security. Voor de inauguratie van de opleiding bezocht Yukiya Amano, directeur-generaal IAEA, op 18 april het RID. Tijdens deze gelegenheid benoemde hij het RID opnieuw als IAEA Collaborating Centre voor de komende drie jaar. Amano ging ook uitvoerig in op het belang van Safety en Security en de internationale samenwerking tegen de illegale handel in nucleaire materiaal. Hij verwees naar de Nuclear Security Summit (NSS) die op 24 en 25 maart 2014 in Nederland plaatsvindt en waarvoor 58 wereldleiders naar Den Haag komen en afspraken zullen maken om nucleair terrorisme te voorkomen. Dat decennia geleden heel anders werd omgegaan met nucleair materiaal blijkt dit keer uit Kernvisie in Beeld waarin aandacht wordt besteed aan 'Atomic Toys' uit de vijftiger jaren. Andere tijden, andere inzichten moeten we concluderen. Want als dit soort speelgoed nu verkrijgbaar zou zijn, gingen alle alarmbellen rinkelen!

André Versteegh
voorzitter Stichting Kernvisie

K INHOUD

MAATSCHAPPIJ

THORIUM KAN DE WERELD VOOR DUIZENDEN JAREN VAN ELEKTRICITEIT VOORZIEN

Eén van de bezwaren bij de toepassing van uranium in kerncentrales is het langlevende radioactieve afval. Maar dan kan anders. Dr. ir. Jan Leen Kloosterman, reactorfysicus bij de TU Delft is de initiator van het onderzoek aan de TU-Delft naar thoriumgedreven kerncentrales. Thorium is ruim voorradig en het levert veel minder langlevend radioactief afval op dan de bestaande kerncentrales die uranium als brandstof hebben.

P04

P07 ENERGIE

Positieve vooruitzichten voor kernenergie wereldwijd

P12 IN BEELD

Nucleair speelgoed uit de 50er jaren, de Gilbert U-238 Atomic Energy Lab.

P15 MAATSCHAPPIJ

Vernieuwd laboratorium voor URENCO Stable Isotopes

P16 V&A

Lezersvragen worden beantwoord door deskundigen

P17 COLUMN

Door Alike van Heek

P20 GEZONDHEID

België belangrijke producent van medische isotopen

ENERGIE

THORIUM VOOR HTR - ONDERZOEK NAAR INHERENT VEILIGE KWECKREACTOR

Frank Wols, onderzoeker TU Delft, doet promotieonderzoek naar de toepassing van thorium in een pebble bed reactor, een hoge temperatuur reactor die de voordelen van de thoriumcyclus paart aan hoge proces temperatuur en inherente veiligheid. Wols: "De ultieme uitdaging is het ontwerpen van een inherent veilige kweekreactor."

P08

GEZONDHEID

KERNENERGIE SPAART LEVENS

Onlangs verscheen de studie Prevented Mortality and Greenhouse gas Emissions from historical and projected nuclear power data. De studie start met het vergelijken van historische gegevens uit de nucleaire opwekkingspraktijk en een inschatting van de emissies zoals die zouden hebben plaats gevonden als dezelfde hoeveelheid elektrische energie zou zijn opgewekt met fossiele brandstoffen.



K **P22**

INSPECTIE BEVESTIGT: GEEN DOEL-3 FENOMEEN IN KERNCENTRALE BORSSELE

Ultrasoon-inspectie van alle delen van het reactorvat in Borssele heeft aangetoond dat het Doel-3 fenomeen niet aanwezig is in het reactorvat van de kerncentrale Borssele. Eind mei ging de kerncentrale weer in bedrijf.

MAATSCHAPPIJ

THORIUM KAN WERELD VOOR DUIZENDEN JAREN VAN ELEKTRICITEIT VOORZIEN

Ruim vierhonderd kerncentrales produceren wereldwijd meer dan vijftien procent van de totale elektriciteit. Eén van de nadelen is het langlevende radioactieve afval dat de productie oplevert. Maar dan kan anders. Dr. ir. Jan Leen Kloosterman, reactorfysicus bij de TU Delft is de initiator van het onderzoek aan de TU Delft naar thoriumgedreven kerncentrales. Thorium is ruim voorradig en het levert veel minder langlevend radioactief afval op dan de bestaande kerncentrales die uranium als brandstof hebben. Verdeeldheid in de EU en lage steenkoolprijzen staan de ontwikkeling echter nog in de weg.

Aan de nucleaire renaissance waarvan enkele jaren geleden nog werd gesproken, kwam na het ongeluk in Fukushima een plotseling einde. Daar lijkt het althans op. In Europa zijn enkele landen terughoudend geworden over de toepassing van kernenergie met Duitsland en zijn Ausstieg voorop. Andere landen zoals Polen en Tsjechië sluiten nieuwbouw of vervanging niet uit. Groot-Brittannië heeft in principe een akkoord gegeven voor de uitbreiding van de Hinkley Point kerncentrale en in Frankrijk en Finland verrijzen nieuwe EPRs. Van een einde van hernieuwde interesse in nucleair is dus maar voor een deel sprake. Landen zoals China gaan volop door met kernenergie.

De verdeeldheid binnen Europa heeft wel tot gevolg dat er gezamenlijk niks meer van de grond komt. Het is een understatement om te zeggen dat dit jammer is, want er is wereldwijd een toenemende vraag naar energie en de zoektocht naar veiligere en efficiëntere reactoren gaat door. Eén van de onderzoeksgebieden met potentie is de toepassing van thorium als alternatief voor uranium als grondstof. Een type reactor die op thorium draait, is de gesmoltenzoutreactor of MSR (molten salt reactor). In het gesmolten zout dat als koelmiddel dient, is ook het thorium opgenomen. In plaats van een met water gevuld bassin waarin zich de brandstofstaven met uranium bevinden



wordt in een MSR het gesmolten zout door koelkanalen in een blok modererend grafiet gevoerd. Omdat het smeltpunt van dit zout op 450 graden Celsius ligt en het kookpunt bij enkele duizenden graden, kan een dergelijke kernreactor bij hogere temperaturen werken dan een met water gekoelde kernreactor. Dit heeft als voordeel dat een hoger rendement

mogelijk is. Een ander voordeel is dat een MSR bij atmosferische druk werkt wat lagere kosten en hogere veiligheid oplevert.

MINDER AFVAL EN NIET PROLIFERATIEGEVOELIG

Thorium-232 is van zichzelf niet splijtbaar, maar vervalt na de het invangen van een

neutron tot protactinium en vervolgens naar het splijtbare uranium-233. Bij het splijtingsproces van uranium-233 komen weer een paar neutronen vrij die de kettingreactie op gang moeten houden en thorium in uranium-233 moeten omzetten. Alleen om de kettingreactie op gang te brengen is wel een andere splijstof nodig **X**



© SedF

en dat kan uranium-235 zijn. Kloosterman: "De toepassing van de gesmoltenzoutreactor met thorium kent een aantal grote voordelen. Zo kan het zout met thorium niet oververhit raken. Als de stroomvoorziening uitvalt, smelt er een zoutplug waardoor alle brandstof veilig naar tanks onder het reactorvat wegstroomt. Er wordt bovendien slechts een duizendste hoeveelheid proliferatiegevoelig plutonium geproduceerd in vergelijking met een kerncentrale die op uranium draait." Met het uranium-233 uit een thoriumcentrale is het overigens wel mogelijk een kernbom te maken. Kloosterman: "Het risico dat iemand hiermee aan de haal gaat, is praktisch nihil. Uranium-233 raakt altijd vervuild met een fractie U-232. Dit isotoop is een zeer krachtige gamma-emitter en dat maakt het werken ermee op zijn minst heel erg lastig en vereist geavanceerde laboratoria. Bovendien kun je de thoriumcyclus pas toepassen als je de uraniumcyclus al beheerst." Ook wat betreft het afval ziet Kloosterman grote voordelen voor het werken met thorium: "Het splijten van uranium-233 levert weliswaar splijtingsproducten op die hoogradioactief zijn, maar die zijn na driehonderd jaar voor het overgrote deel stabiel."

EERSTE CHINESE THORIUMREACTOR IN SHANGHAI

Komen we weer terug bij de ontwikkeling en voortgang van nucleair in het algemeen en het thoriumproject in het bijzonder. Kloosterman: "Er liggen grote vraagstukken, maar er wordt binnen Europa veel te weinig aandacht aan besteed." En het is volgens hem al helemaal moeilijk om onderzoeksgelden los te krijgen voor gedegen en structureel onderzoek. En dat is noodzakelijk als wij in Europa de aansluiting bij de rest van de wereld niet willen verliezen. Kloosterman: "China steekt miljoenen in de gesmoltenzoutreactor en is nu bezig met onderzoek naar de MSRs die de Amerikanen in de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw hebben ontworpen en gebouwd." Over vijf jaar moet de eerste thoriumreactor in Shanghai

draaien. Kloosterman neemt een slag om de arm: "Of ze dat gaan redden, durf ik niet te zeggen. Het is realistischer een periode te nemen van twintig jaar voor de ontwikkeling van een werkende, elektriciteit leverend demonstratiemodel met chemische afscheidingsfabriek die noodzakelijk is voor het brandstofmanagement."



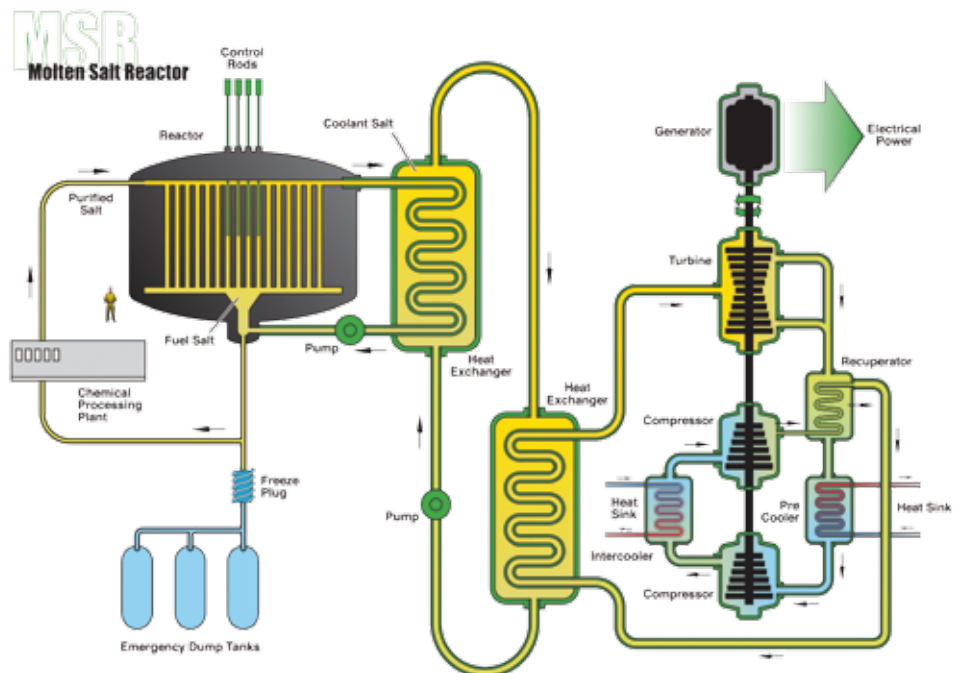
Jan Leen Kloosterman

OPTIMISME ONDANKS SLECHTE MARKTPERSPECTIEVEN

Een doorbraak laat voorlopig ook op zich wachten, omdat bedrijven het af laten

weten. "De marktperspectieven zijn op dit moment slecht. De prijzen voor steenkool dalen wereldwijd, enerzijds omdat er heel veel van is en anderzijds omdat de Amerikanen vol inzetten op schaliegas en steenkool goedkoop van de hand doen", licht Kloosterman toe. Aan de voorraden thorium zal het niet liggen. Naar schatting komt er vier tot vijf keer meer thorium in de aardkorst voor dan uranium. Daarbij komt dat van het natuurlijk te winnen uranium slechts 0,7 procent het bruikbare U-235 is en 99,3 procent U-238. Slechts in speciale snelle kweekreactoren kan het U-238 worden benut. Van thorium daarentegen kan je in een gesmoltenzoutreactor alles gebruiken. Bovendien hoeft je voor het thorium niet overal diep te spitten. In India bijvoorbeeld ligt het op verschillende stranden gewoon voor het 'oprapen'. Ook in andere landen als Noorwegen zijn grote voorraden thorium. Ondanks de geringe aandacht vanuit de politiek en bedrijfsleven blijft Kloosterman optimistisch en gaat gewoon door met zijn onderzoek: "In potentie kan thorium de hele wereld gedurende tienduizenden jaren van elektriciteit voorzien." **K**

Menno Jelgersma



POSITIEVE VOORUITZICHTEN VOOR KERNENERGIE WERELDWIJD

Kernenergie maakt zware tijden door maar behoudt, wereldwijd gezien, de steun van de meerderheid in de politiek. Dit bleek tijdens de recent gehouden World Nuclear Fuel Cycle (WNFC) conferentie in Singapore.

Het Fukushima-ongeluk was een klap voor de nucleaire industrie en aanleiding tot het ontwikkelen van nieuwe programma's voor bescherming tegen van buiten komende risico's. De sluiting van 48 kerncentrales in Japan had een direct effect op de vraag naar kernbrandstof en uraniumerts. Philippe Hatron, vice-president audit bij Areva deelde op de conferentie mee dat de strategie van Areva ten aanzien van de verminderde vraag naar kernbrandstof was om oude productiefaciliteiten te vervangen door nieuwe, maar slechts in zoverre dat alleen nog aan de huidige vraag van bestaande reactoren wordt voldaan.

Desondanks worden nieuwbouwprojecten van kerncentrales in een net zo hoog tempo ontwikkeld als in het midden van de jaren 80 van de vorige eeuw. Tweederde deel van de nieuwe centrales komt in Azië volgens Alan McDonald van het International Atomic Energy Agency. Zijn organisatie ondersteunt landen die een begin willen maken met het exploiteren van kerncentrales. Bij de landen die voor het eerst kerncentrales willen gaan bouwen gaat het om meer vijftig procent van de wereldbevolking. Tot 2034 zal de vraag naar elektriciteit in China met meer dan het totale huidige verbruik in de VS en Japan groeien. Om op wereldschaal aan de vraag te voldoen, is volgens Scott Peterson van het Amerikaanse Nuclear Energy Institute (NEI) een investering in opwekkingscapaciteit van tien biljoen dollar noodzakelijk

en nog eens zeven biljoen dollar voor het verbeteren van het grid. Op de lange termijn zijn de vooruitzichten voor kernenergie volgens Peterson dan ook uitermate robuust en veelbelovend.

GROEIVERWACHTING IN DE VS

James Asseltine van Barclays Capital en voormalig lid van de the US Nuclear Regulatory Commission (NRC) sprak over de gevolgen van de 'schaliegas boom'. Daardoor zijn veel nucleaire projecten die aanvankelijk veelbelovend waren plotseling verliesgevend geworden. Desondanks gaat de bouw van vier reactoren in Vogtle en Summer gewoon door en gaat de NRC ook verder met het proces van het verlenen van licenties aan zestien andere centrales. Een elektriciteitsbedrijf in de VS kan momenteel voor slechts duizend dollar per kW een gasgestookte centrale kopen op basis van turn-key en levering in drie jaar volgens Asseltine. Een kerncentrale kost daarentegen 4.500 tot 5.000 dollar per kW en gaat 4 tot 5 jaar bouwtijd voor turn-key-oplevering. Het is duidelijk dat gebruik van fossiele brandstoffen minder risico's oplevert en lagere kapitaallasten vraagt. Het belangrijkste ontbrekende element in deze berekeningen is de totale afwezigheid van de kosten voor koolstofdioxide-emissies. Gebeurt dat wel, dan sluit Asseltine niet uit dat er in de 20-er jaren van deze eeuw orders voor 30 tot 35 nieuwe kerncentrales volgen. **K**

WNN

Onlangs voltooide Georgia Power het betonwerk voor de fundering en werkvloeren voor de uitbreiding van de Vogtle Unit 3 kerncentrale; de eerste van enkele nieuwe units die voor het eerst sinds 30 jaar in de VS gebouwd mogen worden. Op de locatie in Georgia komen twee reactoren van het type Westinghouse AP1000. © Georgia Power





Frank Wols, onderzoeker TU Delft, doet op dit moment promotieonderzoek naar de toepassing van thorium in een pebble bed reactor, een hoge temperatuur reactor die de voordelen van de thorium-cyclus paart aan hoge procestemperatuur en inherente veiligheid. Wols: "De ultieme uitdaging is het ontwerpen van een inherent veilige kweekreactor."



THORIUM VOOR HTR

ONDERZOEK NAAR INHERENT VEILIGE KWEEKREACTOR

Thorium is ruim voorradig, niet proliferatiegevoelig en de thoriumcyclus levert beduidend minder afval op dan die van uranium. In het buitenland, en dan vooral in China, India en Rusland, wordt flink aan de weg getimmerd waar het thorium aangaat. Zo lanceerde de Chinese Academy of Sciences (CAS) in januari 2011 het 'Advanced Fission Energy Program, een strategisch onderzoeksprogramma Priority Research Program dat tot doel had twee grote uitdagingen voor de nucleaire sector wereldwijd aan te gaan: lange termijn voorziening van nucleaire brandstof en eindberging van nucleair afval. Basis van het programma is de inzet van thorium als brandstof in een TMSR (Thorium Molten Salt Reactor) dan wel een Accelerator Driven System (ADS). De TMSR werd als in de jaren 50 van de vorige eeuw ontworpen en gebouwd in de VS. In deze Kernvisie Magazine gaat Jan Leen Kloosterman in op dit type reactor. Naast het gebruik in een gesmolten zout reactor kan thorium ook worden toegepast in een Hoge Temperatuur Reactor (HTR). Op dit moment doet Frank Wols een promotieonderzoek bij de TU Delft naar de toepassing van thorium in een pebble bed reactor.

OPTIMAAL GEBRUIK VAN THORIUM IN PEBBLE BED

In een HTR wordt, in plaats van water, grafiet gebruikt als neutronenmoderator en helium als koelmiddel. In sommige ontwerpen drijft

het hete heliumgas de turbines direct aan. Dit geeft een hoger rendement dan de watergekoelde reactoren: circa 41 procent in plaats van 34 procent. De brandstof is in brandstofelementen met een doorsnede van ongeveer 1 millimeter opgenomen in de pebbles, grafietballen met het volume

“ WOLS WEET DAT HET GEBRUIK VAN THORIUM IN EEN PEBBLE BED REACTOR WERKT.”

van een tennisbal. De HTR is een reactor die inherent veilig is. Door de constructie van de reactor en het ontwerp van de brandstofballen wordt de geproduceerde warmte afgevoerd voordat de brandstof te

warm wordt, ook tijdens het uitvallen van de koelmiddelpompen. Wols: “Voorheen is wel gekeken naar het gebruik van thorium in pebble bed reactors om het brandstofverbruik en de productie van plutonium te verminderen, maar mijn onderzoek is vooral gericht op de optimalisatie van het gebruik van thorium in een pebble bed reactor. Dat is noodzakelijk om de voordelen van de thoriumcyclus volledig te benutten in dit inherent veilige reactortype.” Wols weet dat het gebruik van thorium in een pebble bed reactor werkt. Dat is volgens hem in Duitsland met de THTR-300 al wel bewezen: “Helaas werd de reactor stilgelegd in de nasleep van het ongeluk in Tsjernobyl.”

HET ONDERZOEKSDOEL

De basis van het onderzoek dat Wols uitvoert, is de zoektocht naar een inherent veilige kweekreactor. Deze basis splitst hij uit in een paar hoofdonderwerpen: de kweekreactor, de inherente veiligheid en de opstart van de reactor. Als eerste vertelt Wols over het brandstofontwerp in een kweekreactor. Het gaat daarbij om elementen waarin aanvankelijk alleen thorium is opgenomen. Door de invangst van neutronen vervalt een deel van het thorium met een tussenstap van protactinium naar het gewenste en splijtbare uranium-233. “Een hogere neutronenflux zou kunnen helpen ➤

DUIJS ONTWERP VAN EEN THORIUM-HTR

De eerste pebble bed reactor ooit is van Duitse makelij. Deze Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (AVR) met een thermisch vermogen van 46 megawatt en 15 megawatt elektrisch vermogen werd in 1966 kritisch en leverde vanaf december 1967 stroom aan het net. Het succes van deze AVR in Jülich leidde tot de bouw van Thorium High Temperature Reactor (THTR). Deze THTR-300 was bedoeld als demonstratiemodel en diende als schakel tussen de experimentele AVR en nieuw te bouwen commerciële reactoren. Een THTR brandstofelement bevatte 0,96 gram hoog verrijkt uranium-235 en 10,2 gram thorium-232. Gemiddeld doorliep een brandstofbal zes keer de reactorkern om maximaal van de brandstof gebruik te kunnen maken. Het koelmiddel helium warmt tijdens ingebruikname op tot 750 graden Celsius. De THTR-300 bereikte in september 1983 voor het eerst criticiteit en werd op het net aangesloten. Hoewel de reactor technisch succesvol bleek, sloot de energiemaatschappij de THTR-300 om economische en bedrijfstechnische redenen in augustus 1989.

om de conversie te versnellen, maar zorgt er ook voor dat er meer protactinium ontstaat. Maar protactinium heeft een hoog neutronen absorptievermogen, dit maakt een hogere flux dus weer minder efficiënt." Uiteindelijk wordt een 'opbrengst' van 2,5 procent uranium-233 bereikt, nadat een evenwicht tussen de conversie vanuit thorium en splijting van U-233 wordt bereikt. "Een deel van dit uranium splijt weliswaar, maar het is onvoldoende om een kettingreactie in gang te zetten die de reactor draaiende houdt", licht Wols toe.

Om toch voldoende splijtbaar uranium te krijgen, onderscheidt Wols een 'driverkanaal' en een 'breederkanaal' in de reactor. Het breederkanaal bevat minder moderator, grafiet dus, om de conversie van thorium naar U-233 te bevorderen. Het driverkanaal is een goed gemedereerde zone om splijting te bevorderen en zo de kettingreactie in stand te houden, die noodzakelijk is om de warmte te leveren voor de opwekking van elektriciteit. Deze combinatie van breeder en driver is in de praktijk nog niet uitgevoerd. Het direct terugvoeren van de bestraalde brandstofballen uit het breederkanaal, met fracties tot 2,5 procent U-233, in het driverkanaal is helaas nog niet voldoende om de kettingreactie op gang te houden. Dit is wel mogelijk als het uranium in de brandstofballen uit breeder- en driverkanaal wordt opgewerkt in verse driver-pebbles met tien procent uranium-233. Wols' onderzoek richt zich onder meer op de ideale dimensies, het vermogen en het brandstofmanagement van een kweekreactor. "De vereiste reprocessing maakt netto kweek in een HTR in de praktijk niet eenvoudig, maar technisch gezien is het zeker mogelijk", licht Wols toe.

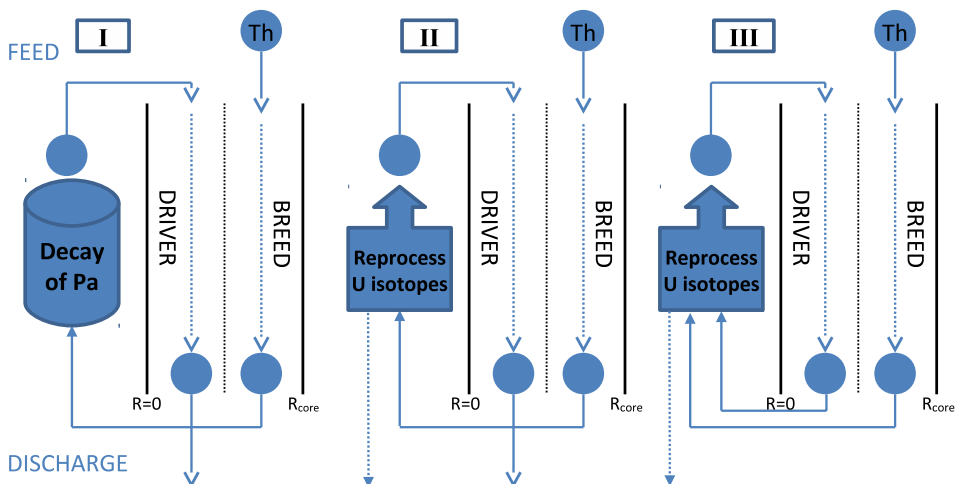
INHERENTE VEILIGHEID

Het tweede hoofdonderwerp waar Wols zich op richt, is het behoud van de inherente veiligheid van zijn kweekreactor op basis van thorium. Bij de uraniumgedreven HTR dooft de kernreactie vanzelf als het koelmiddel wegvault. De bollen zullen

tijdelijk nog wat verder opwarmen als gevolg van de nawarmte, maar ze zijn bestand tegen de maximale temperatuur. Hierdoor blijft het radioactieve materiaal in de bollen. Wols: "In de Chinese HTR-10 is dit proefondervindelijk aangetoond. Als de koeling wordt onderbroken, keert het systeem vanzelf naar een veilige toestand." Het is voor hem de uitdaging om aan te tonen dat de feedbackcoëfficiënten zoals die bekend zijn van een uranium based HTR en die verantwoordelijk zijn voor het remmen van de kettingreactie bij temperatuurstijging ook bij een thorium based pebble bed gewaarborgd is. Wols: "Uit de modellen moet ook blijken of er sprake is van voldoende afvoer van na-warmte wanneer de actieve koeling wegvault. Van belang daarbij is dat de brandstoftemperatuur te allen tijde onder 1.600 graden Celsius blijft."

Het derde hoofdonderwerp is de start van een thoriumreactor omdat daarin in beginsel nog geen uranium-233 voorradig is. Voor de productie en de splijting van uranium-233 zijn immers neutronen nodig. Wols: "Ik onderzoek mogelijke brandstoffen en strategieën om een thorium pebble bed reactor op de starten. Tijdens de opstart van de reactor zou U-235 of plutonium kunnen worden gebruikt, totdat de reactor zelf voldoende U-233 aanmaakt.

➤ *Drie recyclingschema's bestudeerd door Wols. Alleen het derde schema, met opwerking van het uranium uit alle uitgevoerde brandstofballen, leidt tot een kweekreactor met voldoende splijtbaar materiaal om de kettingreactie in stand te houden*



STEENKAMPSKRAAL

In Zuid-Afrika is het bedrijf Steenkampskraal Thorium Limited actief met de ontwikkeling van een kleine 100 megawatt HTR. Deze TH-100 nuclear plant, die op papier is uitgewerkt, maakt gebruik van de Once-Through-Then-Out (OTTO) Thorium fuel cycle, een eenvoudig ontwerp dat naast opwekking van warmte ook in-situ de verbranding van proliferatiegevoelig plutonium mogelijk maakt. Steenkampskraal Thorium Limited is nu op zoek naar investeerders. (<http://www.thorium100.com>).

In de uiteindelijke evenwichtstoestand hoeft netto alleen thorium aan het systeem toegevoerd te worden en die toestand wil je op een snelle en veilige manier bereiken." Wols is nu ongeveer 2,5 jaar bezig met zijn promotieonderzoek. "In principe heb ik nog tot december 2014 en dan hoop je als promovendus natuurlijk dat het af is. Maar het is altijd spannend om te zien of dat uiteindelijk ook echt lukt." **K**

Menno Jelgersma



➤ *Poetin deed zijn toezegging aan president Jacob Zuma voorafgaand aan de tweedaagse BRIC-top (Brazilië, Rusland, India, China) die onlangs in Durban, Zuid-Afrika plaatsvond.*

POETIN DRAAGT BIJ AAN ONTWIKKELING NUCLEAIRE INDUSTRIE ZUID-AFRIKA

Rusland biedt Zuid-Afrika hulp bij het ontwikkelen van de nucleaire industrie, van de productie van hulpbronnen tot en met ontwerp en de bouw van centrales. Poetin deed die toezegging in het bilateraal overleg tussen hem en Zuid-Afrika's president Jacob Zuma, voorafgaand aan de tweedaagse BRIC-top (Brazilië, Rusland, India, China en Zuid-Afrika) die in Durban plaatsvond.

De leiders tekenden een gezamenlijke verklaring voor een strategisch partnerschap tussen de beide landen. Ook zetten zij hun handtekening onder een pakket bilaterale documenten waaronder een samenwerkingsovereenkomst op het terrein van energie. "We beschikken over een enorm potentieel aan mogelijkheden voor het ontwikkelen van samenwerking in de energiesector, eerst en vooral op het terrein van de nucleaire energie", hield Poetin de pers voor na afloop van de gesprekken. Hij zei dat de Russische hulp niet alleen bedoeld was om centrales te bouwen op basis van de modernste

techniek, maar ook voor het ontwikkelen van Zuid-Afrika's nucleaire industrie als geheel: van de productie van hulpbronnen via de bouw van kerncentrales en onderzoeksreactoren tot en met ontwerp en bouw van Zuid-Afrika's eigen nucleaire uitrusting. "Dit alles is inclusief ondersteuning op het gebied van kredietverlening en training van specialisten", voegde Poetin toe.

Poetins toezegging kwam een paar dagen na de uitspraak van Zuid-Afrika's vicepresident Kgalema Motlanthe, die in zijn keynote-bijdrage aan de Nuclear Africa 2013 conferentie stelde, dat Zuid-Afrika een samenhangend nucleair programma diende

te ontwikkelen. Motlanthe karakteriseerde kernenergie als bijzonder geschikt om iedereen van elektriciteit te kunnen voorzien en de stroom daar te krijgen, waar de vraag is. Zuid-Afrika's elektriciteitsproductie is nu gebaseerd op het gebruik van kolen; de productie vindt hoofdzakelijk plaats in het noordoostelijk deel van het land. De opgewekte stroom moet daardoor over grote afstanden worden getransporteerd. "Het is glashelder dat kolen niet de lange termijnoplossing vormen voor onze energiebehoefte", zei hij. Zuid-Afrika moet zich richten op het ontwikkelen van "op wereldschaal competitieve" nucleaire systemen. Zuid-Afrika heeft nu twee 900 MWe kerncentrales in Koeberg waarmee ongeveer vijf procent van de Zuid-Afrikaanse elektrische energie wordt opgewekt. De regering heeft plannen voor minimaal 9.600 MWe aan nucleaire capaciteit per 2030. **K**

WNN

IN BEELD

KOM KINDEREN LATEN WE ATOMEN SPLIJTEN!

Iedereen heeft ze wel eens gezien of in bezit gehad; technische speeldozen. Ze zijn misschien niet meer zo populair als tientallen jaren geleden, maar ze bestaan nog wel degelijk.

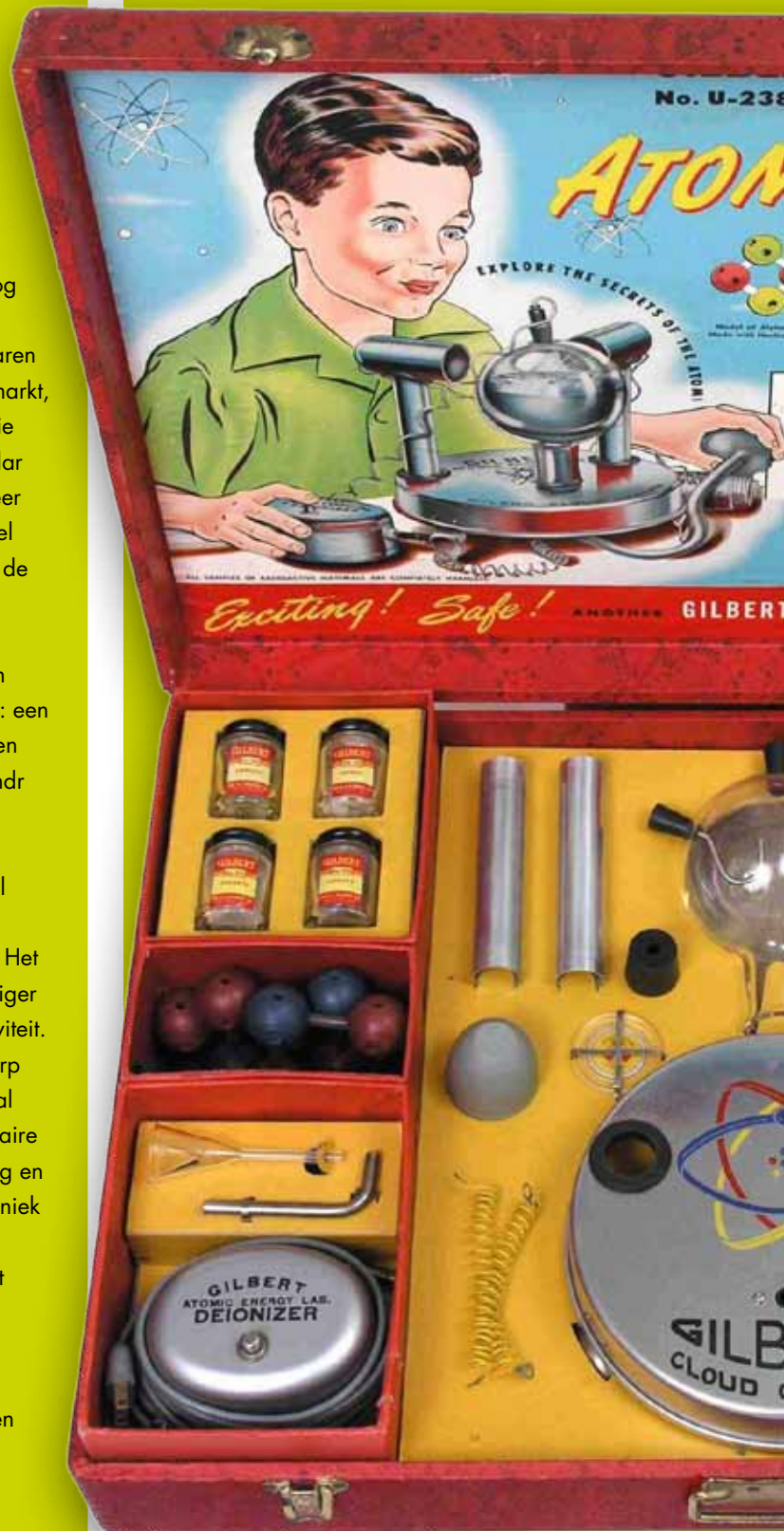
In het begin van de vijftiger jaren van de vorige eeuw waren er ook technische speeldozen over radioactiviteit op de markt, zoals de Gilbert U-238 Atomic Energy Lab. Deze doos die te koop was in de Verenigde Staten kostte toen al 50 dollar en dat zou naar huidige maatstaven omgerekend ongeveer 500 dollar zijn. Op Ebay stond er laatst nog een origineel exemplaar te koop dat voor maar liefst 3.000 dollar van de hand ging!

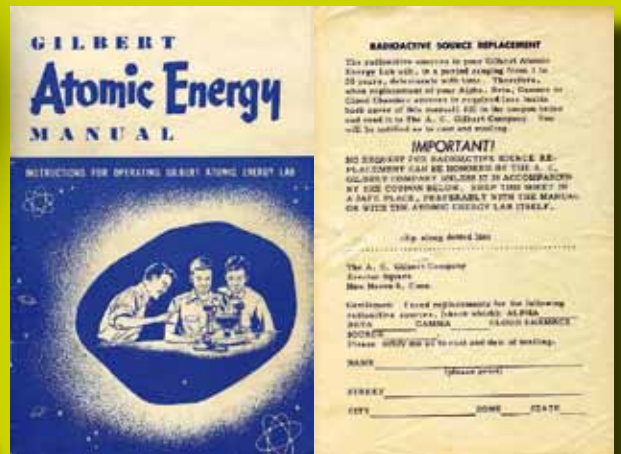
Een duur stuk speelgoed dus, maar je kon er wel veel van leren. De inhoud is opmerkelijk compleet met onder meer: een geigerteller, een wolkenkamer, beta- en gammabronnen en polonium-210, een alfabron waarmee ex-KGB'er Aleksandr Livinenko in 2006 werd vergiftigd.

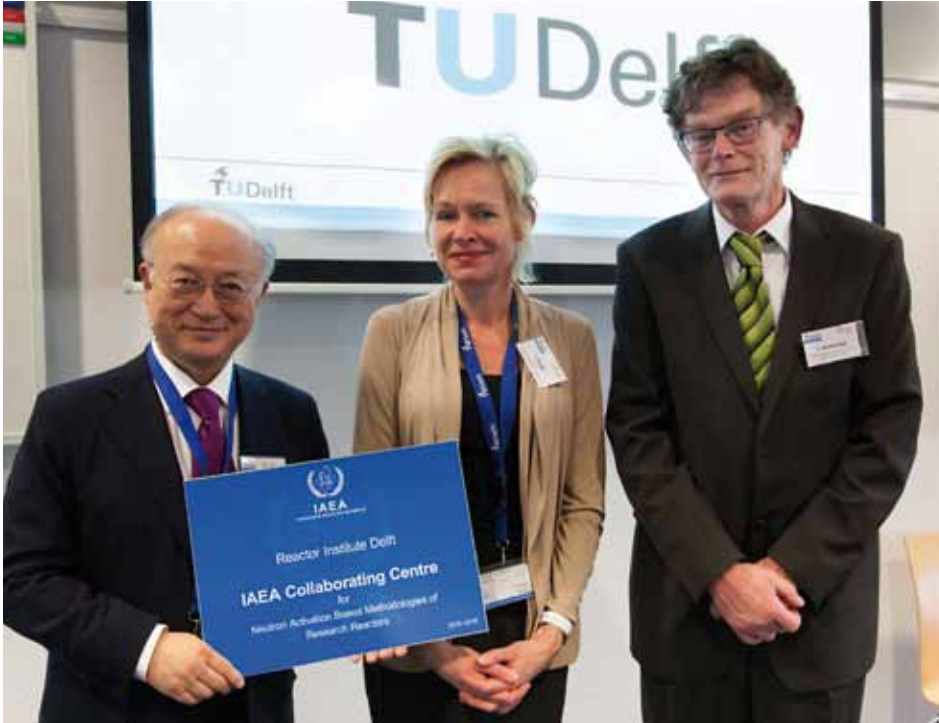
Aan de ene kant jammer maar het klinkt eigenlijk ook wel weer logisch dat de Gilbert U-238 Atomic Energy Lab tegenwoordig niet bij Bart Smit of de HEMA is te vinden. Het is met de huidige kennis niet meer acceptabel om op vijftiger jaren wijze kinderen kennis te laten maken met radioactiviteit. Toch is het nog steeds goed om ze wat over het onderwerp te onderwijzen. Je kunt laten zien dat radioactiviteit overal om ons heen aanwezig is. En je kunt laten zien dat nucleaire techniek op veel manieren voor ons leven en welzijn nuttig en onmisbaar is. In het onderwijs zou je dat bij het vak Techniek goed kunnen laten zien. Omgaan met de gevaren van radioactieve straling is te leren, net zoals je kinderen kunt leren op een veilige manier water te koken en gebruik te maken van een cirkelzaag.

Met dank aan een URENCO-medewerker voor het insturen van de afbeelding. **K**

© Oak Ridge Associated Universities
meer info: <http://www.ornl.gov/ptp/museumdirectory.htm>







waar in 2011 een kleine hoeveelheid hoogradioactief uranium (HEU) werd onderschept. Amano: "Illegale handel in bijvoorbeeld HEU is een groot gevaar en wat in Moldavië is aangetroffen, is misschien maar de top van de ijsberg." Hij verwees naar de Nuclear Security Summit die volgend jaar in Nederland plaatsvindt. Op 24 en 25 maart 2014 komen 58 wereldleiders voor deze top samen in

K IAEA Director General Yukiya Amano overhandigt aan Anka Mulder, Vice-President Education and Operations, TU Delft en Bert Wolterbeek, Directeur van het RID de plaquette waarop de benoeming van het RID als IAEA Collaborating Centre voor de komende drie jaar staat vermeld.
© Reactor Instituut Delft

REACTOR INSTITUUT DELFT OPNIEUW BENOEMD ALS IAEA COLLABORATING CENTRE

Yukiya Amano, directeur-generaal van het Internationaal Atoomagentschap, de IAEA, heeft op donderdag 18 april bij een bezoek aan het Reactor Instituut Delft (RID) van de TU Delft het RID opnieuw benoemd als IAEA Collaborating Centre voor de komende drie jaar. Amano ging tijdens zijn voordracht uitvoerig in op het belang van Safety en Security en de internationale samenwerking ter voorkoming van illegale handel in nucleaire materiaal.

"De samenwerking van de IAEA met het Reactor Instituut Delft is een zeer goed voorbeeld van een wederzijds partnerschap," zei Amano, waarbij hij vooral de aanzienlijke kennis en expertise van het RID benoemde en de belangrijke rol die het instituut vervult bij het wetenschappelijk onderzoek op het

gebied van gezondheid en duurzame energie. Tijdens zijn toespraak ging Amano uitvoerig in op het belang van internationale samenwerking waar het Safety en Security betreft. "Het is een zaak van de IAEA en van ieder land afzonderlijk", aldus Amano. Als voorbeeld noemde hij de training door de IAEA van veiligheidsmensen in Moldavië

Den Haag. Het doel is het wereldwijd voorkomen van nucleair terrorisme. Volgens Amano komen dan ruim vijftig landen naar Nederland: "Meer dan honderd zullen er niet zijn. En juist daartussen - en ik noem geen namen - bevinden zich de gevaarlijkste landen", aldus Amano, "We moeten dus alles op alles zetten om te voorkomen dat uranium in verkeerde handen terecht komt." Maar het gaat volgens hem natuurlijk ook om materialen als plutonium of bijvoorbeeld kobalt. "Als de bom in Boston een vuile bom was geweest, had het effect van de aanslag gigantisch kunnen zijn", licht Amano toe. Maar we zijn wel op de goede weg. Over het geheel nemen de aandacht voor en de kwaliteit van Safety and Security toe; het verstrekken van informatie en onderhouden van contacten is daarbij essentieel. Amano noemt Nederland een voorbeeldland voor andere. Zo noemde hij de start van de nieuwe masteropleiding Nuclear Security aan de TU Delft een mijlpaal. Daarnaast hebben medewerkers van het instituut de IAEA ondersteund in het ontwerpen van projecten voor technische samenwerking voor nucleair analytische laboratoria over de hele wereld en in het verbeteren van

onderzoeksreactortoepassingen. Safety en Security moeten ook gelijke tred houden met de groei van het aandeel nucleaire energie wereldwijd. "Op dit moment zijn 437 kerncentrales in bedrijf. 68 worden er op dit moment gebouwd en de komende twintig jaar komen daar nog eens tachtig tot negentig stuks bij", aldus Amano. Turkije en Vietnam zijn de nieuwkomers op het

gebied van nucleaire energie. China, India en Zuid-Korea breiden uit en er is een toenemende vraag volgens Amano van derde wereldlanden die bij het IAEA aankloppen voor hulp en advies over de mogelijkheden van nucleaire energie. De rol van de TU Delft / RID in beschouwing genomen, lag de herbenoeming van het RID als IAEA Collaborating Centre voor de hand.

Met een officiële ceremonie overhandigde Amano de plaquette van IAEA Collaborating Centre aan Bert Wolterbeek, directeur RID. "Wij zullen onze samenwerking de komende periode verder intensiveren. De IAEA heeft ambitieuze plannen voor Delft in petto", aldus Amano. **K**

Menno Jelgersma

VERNIEUWD LABORATORIUM VOOR URENCO STABLE ISOTOPES

In de afgelopen maanden is het laboratorium van URENCO Stable Isotopes (SI) grondig verbouwd. De werkomstandigheden zijn verbeterd en het aantal zuurkasten is uitgebreid. Tevens is een grote conversie-installatie voor selenium-82 geplaatst.

Het laboratorium van SI wordt voornamelijk gebruikt voor omzetting van verrijkte producten. Aangezien de meeste klanten van SI hun producten in vaste vorm willen ontvangen moet de gasvormige verbinding, waar de verrijking mee heeft plaatsgevonden, worden geconverteerd naar een vaste stof, bijvoorbeeld een metaal of oxide. Deze conversieprocessen worden uitgevoerd in zuurkasten. De zuurkasten die tot voor kort in het laboratorium werden gebruikt waren enigszins verouderd en hadden geen regelbare luchtafzuiging. Dit hield in de praktijk in, dat de luchtstroom door de kasten en in de ruimte zeer hoog was, wat weer leidde tot onplezierige arbeidsomstandigheden veroorzaakt door bijvoorbeeld tocht. Bij de nieuw geplaatste zuurkasten wordt de luchtafzuiging automatisch geregeld zodat alleen die hoeveelheid lucht wordt afgezogen, die nodig is voor veilige werkomstandigheden. Daarnaast is ook de luchttoevoer in het laboratorium gewijzigd. Waar in het verleden de lucht binnenkwam door roosters en gaten, wordt de lucht nu via grote zakken aan het plafond de ruimte ingeleid. Deze aanpassing zorgt ervoor dat de snelheid waarmee de lucht binnenkomt laag is en dat voorkomt ook tocht.



✦ Cascadeopstelling centrifuges bij URENCO Nederland BV
© URENCO Nederland BV

KLAAR VOOR SELENIUM

Naast deze aanpassingen is in het lab ook een conversieopstelling geplaatst voor de omzetting van gasvormig SeF₆ (selenium hexafluoride), waarvan het selenium verrijkt is tot selenium-82, naar vast selenium. Deze installatie is modulair in twee hoge zuurkasten opgebouwd en zal in de komende tijd gebruikt worden om meerdere kilogrammen selenium-82 te produceren. Dit materiaal gaat naar een groep wetenschappers die onderzoek doet naar neutrino's. "De schaalgrootte van deze omzetting is redelijk uniek voor Stable Isotopes. Normaal gesproken produceren we van de verschillende selenium-isotopen slechts enkele grammen," aldus Peter Groen, Proces Development Engineer bij Stable Isotopes. "Voor de ruwweg 100-voudige opschaling van het bestaande proces hebben collega Wim Kolkman en ik in het afgelopen jaar talloze haalbaarheidsexperimenten gedaan. Die hebben uiteindelijk tot het in het laboratorium geplaatste ontwerp geleid. Ook over duurzaamheid hebben we nagedacht: na het voltooiën van de Seleniumopdracht kan de installatie relatief eenvoudig omgebouwd worden voor de productie van andere producten, bijvoorbeeld zinkacetaat." **K**

URENCO SI


**FOLKERT
DRAAISMA**

**JAN
WIEMAN**

VRAAG & ANTWOORD

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

BEPERKT GENIETEN VAN EEN SPA?

In het februari-nummer van de KernVisie werd door het IAEA laboratorium in Seibersdorf gesteld dat je maar korte tijd gebruik mag maken van een 'radioactief' spa-bad in een kuuroord, om niet te veel straling op te lopen.

Maar hoe lang dan en hoe is die grens vastgelegd?

Een beetje radioactieve straling is toch gezond?

Laat ik beginnen, om mogelijke verwarring op voorhand uit te sluiten, met te stellen dat met 'spa' hier een kuuroord wordt bedoeld, en niet de 'spa rood' of 'spa blauw' die je in de supermarkt koopt. Het antwoord op de vraag is niet eenvoudig. Want in een radioactieve spa is sprake van twee gezondheidseffecten. Enerzijds is er het al dan niet bewezen positieve effect op de gezondheid. Het water in een spa bevat veel natuurlijke mineralen, en daarnaast ook radioactieve stoffen.

Aan de andere kant is er de stralingsbelasting door de (natuurlijk)

radioactieve stoffen in het water. Dit is vooral radon, een radioactief (edel)gas dat in het water is opgelost, en vervalproducten van radon. De stralingsbelasting wordt dan veroorzaakt door drie effecten: directe straling op de huid, straling in de huid, doordat water met daarin de opgeloste stoffen in de huid dringt, en straling door inademing van radongas, dat een beetje uit het water opborrelt. Qua stralingsdosis verwacht ik dat het laatste effect het belangrijkste is. Overigens heeft het laboratorium van de IAEA niet de maximale verblijftijd in een spa vastgesteld. Het laboratorium heeft meetstandaarden ontwikkeld, waarmee de hoeveelheid radioactieve stoffen (het radongas en de dochterproducten, waaronder polonium-210) in het water nauwkeurig kan worden vastgesteld. Hiermee kan het kuuroord dan vaststellen, wat de optimale verblijftijd is in een radioactief spa-bad. Daarnaast moet ook de stralingsbelasting voor het personeel beperkt blijven.

Of een beetje radioactieve straling (eigenlijk moet je zeggen: 'ioniserende' straling) gezond is?

Daarover bestaat al lange tijd discussie tussen wetenschappers. Het is namelijk lastig, zo niet onmogelijk, om de gezondheidseffecten van heel lage stralingsdoses goed vast te stellen. De mogelijke kanseffecten van een lage stralingsdosis (het ontstaan van kanker) worden dan overschaduwd door de invloed van andere

kankerverwekkende stoffen. De heersende LNT theorie (Linear No Threshold) zegt dat een beetje straling al schadelijk kan zijn voor de gezondheid. Een andere theorie stelt dat een kleine stralingsdosis het lichaam helpt om een enige bescherming tegen blootstelling aan ioniserende straling op te bouwen. Dit wordt hormese genoemd. Binnen de stralingshygiëne gebruiken wij de LNT theorie, omdat deze het gezondheidseffect van ioniserende straling het zwaarst inschat. Dit is mogelijk een overschatting, maar dat is beter dan de negatieve gezondheidseffecten te onderschatten. Bij blootstelling onder de 10 mSv zijn er geen indicaties bekend voor een verhoogd stralingsrisico. Dat betekent ook dat er geen positieve gezondheidseffecten bij deze lage doses aangetoond zijn.

Folkert Draaisma

HOEVEEL AFVAL PRODUCEERT KERNENERGIE EIGENLIJK?

“Er wordt beweerd dat kernenergie weinig afval produceert. Maar hoeveel dan eigenlijk? En hoe moet je dat vergelijken met gas- of kolengestookte centrales?”

Jan Wieman: “De kerncentrale Borssele heeft een capaciteit van 500 MWe. Dat is qua vermogen vergelijkbaar met gangbare kolen- of gasgestookte centrales. Maar verder gaat elke vergelijking mank. Afval van de kerncentrale wordt geconcentreerd en veilig opgeslagen (het blijft dus onder menselijk toezicht), kolen- en gasgestookte centrales lozen CO₂-gas dat zich over de atmosfeer verspreidt. Voor een gasgestookte eenheid is dat per jaar 1,7 miljoen ton CO₂-gas en voor een koleneenheid 3,5 miljoen ton.

Borssele ontaardt per jaar ongeveer 10 ton splijtstof, in de vorm van gebruikte splijtstofelementen. Het beleid in Nederland is om deze te recyclen. Daarvoor wordt de splijtstof uit Borssele naar een opwerkingsfabriek gezonden. Daar worden de radioactieve afvalstoffen gescheiden van nuttige producten: uranium en plutonium. Van uranium en plutonium worden opnieuw splijtstofelementen gemaakt.

Wat er overblijft, zijn een paar honderd kilo hoogradioactieve splijttingsproducten (zoals cesium) en zware toxische metalen (zoals americium). Die afvalstoffen worden gemengd met gesmolten glas en in roestvrij stalen vaten gegoten. Na het stollen van het glas is het afval dan een massief, in staal verpakt glasblok van 160 liter geworden. Een tweede soort afval is het radioactief besmette metaal van splijtstofelementen, zoals de lege buisjes en stalen kopstukken. Dit schroot wordt in de opwerkingsfabriek samengeperst en ook in standaard roestvrijstalen vaten verpakt.

Bij elkaar gaat het voor Borssele om ongeveer 15 van deze vaten met glas en met schroot per jaar, dat is 3 kubieke meter afval. Voor veilige stralingsafscherming wordt dit afval bij de COVRA achter betonmuren opgeslagen. **K**

COLUMN



DE ANDERE KERNBRANDSTOF

Het nieuws over thorium als kernbrandstof zit niet in de techniek, maar in de belangstelling zelf. De laatste jaren zijn er diverse bedrijfjes en

stichtingen opgericht met het doel het op de markt brengen van kerncentrales met thoriumhoudende brandstof.

Waarom thorium? Steeds genoemd worden de ruime beschikbare voorraden en het korter levend radioactieve afval. De voorraden zijn bij uranium echter niet het probleem, die zijn er zat. En voor het radioactieve afval blijft het fundamentele principe van uit de biosfeer houden voor meerdere generaties bestaan.

Er kunnen ook andere redenen zijn waarom een bedrijf inzet op thoriumreactoren. Zo bezit het Zuid-Afrikaanse Steenkampskraal Thorium Limited (STL) de exclusieve rechten op het thorium dat vrijkomt bij de winning van zeldzame aarden in de Steenkampskraalmijn. Tevens beschikken ze over een ontwerp voor een 35MWe pebble bed reactor, en toegang tot splijtstofproductiefaciliteiten, beide voortgekomen uit het vroegere PBMR programma van de Zuid-Afrikaanse overheid. Maar altijd is de vraag: wie zal dat betalen? Er is een sponsor nodig met veel geld, niet alleen voor de ontwikkeling, maar ook voor het prototype. Als we eens kijken naar een andere tot voor kort government-only activiteit, de ruimtevaart, dan zien we dat die er in principe zijn. Commerciële ruimtevaartbedrijven zoals SpaceX en Virgin Galactic doen hun intrede, en niet alleen met ontwerpen, maar ook met echte orders en betaalde activiteiten, zoals vrachtovervoer naar het ISS of ruimtetoerisme.

Bill Gates sponsort een innovatieve kernreactor via het bedrijf Terrapower. Ook STL heeft er recent een Amerikaanse investeerder bij. Nog niet voor de bedragen die nodig zijn voor de bouw van een prototype, maar het is een begin. Als het geld er is, dan is er binnen tien jaar ook echt nieuws te melden. **K**

Aliki van Heek



KIVI NIREA KE/NNS SYMPOSIUM 'ISOTOPES MAKE YOU FEEL BETTER' BIJ URENCO SI

De centrifugetechniek van URENCO kan natuurlijk meer dan alleen het scheiden van de uranium isotopen 238 en 235. In principe kan de techniek werken voor alle isotopen waar er sprake is van een verschil in massa. Op 12 april organiseerde het onderdeel Stabiele Isotopen (SI) van URENCO BV in Almelo voor Kivi Niria KE/NNS een symposium waarin diverse andere toepassingen aan de orde kwamen.

Het ging bij dit symposium dus niet om verrijking van uranium als kernbrandstof, maar om het produceren van speciale, ook niet radioactieve isotopen voor heel andere toepassingen.

Peter Groen, proces development engineer URENCO gaf een overzicht van de werkzaamheden bij Stabiele Isotopen van URENCO. Naast de centrifugetechniek bestaan er meer technieken voor het scheiden van isotopen waarvan gasdiffusie en destillatie van oudsher de bekendste zijn. Er zijn meer recente ontwikkelingen die met behulp van lasertechnieken en op basis van massaspectroscopie (calutron) scheiding kunnen bewerkstelligen. Maar de door URENCO gebezigde centrifugetechniek is erg succesvol gebleken. Uiteindelijk gaat het ook hierbij om de kostprijs als je als bedrijf concurrerend wilt zijn (en blijven). En dat is bij centrifuges zeker het geval.

MONO-ISOTOPE ELEMENTEN

URENCO kan de techniek toepassen voor een groot aantal isotopen: xenon, zink, cadmium, iridium, germanium, wolfram, selenium, tin, tellurium, en molybdeen. Getest wordt aan krypton, chroom, ijzer, silicium, nikkel en zwavel. Het zal duidelijk zijn dat de techniek alleen maar kan werken als de te scheiden isotopen als een gasvormige chemische verbinding beschikbaar zijn.

✂ *URENCO kan de centrifugetechniek toepassen voor een groot aantal isotopen, waaronder: xenon, zink, cadmium, molybdeen en iridium*
(© URENCO Nederland BV)

Bij voorkeur gaat het dan om andere mono-isotope elementen in de verbinding, die uiteraard niet corrosief mogen zijn en beschikbaar bij kamertemperatuur, zoals bijvoorbeeld fluor.

TOEPASSINGEN IN INDUSTRIE, WETENSCHAP EN MEDISCHE WERELD

Toepassing van de isotopen vindt plaats in de industrie zoals Zn-64 in kerncentrales voor de bescherming van de reactorwand, Ir-191 en Se-74 voor gamma-camera's. In de medische wereld wordt gebruik gemaakt van Ir-191 en Xe-124 voor therapie en Te-124 voor diagnostiek en bij wetenschappelijk onderzoek bijvoorbeeld Se-82 in de kernfysica en Zn-70 bij studies voor voedselopname. Concurrentie is er ook voor Urenco. Sinds de 60-er jaren van de vorige eeuw komt die uit Rusland en tot aan de jaren '90 ook vanuit de Verenigde Staten door het US Department of Energy (USDoE). Arjen Bos, head of Stable Isotopes URENCO ging in op de functie van de specifieke isotopen in hun toepassing en

waarom daarvoor die speciale isotoop nodig is voor die toepassing. Zoals Zn-64 ter vermindering van de corrosie in reactorvaten van kerncentrales en Ir-192 voor camera's waarmee lasverbindingen getest kunnen worden. Met het isotoop Ir-192 slaagt men erin die camera's draagbaar te maken en multi-inzetbaar. Minder bekend is dat URENCO ook isotopen levert voor medische activiteiten, die dan niet stabiel zullen zijn. Olle Klaassen, manager purchase & contracting, Nucletron, een onderdeel van ELEKTA, illustreerde hoe breed het gebied op dit moment al is van het gebruik van isotopen bij de behandeling van diverse ziekten zoals: longtumoren, prostaat- en darmkanker. ELEKTA is een bedrijf, dat actief is op het terrein van het gebruik van isotopen in medische toepassingen. Het symposium werd afgesloten met een voordracht van Bert Wolterbeek, managing director Reactor Instituut Delft, met een overzicht en een analyse van de verschillende mogelijkheden waarop Mo-99 kan worden geproduceerd. Dank aan URENCO voor het organiseren van dit symposium waarmee een interessante inkijk werd geleverd op een nucleair terrein dat minder bekend is maar dat zeer tot de verbeelding spreekt. **K**

Gerrit Boersma



➤ Het Reactor Instituut Delft (RID) met de Hoger Onderwijs Reactor (HOR)
(© Wikipedia/Michiel1972)

RID VIERT 50 JAAR HOR



Vijftig jaar geleden, op de vroege ochtend van 25 april 1963 ontstak ir. Jaap Klein met een klein team medewerkers als een eigentijdse Prometheus het nucleaire vuur in de onderzoeksreactor. Het kritisch maken van de reactor, waardoor de kernsplijting zichzelf gaande houdt, markeert het begin van de kernreactor in Delft.

De Hoger Onderwijs Reactor (HOR) is de nucleaire onderzoeksreactor van de TU Delft waar neutronen worden geproduceerd voor wetenschappelijk onderzoek en onderwijs. Van de 180 medewerkers houdt de helft zich bezig met medisch onderzoek en de andere helft met materiaalonderzoek. Wat betreft medische toepassingen richt het onderzoek zich onder meer op de productie van nieuwe typen medische isotopen voor de diagnose en behandeling van kanker. In geval van nood kan de Delftse reactor ook medische isotopen produceren voor Nederlandse ziekenhuizen.

Over het materiaalonderzoek zegt prof. Bert Wolterbeek, wetenschappelijk directeur Reactor Instituut Delft: "Door materialen met neutronen te bestoken kun je veel te weten komen over de eigenschappen van dat materiaal. Op die manier worden er met neutronen nieuwe betere materialen ontwikkeld voor duurzame energie, zoals zonnecellen en

batterijen. Ook kan in Delft met neutronen de echtheid van schilderijen, bijvoorbeeld van Rembrandt, worden onderzocht of de kwaliteit van voedingsmiddelen."

Het kabinetsbesluit om fors in de onderzoeksreactor te investeren is dan ook reden tot feest. Een deel van het OYSTER-programma (Optimised yield for science, technology and education of radiation) is een ingrijpende aanpassing van de reactorkern. Het vermogen wordt vergroot en er wordt een koude neutronenbron gebouwd. Wolterbeek: "Een Koude Bron is een apparaat dat de snelheid van neutronen kan afremmen.

Hierdoor kunnen de neutronen veel gericht en nauwkeuriger worden ingezet. Met OYSTER wordt het onder meer mogelijk om nieuwe medische isotopen te ontwikkelen om kankercellen op te sporen of te vernietigen. Ook kunnen de langzamere neutronen veel nauwkeuriger afwijkingen in materialen opsporen zodat bijvoorbeeld het rendement van zonnepanelen en capaciteit, oplaadsnelheid en veiligheid van batterijen drastisch kunnen worden verhoogd." **K**

Bron: TU Delft - RID

BELGIË BELANGRIJKE PRODUCENT VAN MEDISCHE ISOTOPEN



➤ BR2 gezien vanaf boven
(Foto: SCK-CEN)

De Belgische BR2-reactor draaide van 25 april tot 15 mei een extra cyclus om te garanderen dat ondanks het uitvallen van de HFR in Petten, toch voldoende medische isotopen beschikbaar bleven. Het ging hierbij hoofdzakelijk om de productie van molybdenum-99, dat in ziekenhuizen gebruikt wordt voor de aanmaak van technetium-99m. Dit isotoop is nodig in tachtig procent van de medische diagnoses waarbij radio-isotopen worden toegepast.

Op wereldschaal wordt door een achttal reactoren in het leeuwendeel van de behoefte aan medische isotopen voorzien. De korte halveringstijd van dit soort isotopen is er de oorzaak van dat een constante aanvoer ervan cruciaal is. De HFR in Petten voorziet normaal gesproken in omstreeks zestig procent van de vraag in Europa naar molybdeen-99. Toen de HFR voor gepland onderhoud in november uit bedrijf werd genomen, kwamen problemen in het koelsysteem naar voren. Het verhelpen daarvan leidde tot uitstel van het opnieuw in bedrijf nemen. Het merendeel van de reactoren dat molybdeen-99 produceert, is al sinds de jaren 60 van de vorige eeuw in bedrijf.

De Canadese Chalk River reactor zelfs al vanaf de 50-er jaren. Opvallende uitzondering is de Australische Opal reactor die in 2006 werd opgestart. Vanwege de ouderdom van deze reactoren komt de leveringszekerheid van de medische isotopen nogal eens in het gedrang. Onverwachte uitval door storingen en onverwacht extra tijd nodig voor onderhoud komen regelmatig voor. In 2010 was de Canadese Chalk River reactor lange tijd uit bedrijf vanwege urgent onderhoud in de periode dat er ook bij de HFR in Petten belangrijke reparaties uitgevoerd moesten worden. Het tegelijkertijd niet beschikbaar zijn van deze beide reactoren veroorzaakte wereldwijd tekorten aan die medisch noodzakelijke isotopen. De Belgen voerden

in 2010 hun productiecapaciteit op met vijftig procent waardoor ze op dit moment in 65 procent van de wereldbehoefte aan molybdeen-99 kunnen voorzien. De BR2 reactor in Mol is in staat om, als piekproductie, tot 65 procent van de wekelijkse vraag te leveren. Het besluit van onze Nederlandse regering toestemming te verlenen voor de bouw van de nieuwe reactor Pallas ter vervanging van de huidige HFR is voor de beschikbaarheid van molybdeen-99 een belangrijke stap die echter niet eerder dan in 2024 effect zal hebben. Tegen die tijd is de HFR 60 jaar in bedrijf. **K**

WNN



KERNENERGIE SPAART LEVENS

K De kerncentrale Sizewell B in Suffolk (GB) heeft tezamen met alle andere centrales wereldwijd bijgedragen aan een beperkte CO₂-emissie. De emissies door verbranding van fossiele brandstoffen in plaats van nucleaire brandstof heeft in de periode van 1971 tot 2009 mondiaal tot 1,84 miljoen extra doden geleid. © EDF - Philippe Eranian

van het gebruik van kerncentrales wereldwijd op 76.000 doden per jaar. Volgens de studie is dat een conservatieve schatting. De auteurs melden dat het gepresenteerde getal voor 75 procent is gebaseerd op doden ten gevolge van (nucleaire) luchtverontreiniging en voor 25 procent op ongelukken met kerncentrales (Tsjernobyl). In dit verband wordt er in de studie opgemerkt dat het lage mortaliteitscijfer als gevolg van nucleaire ongelukken erop lijkt te wijzen, dat de algemeen aanvaarde lineaire relatie tussen stralingsdosis en effect voor lage stralingsdosis niet opgaat. In de studie worden geen mogelijke effecten op de mortaliteitscijfers van door mensen veroorzaakte klimaatveranderingen meegenomen. Maar als die ook een bijdrage leveren dan zal het gecombineerde resultaat zeer ernstige vormen kunnen aannemen. Kijkend naar de klimaatproblematiek kan worden gesteld, dat kernenergie vertragend heeft gewerkt. Er is tijd 'gekocht'. De uitstoot van 64 miljard ton koolstofdioxide-equivalent is voorkomen door de inzet van kernenergie. Op basis van een jaarlijkse uitstoot wereldwijd van 34 miljard ton per jaar, is dat dus de totale uitstoot van 2 jaar. Uitgaande van het doel om de koolstofdioxide-concentratie in de atmosfeer niet boven 350 delen per miljard bij het eind van deze eeuw, zou er nog 500 miljard ton uitgestoten mogen worden. Als kerncentrales presteren zoals het International Atomic Energy Agency (IAEA) in zijn scenario's beschrijft, zou er via nuclear 80 tot 240 miljard ton uitstoot voorkomen kunnen worden. **K**

WNN

Uit de studie *Prevented Mortality and Greenhouse gas Emissions from historical and projected nuclear power data* volgt dat kernenergie levens spaart in vergelijking met het gebruik van fossiele brandstoffen. De auteurs zijn James Hansen (voormalige NASA-wetenschapper) en Pushker Kharecha. Publicatie vond in maart plaats in de *Environmental Science & Technology*.

De studie start met het vergelijken van historische gegevens uit de nucleaire opwekkingspraktijk en een inschatting van de emissies zoals die zouden hebben plaats gevonden als dezelfde hoeveelheid elektrische energie zou zijn opgewekt op basis van fossiele brandstoffen. Kerncentrales die tot 65 procent van hun maximale capaciteit produceerden, werden daarbij 'ingeruild' voor gascentrales. Zaten ze boven de 65 procent dan werden dat kolencentrales. Een en ander resulteerde in een brandstofmix van 95 procent kolen en 5 procent gas. Deze gegevens leiden in de studie tot de conclusie dat de emissies bij gebruik van fossiele brandstoffen in plaats van nucleaire brandstof in de periode van 1971 tot

2009, wereldwijd een extra dodental van 1,84 miljoen zouden hebben veroorzaakt, uitgaande van gemiddelde mortaliteitscijfers. De auteurs stellen dat deze schatting aan de lage kant is, ondanks dat de mortaliteitscijfers ook schattingen zijn en hun effecten een grote mate van onzekerheid veroorzaken in de resultaten. Ze geven ook aan dat sommige kolencentrales wel drie keer meer emissies veroorzaken dan de cijfers waar zij in de studie van uitgingen. Daarnaast hielden ze er geen rekening mee, dat de uitstoot van fossiel gestookte centrales ook nog ziekten zoals ernstige ademhalingsproblemen, kanker, erfelijke aandoeningen en hartproblemen veroorzaakt. De studie berekent het aantal doden in de periode 2000-2009 ten gevolge



INSPECTIE BEVESTIGT: GEEN DOEL-3 FENOMEEN IN KERNCENTRALE BORSSELE

Ultrasoon-inspectie van alle delen van het reactorvat in Borssele heeft bevestigd dat het Doel-3 fenomeen niet aanwezig is in het reactorvat van de kerncentrale Borssele. Eind mei ging de kerncentrale weer in bedrijf.

Het 'Doel-3 fenomeen' werd medio 2012 door middel van een ultrasooninspectie aangetroffen in het reactorvat van kerncentrale Doel 3. Bij de inspectie werden toen ongeveer 8.000 afwijkingen gerapporteerd. Nader onderzoek toonde aan dat het zou gaan om scheurtjes die tijdens de fabricage veroorzaakt zijn door waterstofophoping. Naar aanleiding van deze gebeurtenis analyseerde EPZ vorig jaar de bouw-, onderhouds- en inspectiehistorie (inclusief ultrasoon onderzoek) van het vat. Mede op basis van de originele documenten kon toen

worden vastgesteld dat in het reactorvat van Borssele geen sprake was van het Doel-3 fenomeen. De inspectie van het reactorvat in Borssele is gedaan door het onafhankelijke geaccrediteerde inspectiebedrijf NRG uit Arnhem. De inspectie zelf en de resultaten zijn namens de overheid gecontroleerd door het expertbureau Lloyd's Register. Ook toezichthouder KFD bevestigt dat er geen sprake is van het 'Doel-3 fenomeen' in Borssele. De kerncentrale was sinds het tweede weekeinde van april uit bedrijf voor de reguliere jaarlijkse splijstofwisseling. Naast het wisselen van 24 van de 121

↗ De kerncentrale Borssele
(© EPZ)

splijstofelementen werden er zo'n 4.000 werkzaamheden uitgevoerd. Eind mei kon de kerncentrale weer stroom leveren. Overigens heeft ook het Belgische Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC) in mei groen licht gegeven voor de heropstart van de reactoren Doel 3 en Tihange 2. Na een onderzoek van elf maanden is het FANC tot besluit gekomen dat de twee centrales in alle veiligheid opnieuw kunnen worden opgestart. **K**

SedF-M

HERSTART ZOEKTOCHT NAAR DUITSE EINDBERGING

Duitsland start een nieuw selectieproces voor de eindberging van zijn radioactieve afval. Het zal een compromis moeten worden tussen de eisen van de Bondsregering, die van de Länder en die van de oppositiepartijen.

Het Bundes Ministerium für Umwelt (BMU) heeft aangekondigd dat overeenstemming is bereikt over een ontwerpwet voor de keuze van een plaats voor een eindberging. Het ontwerp voorziet in de instelling van een federale commissie van 24 leden, die voor 2015 voorstellen ontwikkelen op het gebied van veiligheid en voor criteria op basis waarvan de vestigingsplaats gekozen moet worden. De Bundestag zal apart besluiten over alle te

✘ Twee demonstratiemodellen van afvalcontainers. Het linker vat bevat het middelradioactief afval, in het rechter bevindt zich verglaasd hoogradioactief actief afval.



nemen stappen in het selectieproces, waaronder ook over de keuzes voor het toezicht op de bovengrondse en ondergrondse opslagplaatsen. De commissie zal de aanbevelingen voor de plaats van vestiging voorleggen aan de Bundestag per 2031. De partijen kwamen ook overeen om voorlopig geen nieuw afval meer naar de mijn van Gorleben te transporteren. De huidige werkzaamheden bij deze mijn worden beëindigd; het plan om een research laboratorium bij de mijn te bouwen gaat niet door. Wel blijft deze mijn kandidaat voor de definitieve eindberging zoals hierboven besproken. Duits nucleair afval dat zich momenteel in het buitenland bevindt, zal in een andere tijdelijke opslag elders worden opgeslagen. Peter Altmaier, Bundesmilieuminister: "Met de overeenkomst realiseren we een doorbraak met een eindberging op basis van een brede consensus. Op deze wijze kunnen we een tientallen jaren durend conflict over de nucleaire eindberging beslechten."

WIE BETAALT WAT?

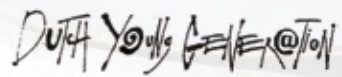
Altmaier zei dat Duitslands bedrijvers van kerncentrales ongeveer 2 miljard euro moeten betalen voor de bouw van de eindberging. "De kosten van de behandeling en de opslag van nucleair afval komen terecht bij hen die dat afval produceren." Hoewel de industriegroep Deutsches Atomforum (DAf) de overeenkomst als in 'in de kern' positief karakteriseerde, merkte ze toch ook op dat er al meer dan 1,6 miljard euro was geïnvesteerd in onderzoek naar Gorleben als eindberging. DAf voegde toe dat er geen wettelijke basis was om van bedrijvers additionele bijdragen te vragen voor onderzoek naar alternatieve opslagmogelijkheden, voordat een definitieve uitspraak over de mogelijkheden van Gorleben was gedaan. Op dit moment is het Duitse radioactieve afval geplaatst in tijdelijke bergingen. Die bevinden zich voornamelijk bij de kerncentrales zelf. Het grootste deel van de gebruikte kernbrandstof wordt elders verwerkt. Verglaasd hoogradioactief afval dat op basis van verwerkingscontracten van voor 1989 is verwerkt, ligt opgeslagen in bovengrondse faciliteiten in Gorleben en in Ahaus. In 2007 werd gestart met het omvormen van de voormalige Konrad-ijzermijn bij Salzgitter in een opslagplaats voor laag- en middelactief afval die omstreeks 2014 gereed moet zijn. **K**

WNN

KIVI/NIRIA-NNS SYMPOSIUM VATWAND- INTEGRITEIT VAN KERNCENTRALES

VRIJDAG 28 JUNI 2013,
13:00-18:00 UUR TU-DELFT
AULA CONGRESCENTRUM
MEKELWEG 5, 2628 CC DELFT

©EDF - fotograaf: Marc Didier



In Doel staan vier kerncentrales bij elkaar op een locatie bij de haven van Antwerpen.
In Tihange staan drie gelijksoortige kerncentrales aan de Maas.

Tijdens reguliere onderhoudswerkzaamheden zijn in de kerncentrales Doel 3 en Tihange 2 in de zomer van 2012 afwijkingen gevonden in de materiaalstructuur van de stalen reactorvaten. Intussen zijn diverse onderzoeken uitgevoerd die aantonen dat de vaten voldoende restintegriteit bezitten en wordt in België discussie gevoerd over het opstarten van deze twee centrales.

Door deze feiten waren er in Nederland vragen over de integriteit van het reactorvat van de kerncentrale in Borssele. Inmiddels is door de toezichthoudende instanties geconcludeerd dat de situatie in Doel 3 en Tihange 2 zo verschillend is dat de veiligheid in Borssele niet in het geding is. In het kader van continue verbetering zijn tijdens de meest recente splijfstofwissel wel aanvullende metingen uitgevoerd.

Op het symposium zullen deskundigen de situaties in de Belgische centrales en in Borssele bespreken en een overzicht geven van de gangbare meettechnieken.

PROGRAMMA

13:00 ZAAL OPEN

13:15 PETER BERBEN (GDF-SUEZ), Doel-3/Tihange-2 Reactor Pressure Vessels:
Approach for building the safety case.

14:00 FREDERIK VAN WONTERGHEM (FANC), Opvolging en evaluatie door de Belgische veiligheidsautoriteit van indicaties in reactorvaten Doel 3 and Tihange 2.

14:45 PAUZE

15:30 HANS PETER VIERSTRAETE (NRG), Overzicht van meettechnieken.

16:15 JAN VAN CAPPELLE (EPZ), Onderzoek aan de reactorvatwand van de Kerncentrale Borssele.

17:00 BORREL

Het symposium is gratis voor leden van KIVI-NIRIA, NNS, DYG en Kernvisie.

Voor anderen is de entree € 50 contant te voldoen bij de ingang.

Registratie vòòr woensdag 19 juni via de KIVI-NIRIA website WWW.KIVINIRIA.NL (klik op "Activiteiten").