

CHINA MAAKT VAART MET
GROENE KERNCENTRALE, EUROPA VOLGT

THORIUMREACTOR KRIJGT NIEUWE KANS

Een thoriumreactor levert goedkope, klimaatvriendelijke atoomstroom. Het werkingsprincipe is eind jaren zestig al bewezen, maar nooit in praktijk gebracht. Komt die beloofde groene kerncentrale er nu toch? China investeert al fors en het Europese onderzoeksproject Samofar moet de opmaat zijn naar een klein prototype.

Tekst: Marga van Zundert

Als industrie wil je zeker weten dat er altijd voldoende stroom is. Het liefst goedkoop én groen", zegt Dolf van Wijk, *executive director* van Euro Chlor, de associatie van chloorproducenten in Europa. Hij denkt niet dat wind- en zonne-energie aan die eisen kunnen voldoen. "Duitsland importeert sinds de *Energiewende* juist meer steen- en bruinkool."

Van Wijk is veel enthousiaster over een ander alternatief voor fossiele brandstoffen: thorium, een relatief onbekend zilverwit metaal, vernoemd naar de Germaanse god van de donder. Thorium kan de grondstof voor een nieuw type kerncentrale zijn: de 'gesmoltenzoutreactor'. Van Wijk: "Zo'n thoriumreactor neemt weinig ruimte in. De grondstof is ruim aanwezig en kernreacties produceren geen CO₂. Ik zie veel voordelen."

Ook China ziet veel toekomst in thorium. In 2013 besloot het land 350 miljoen te investeren in onderzoek en ontwikkeling. Uiterlijk 2038 draait er een thoriumreactor van 100 megawatt in China, beloofden de autoriteiten. Amper een jaar later meldde de Chinese regering zelfs het programma te versnellen. In 2024 moet er al een proefreactor van een kleine 2 megawatt zijn; een project waaraan maar liefst zevenhonderd nucleair ingenieurs dagelijks werken. Professor Gu Zhongmao van het

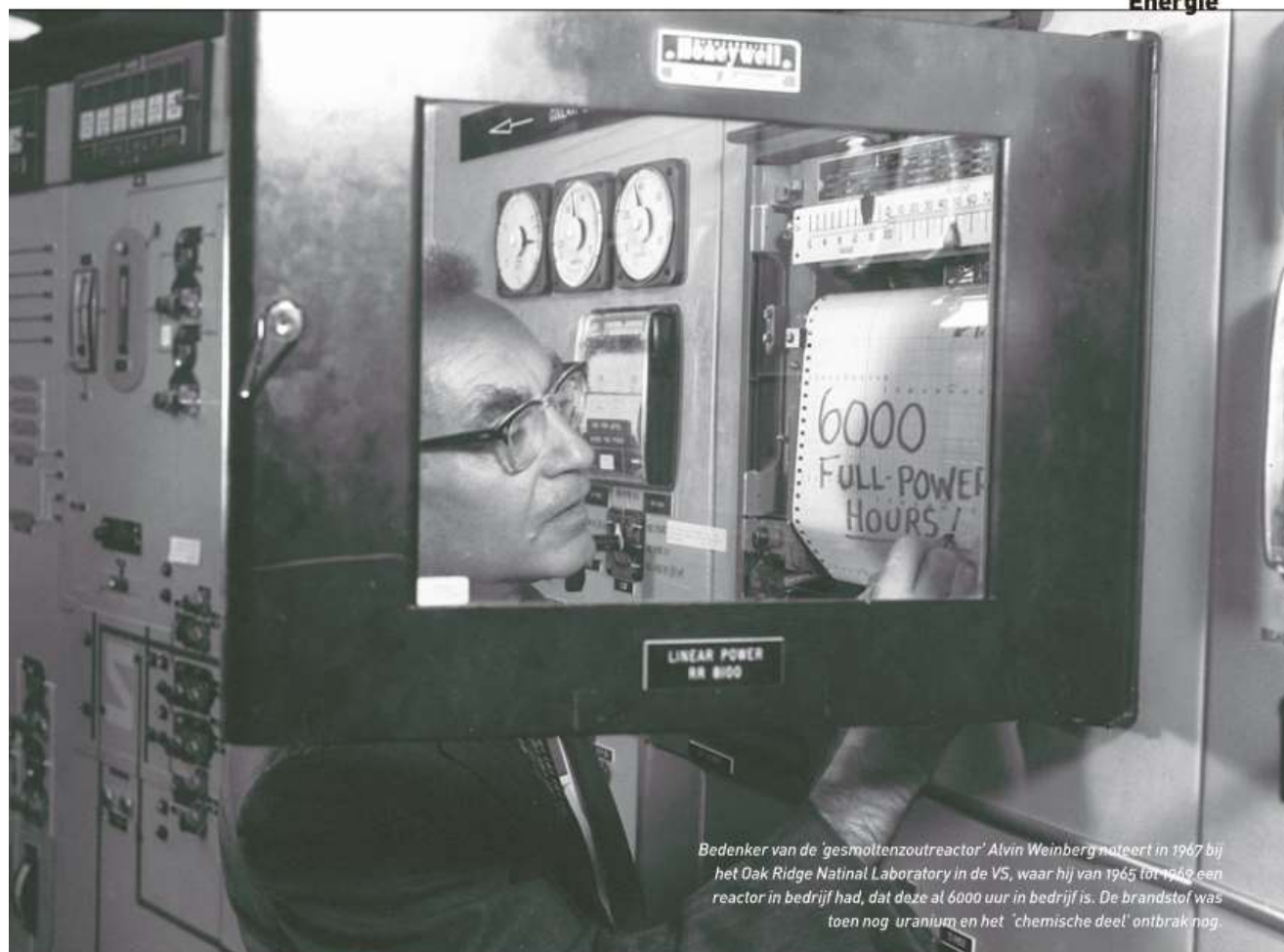
China Institute of Atomic Energy, dat het prototype gaat bouwen, temperde overigens de verwachtingen voorzichtig. "Dit is een prachtig project voor wetenschappers, maar het bezorgt ingenieurs nachtmerries", vertelde hij de *South China Morning Post*.

Lifter

Het gaat om een prototype van de gesmoltenzoutreactor, een fundamenteel ander type kerncentrale dan alle huidige centrales. De reactor is ook bekend onder de naam 'lifter', naar de afkorting LFTR: *Liquid Fuel Tho-*

VERSNELLING IN CHINA

Waar voor de Europese industrie thorium geen snelle energieoptie is, lijkt China vooruit te snellen. Xu Hongjie, directeur van het Chinese onderzoeksprogramma, meldde dit najaar tijdens een congres in Oak Ridge opnieuw een versnelling: de demonstratiereactor van 2 megawatt zal in 2020 gereed zijn. John Kutsch, voorzitter van de Thorium Energy Alliance, was onder de indruk van de Chinese vorderingen. "Verassend wat ze in vier jaar tijd al hebben bereikt. Zo snel kan het blijkbaar gaan wanneer je honderden ingenieurs aan het werk zet", reageerde hij in *MIT Technology Review*.



Bedenker van de 'gesmoltenzoutreactor' Alvin Weinberg noteert in 1967 bij het Oak Ridge National Laboratory in de VS, waar hij van 1965 tot 1969 een reactor in bedrijf had, dat deze al 6000 uur in bedrijf is. De brandstof was toen nog uranium en het 'chemische deel' ontbrak nog.

rium Reactor. In een lifier vindt de kernsplijting plaats bij hoge temperaturen in een rondstromend, gesmolten fluoridezout (zie kader). Thorium is overigens niet het element dat gespleten wordt. Dat is uranium-233, een uraniumisotoop die ontstaat uit thorium in de mantel rondom de reactor.

Uniek aan de zoutreactor is dat een beruchte meltdown zoals in Fukushima en Tsjernobyl plaatsvond, onmogelijk is. De brandstof is namelijk al gesmolten. Een ander belangrijk voordeel is dat de thoriumreactor minder langlevend kernafval produceert. Er ontstaat duizend maal minder plutonium en andere langdurig radioactieve elementen. En die blijven circuleren in de reactor, net zolang tot ze worden gesplitst. Een LFTR kan zelfs hoogradioactief afval van gewone centrales verder opbranden. Toch produceert ook de gesmoltenzoutreactor kernafval. Dat moet circa 350 jaar worden opgeslagen, geen duizenden jaren.

Zoals alle kerncentrales levert een thoriumcentrale veel stroom. Een centrale zoals Borssele (485 megawatt, circa 150.000 huishoudens) zou nog geen 500 kilo thorium per jaar verbruiken, een flinke verhuisdoos vol. Terwijl thorium volop aanwezig is op aarde. Er is een winbare voorraad van 2,6 miljoen ton, vooral in Australië, de VS, Turkije en India. ▶

EU-ONDERZOEK SAMOFAR

Kloosterman van de TU Delft voorziet geen onoverbrugbare technische obstakels, maar wel veel veiligheids-tests en procedures. Europese en internationale atoominstanties zullen een nieuw kernreactorontwerp compleet binnenstebuiten keren alvorens toestemming te geven. Het EU-onderzoek naar de thoriumcentrale, waarvan Kloosterman coördinator is, heet niet voor niets 'Safety assessment of the molten salt fast reactor' (Samofar). Het vierjarige onderzoeksproject van 3,5 miljoen moet de opmaat zijn naar een klein prototype en omvat veel ontwerp- en veiligheidsanalyses.

"Maar ook experimenteel onderzoek", benadrukt Kloosterman. Bijvoorbeeld naar de veiligheidsplug die oververhitting voorkomt, naar de natuurlijke circulatie in gesmolten zouten en naar het constructiemateriaal. Dat moet oerdegelijk zijn: bestand tegen hoge temperaturen, het sterk corrosieve zout, neutronen- en gammastraling. Een Europees prototype zou over twintig jaar kunnen draaien, schat Kloosterman in. Hij schat de benodigde investering in onderzoek en bouw van de demonstratiereactor op 1 miljard euro. De vervolgstap, een echte centrale, zal tweemaal zo veel tijd kosten.

HOE WERKT DE THORIUMCENTRALE?

NUCLEAIRE BRANDSTOF: De energie in een thoriumcentrale ontstaat uit kernsplijting van een niet-natuurlijke isotoop van uranium: U233. Dit splijtbare isotoop U233 ontstaat in de reactormantel uit thorium (Th232).

REACTORVAT: Hier vindt de kernreactie plaats. In het vat stroomt een gesmolten fluoridezout rond (circa 600 graden Celsius) met daarin U233. Dit isotoop splijt bij het invangen van neutronen in elementen zoals molybdeen, technetium, ruthenium, jodium, xenon, cesium en neodymium. Bij splijting komen neutronen vrij waardoor de reactie zichzelf in stand houdt. En er komt veel warmte vrij die met turbines wordt omgezet in stroom.

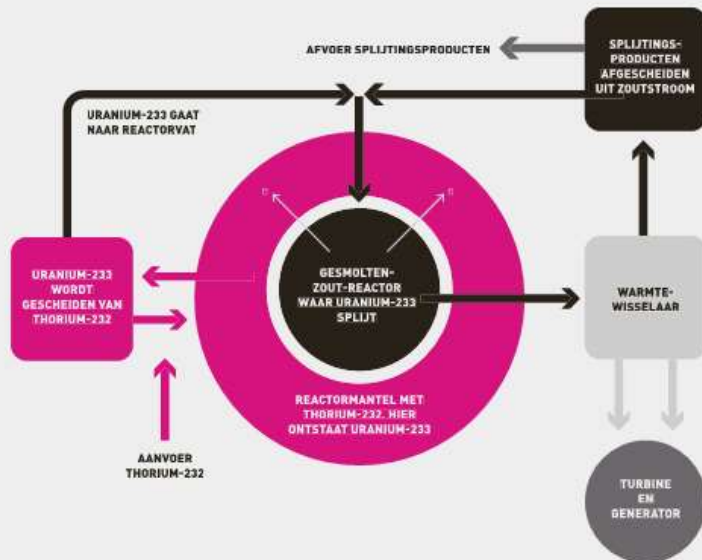
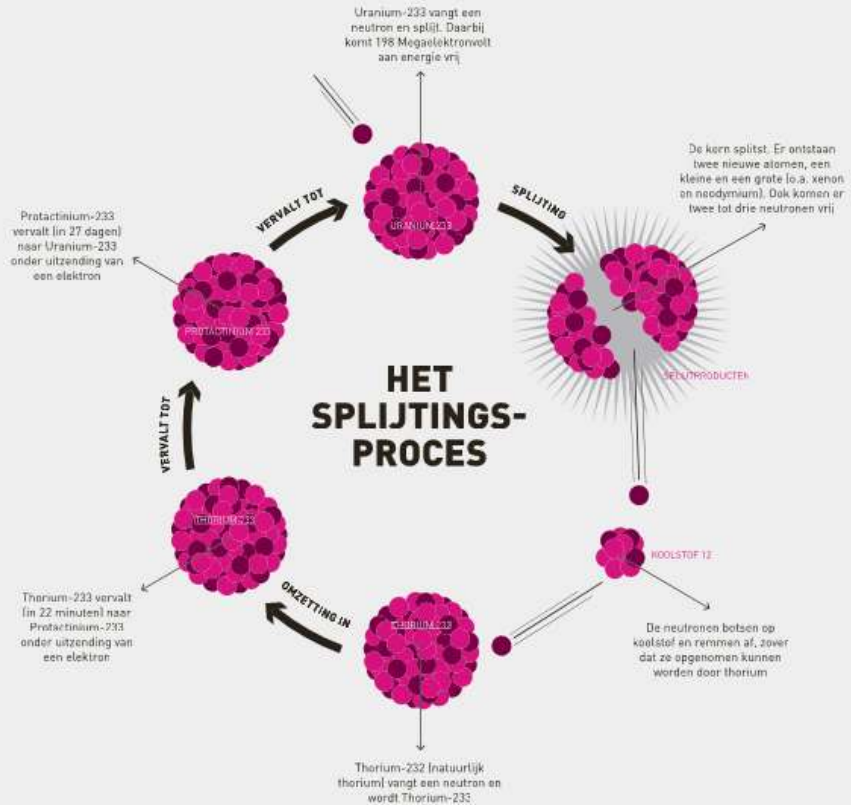
MANTEL: Hier vindt de omzetting van thorium (Th232) naar het splijtbare U233 plaats door het invangen van neutronen uit de kernreactor. Om U233 af te scheiden wordt fluor-gas toegevoegd. Dan ontstaat vluchtig UF6. U233 wordt vervolgens naar de kernreactor geleid voor splitsing.

TURBINE: Het zout uit het reactorvat koelt in een warmtewisselaar af. De warmte drijft een stoomturbine aan die stroom op het elektriciteitsnet zet.

SCHEIDING KERNAFVAL: De vloeistofstroom in de kernreactor moet regelmatig ontdaan worden van de splijtingsproducten. Dit gebeurt in een aparte 'nucleair chemische fabriek'.

OPVANGTANK: Wanneer de reactorinhoud te heet wordt, smelt een veiligheidsstop onder aan het vat. De hete inhoud stroomt in een neutronen-absorberend en gekoeld reservoir dat de kernreactie smooft.

OPSTARTEN: De thoriumreactor heeft U233 of een ander splijtbaar materiaal, zoals plutonium, nodig om op te starten. Vervolgens kan uit thorium meer splijtbaar materiaal worden geproduceerd.



ER KOMT VEEL CHEMIE BIJ KIJKEN

Hoe ver staat het precies met de thoriumreactor? De technische uitdagingen zitten vooral in het uitontwikkelen van methoden om de splijtingsproducten uit de zoutstroom te halen, weet professor Rudy Konings, hoofd materialenonderzoek bij het Europese Joint Research Centre in Karlsruhe. Bij een klassieke centrale zit het kernafval in de brandstofstaven, bij de thoriumreactor is het verdeeld over het gesmolten zout. "Bij een gesmoltenzoutreactor komt veel meer chemie kijken." Omdat er een waaier aan elementen ontstaat bij de kernsplijting, zijn meerdere zuiveringen nodig. Zo wordt helium door het zoutmengsel gebubbeld dat de gevormde edelgassen xenon en krypton afvoert. Om andere splijtingsproducten zoals cesium en neodymium (zeldzame aarden) af te scheiden, zijn meerdere methoden in ontwikkeling. Het gesmolten zout bij hoge temperatuur extraheren met een gesmolten metaal bijvoorbeeld. Of een elektrochemische scheiding waarbij de elementen neerslaan op een elektrode. Vanwege de hoge radioactiviteit moeten alle zuiveringen geautomatiseerd en op afstand worden uitgevoerd. "Maar dat is natuurlijk niet nieuw voor de nucleaire industrie", stelt Konings. "Sowieso zijn de technische problemen oplosbaar. Het zijn geen showstoppers".

'Brede maatschappelijke acceptatie is altijd lastig in te schatten, maar de centrale is ook nog niet morgen klaar'

Maar als een thoriumreactor werkelijk zo goedkoop, groen en veilig is, waarom is die er dan nog niet? Een veelgehoorde verklaring is dat Amerika begin jaren zeventig koos voor de huidige vastebrandstofreactoren met het oog op de kernwapenproductie. In de Koude Oorlog was er een grote vraag naar plutonium, dat kerncentrales konden leveren. Volgens Jan-Leen Kloosterman, hoogleraar kernfysica aan de TU Delft, is dat niet juist. Ook met een thoriumreactor is plutonium te produceren, al is dat nogal omslachtig. Bovendien had de VS voldoende productiecapaciteit door het Manhattanproject. Kloosterman: "De technologie van de vastebrandstofreactor was gewoonweg veel verder ontwikkeld. En de uraniumprijs was niet problematisch hoog. Daarom zag de VS af van verdere investeringen in het thoriumalternatief."

Bewezen in Oak Ridge

Het werkingsprincipe van de gesmoltenzoutreactor was toen al wel bewezen. Een prototype in het Oak Ridge National Laboratory produceerde eind jaren zestig al energie. De brandstof was destijds echter nog niet thorium, maar uranium. En het 'chemische deel' ontbrak nog grotendeels. Om te blijven draaien, moeten de splijtingsproducten regelmatig uit het rondcirculerende zout worden gehaald. Een complete thoriumreactor is dus nooit gebouwd. In 1973 stopte president Nixon het Amerikaanse onderzoek naar de thoriumreactor. En ook elders op de wereld was niemand bereid de miljoenen of miljarden te investeren in een gesmoltenzoutreactor. India en Noorwegen experimenteren inmiddels wel met thorium in reguliere kernreactoren. Maar dat biedt niet de genoemde voordelen als meer veiligheid en minder kernafval. Sinds de ontmanteling van de eerste en enige thoriumreactor in Oak Ridge bleef het idee wel steeds opduiken in discussies en toekomstvisies op energie. In de laatste jaren vooral vanwege het klimaatvriendelijke

karakter van thoriumstroom. Maar juist de milieubeweging ziet er weinig in. "Te laat, te duur", is het bondige oordeel van WISE. Deze denktank in duurzame energie adviseert de benodigde miljoenen te steken in "werkelijk schone en eindeloze bronnen".

Ziet 'de Nederlander' de thoriumreactor eigenlijk wel zitten? Kloosterman: "Overall waar ik het concept uitleg, krijg ik erg enthousiaste reacties. Brede maatschappelijke acceptatie is altijd lastig in te schatten, maar de centrale is ook nog niet morgen klaar." ■

ONDERNEMERS IN THORIUM EN GESMOLTENZOUTREACTOR

THORCONPOWER (VS): Initiatief van scheepsbouwingenieurs. Plan is om binnen vier jaar een replica te bouwen van de gesmoltenzoutreactor die eind jaren zestig in Oak Ridge functioneerde. Om snel te kunnen starten denkt het bedrijf ook aan de aanleg van een nucleair eiland.

TERRESTRIAL ENERGY (CANADA): Team van kernwetenschappers ontwikkelt met particuliere investeringen kleine en grote reactoren. Terrestrial Energy belooft binnen negen jaar een eerste reactor.

TRANSATOMIC POWER (VS): Start-up van het Massachusetts Institute of Technology. Transatomic Power wil de gesmoltenzoutreactor ontwikkelen tot een 'kernafvalverbrander', een energiecentrale op basis van thorium én kernafval uit gewone kerncentrales.

COPENHAGEN ATOMICS: Deens 'open source' initiatief voor 'kernafvalverbrander'. Grote groep wetenschappers steekt tijd, geld en energie in de ontwikkeling van een optimaal ontwerp.

FLIBE ENERGY (VS): Bedrijf van Kirk Sorensen, voormalig NASA-luchtvaartingenieur, nucleair ingenieur en een vurig bepleiter van de thoriumcentrale (onder meer via TEDx). Actief als wegbereider voor thoriumenergie, geen reactor in ontwikkeling.