

# Kernenergie wordt cruciaal voor waterstofeconomie

De keuze voor kernenergie is niet onomstreden. Maar welke vorm van energieopwekking is dat wel? Zelfs aan windturbines kleven voor heel veel mensen bezwaren. Wellicht kun je dan beter een hypermoderne kerncentrale in je achtertuin hebben. De veiligheid van de modernste centrales is groter dan van elke andere energie-opwekker en de overlast voor zijn omgeving is uitzonderlijk klein, zo betoogt dr.ir. Jan Leen Kloosterman. Bovendien kan de moderne, zeer hoge temperatuur reactor een sleutelrol gaan vervullen bij het overschakelen naar een, door velen gewenste waterstof gedreven energievoorziening.

De energiebehoefte in de wereld neemt de komende decennia razendsnel toe. Om aan die vraag te voldoen, zullen de meeste landen alle zeilen moeten bijzetten. Natuurlijk wil iedereen de energie op zo'n duurzaam mogelijke wijze opwekken. Maar tegelijk is de realiteit dat het economische ook zo goedkoop mogelijk moet om de levensstandaard van mensen te verhogen. Dit argument weegt in bijna alle landen minstens even sterk. Daarom zullen de fossiele brandstoffen de komende decennia nog altijd de boventoon blijven voeren. Tegelijk is ook kernenergie een technologie die door veel landen als een goed alternatief voor fossiele brandstoffen wordt gezien. De kostprijs is bekend en alleszins acceptabel, de milieuvervuiling is relatief klein, als men het vergelijkt met de impact van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van fossiele brandstoffen en de moderne kerncentrales zijn bijzonder veilig. Althans, dat is de mening van de wetenschappers die zich met kernenergie bezighouden. In de publieke opinie ligt kernenergie nog wel wat gevoeliger, al lijkt de stemming zich wat in het voordeel van kernenergie te verschuiven. Jan Leen Kloosterman, werkzaam bij de Sectie Physics of Nuclear Reactors van de Technische Universiteit in Delft is één van

die wetenschappers die kernenergie graag als algemeen aanvaard alternatief ziet voor fossiele energiebronnen. Natuurlijk; hij en veel van zijn collega's verdienen hun dagelijkse boterham met het onderzoek naar deze vorm van energieopwekking. Desondanks is hij oprecht van mening dat de modernste vormen van kernenergie uitermate veilig en schoon zijn. Zelfs het bijna oneindige afvalprobleem kan volgens hem binnen één generatie zeer acceptabel worden.

## TOENAME VAN KERNEERGIE

Dat kernenergie bij velen een afkeer oproept, komt vooral door de angst voor ongelukken, met de ramp in Tsjernobyl als voorbeeld én dieptepunt. Maar ook de vervuiling van een opwerkingsfabriek als die in het Britse Sellafield en de gevaren die aan de verspreiding van kennis van kernenergie kleven naar landen die politiek instabiel zijn, maken dat veel mensen zich faliekant tegen deze technologie keren. Kloosterman vindt echter dat dit geen recht doet aan de mogelijkheden om met deze technologie elektriciteit te produceren. Op dit moment zorgt kernenergie wereldwijd voor 17 procent van onze energie. "Dit kan naar mijn idee flink



dr.ir. J.L. Kloosterman

gaan toenemen, zeker als de kostprijs van fossiele energiebronnen hoog blijft en de nieuwe technologieën op het gebied van kernenergie daardoor relatief betaalbaarder worden", vertelt Kloosterman. In een uiteenzetting met historisch perspectief maakt hij duidelijk dat het gebruikelijk is om de bestaande kerncentrales in generaties in te delen (zie figuur 1). De allereerste, vaak experimentele kerncentrales, die van generatie I, zijn niet meer in gebruik. Op dit moment is de centrale van generatie II de meest voorkomende, maar er zijn ook al volop kerncentrales van de derde generatie gebouwd. Bovendien zijn praktisch alle centrales van de tweede generatie zodanig opgewaarderd en gemoderniseerd, zoals ook met Borssele, de enige commerciële kernenergiecentrale in Nederland is gebeurd, dat zij qua technologie vergelijkbaar zijn met centrales van de derde generatie. "Het kenmerk van deze centrales is dat zij inherent veilige terugkoppelmechanismen hebben. Het ontstaan van een oncontroleerbare kettingreactie waarbij zoveel energie vrijkomt dat er een ramp gebeurt, zoals met de kerncentrale in Tsjernobyl gebeurde, is met de tweede en derde generatie centrales niet mogelijk. Mocht er teveel warmte vrijkomen, dan zorgt de oververhitting er zelf voor dat de kernreactie uitdooft. Bovendien is de veiligheidsomhulling van moderne centrales uitgerust met meervoudige stalen en betonnen insluitingen zodat, zelfs als de reactorkern wordt beschadigd, er geen radioactieve straling naar buiten kan komen. In Borssele staan een kerncentrale

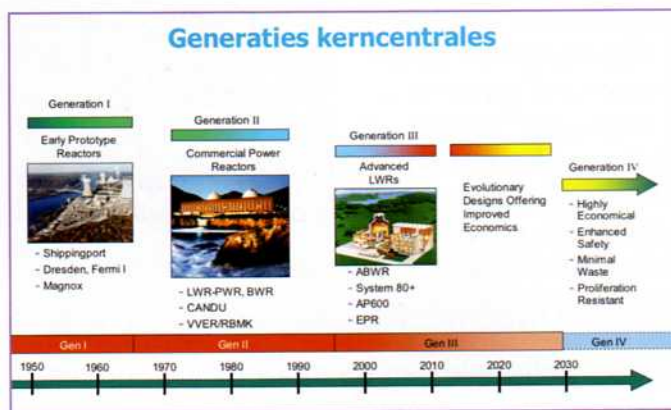
Kernenergie wordt cruciaal voor waterstofeconomie

en een kolencentrale naast elkaar. Als je daar buiten op het terrein de radioactiviteit meet, dan blijkt daar altijd een bepaalde hoeveelheid straling meetbaar te zijn. Alleen komt die niet van de kerncentrale, maar van de kolenvoorraad, die tot op zeker hoogte altijd radioactief is", aldus Kloosterman.

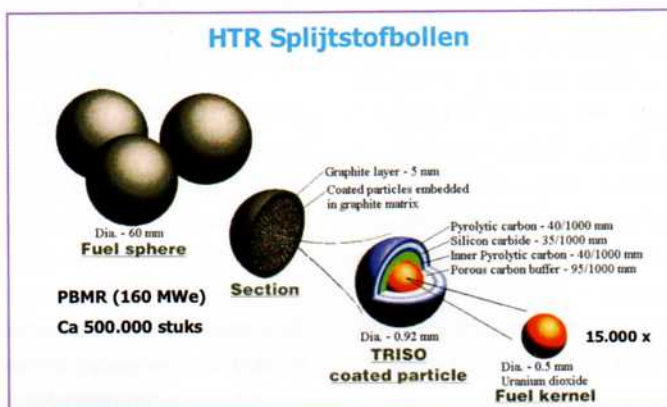
### KERAMISCHE BALLEN

De nieuwste kerncentrales die nu worden gebouwd, zoals de kerncentrale in Finland, worden ook wel de Generatie III+ genoemd. Deze zijn nog veiliger, omdat het aantal kleppen en pompen sterk is gereduceerd, de lengte van pijpen en koelmiddelleidingen is verkort en de capaciteit van de koelwaterreservoirs is toegenomen. Bovendien maakt men gebruik van meer passieve mechanismen voor het koelen van de reactorkern, wat betekent dat de veiligheid minder afhankelijk is van techniek en menselijk handelen. "In dat opzicht was de experimentele kerncentrale in Dodewaard zijn tijd ver vooruit, omdat het proces daar al sterk gebaseerd was op passieve mechanismen. Voor het onderzoek was het daarom jammer dat die centrale dicht moest. Aan de productie van energie droeg Dodewaard echter weinig bij", beaamt Kloosterman.

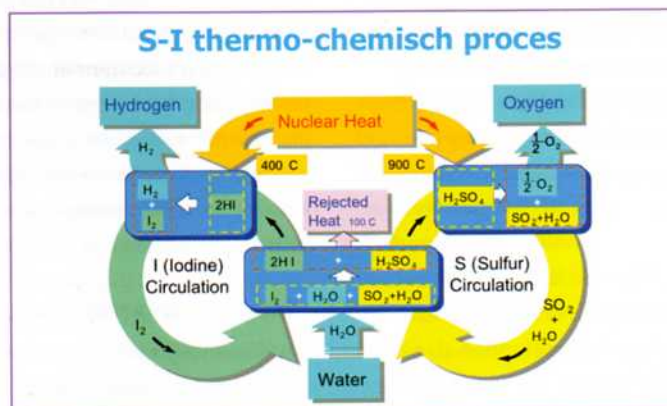
De wetenschap, en dus ook Kloosterman en zijn collega's, zijn momenteel hard bezig met onderzoek voor de zogenoemde Generatie IV centrales. "Hierbij is wel sprake van een revolutionaire overgang. Deze centrales zijn niet alleen nog veiliger, maar ook de benutting van de brandstof is veel efficiënter waardoor er dus minder afval overblijft. Van deze Generatie IV centrales zijn meerdere reactortypen in onderzoek en ontwikkeling, maar het meest ver gevorderd is de Zeer Hoge Temperatuur Reactor, en nog specifiek de Pebble Bed reactor. In deze kerncentrale wordt niet meer met radioactieve staven gewerkt, maar zit het radioactieve materiaal opgesloten in keramische ballen van zes centimeter doorsnede (zie figuur 2). Deze ballen, gevuld met circa vijftien-duizend splijtstofkorreltjes, worden met helium gekoeld. Mocht echter de koeling, om wat voor reden dan ook, het begeven, dan stopt het splijtingsproces automatisch.



Figuur 1



Figuur 2



Figuur 3

Bovendien blijken de keramische ballen zo sterk dat zij de oplopende hitte door de nawarmte van de splijtstof kunnen weerstaan, zodat er nooit een kernsmeltongeval kan optreden. Het door de kernreactie opgewarmde helium, dat de ballen omspoelt, kan men rechtstreeks in een gasturbine voeren waarbij deze turbine elektriciteit opwekt. Dit kan voor een hoog elektrisch opwekkendement van 45 tot 50 procent zorgen. Het gebruik van helium in speciale

generatoren is echter nog tamelijk experimenteel. In China, waar men weinig tijd heeft om op deze ontwikkelingen te wachten, bouwt men nu al een generatie IV kerncentrale met een tussenstap, waarbij het opgewarmde helium gebruikt wordt om stoom te produceren. Deze stoom drijft op zijn beurt een conventionele stoomturbine aan. Het nadeel is dat je dan een wat lager opwekkendement behaalt."

## Is uranium schaars?

### VEEL MINDER AFVAL

Naast de Pebble Bed reactor zijn er ook andere reactortypen van generatie IV in ontwikkeling, maar deze hebben volgens Kloosterman nog een wat langer ontwikkeltraject te gaan. Toch is hij ervan overtuigd dat al deze reactoren binnen één generatie zullen zijn uitontwikkeld. Het belangrijkste aspect van deze nieuwe generatie centrales – ook wel snelle reactoren genoemd – is dat zij de nucleaire splijtstof beter benutten. “In de huidige centrales, tot en met de Generatie III+, blijft er uiteindelijk nucleair afval over dat grofweg in twee componenten te verdelen is. Het ene is plutonium, dat pas na 100.000 jaar zijn gevaarlijke radioactieve straling verliest en het andere zijn de zogenoemde brokstukken, die ongeveer 300 jaar radioactief blijven. Het is duidelijk dat vooral plutonium een groot probleem vormt. Het grote voordeel van de snelle reactoren ten opzichte van de huidige reactoren is dat zij alle plutonium verbruiken, waar dit in de huidige centrales dus niet gebeurt. Je kunt in de generatie IV centrales zelfs het plutoniumafval uit de generatie III en III+ als brandstof gebruiken. Het afval dat je uit de generatie IV centrales overhoudt, de splijttingsbrokstukken, moeten we nog wel verwerken en verglazen, om het als afval goed te kunnen opbergen. Maar de radioactieve periode is, in ieder geval in de ogen van de wetenschap, te overzien”, zegt Kloosterman.

### ROL IN WATERSTOFECONOMIE

De hoge temperatuur in de nieuwe generatie kerncentrales biedt nog een extra voordeel, zeker met het oog op de toekomstige energie-infrastructuur op aarde. Want met bedrijfstemperaturen van 900°C of hoger wordt de productie van waterstof

*Geregeld is te horen, vooral van tegenstanders, dat kernenergie geen alternatief is omdat uranium minstens zo schaars is als fossiele brandstoffen. Volgens Jan Leen Kloosterman is dat waar en niet waar tegelijk. “Het gemakkelijk winbare uranium, de grondstof voor kernstaven, is inderdaad relatief schaars. Als we de komende jaren op grote schaal zouden overschakelen naar moderne kerncentrales, zeker als het hoge temperatuur reactoren worden, dan zijn wij over vijf decennia door die makkelijk winbare voorraden heen. Echter, op dit moment is de prijs van uranium relatief laag. Daarnaast moet we ons realiseren dat we relatief weinig uranium nodig hebben om een bepaalde hoeveelheid elektriciteit te produceren, zeker als je dat vergelijkt met de mate waarin wij fossiele brandstoffen nodig hebben om eenzelfde hoeveelheid elektriciteit te produceren. Als de prijs van uranium daarom met een factor tien stijgt, dan wordt de geproduceerde stroom slechts twee keer zo duur. En voor een uraniumprijs die tien keer zo hoog ligt, kunnen we zeker nog 500 jaar lang uranium winnen. Bijvoorbeeld in de zeeën zitten grote hoeveelheden, winbare uranium.*

een stuk eenvoudiger. “Het is nog lang niet zeker of bijvoorbeeld de transportsector op termijn op waterstof zal overschakelen, ter vervanging van fossiele brandstoffen. Maar mocht dat wel het geval zijn, dan moeten wij enorme hoeveelheden waterstof gaan produceren. Voor die productie is eveneens energie nodig. Nu kunnen wij waterstof op meerdere manieren produceren, maar de meest efficiënte wijze verloopt bij hoge temperaturen, omdat je dan doorgaans minder elektriciteit nodig hebt”, vertelt Kloosterman. Hij ziet daarom de zeer hoge temperatuur reactoren als een prima centrale om waterstof te gaan maken. “Een veelbelovend proces voor waterstofproductie is via het Zwavel Jodium proces (zie figuur 3). Hiervoor zijn drie chemische reacties nodig die verlopen bij drie verschillende temperaturen, namelijk 120°C, 400°C en 850°C. Hoe hoger de temperatuur in de laatste fase, hoe efficiënter de reactie verloopt. Het zal duidelijk zijn dat je met conventionele energiebronnen veel moeite moet doen om die tempera-

tuur te realiseren. Natuurlijk kun je ook waterstof produceren via ‘warme’ elektrolyse van water, maar ook daarvoor is een temperatuur van 800°C nodig, waarbij de efficiëntie duidelijk toeneemt als die temperatuur hoger ligt.” Overigens is er ook op dit moment al een grote behoefte aan waterstof, met name bij olieraffinaderijen. Zij gebruiken waterstof in het kraakproces van ruwe olie. “Dit waterstofgebruik neemt steeds sneller toe, naar verwachting met een factor 4 per decade, omdat de olie die op aarde wordt gewonnen steeds zwaardere olie is. Nu gebruiken de raffinaderijen veelal aardgas om daar het waterstof uit te winnen. Dit is bijzonder inefficiënt, zeker als je het vergelijkt met waterstofproductie door een kerncentrale, omdat die de warmte tevens kan gebruiken voor de elektriciteitsproductie. Bij een raffinaderij kost het juist energie om waterstof uit aardgas te halen.”

*Meer informatie is te vinden op [www.janleenkloosterman.nl](http://www.janleenkloosterman.nl)*