

ENERGIE

Rijden op atoomkracht



Enkele Amsterdamse bussen rijden momenteel op waterstof uit groene stroom. Rijden ze straks op waterstof uit een kerncentrale?

O ironie. De hoop van alle wereldverbeteraars, waterstof, bespoedigt de nucleaire renaissance. 'Alleen met kernenergie blijft waterstof betaalbaar'

Simon Rozendaal

Over waterstof bestaan veel misverstanden. Dat komt doordat het zo'n aantrekkelijke brandstof is. Het verbranden ervan levert niets meer en niets minder dan schoon water op.

Het lijkt dus de ideale opvolger van benzine en dieselolie. Bij auto's en vrachtwagens die op waterstof rijden, komt slechts een wolkje stoom uit de uitlaat. Dit is de reden waarom deze brandstof nu al een jaar of vijf veel enthousiasme losmaakt.

Er zit echter een gemeen addertje onder het gras.

Waterstof is immers geen energiebron als aardolie, aardgas, steenkool en uranium. Die

kunnen worden gedolven, waterstof moet altijd worden gemaakt, althans op deze planeet (elders in het heelal is genoeg waterstof). Waterstof is dan ook een energiedrager en in wezen voorlopig zelfs een fossiele energiedrager.

Er wordt al veel waterstof gebruikt, vooral door de industrie. Waterstof is bijvoorbeeld nodig om uit zware aardolie lichte benzine te maken, en ook om zwavel en andere giftige stoffen uit aardolie te verwijderen. Verder wordt waterstof gebruikt bij de fabricage van kunststof.

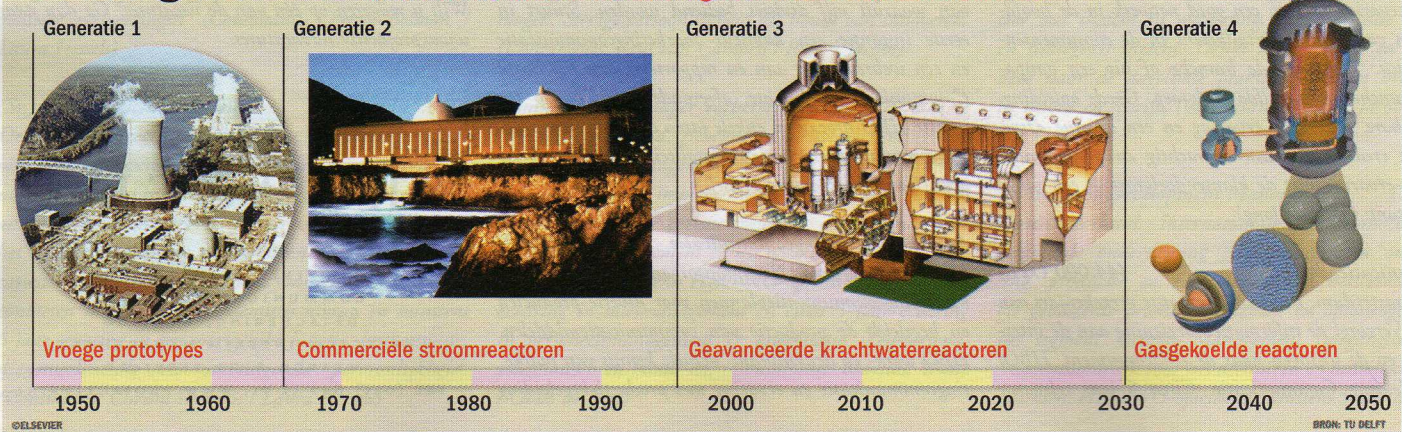
De behoefte aan waterstof stijgt voortdurend. Bij de overgang van hout naar steenkool naar aardolie naar aardgas is de industriële samenleving steeds meer waterstof gaan gebruiken. Zelfs los van een eventuele overstap

van benzine naar waterstof als motorbrandstof zal de behoefte aan waterstof de komende tien jaar verviervoudigen.

Momenteel wordt 96 procent van alle waterstof uit aardgas geproduceerd. Daarmee is waterstof in feite een fossiele brandstof. Wel zijn er ook niet-fossiele manieren om waterstof te maken. De milieubeweging bijvoorbeeld heeft goede hoop dat waterstof met behulp van groene stroom kan worden geproduceerd. Zo kan water met behulp van elektriciteit worden gesplitst in waterstof en zuurstof. Dit proces heet elektrolyse en is op dit moment goed voor ongeveer 4 procent van de gebruikte waterstof.

De Amsterdamse waterstofbussen (lijn 35 en 38 in Amsterdam-Noord) bijvoorbeeld

De vier generaties Kerncentrales worden steeds veiliger en hebben steeds minder afval



rijden op niet-fossiele waterstof. Het bedrijf HoekLoos maakt deze met behulp van groene stroom uit water. Volgens Hendrik de Wit van HoekLoos is de waterstof zuiver en betaalbaar. Wel maakt hij de kanttekening dat het slechts op kleine schaal zin heeft. 'Als alle Nederlandse bussen op waterstof zouden rijden, is waterstof uit aardgas veel goedkoper.'

Waterstof kan voor ongeveer 50 cent tot 1 euro per kilo uit aardgas worden gemaakt. Via elektrolyse is waterstof vier tot tien keer zo duur.

In de toekomst komen er ook andere manieren om goedkope niet-fossiele waterstof te produceren. Het meest intrigerend, en ironisch, is de aanpak met behulp van kernenergie.

De ironie schuilt erin dat waterstof de afgelopen jaren is omhelsd door allerlei organisaties die fel tegen kernenergie zijn. Om een voorbeeld te geven, het blad *Ode* – boegbeeld van idealistisch en zweverig Nederland – publiceerde in september 2003 een ware lofzang op de waterstofeconomie. De makers van het blad realiseerden zich waarschijnlijk niet dat ze daarmee de terugkeer van kernenergie bespoedigden.

Waterstof kan in de toekomst worden geproduceerd met behulp van het zogeheten thermochemische proces. Een kerncentrale levert warmte van een zeer hoge temperatuur, in de buurt van de 1.000 graden. Vervolgens zijn er diverse chemische methoden, bijvoorbeeld met zwavelzuur en jodium, om water om te zetten in waterstof en zuurstof, zonder dat daarbij CO₂ vrijkomt. Dat is mogelijk door naast zo'n kernreactor een waterstoffabriek te bouwen.

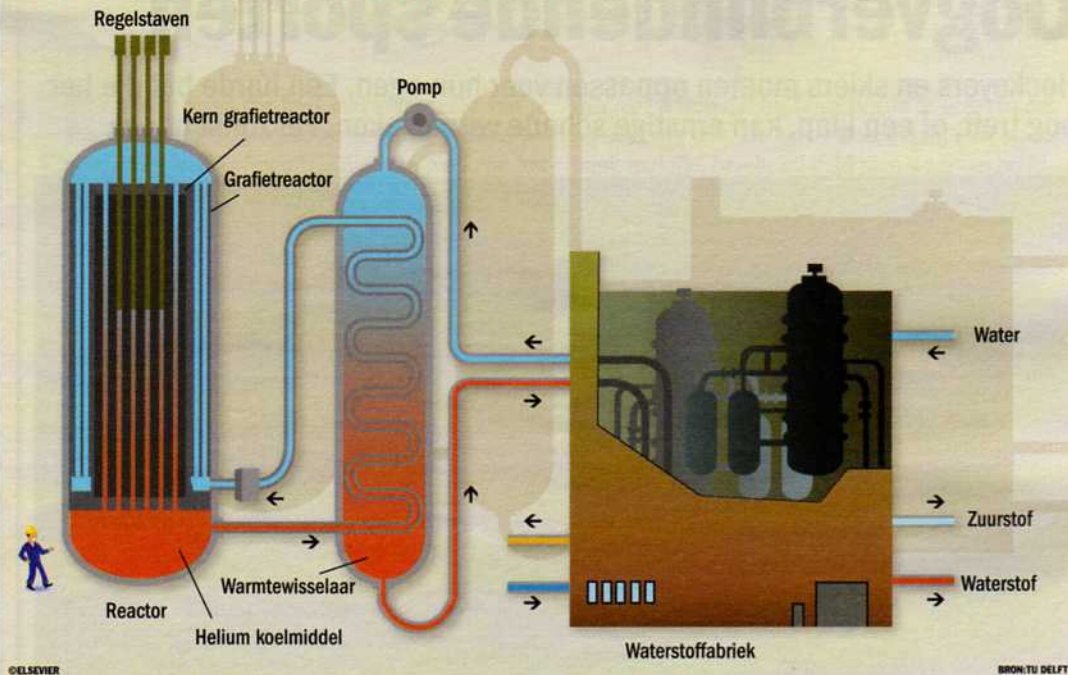
Op papier lijkt deze methode zo aantrekkelijk dat menigeen verwacht dat de opmars van waterstof als groene-energiedrager de nucleaire renaissance zal versnellen. Het betreft overigens andere typen kerncentrales dan de huidige. Vooral de zogeheten vierdegeneratiekernreactoren zijn zeer geschikt voor de productie van waterstof.

Even over de terminologie. De eerste generatie kernreactoren is van een jaar of veertig geleden. De meeste reactoren die er nu zijn, ruim vierhonderd, vormen de tweede generatie. Hier en daar, onder meer in Japan, zijn enkele reactoren in aanbouw die een stuk veiliger zullen zijn, de derde generatie. Deze zijn simpeler – ze hebben minder kleppen en leidingen – waardoor minder fout kan gaan.

Een aantal ontwerpen van de vierde generatie, die over een jaar of tien, vijftien op

Nucleaire waterstofproductie

Hogetemperatuurreactor plus waterstoffabriek



de markt zouden moeten verschijnen, heeft het voordeel dat ze 'inherent veilig' zijn: er kan geen ongeluk mee gebeuren. Als de koeling van de kernreactor wegvalt, smelt deze niet zoals ooit in Harrisburg en Tsjernobyl gebeurde.

Er zijn verschillende typen reactoren die zich kwalificeren voor de term 'vierde generatie'. Een ervan is gebaseerd op de grafietreactor die de inmiddels overleden Duitser Rudolf Schulten – in *Elsevier* van 13 oktober 1990 is hij geïnterviewd – heeft ontwikkeld. Het uranium zit niet op een kluitje, maar is verspreid over bollen grafiet ter grootte van biljartballen.

Dat is wezenlijk anders dan de huidige kernreactoren, waarin het uranium in staven van 4 meter lengte zit. Door deze andere aanpak kan dit nieuwe type, ook wel *pebble-bed reactor* genoemd, nooit heter worden dan zo'n 1.500 graden. Bij die temperatuur blijven de biljartballen intact. Daardoor blijft het uranium keurig in de biljartballen opgesloten.

Schulten zei destijds in *Elsevier*. 'We hebben al een stuk of twaalf keer het koelmiddel laten weglopen waardoor de reactor helemaal "droog" kwam te staan. We hebben absoluut niets gedaan en dan zie je de temperatuur geleidelijk tot 1.500 graden oplopen, hoger niet, en na een paar dagen zakt de temperatuur. Al die tijd hebben we gewoon kofiedrinkend zitten toekijken.'

China

Een prototype van deze veilige kernreactor heeft van 1967 tot 1988 tot volle tevredenheid in Duitsland gefunctioneerd en keert momenteel in diverse landen – China, Zuid-

Afrika – terug, onder de naam *High Temperature Reactor (HTR)* en *Very High Temperature Reactor (VHTR)*.

Ook in de Europese Unie wordt naarstig onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om in de toekomst met behulp van dit nieuwe type kernreactoren niet-fossiele waterstof te maken. Het betreft het zogeheten Raphael-project: *Reactor for Process Heat, Hydrogen and Electricity Generation*. De gedachte is dat er een uiterst veilige kernreactor wordt gebouwd die niet alleen elektriciteit gaat produceren, maar ook waterstof en heet water ten behoeve de industrie.

Zowel de Technische Universiteit Delft als de NRG (Nuclear Research & consultancy Group) in Petten werkt aan het Raphael-project mee. Jan Leen Kloosterman van de Technische Universiteit Delft ontwerpt op papier een combinatie van zo'n nieuwe kernreactor plus een waterstoffabriek. Alike van Heek van NRG bestudeert de veiligheid en economie van het nieuwe reactortype. Zij denkt dat bij de huidige aardgas-prijzen nucleaire waterstof economisch aantrekkelijk zal zijn. 'Alleen met kernenergie kan waterstof in de toekomst op grote schaal CO₂-vrij worden geproduceerd.' Kloosterman: 'Er komen een heleboel manieren aan om waterstof te produceren, maar de route om waterstof met behulp van hoge temperatuur via kernenergie te maken, zal het meest efficiënt blijken te zijn.'

Conclusie: dankzij waterstof heeft kernenergie een stralende toekomst. ■



Toepassingen van waterstof nu en straks
www.elsevier.nl/waterstof