

# Chemische Feitelijkheden

#364

Editie 92

september

2020

Michelle Wijma

# Waterstof

Klein element van groot belang

Waterstof is het kleinste en meest voorkomende element in het universum. Waterstofwolken zijn de kraamkamers van de kosmos, want hier vormen zich nieuwe sterren. In het binnenste van die gloeiendhete sterren fuseren de kernen van waterstofatomen tot helium en uiteindelijk ook grotere elementen. Op aarde proberen experts die kernfusie na te bootsen, zodat je er energie mee kunt opwekken. Voordat het zover is, kan waterstof op andere manieren een rol spelen in de

energietransitie. Als energiedrager kun je waterstof namelijk op diverse wijzen inzetten. Zo sla je er groene stroom in op voor later, pas je het toe als grondstof en brandstof in de industrie, rijd je ermee naar de andere kant van het land en kook je er pasta mee gaar. Maar de waterstof die je daarvoor gebruikt, is pas echt schoon als je het groen produceert. En dat blijkt zowel economisch als technisch een behoorlijke uitdaging.

# Klein element van groot belang

In de kosmos staat waterstof aan de basis van alle materie. Toch komt het als molecuul (H<sub>2</sub>) nauwelijks op aarde voor. Als je waterstof wilt gebruiken om mee te rijden of op te koken, moet je het dus zelf maken. Maar doe je dat op de vervuilende grijze, of schone groene manier?

**W**aterstof is een element van uitersten: het kleinste atoom, het laagste atoomnummer en het minste aantal protonen, elektronen en neutronen; maar ook is waterstof het meest voorkomende atoom in het universum. 90 % van alle atomen in het heelal zijn waterstofatomen en samen vormen die ruim driekwart van alle atomaire massa.

## Stergeboorte

Een deel van alle waterstof bevindt zich in moleculaire wolken. De grootste wolken zijn honderden lichtjaren in doorsnede en hebben een massa van miljoenen zonnen bij elkaar. Het zijn de kraamkamers van de kosmos. Daar waar de wolken de grootste deeltjesdichtheid hebben, worden nieuwe sterren geboren; een proces dat honderdduizenden of zelfs miljoenen jaren duurt.

### ► Watermaker

Eind 18de eeuw gaf Antoine Lavoisier waterstof de Latijnse naam *Hydrogenium*, wat een samenstelling is van de Griekse woorden *hydor* (water) en *genes* (maken). Vrij vertaald betekent waterstof dus watermaker. Jaren daarvoor, in 1766, ontdekte Henry Cavendish dat waterstof een element is. Toch is hij niet de vinder van waterstof, want een eeuw eerder, in 1671, beschreef Robert Boyle waterstof voor het eerst als brandbaar gas dat vrijkwam bij een reactie tussen ijzer en zuur.

De geboorte begint als de gaswolk onder invloed van zijn eigen zwaartekracht ineens stort tot een protoster. Die ster in wording wordt steeds kleiner en dichter, de zwaartekracht loopt op en uiteindelijk komt er kernfusie op gang. Dan is de ster ‘geboren’. Diep in de kern, onder extreem hoge druk en temperatuur, botsen waterstofatomen zo hard tegen elkaar dat er heliumatomen ontstaan. Als twee atomen fuseren tot een nieuw atoom komt er veel energie vrij. Die kun je berekenen met Einsteins beroemde formule:  $E = mc^2$ .

Op die manier is 4,5 miljard jaar geleden ook de zon geboren. Nu, als volwassen ster, produceert de zon in 1 seconde net zoveel energie als een miljard atombommen bij elkaar. Dat blijft niet voor altijd zo, want uiteindelijk raakt de waterstof in de kern op en komt de zon aan zijn einde. Dat duurt nog zeker 5 miljard jaar. Als een ster overlijdt, gaat de kernfusie door, maar dan onder nóg hogere druk, waardoor ook grotere atomen zoals koolstof en magnesium kunnen ontstaan. Waterstof staat dus aan de basis van alle materie, inclusief jijzelf.

## Zon nabouwen

Het is de droom van menig wetenschapper om een zon op aarde na te bouwen. Met andere woorden: experts willen een machine ontwerpen die kernfusie mogelijk maakt. Kernfusie is een relatief veilige en schone methode om energie op te wekken, met slechts een kleine hoeveelheid radioactief afval en zonder CO<sub>2</sub>-uitstoot. Het is niet hetzelfde als kernsplijting, wat plaatsvindt in kerncentrales. Daarbij splits je zware

atoomkernen, terwijl kernfusie juist lichte atomen samenbrengt. Kernfusie is een stabiel proces en kan niet uit de hand lopen, zoals in kerncentrales wel mogelijk is. Onderzoekers zoeken op dit moment in Frankrijk uit of kernfusie inderdaad een energiebron voor de toekomst kan zijn. Bij het Cadarache-onderzoekscentrum in Zuid-Frankrijk bouwen ze daarvoor een grote, experimentele fusiereactor. Het internationale samenwerkingsproject heet ITER, wat staat voor International Thermonuclear Experimental Reactor en Latijn is voor reis, tocht of weg.

De kernreactor ziet eruit als een groot, donutvormig reactorvat die de tokamak wordt genoemd (zie afbeelding op pagina 4). Die van ITER krijgt een diameter van 29 m. In de tokamak zet je waterstofgas onder stroom, waardoor de atomen ioniseren (een elektron afstaan). De waterstof gaat dan over van de gasfase naar een fase die plasma heet. Plasma is een mengsel van vrij door elkaar bewegende atoomkernen en elektronen. Het plasmavolume van ITER is 850 m<sup>3</sup>. De geladen deeltjes draaien met grote snelheid rond in het reactorvat, botsen onderling en gaan uiteindelijk fuseren. De materie houdt je in bedwang met enorme magneten, want ze mag de wanden van het apparaat niet raken. De temperatuur in een kernreactor loopt op tot 150 miljoen °C, tien keer hoger dan in de kern van de zon.

## Snelle isotopen

Kernfusie met ‘gewone’ waterstofatomen (met één proton en nul neutronen) is een relatief trage reactie die bestaat uit meer-

De Pilaren der Creatie zijn een onderdeel van de Adelaarsnevel. In die waterstofwolk worden sterren geboren. Vergis je niet in het formaat: de linkerpilaar alleen is al vier lichtjaar lang en de vingerachtige uitsteeksels aan de bovenkant van de pilaren zijn groter dan ons zonnestelsel.





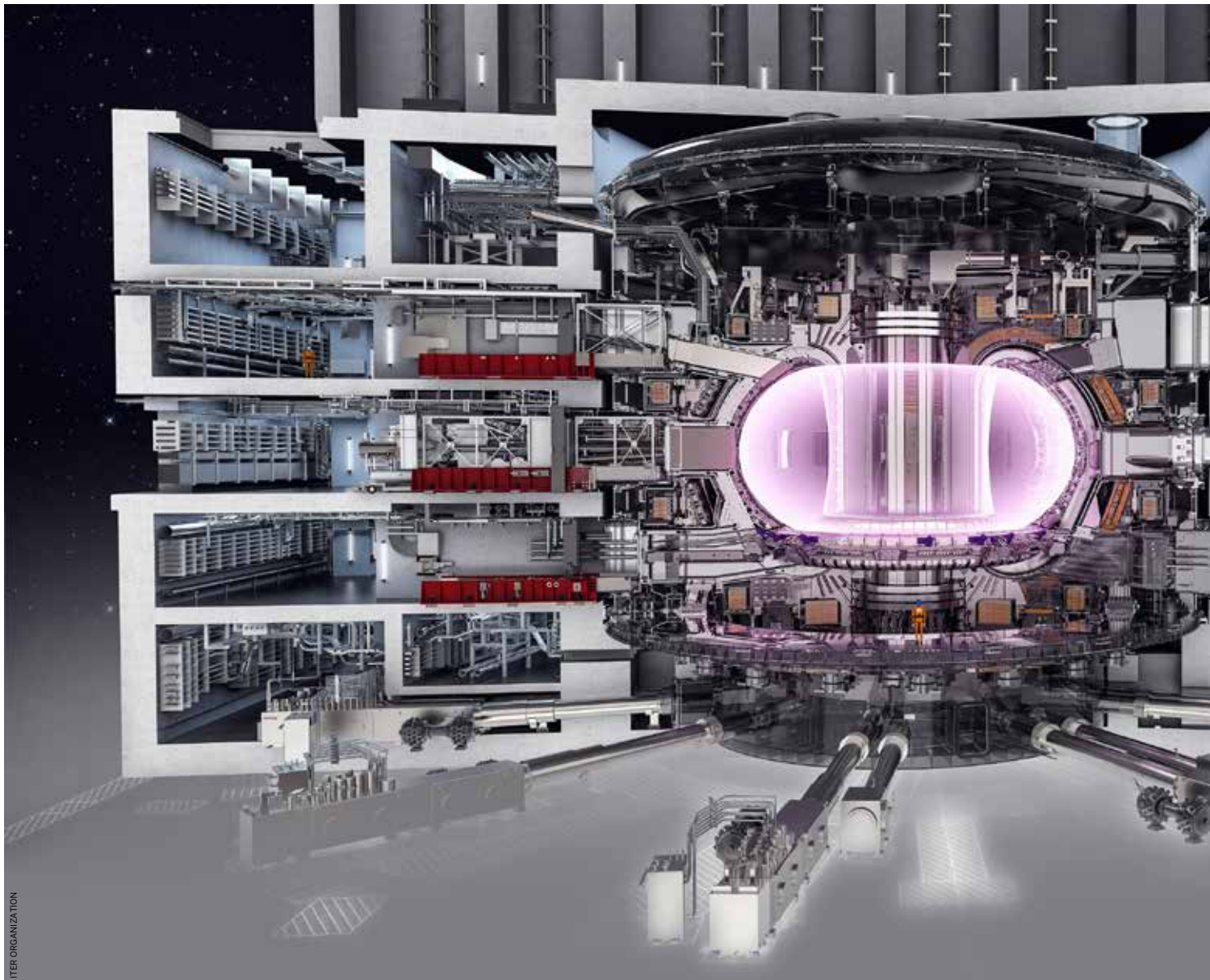
dere stappen. Daarom kan de zon tien miljard jaar vooruit met zijn brandstof. Maar in een kernreactor wil je juist een snelle reactie. Daarom gebruiken onderzoekers twee isotopen van waterstof: deuterium, met één proton en één neutron, wat voorkomt in oceaانwater en dus gemakkelijk is te verkrijgen; en tritium, met één proton en twee neutronen. Tritium is radioactief en komt nauwelijks voor in de natuur. Je maakt het daarom in de kernreactor zelf. Als de kern van een deuteriumatoom fuseert met de kern van een tritiumatoom, ontstaat er een heliumatoom met een los neutron. Neutronen hebben geen lading,

dus de magneten hebben er geen grip op. De deeltjes botsen daarom hard tegen de wand van de reactor en hierbij ontstaat warmte.

Omdat ITER een experimenteel project is, wordt de warmte nog niet omgezet in elektriciteit. Dat gaat in een toekomstig te bouwen reactor, genaamd DEMO, wel gebeuren. De hoeveelheid energie die zo'n kernfusiereactor opwekt, kan flink oplopen, want als je een gram deuterium en tritium fuseert, levert dat genoeg elektriciteit op voor een gemiddeld jaarverbruik van ruim dertig Nederlandse huishoudens. Als je ITER een jaar op vol vermogen laat

draaien, heb je 500 kg brandstof nodig. In een kolencentrale moet je, voor eenzelfde hoeveelheid energie, twaalf ton bruinkool verbranden.

ITER is een complex project op zowel technisch, organisatorisch als politiek vlak. Er zijn 35 landen bij betrokken en de kosten lopen op tot zeker € 20 miljard. In 2025 moeten de eerste tests met plasma gaan plaatsvinden en in 2035 starten de experimenten met kernfusie zelf. Als kernfusie een succes wordt, duurt het sowieso nog tientallen jaren voordat het een kosteneffectieve, bruikbare energiebron zal zijn. In de tussentijd is het zaak te kijken naar



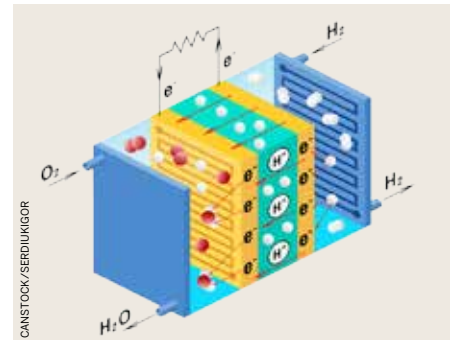
Model van het gebouw met de tokamak en omliggende apparatuur. Naar schatting worden er alleen al in de machine zelf 1 miljoen onderdelen gemonteerd.

andere opties, want de energietransitie is al in volle gang.

## Grijs, blauw, groen

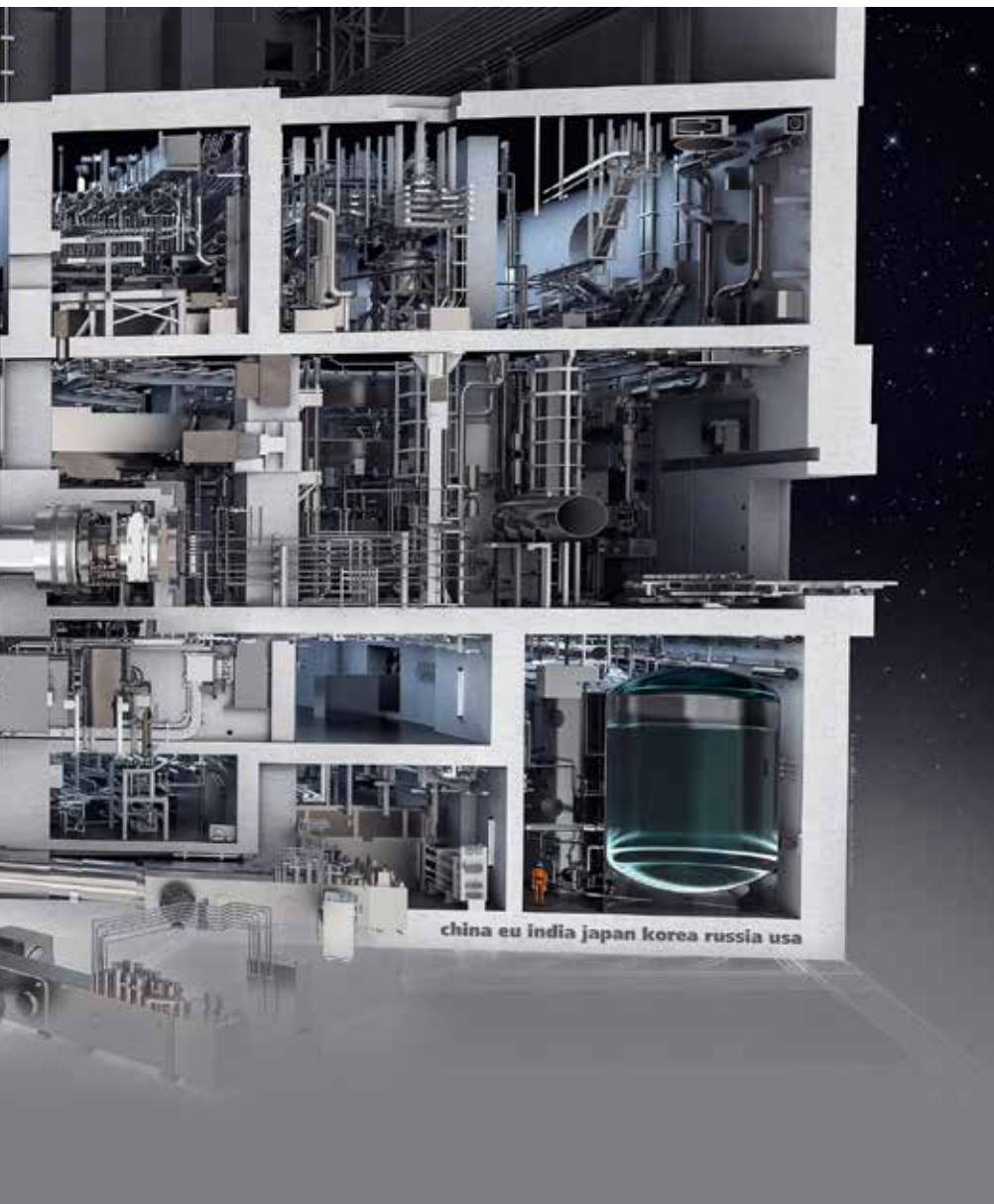
De energietransitie is de overgang van het huidige, vervuilende energiesysteem naar een nieuwe situatie met veel minder uitstoot van koolstofdioxide en andere broeikasgassen. Fossiele brandstoffen vervang je grotendeels door duurzame energiebronnen en er is aandacht voor energiebesparing en energieopslag. Onderdelen van de energietransitie (kunnen) zijn: biomassa en zon- en windenergie als energiebron; vergroening van de industrie en de landbouw;

elektrische voertuigen en meer. Het wereldwijde beleidsdoel rondom de energietransitie is vastgelegd in het *Klimaatakkoord van Parijs*. In dat akkoord komt het woord ‘waterstof’ 182 keer voor. Waterstof kan op verschillende manieren een rol spelen in de energietransitie. Zo is het bruikbaar als grondstof in de industrie en als brandstof in onder meer vervoersmiddelen; kun je er energie in bewaren voor later gebruik; en kun je in theorie je huis ermee verwarmen. Belangrijk om daarbij te beseffen is dat waterstof geen energiebron is, maar een energiedrager. Waterstofgas ( $H_2$ ) komt op aarde namelijk



### ► Brandstofcel

In een brandstofcel (zie afbeelding) vindt een redoxreactie plaats. Waterstof is de reductor en zuurstof – afkomstig uit de lucht – is de oxidator. Bij de anode wordt  $H_2$  gesplitst in twee  $H^+$ -ionen (protonen) en twee elektronen. De elektronen gaan via een elektrisch circuit naar de kathode. De protonen bewegen via de elektrolyt in het midden van de cel. Bij de kathode komen beide weer samen, waar ze reageren met zuurstof tot water.



nauwelijks voor. De meeste waterstofatomen vind je in water ( $H_2O$ ) en organische verbindingen. Met andere woorden: je moet het zelf produceren. Dat kan bijvoorbeeld met elektrolyse. Bij elektrolyse zet je water onder stroom, waardoor de moleculen splitsen in waterstof en zuurstof:  $2 H_2O \rightarrow 2 H_2 + O_2$ . Als je de benodigde elektriciteit haalt uit zonne- of windenergie, komt er in het hele proces geen  $CO_2$  vrij. Op deze wijze geproduceerde waterstof heet daarom groene waterstof. Elektrolyse gebeurt in de praktijk nog weinig. 90 % van de waterstof maak je met een chemisch proces genaamd *steam methane reforming*, ofwel stoomreforming. Stoom reageert onder hoge druk en temperatuur (700 tot 1.100 graden  $^{\circ}C$ ) met methaan afkomstig uit aardgas. Dit gebeurt via twee evenwichtsreacties, waarvan de tweede de water-gas-shift-reactie wordt genoemd. De totaalreactie is  $CH_4 + 2 H_2O \rightarrow 4 H_2 + CO_2$ . Je hebt nu ‘grijze’ waterstof gemaakt. Die methode is goedkoper dan de productie van groene waterstof en heeft een hoger rendement, maar er komt wel  $CO_2$  bij vrij. Dit kun je eventueel afvangen en opslaan, bijvoorbeeld in een leeg gasveld onder de Noordzee, waardoor het broeikasgas niet in de atmosfeer terecht komt. Die technologie heet *carbon capture & storage* (CCS)





Een impressie van hoe de productie van groene waterstof, op basis van zon- en windenergie, eruit kan komen te zien in de toekomst.

en de waterstof heet blauw. CCS gebeurt nog nergens op grote schaal, maar als de vraag naar groene waterstof toeneemt terwijl je er nog niet genoeg van kunt maken (of het te duur is), kan blauwe waterstof een tussenoplossing zijn.

### Rijden, varen, vliegen

Met de geproduceerde waterstof kun je elektriciteit opwekken, bijvoorbeeld met een brandstofcel (zie kader op pagina 5). Met de stroom die in een brandstofcel ontstaat, kun je de elektromotor van een waterstofauto aandrijven. Waterstofauto's zijn elektrisch, maar in plaats van een oplaadbare accu hebben ze cilindrische waterstof-tanks. In meervoud inderdaad, want waterstof neemt zo veel ruimte in beslag dat één tank te groot zou zijn om in een auto kwijt te kunnen.

Waterstof levert per kilogram meer energie dan fossiele brandstoffen, maar bij standaarddruk en -kamertemperatuur is dat getal per liter veel lager. De druk in een waterstoftank is daarom tot wel 700 bar en tijdens het tanken is de waterstof gekoeld tot -40 °C. Een waterstofstation is dan

ook een technisch hoogstandje met allerlei apparatuur en koelmachines. Een volgetankte auto bevat zo'n 6 kg waterstof en daarmee kun je ongeveer 500 km rijden, een vergelijkbare actieradius als die van andere soorten auto's.

Een voordeel ten opzichte van elektrische auto's is dat je de accu niet hoeft op te laden. Je kunt 'gewoon' in een paar minuten tanken, maar dat moet dan wel bij een speciaal waterstofstation en daarvan zijn er maar een paar in Nederland. Want hoewel waterstofauto's al twintig jaar bestaan, reden er in april 2020 slechts 253 van rond in Nederland. Elektrische auto's hebben met ruim 200.000 stuks een flinke voorsprong. Veel mensen noemen waterstofauto's omslachtig, want in plaats van dat je elektriciteit meteen in de auto stopt door de accu op te laden, gebruik je het eerst om waterstof te produceren. Dat moet je vervolgens tanken en dan wordt het in de auto weer omgezet in elektriciteit. De keten is technisch ingewikkelder, omslachtiger en duurder.

Andere vervoersmiddelen kunnen meer baat hebben bij de voordelen van water-

stof. Bij waterstofbussen zitten de tanks bovenop en bij vrachtwagens onderin, waardoor ze minder ruimte in beslag nemen. De druk in de tanks kan daardoor omlaag naar zo'n 350 bar, wat het gewicht van de tanks flink vermindert. Boven op een waterstofbus liggen vijf tot tien tanks, waarin je 40 kg waterstof kunt opslaan. Daarmee kun je zo'n 400 km rijden, een stuk verder dan met een volgeladen elektrische bus. Dit voordeel maakt waterstofbussen geschikt voor streekvervoer. Eind 2019 reden er acht waterstofbussen rond in Nederland. Daar komen er in 2020 en 2021 nog eens vijftig bij in Zuid-Holland, Drenthe en Groningen.

Onder meer op het traject Groningen-Leeuwarden wordt geëxperimenteerd met een trein die op waterstof rijdt. Nu rijden daar dieseltreinen, omdat er geen bovenleidingen zijn om de treinen van stroom te voorzien. Voor dit soort trajecten is de waterstoffrein een potentieel alternatief. Vrachtschepen op waterstof hebben ook potentie, maar een nadeel blijft dat waterstof-tanks veel meer ruimte in beslag nemen dan dieseltanks.

En hoe zit dat met vliegtuigen? In theorie is het mogelijk om op waterstof te vliegen, maar er zijn veel aanpassingen nodig. De tanks zijn loodzwaar en door de hoge druk kun je ze niet zomaar in de vleugels plaatsen, zoals nu wel het geval is met kerosine-tanks. Bovendien, zolang kerosine onbelast blijft, CO<sub>2</sub> uitstoten niet verder belast wordt en subsidies voor verduurzaming van de luchtvaart uitblijven, is waterstof economisch gezien niet aantrekkelijk.

Is vloeibare waterstof misschien een beter idee? Omdat het minder plek in beslag neemt dan gas, kun je met een volle tank verder komen. Maar het kookpunt van waterstof is -253 °C. Om vloeibare waterstof (LH<sub>2</sub>) te maken, moet je het dus extreem sterk koelen en vervolgens cryogeen (koud) opslaan, omdat het anders weer verdampt. Dat maakt zo'n tank enorm zwaar. Bovendien kost het energie om zo'n vat continu te koelen. Die redenen maken LH<sub>2</sub> voorlopig niet geschikt voor veel vervoersmiddelen, maar het vindt wel toepassing als raketbrandstof. Tijdens de verbranding reageert de vloeibare waterstof met (eveneens vloeibare) zuurstof, waarna water ontstaat. Door de extreme koeling zie je daardoor bij een lancering vaak ijsfragmenten van de raket vallen.

### (On)realistische scenario's

Groene waterstof gebruiken voor vervoer is voorlopig een omslachtige route, want zo lang je nog geen overschot aan duurzame energie produceert, kun je de stroom beter direct als energiebron inzetten. Maar de productie stijgt snel, dus over enkele decennia kan het gaan voorkomen dat er wel een overschot aan duurzaam opgewekte stroom ontstaat, bijvoorbeeld als het hard waait of de zon lang schijnt. Om te voorkomen dat de stroom dan verloren gaat, kun je het gebruiken om middels elektrolyse waterstof te produceren. De omslachtigheid van waterstof komt in zo'n scenario dus juist goed van pas, want de waterstof kun je opslaan en pas inzetten in de winter, als de zon nauwelijks schijnt.

In zo'n scenario moet je grote elektrolytische cellen koppelen aan windmolenparken op zee en kun je de geproduceerde waterstof opslaan, bijvoorbeeld in lege gasvelden onder de Noordzee. Met enkele aanpassingen kun je de waterstof dan via bestaande gasleidingen vervoeren naar grote industriegebieden zoals de Rotterdamse havens. Die gebruiken het gas als grondstof bij de pro-

ductie van bijvoorbeeld kunstmest en ammoniak. Bovendien kan het in de staalindustrie aardgas en kolen vervangen. Met waterstof kun je namelijk zeer hoge temperaturen bereiken, tot 1.200 °C, die met elektriciteit niet haalbaar zijn.

In theorie kun je ook koken op waterstof en je huis ermee verwarmen, maar voorlo-

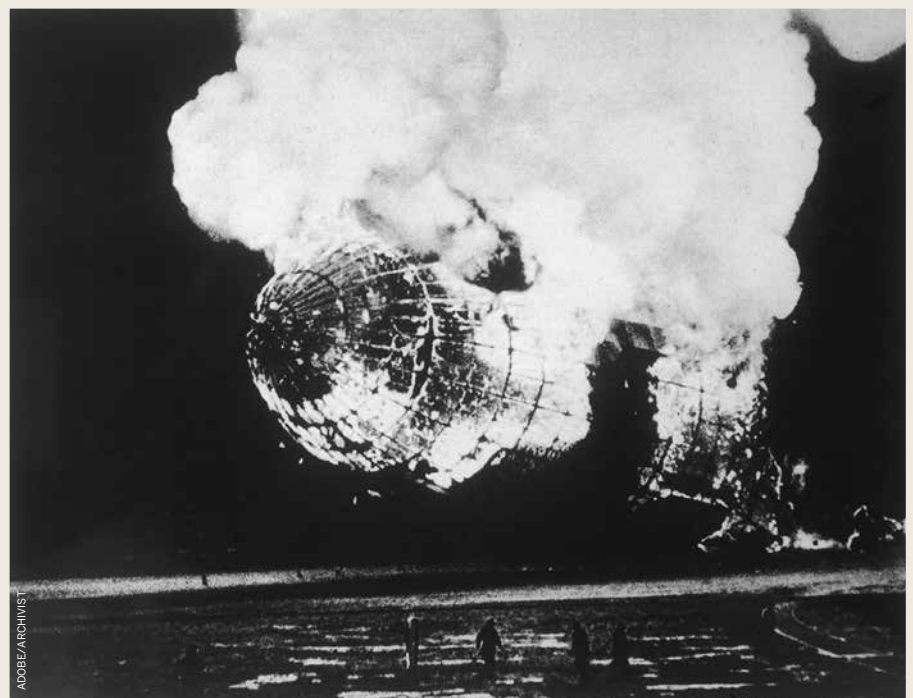
pig is dat niet aan de orde, want daarvoor moet het gehele gasleidingnetwerk op de schop. Ook bij de andere scenario's zijn de investeringen enorm. De vraag is of de kosten ooit zullen opwegen tegen de voordelen en of je ooit genoeg groene waterstof kunt produceren. Experts zijn het daarover vooralsnog niet eens. ●

### ► De Titanic van de luchtvaart

De eerste helft van de 20ste eeuw was het kortdurende tijdperk van de zeppelins. Een zeppelin is een luchtschip met een enorm metalen frame, afgedekt met stevige stof, met binnenin meerdere met gas (meestal waterstof) gevulde zakken. Je bedient het luchtschip met motoren, propellers en een roer bij de staart. Rond 1900 werden de eerste zeppelins gebouwd. Ze speelden een belangrijke rol tijdens de Eerste Wereldoorlog. De laatste passagiersvlucht met een waterstofzeppelin was niet veel later, op 6 mei 1937. Op die dag vloog de LZ-129, beter bekend als de Hindenburg, tijdens de landing in New Jersey, VS, in brand (zie foto).

De Hindenburg was het paradepaardje van de nazipartij van Adolf Hitler. Met een lengte van 245 m (bijna net zo lang als de Titanic) was het de grootste zeppelin ooit gebouwd. Na meerdere ongelukken met waterstofzeppelins zou de Hindenburg op helium gaan vliegen, maar door leveringsproblemen (de helium moest uit de VS komen) is besloten om toch het ontvlambare waterstof te gebruiken.

Op de dag van de ramp had het schip, na een lange vlucht over de Atlantische Oceaan in stormachtig weer, tien uur vertraging. Tijdens de gehaaste landing maakte de piloot scherpe bochten dan gebruikelijk, waardoor vermoedelijk een geknapte kabel een van de zestien gaszakken openscheurde. Een vonkje, veroorzaakt door alle door de storm opgebouwde statisch-elektrische lading, deed de rest: de lekkende waterstof vatte vlam, waarna het stoffen omhulsel en de andere waterstofzakken, met daarin 200.000 m<sup>3</sup> ontvlambaar gas, stuk voor stuk volgden. Binnen 32 seconden was van de Hindenburg enkel een ingestort, smeulend geraamte overgebleven. Er kwamen 36 mensen om het leven. De Hindenburgramp was niet het grootste luchtschipongeluk, maar het werd wel vastgelegd op camera. Mede door alle media-aandacht was het de laatste passagiersvlucht met waterstofzeppelins ooit. De beelden kun je bekijken via [bit.ly/hindenburgramp](https://bit.ly/hindenburgramp).



Een nieuwe ster wordt soms zo heet dat die de moleculaire wolk om zich heen ioniseert. De elektronen zijn dan uit de waterstofatomen ontsnapt, waardoor er enkel protonen – ofwel geïoniseerd waterstof – overblijven. Zo ontstaat een H-II-gebied, een wolk van gloeiend gas met daarin soms duizenden jonge sterren bij elkaar. Een H-II-gebied is veel heter dan neutrale waterstof (een H-I-gebied), waardoor het zich ver kan uitspreiden in een H-I-gebied. Er ontstaan dan in- en uitstulpingen, die donker afsteken tegen de vaak lichtere achtergrond van het H-II-gebied. De Orionnevel (zie afbeelding) is een H-II-gebied dat je bij een heldere nacht met het blote oog kunt zien. Je vindt de nevel onder de drie gordelsterren in het zwaard van sterrenbeeld Orion.

## Voor op school

- 1 Wat gebeurt er met de kernfusie in een ster als alle waterstof op is?
- 2 Wat is het verschil tussen kernfusie en kernsplijting?
- 3 Waarom voldoet de productie van grijze waterstof niet aan de uitgangspunten van de Groene Chemie (zie Binas tabel 97F)? Hoe zit dat met blauwe waterstof?
- 4 Geef de vergelijkingen van de halfreacties die plaatsvinden in een brandstofcel en leidt daaruit de totaalreactie af.
- 5 Stel dat je een waterstofauto voltankt onder standaardomstandigheden ( $p=p^0$ ,  $T=298\text{ K}$ ). Welk volume moet de tank dan hebben om 6 kg waterstof op te slaan? Hoe kun je evenveel kilogram waterstofgas opslaan in een kleinere tank?
- 6 Geef in twee stappen de evenwichtsreacties die plaatsvinden bij stoomreforming. Hoe kun je het evenwicht aflopend maken?
- 7 Wat is het verschil tussen waterstof, deuterium en tritium?
- 8 Waarom kun je waterstof niet zomaar vervoeren in bestaande gasleidingen?
- 9 Op beelden van de Hindenburgramp zie je grote vlammen. Komen die van de exploderende waterstofzakken? Waarom wel/niet?

## Meer weten?

- Jeroen Horlings, *Een objectieve kijk op waterstof* (2020)
- [bit.ly/DKVNWaterstof](https://bit.ly/DKVNWaterstof), tv-uitzending *De Kennis van Nu*
- [allesoversterrenkunde.nl](https://allesoversterrenkunde.nl)
- [nemokennislink.nl/publicaties/kernfusieproject-iter-komt-het-nog-af/](https://nemokennislink.nl/publicaties/kernfusieproject-iter-komt-het-nog-af/)
- [npofocus.nl/artikel/7941/is-waterstof-het-nieuwe-aardgas](https://npofocus.nl/artikel/7941/is-waterstof-het-nieuwe-aardgas)

## Editie

### Waterstof

editie 92 | nummer 364 | september 2020

[www.chemischefeitelijkheden.nl](http://www.chemischefeitelijkheden.nl)

**Coverbeeld:** Raketten gebruiken al vloeibare waterstof als brandstof. Tijdens de verbranding reageert  $\text{LH}_2$  met (eveneens vloeibare) zuurstof, waarna water ontstaat. Door de extreme koeling zie je daardoor bij een lancering vaak ijsfragmenten van de raket vallen. (Covercredit: Pat Corkery/United Launch Alliance)

**Met dank aan:** Scarlett Braddock, Gieljan de Vries, Peter Perey en Alex de Koter

## Colofon

Over Chemische Feitelijkheden

**KNCV**

Chemische Feitelijkheden is een actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Het is een losbladige uitgave van de KNCV en verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

### Redactie

dr. Erwin Boutsma (hoofdredacteur), drs. Franny Scholte (eindredacteur),  
Michelle Wijma (tekst), Daniël Linzel MSc (correctie)

### Vormgeving & Opmaak

Content Innovators

### Uitgever

Rik Stuivenberg, Vakbladen.com  
Postbus 19949, 2500 CX Den Haag

### Abonnementen

088-2266 680

[abbonementen@vakbladen.com](mailto:abbonementen@vakbladen.com)

Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenissenrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd, tenzij twee maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen. Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale onlinearchief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

### Tarieven (2020)

Voor particulieren: onlinetoeegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap) kost € 100\*; leden van de KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10 korting.

Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen: onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen) kost € 280\*.

Losse nummers kosten € 9,95\* per stuk en zijn te bestellen bij [Mijntijdschrift.com](https://Mijntijdschrift.com).

\*Bij betaling per factuur wordt € 2,95 administratiekosten in rekening gebracht.