

Kernfusie: energie van de verre toekomst

Afgelopen winter telde temperatuurrecord na temperatuurrecord en de zeespiegel stijgt binnen decennia naar ongekende hoogte. Een gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen, die ook steeds duurder worden: over dertig jaar is de olie op. Op zoek naar een rendabele, nieuwe lange termijn energiebron kijken we naar kernfusie.

Door Nienke van der Maref

Veel alternatieve energiebronnen zijn niet efficiënt genoeg (zonne- en windenergie) en daardoor te duur, kunnen niet overal worden toegepast (zonne-, windenergie en waterkracht), stoten nog steeds CO₂ uit (biomassa) en dragen zo bij aan het broeikas effect of zijn gewoonweg nog te duur (waterstofgas) om overal op de wereld te worden toegepast als lange termijn oplossing.



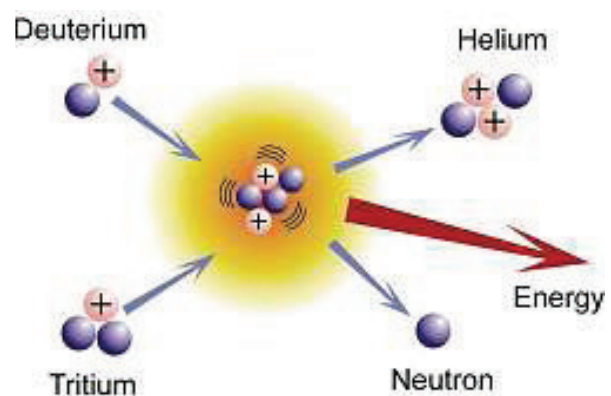
Door de verbranding van fossiele brandstoffen komen er grote hoeveelheden CO₂ in de lucht

Kernenergie kent geen van deze problemen en wordt dan ook gezien als dé energie van de toekomst. Hierin moet het onderscheid worden gemaakt tussen kernsplijting en kernfusie: bij kernsplijting blijft radioactief afval over, dat duizenden jaren moet worden opgeslagen voor het ongevaarlijk wordt, maar de restproducten van kernfusie bestaan alleen uit het ongevaarlijke heliumgas.

Kernsplijting is het proces waarbij een zware atoomkern uiteenvalt in twee of meer lichtere kernen. Hierbij komt een grote hoeveelheid energie vrij. Een

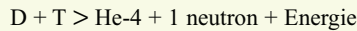
atoomkern blijkt namelijk een grotere massa te hebben dan de som van de massa's van de protonen, neutronen en elektronen. De bekende formule van Einstein ($E=mc^2$), die stelt dat massa en energie inwisselbaar zijn, geeft aan hoeveel energie er vrijkomt door dit massaverschil. Dit is een spontaan proces, wat vaak honderden jaren kan duren. Als kernsplijting als energiebron wordt gebruikt, worden neutronen aan een stabiele kern toegevoegd, die daardoor onstabiel wordt en vervalt. Dit heet gestimuleerde kernsplijting. Een bekend materiaal is Uranium-235.

Een voorbeeldreactie is:



Een schematische weergave van een kernfusie reactie

Kernfusie is de samensmelting van twee atoomkernen, waarbij één nieuwe kern wordt gevormd en energie vrijkomt. Het is hetzelfde proces als wat in sterren plaatsvindt. Om te kunnen fuseren, moeten de atoomkernen dicht genoeg bij elkaar komen zodat de sterke kernkracht (die alleen op korte afstand voelbaar is) de kernen naar elkaar toe kan trekken. Op grote afstand overheerst de elektrische kracht, en aangezien de kernen positief geladen zijn stoten ze elkaar af. Deuterium en tritium geven momenteel de meest effectieve reactie.

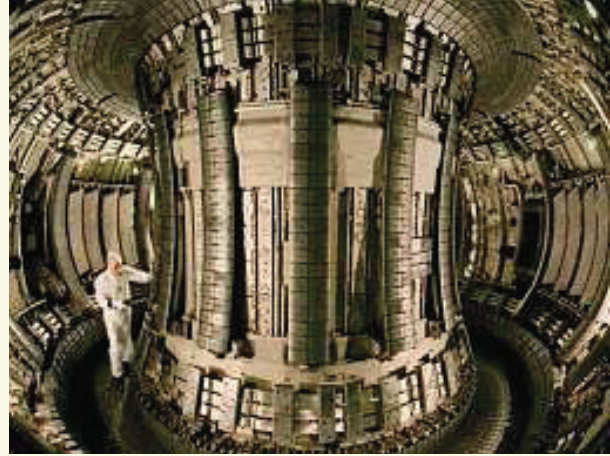


Deuterium is het stabiele isotoop van waterstof met één proton en één neutron en komt in grote hoeveelheden voor op aarde. Zo'n 0,015% van alle waterstof op aarde is deuterium: een liter water bevat 33 milligram. Omgerekend komt dit neer op 40 miljard jaar energievoorziening. Het kan worden gewonnen door elektrolyse van water. Tritium is een radioactieve isotoop (halfwaardetijd 12,3 jaar) van waterstof met één proton en twee neutronen. Door de korte halfwaardetijd komt de isotoop niet in de natuur voor, maar kan worden gemaakt door Lithium-6 met neutronen te bestralen. De hoeveelheid Lithium-6 op aarde is voldoende voor 12 miljoen jaar energievoorziening. In een fusiecentrale wordt tritium ter plaatse gemaakt uit het lithium, zodat buiten de centrale geen transport van radioactieve brandstoffen nodig is. Om een elektriciteitscentrale van 1000 MW aan de gang te houden, is 250 kg deuterium en tritium nodig, tegen 2,7 miljoen steenkool. De hoeveelheid brandstof is dus minimaal. Het enige bijproduct van de fusiereactie is het ongevaarlijke helium, waar bovendien maar heel weinig geproduceerd wordt. Daarnaast moeten de radioactief geworden wanden van een fusiecentrale op een gegeven moment vervangen worden. Dit staat echter totaal niet in vergelijking met het afval van een kernsplijtingcentrale: na honderd jaar is het net zo onschadelijk als de as van een kolencentrale.

Waarom stappen we dan niet vandaag nog massaal over op kernfusie?

De enige manier om de elektrische kracht te overwinnen is de temperatuur extreem hoog te maken, zodat de kernen met hoge snelheid tegen elkaar botsen. Voor deuterium en tritium is een temperatuur van 150 miljoen graden nodig. Op deze temperaturen worden de atomen geïoniseerd. Wanneer er zoveel elektronen losgemaakt zijn van de kernen dat de elektrische krachten in het gas erdoor beïnvloed worden, spreekt men van een plasma. Plasma is een ingewikkeld en nog niet geheel begrepen medium, waarin elektrische en magnetische velden een rol spelen. Afgezien van de nog beperkte kennis van plasma is de opsluiting ervan van een probleem. Geen enkel materiaal is bestand tegen deze

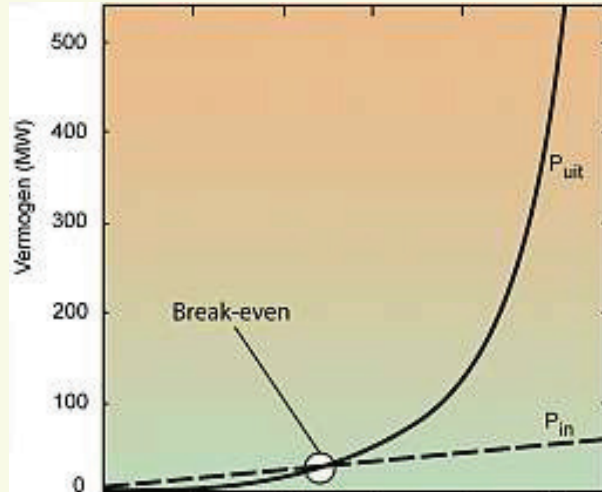
hoge temperaturen. In een reactorvat moet daarom de warmteoverdracht naar de wand beperkt worden. Dit wordt gedaan door middel van magnetische velden, aangezien plasma uit geladen deeltjes bestaat, die gedwongen het magnetisch veld volgen. De meest gebruikte vorm voor een reactorvat is de zogenaamde tokamak: een torus- of donutvorm.



Een tokamak

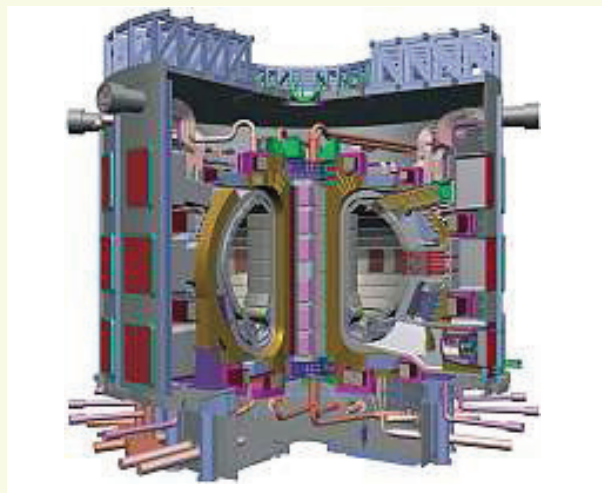
Voor het verhitten van plasma zijn drie verschillende technieken beschikbaar, die naast elkaar worden gebruikt. Bij de eerste methode wordt een elektrische stroom door het plasma gestuurd. Het plasma is immers een gesloten stroomkring, waarin een stroom geïnduceerd kan worden met een transformator. De tweede methode is het bestralen met microgolflstraling die door het plasma wordt geabsorbeerd. De straling kan met grote nauwkeurigheid worden gericht om eventuele turbulenties te onderdrukken. Tenslotte kunnen neutrale deeltjes met een hoge energie het plasma in worden geschoten.

Om het plasma op temperatuur te houden, moet het warmteverlies gecompenseerd worden. Het warmteverlies is evenredig met de straal van de torus, omdat het gaat om de warmte die van het centrum naar de rand stroomt. Het geproduceerde fusievermogen is echter evenredig met het volume. Er is dus een break-even point voor de grootte van de reactor, waar de opgewekte energie groter wordt dan de benodigde energie. Een fusiecentrale heeft dus een minimale grootte. Dat is de reden dat een schaalmodel niet echt geschikt is om kernfusie te testen voor commercieel gebruik, aangezien deze enkel energie kan kosten. Dergelijke schaalmodellen zijn wel gebouwd, bijvoorbeeld de JET (Joint European Torus) in Oxford, welke 16 Megawatt opwekte maar wel met 30 Megawatt verhit moest worden.



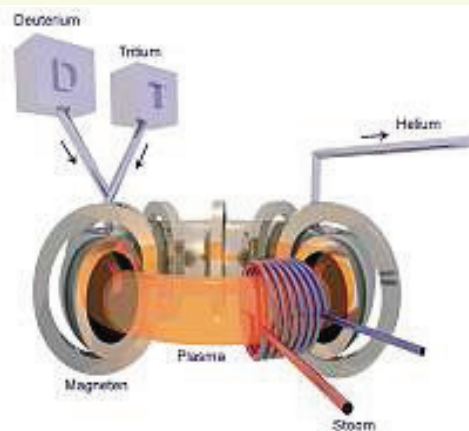
De groei van het geproduceerde fusievermogen en de benodigde energie voor de verhitting

Er was en is dus nog veel onderzoek nodig voordat een commerciële kernfusiecentrale gebouwd kan worden. Zo moet het materiaal van de wanden nog uitgebreid onderzocht worden, zodat deze de enorme hitte en een grote hoeveelheid neutronen kan weerstaan en daarnaast niet te lang radioactief blijft. Ook is er nog geen praktische energieomzetting getest, zodat de opgewekte energie ook echt gebruikt wordt. De technologische en wetenschappelijke vooruitgang in het fusieonderzoek zijn wel aantoonbaar groot: de behaalde fusievermogens zijn sneller gegroeid dan de kloksnelheid van computerchips. Een groot deel van de vooruitgang in het fusieonderzoek bestaat uit het enorm toegenomen begrip van het gedrag van plasma's. Verder zijn er grote ontwikkelingen doorgemaakt in het controleren en plaatsgericht verhitten. In het afgelopen decennium is het fusieonderzoek echter vertraagd door uitstel in de politieke besluitvorming over de bouw van de nieuwe fusiereactor ITER.



Een schematische doorsnede van de geplande ITER-centrale

ITER (International Tokamak Experimental Reactor) is een internationaal samenwerkingsproject met als doel de wetenschappelijke en technische haalbaarheid aan te tonen van kernfusie als energiebron. Europa, Japan, Canada, China, de Verenigde Staten en Rusland zijn partners in het ITER-project, dat zo'n 5 miljard Euro zal gaan kosten. Het initiatief kwam in 1985 van presidenten Gorbatsjov en Reagan en in 2001 werd uiteindelijk het model goedgekeurd. ITER zal ongeveer twee keer zo groot worden als JET en moet 0,5 Gigawatt fusievermogen produceren. Volgens de planning zal in 2008 in Frankrijk met de bouw worden begonnen. Dit zal zeker tien jaar duren, waarna er 10 jaar lang geëxperimenteerd zal worden met het opvoeren van de vermogens en het uittesten van technologieën. ITER is echter alleen een wetenschappelijk experiment, het is nog niet geschikt voor commercieel gebruik. Na succesvolle afronding van het ITER-project zal de DEMO worden gebouwd, die elektriciteit aan het net zal leveren (30-35 jaar na de aanvang van de bouw van ITER) en daarmee de economische aantrekkelijkheid van kernfusie presenteert. Pas rond het midden van de 21e eeuw zal kernfusie klaar zijn voor commerciële inzet. Uiteraard gaat men met deze schattingen wel uit van onderzoeksvoortgang in het hetzelfde tempo als de afgelopen decennia.



De binnenkant van een tokamak

Kortom, zelfs bij maximale internationale inzet van geld en middelen is het niet mogelijk om binnen enkele jaren over te stappen op kernfusie. Tal van zaken moeten nog worden onderzocht en de planning is gebaseerd op schattingen van de voortgang van dat onderzoek. We gaan er dus van uit dat er oplossingen worden gevonden voor onder meer wandmateriaal en energieomzetting.

Bronnen:

www.fusie-energie.nl

www.wikipedia.org

<http://www.kennislink.nl/web/show?id=102564>