

# De haalbaarheid van kernfusie met de ITER

voor- en nadelen van deze Tokamak-reactor in ontwikkeling

Mei 2003

S.W. van Buuren

S.W.van.Buuren@student.rug.nl

Technische Natuurkunde, Rijksuniversiteit Groningen

Nijenborgh 4, 9747 AG Groningen

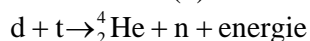
*Al vijftig jaar wordt er onderzoek gedaan naar mogelijkheden om kernfusie als veilige energiebron te gebruiken, maar tot op heden zijn er alleen maar experimentele reactoren ontwikkeld die meer energie verbruiken dan opleveren. De International Thermonuclear Experiment Reactor (ITER) moet hier verandering in gaan brengen. Dit is een kernfusiereactor naar het zogenaamde Tokamak model, dat ontwikkeld is tijdens jaren 50 in onder andere de Sovjetunie. In dit artikel zal een korte uitleg worden gegeven van kernfusie en het principe van de Tokamak. De ITER zal in het resterende deel worden besproken waar politieke, technische, en financiële haalbaarheid aan bod komen. Ook veiligheid en alternatieve methoden van kernfusie zullen aan bod komen.*

## Trefwoorden

ITER, International Thermonuclear Experiment Reactor, Tokamak, kernfusie.

## Kernfusie in een Tokamak-reactor

In tegenstelling tot kernsplijting komen er bij kernfusie deeltjes met lage bindingsenergie bij elkaar en vormen samen een atoomkern met een hogere bindingsenergie. Bijvoorbeeld deuterium (d) en tritium (t) wat tot helium-4 ( ${}^4_2\text{He}$ ) fuseert en een neutron (n).



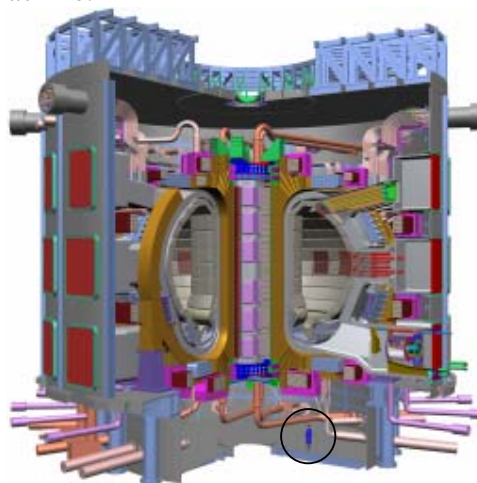
Bij deze reactie komt veel energie vrij die eerst als massa was opgeslagen. Dit is te verklaren met de vergelijking van Einstein, die de relatie tussen massa (m) en energie (E) geeft (c is de lichtsnelheid):

$$E = mc^2$$

Er is echter wel een temperatuur in de orde van miljoenen Kelvin nodig om bovenstaande fusiereactie te laten plaatsvinden.

In de Tokamak-Reactor wordt deze temperatuur bereikt door de beginstoffen in een donut-vormige reactorkamer te plaatsen en daarin zeer sterk magneetveld te genereren. Hierdoor gaat er een enorme stroom door deze stoffen lopen. Door de hoge weerstand van de beginstoffen stijgt de temperatuur en kan er een reactie plaatsvinden. Als de reactie uiteindelijk

plaats vindt, wordt het ontstane zogenaamde plasma op zijn plaats gehouden door hetzelfde magneetveld. Dit wordt zo gedaan, omdat geen enkele vaste stof hiertoe in staat is in verband met de hoge temperatuur die het zou moeten kunnen verdragen. Het afvoeren van de energie die ontstaat in de reactor en het in stand houden van het magnetische veld in één apparaat maken van een kernfusiereactor een zeer complexe machine.



**Figuur 1: Kwartdoorsnede van het ontwerp van de van de ITER. Ter vergelijking: het omcirkelde figuur geeft de grootte van een mens aan in vergelijking met de reactor.**

## ITER<sup>1</sup>

In 1985 werd onder vier partijen het idee geboren van een gezamenlijke experimentele Tokamak-reactor. Tegenwoordig zijn Europa, Canada, China, Japan, Rusland en de Verenigde Staten de belangrijkste partners in dit samenwerkingsverband. De onderhandelingen zijn op het moment zover gevorderd dat er in dit jaar een locatie wordt gekozen, waarna de bouw, die tien jaar in beslag zal gaan nemen in 2004 kan beginnen. De onderhandelingen van de afgelopen achttien jaar zijn alles behalve vlekkeloos verlopen en er wordt dus ook verwacht dat de ITER nog een lange weg heeft te gaan. In de volgende paragrafen zullen een aantal obstakels voor dit project aan de orde komen.

## Technische haalbaarheid<sup>2,3</sup>

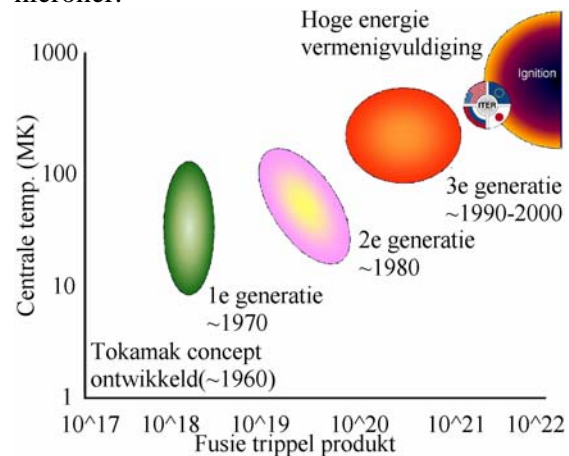
Zoals eerder vermeld, is een kernfusie reactor een zeer ingewikkeld apparaat. Om een magnetisch veld op te wekken dat groot genoeg is voor een Tokamak-reactor, moet men de draden van de spoelen om de reactorkamer nagenoeg weerstandloos (supergeleidend) maken. Dit kan alleen maar worden gerealiseerd, als de draden tot een temperatuur rond de 4K worden afgekoeld. Aangezien deze spoelen zich vlak in de buurt van een ruimte bevinden waar het miljoenen graden kan worden, is dit niet eenvoudig. Dit probleem is echter te overkomen. Meer zorgen zijn er over de hoge neutron-straling die ontstaat tijdens een reactie in het plasma. Als gevolg hiervan zouden de materialen uit de reactor kunnen worden aangetast of vernietigd en deze zouden dus na enige tijd moeten worden vervangen. Sommige onderzoekers uit dit vakgebied denken dat dit een onoverbrugbaar probleem is, maar voorstanders beweren dat onderzoek met neutronstraling op bepaalde metalen veelbelovende resultaten oplevert.

De haalbaarheid van de doelen die men voor de ITER heeft gesteld zouden niet een probleem moeten vormen. De Joint European Torus (JET) – een Tokamak-

reactor van de huidige generatie – had een zogenaamde  $Q \approx \frac{1}{3}$  gedurende enkele seconden, waarbij  $Q$  een soort rendement is:

$$Q = \frac{P_{\text{kernfusie}}}{P_{\text{extern}}}$$

Voor de ITER houdt men rekening met  $Q \approx 10$  gedurende een periode van 500s. Aangezien de ITER een veel grotere reactor is ligt dit doel in het verlengde van de JET, zoals is te zien in het figuur hieronder.



**Figuur 2: Diagram waarin staat aangegeven hoe het Tokamak-model zich heeft ontwikkeld in de afgelopen vijftig jaar. De JET behoort tot de derde generatie. Het fusie trippel produkt is het produkt van de dichtheid(deeltjes/m<sup>3</sup>), de reactietijd(s) en de temperatuur(keV).**

## Politiek en financiering<sup>1,4,5</sup>

Vijf jaar geleden stond de VS op het punt om het internationale project te verlaten en dit zou misschien het einde van het verbond kunnen betekenen, omdat men op het punt stond een belangrijke financier kwijt te raken. Ook een aantal Europese landen had al begin dat jaar laten blijken minder enthousiast te zijn over de gang van zaken. Door het toenmalige plan, met een begroting van \$10 miljard, te wijzigen naar een meer afgeslankte versie van rond de \$5 miljard wisten de overgebleven ITER-leden het project voort te zetten zonder de VS. Deze had zijn vertrouwen in de ITER opgezegd, omdat er te weinig duidelijkheid bestond over de uiteindelijke realisatie van de reactor.

Het is dus van vitaal belang dat alle partners vertrouwen in het project hebben, anders is het niet een lang leven beschoren. In februari 2003 toonde de VS echter weer interesse in het project, dankzij de voortgang die er op dat moment was geboekt. Maar ook de komende jaren zal het project moeilijke tijden tegemoet gaan, er moet namelijk een geschikte locatie worden gevonden voor het complex. Hiervoor hebben zich vier kandidaten aangemeld, wetende: Clarington in Canada, Rokkasho in Japan, Cadarache in Frankrijk en Vandellós in Spanje. Bij het toewijzen zal uiterst zorgvuldig te werk moeten worden gegaan om deze procedure zo eerlijk mogelijk te laten verlopen. Elke kandidaat ziet de komst van ITER natuurlijk als een publiekstrekker en brenger van werkgelegenheid. Een ander probleem kan optreden bij het leveren van onderdelen voor de reactor. Alle high-tech fusie-onderdelen worden natuurlijk graag door elk land geleverd, deze geven het leverende land immers ook extra werkgelegenheid en een stimulans voor diens economie. Voor de conventionele onderdelen, zoals energiecentrales is veel minder bereidheid. Ook hierbij zal er doordacht aan elk lid een deel van de te leveren goederen moeten worden toegewezen.

Kortom, bij onderhandelingen over een internationaal samenwerkingsverband van dit formaat is goede diplomatiek onontbeerlijk wil het project niet op een fiasco uitlopen of partners kwijtraken.

### **Veiligheid<sup>1,2</sup>**

Al eerder is aan bod gekomen dat kernfusie niet geheel zonder gevaren is. Er ontstaat tijdens kernfusie radioactief afval, dit afval is echter niet zwaar radioactief en heeft maar een halfwaardetijd van grofweg een aantal decennia. In vergelijking met de halfwaardetijd van het afval dat door de huidige kernreactoren wordt geproduceerd is dat relatief weinig. Het is echter nog steeds belangrijk om zorgvuldig met dit afval om te gaan en ook hierover naar de

bevolking toe duidelijk te zijn. Gebeurt dit niet dan zou de publieke opinie door misverstanden zich tegen de plaatsing van een centrale kunnen keren. De kans dat de radioactieve effecten in de ITER klein zijn en pas op lange termijn zichtbaar zullen worden is redelijk groot, maar dat is pas zeker als dat blijkt uit tests wanneer de reactor daadwerkelijk in gebruik is genomen. Enige oplettendheid is hierbij dus wel geboden, er bestaat natuurlijk altijd een kans dat de effecten erger uitvallen. Het is echter wel zo dat het grootste gedeelte van het radioactieve afval deel is van de structuur rondom de reactor en dat is dus immobiel en relatief ongevaarlijk voor de buitenwereld. Radioactief materiaal dat wel mobiel is – radioactief stof – zal in veel kleinere hoeveelheden ontstaan en een veel kleinere bedreiging vormen.

Defecten en ongelukken bij de ITER hebben geen grote gevolgen voor de omgeving, omdat in een Tokamak-reactor geen gecontroleerde kettingreactie op gang wordt gebracht, zoals dat in een primitieve kerncentrale wel gebeurt. Raakt de reactor ontregeld of raakt er iets beschadigd, dan zal dit dus nooit kunnen leiden tot een kettingreactie met ernstige gevolgen. De reactie die plaatsvindt, zal in het ergste geval alleen maar ‘uitdoven’.

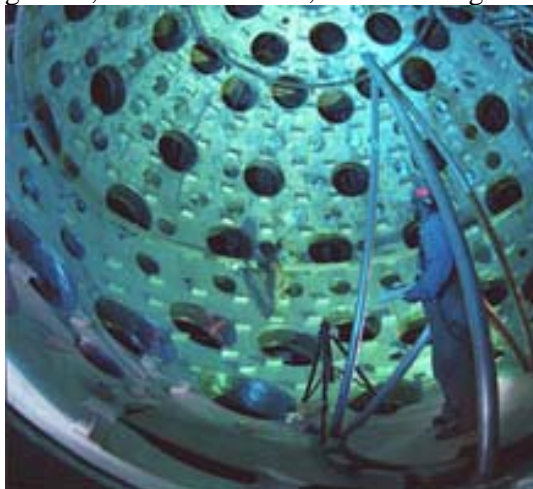
Veiligheid hoeft dus geen struikelblok te vormen voor de ITER, mits er zorgvuldig met licht radioactief afval wordt omgegaan.

### **Alternatieven<sup>1,6</sup>**

De Tokamak-reactor is natuurlijk niet de enige manier om de energie van kernfusie nuttig te gebruiken. Er zijn ook veel alternatieven, bijvoorbeeld de Z-machine van de Sandia International Laboratories in de Verenigde Staten. Een apparaat dat stroom opwekt door deuterium waterstofbommen van zeer klein formaat te laten exploderen en de vrijkomende energie te gebruiken. Dit gebeurt door een zeer grote stroom door wolframdraadjes, die deze bommetjes omringen, te sturen.

Hierdoor verdampen de draadjes en ontstaat er een intense puls röntgenstraling welke genoeg is om kernfusie op te laten treden in de waterstofbommetjes.

Een andere optie is laserfusie, waarbij deuterium en tritium in een glazen bol worden geperst met zeer hoge dichtheid. Vervolgens wordt deze bol van meerdere kanten aan hoogenergetische lasers of deeltjesbundels blootgesteld waardoor er kernfusie optreedt. Dit wordt onder andere in de National Ignition Facility (NIF) gedaan, dat in Livermore, Californië ligt.



**Figuur 3:** De 192 lasers van de NIF

Nadelen van bovengenoemde methodes zijn dat er steeds weer een nieuwe sample moet worden geplaatst en dat is op dit moment het grootste probleem met deze manier van kernfusie. Bij laserfusie ligt het aantal te plaatsen samples op 10 per seconde, wat een zeer groot probleem vormt voor de lasers die dit niet aan kunnen.

Ook bij de Z-machine heeft men het aantal te halen thermonucleaire explosies nog niet gehaald, maar bij dit project lijkt een aantal explosies van 3 per minuut haalbaar. Wordt deze norm gehaald dan komt er meer energie vrij dan dat er wordt geïnvesteerd.

Begin dit jaar verkoos de Amerikaanse regering het ITER project boven andere onderzoeksterreinen in de kernfusie. Ook in dit opzicht heeft de ITER dus de potentie om te slagen

## Conclusie

Het ITER-project is zondermeer een project waar de komende jaren nog veel van mag worden verwacht. Als men in de organisatie geen stekken meer laat vallen en de aankomende onderhandelingen over de te verkiezen lokatie en de te leveren onderdelen goed verlopen, dan zal de ITER waarschijnlijk de eerste kernfusiereactor worden die net zoveel energie oplevert. Het gekozen doel van  $Q \approx 10$  zal dan vermoedelijk ook worden gehaald.

## Referenties

1. *ITER Homepage*  
<http://www.iter.org>
2. Macilwain, C. e.a. *Is magnetic fusion heading for ignition or meltdown?* Nature **388**, 115-119 (10 juli 1997)
3. Dickson, D. *Fusion results 'Confirm the scientific case for ITER.'* Nature **390** 5 (6 november 1997)
4. Macilwain, C. *US Congress looks set to scuttle international fusion project.* Nature **394** 511-512 (6 augustus 1998)
5. Normille, D. *ITER Negotiations Heat Up as All Sites Pass Muster.* Science **299** 1299 (28 februari 2003)
6. Calmthout, M. van *Een flitslamp zo helder als de zon.* de Volkskrant (12 april 2003)