

# De grote beloftes van kernfusie

4/5

A large, bold, black letter 'W' logo is centered at the bottom of the page, partially overlapping the bottom edge of the main image.



Een gigantische bouwput met hoge loods en betonnen geraamtes van enorme gebouwen doemen voor ons op als we met een bus vol Nederlandse journalisten het terrein van ITER bij Saint Paul-lez-Durance in Zuid-Frankrijk oprijden. Het terrein van 180 hectare groot - een klein dorp - is omringd door bos, met in de verte bergen. Hier werken ongeveer 5.000 mensen aan de bouw van de grootste experimentele kernfusiereactor op aarde. Over vijftien jaar moet hier kernfusie plaatsvinden. Vanwege veiligheidsvoorschriften dragen we fluorescerend gele handschoenen met bijpassende hesjes. Ook ongemakkelijke helmen, veiligheidsbrillen en -schoenen zijn verplicht.

Bij ITER zal kernfusie, de energiebron van de zon, op aarde nagebootst worden. Dat is eerder geprobeerd, maar nooit op deze schaal. De grootste experimentele kernfusiereactor is momenteel JET (Joint European Torus), in Engeland. Die had als doel om break-even bereiken: evenveel energie eruit halen als erin gaat om fusie op te wekken. Maar dat is niet gelukt. Door warmteverlies kwamen ze in 1997 tot een maximaal fusievermogen van 16 megawatt (MW) terwijl er 24 MW inging. Het op gang brengen van de fusie-reactie kost enorm veel energie; pas daarna levert die energie. Bij JET hield de fusiereactie nooit langer dan een paar minuten stand.

ITER is ambitieuzer. Wetenschappers willen de fusie hier 50 minuten op gang houden en tien keer meer energie produceren dan erin gaat: er zal 50 MW nodig zijn om de brandstof te verhitten en dat moet 500 MW aan fusievermogen opleveren. Ter vergelijking: de kolencentrale Hemweg 8 in Amsterdam heeft een vermogen van 630 MW.

De beloftes van kernfusie zijn groot: het is onafhankelijk van het weer, ongevaarlijk en levert duurzame energie in grote hoeveelheden. Eén gram fusiebrandstof (bestaande uit waterstofsotopen) levert net zoveel energie als vier ton olie. Fusiereactoren zijn ook veiliger dan kerncentrales met een splijtingsreactor. Kernreactoren produceren zwaar radioactief afval dat tot honderdduizenden jaren gevaarlijk kan blijven; bij kernfusie ontstaat dat niet.

Maar verwacht voorlopig geen kernfusiestroom uit het stopcontact. ITER is opgezet als puur wetenschappelijk experiment dat slechts de technische haalbaarheid moet aantonen. Er zal geen elektriciteit opgewekt worden; daarvoor is de energieproductie niet groot en constant genoeg. De eerste tests beginnen in 2025. Pas tien jaar daarna zal de eerste fusie in ITER op gang gebracht worden.

#### Megalomaan

In een klein kantoortje zonder ramen krijgen we presentaties te zien over dit gigantische project: van de bouw van de magneten tot de samenstelling van de organisatie. „ITER is een unieke internationale wetenschappelijke samenwerking tussen China, India, Japan, Korea, Rusland, de Verenigde Staten en de Europese Unie”, vertelt de Nederlandse Akko Maas, *Science Engineering Officer* van ITER. Alleen samen is zo'n groot project realiseerbaar. Maar die politiek werkt ook vertragen. Alle landen moeten het over elke beslissing eens worden, legt Maas uit.

Sceptici noemen ITER megalomaan. De bouw is al acht jaar uitgelopen en de kosten zijn van 5 naar 20 miljard euro gestegen. Een behoorlijk bedrag voor een energiebron waaraan al ruim 60 jaar gewerkt



wordt, maar die nog steeds niet meer oplevert dan hij kost. En er is geen garantie dat het ooit zal lukken.

Na ITER zal er een prototype van een echte, functionele fusiereactor gebouwd worden, genaamd DEMO. DEMO wordt ongeveer 15 procent groter dan ITER en zal wel aan het net leveren. Het zal zeker tot 2050 duren voordat deze machine elektriciteit levert.

#### 150 miljoen graden Celsius

Over vlonders en rammelende, tijdelijke trappen lopen we een kaal, betonnen gebouw in op het bouwterrein in Zuid-Frankrijk. Het dak is nog niet af en omdat de regen een paar dagen eerder nog met bakken uit de hemel kwam, banjeren we met onze veiligheidsschoenen door grote plassen. Dan staan we plots aan de rand van een zestig meter hoge, cilindervormige, betonnen constructie. Het doet denken aan het Colosseum.

Dit is de plek waar het straks allemaal om draait. Over een paar jaar staat hier een enorme constructie van magneten, koelsystemen en meetapparatuur. In het midden komt een vat met een inhoud van 830 kubieke meter en een gewicht van 23.000 ton - „dat is 3,5 keer het gewicht van de Eiffeltoren”, zegt Akko Maas. Een zinderend heet plasma zal hier op zijn plek gehouden worden door magneten.

Daar zullen de zware waterstofsotopen deuterium en tritium fuseren. Deuterium bestaat uit twee kerndeeltjes: een ongeladen neutron en een positief geladen proton. Tritium bestaat uit twee neutronen en één proton. Samen fuseren die tot helium (twee neutronen en twee protonen) en een los neutron. Deze kernreactie, waarbij veel energie vrijkomt, is vergelijkbaar met de kernfusie in de zon.

Met één groot verschil: de zon (en alle andere sterren) fuseren waterstof stapsgewijs tot helium. Het fuseren van waterstof is op aarde niet mogelijk omdat de enorme druk en de deeltjesdichtheid die in sterren heerst op aarde technisch niet haalbaar zijn. Op aarde krijgen we alleen de meest eenvoudige fusiereactie op gang: tussen deuterium en tritium. En ook dit is al een flinke klus. De positief geladen protonen in de deeltjes stoten elkaar af. Daarom begint fusie pas bij 150 miljoen graden Celsius (tien keer heter dan het binnenste van de zon): dan hebben de deeltjes genoeg snelheid om bij het op elkaar botsen te fuseren.

Geen enkel materiaal kan dit gloeiend hete plasma aan. Daarom wordt het opgesloten met sterke magneetvelden die het



zwevend houden, zodat het geen contact maakt met de reactorwanden. De meest gebruikte machine om dit voor elkaar te krijgen is de tokamak: een torusvormige (vorm van een donut) ruimte met magneten eromheen. ITER bouwt de grootste tokamak op aarde. Groter is beter, vertelt Maas. Hoe groter de tokamak, hoe beter je het plasma erin gevangen kan houden en hoe minder energie je verliest.

#### Megamagnetten

We moeten de bus weer in om de enorme magneten te bekijken. De grootste, cirkelvormige magneten, met een diameter van 24 meter, worden gemaakt in een ruim honderd meter lange hal. We horen luid geruis als we door de hal lopen: de magneten worden glad gezandstraald. Ze worden ter plekke gemaakt omdat ze te groot zijn om te vervoeren.

Door de donutvorm kunnen de magneten dus zowel rondom als in het gat komen. De magneetvelden wekken een elektrisch veld op in het gas, waardoor de elektronen uit de deuterium- en tritiumatomen worden geslagen. Zo ontstaat een soep van positief geladen atoomkernen en vrije, negatief geladen elektronen. Tegelijkertijd laten de magneten de elektrisch geladen deuterium- en tritiumdeeltjes rondjes vliegen om het plasma onder controle te houden. Het plasma in de tokamak is extreem ijel. Het weegt slechts een paar gram en is uitgesmeerd over bijna 830 kubieke meter.

De magneten zijn supergeleidend. Doordat die geen weerstand ervaren geleiden ze supergoed stroom en wekken ze krachtige magneetvelden op. Maar supergeleiding treedt, voorsnog, alleen op bij extreem lage temperaturen. Daarom moeten de magneten afgekoeld worden tot -269°C: slechts vier graden boven het absolute nulpunt. Dat gebeurt door ijskoud vloeibaar helium langs en door de magneten te laten stromen.

Op het terrein staat in een loods een groot, met aluminiumfolie bedekt heli-umkoelsysteem. De oplossing voor één van de grote technische uitdagingen: op slechts een paar meter van elkaar zal extreme hitte (150 miljoen graden Celsius) heersen in het plasma en extreme kou (-269°C) in de supergeleidende magneten.

En dan de reactie waar het allemaal om draait. De fusie zal bij ITER op gang gebracht worden door ongeladen waterstofsotopen via buizen met hoge snelheid de reactor in te schieten. Daar botsen ze met het plasma waarbij ze hun bewegingsenergie (van die hoge snelheid) overdra-

#### REPORTAGE KERNFUSIE

# Een zon bouwen aan de Côte d'Azur

Over vijftien jaar moet de kernfusiereactor van ITER in Zuid-Frankrijk tien keer zoveel energie opleveren als erin gaat. Maar tot nu toe is zelfs break-even nog nooit ergens gelukt.

Door onze medewerker **Dorine Schenk**

Foto links: **heliumtanks** op weg naar ITER. Rechts: de ruimte waarin de **Tokamak** moet komen. FOTO'S ITER

gen en zo het plasma verhitten.

Bij de fusie ontstaan neutronen. Ze schieten als kogels het plasma uit. Omdat deze deeltjes geen lading hebben, heeft het sterke magneetveld geen vat op ze en vliegen ze tegen de reactorwanden. De hete wanden worden gekoeld door water, dat stoom wordt. Bij ITER belandt de stoom in koeltorens. Maar bij een toekomstige centrale kan de stoom een turbine aandrijven die elektriciteit opwekt.

#### Razendsnel afkoelen

Een plasma van 150 miljoen graden waarin kernfusie plaatsvindt, klinkt riskant. Wat als een van de magneten faalt en het plasma niet op zijn plek blijft? Echt gevaarlijk is dat niet. Als de omstandigheden niet perfect zijn, dooft de fusiereactie vanzelf. Het plasma bestaat slechts uit een paar gram fusiebrandstof en zal razendsnel afkoelen. Er is geen kettingreactie die uit de hand kan lopen, zoals bij kernsplijting. Het ergste wat er kan gebeuren, is dat de wanden van de reactor beschadigd raken door restanten plasma. Niet gevaarlijk, wel vervelend.

Het vervangen van de binnenkant van de reactor is wél een gevaarlijke klus. De materialen die in contact komen met de energierijke neutronen worden radioactief. Daarom worden er onderhoudsrobots ontworpen die de straling aankunnen. Het radioactieve afvalmateriaal is na ongeveer honderd jaar niet meer schadelijk. Dat maakt de opslag ervan overzichtelijker dan van het kernsplijtingsafval dat honderdduizenden jaren veilig opgeborgen moet blijven.

Ook zal ITER testen op welke manier ze het best tritium kunnen produceren in de reactor. Van de twee fusiebrandstoffen is deuterium in overvloed aanwezig in zee-water. Daaraan zal niet snel een tekort ontstaan. Maar tritium is schaars. Je moet het 'kweken' in andere kernreacties. Bovendien heeft het een halveringstijd van 12,3 jaar. Het vervalt dus snel.

De eenvoudigste bron voor tritium is lithium, dat van nature op aarde voorkomt en ook gebruikt wordt in batterijen. Door lithium te bestralen met neutronen ontstaat er tritium (en helium). Nu worden er bij kernfusie dus neutronen geproduceerd. „In ITER zal ook onderzocht worden hoe lithium in de wanden verwerkt kan worden om zo tritium te kweken in de reactor”, vertelt technisch fysicus Jaap van der Laan. „Dat kan bijvoorbeeld met hittebestendige keramische kiezeltes die lithium bevatten.” Hij laat een doorzichtige buisje rondgaan met daarin kleine witte korreltjes lithium-keramiek.

Aan het eind van de rondleiding lopen we door de grootste loods op het ITER-terrein. Hier zal de tokamak in elkaar gezet worden. Nu staan er slechts takelsystemen en een 23 meter hoge en 24 meter brede stalen constructie waarmee de tokamak-segmenten tijdens de bouw op hun plek gehouden worden.

Van kernfusie als energiebron wordt vaak gezegd dat het nog dertig jaar weg is en dat altijd zal blijven. Dat lijkt nog steeds zo. Maar het is ook een kwestie van wil, zeggen ze bij ITER. „Als de politiek zegt dat er in 2040 fusiereactoren moeten zijn die energie leveren, en ze bieden een onbeperkt budget, dan kan het”, zegt Akko Maas.

„Kernfusie is niet dé energie-oplossing van de toekomst”, zegt Jaap van der Laan, „maar het is een van de oplossingen waarvan we ons niet kunnen veroorloven om die te laten liggen.”

Het verblijf voor deze reportage is betaald door ITER.