

De Duitse fusiereactor Wendelstein 7-X heeft honderd operators nodig om een beetje plasma van 100 miljoen °C te creëren. Dat lukt nu zeven seconden lang; de teller moet naar dertig minuten. *De Ingenieur* bracht een bezoek aan de complexe machine. tekst: drs. Roel van der Heijden

DUITSE FUSIEREACTOR GAAT VOOR PLASMARECORD

# Experimentele metaalberg

**E**n balkon in een grote hal van 30 m lang, 30 m breed en 24 m hoog geeft uitzicht op een grote hoeveelheid kabels, pijpen, buizen en steigers, die willekeurig door elkaar lijken te lopen. Het is de Wendelstein 7-X Stellarator, de spijkspinternieuwe Duitse kernfusiereactor waarin regelmatig een zinderend waterstofplasma kolkte van zo'n 100 miljoen °C. Met de Wendelstein hopen wetenschappers en ingenieurs de kernfusie, die al jaren nauwelijks vooruit is te branden, naar een hoger plan te tillen. Ze willen laten zien dat het mogelijk is een plasma oneindig lang vast te houden.

Hoewel de fusiekamer diep in het apparaat een bijzondere en gestroomlijnde vorm heeft – hij lijkt op een ringvormige wokkel – ziet de buitenkant van de Wendelstein er ruw uit. 'De meeste mensen zien gewoon een berg

metaal', lacht dr. Lutz Wegener, die verantwoordelijk is voor het in elkaar zetten van deze miljoenen onderdelen tellende puzzel.

Wegener geeft vanaf het balkon uitleg over de berg metaal. Als eerste wijst hij naar de cirkelvorm van de vacuümkamer, die tussen de kabels en buizen is te ontwaren. Via de 'pukkeles' die erop zitten hebben wetenschappers toegang tot het binnenste van de machine. Nu zitten ze poldicht vanwege het vacuüm binnenin. 'In totaal heeft de machine vijfhonderd van die patrijspoorten', zegt Wegener, 'bedoeld voor bijvoorbeeld meetinstrumenten. Sommige zijn groot genoeg om doorheen te stappen. Dat zullen we over een paar weken weer doen, als de eerste meetcampagne voorbij is. De machine gaat dan helemaal uit en we installeren nieuwe onderdelen aan de binnenkant.'

Via tientallen buisjes zijn twee identieke, manshoge, en met plaatstaal beklonken kasten verbonden met de Wendelstein. Dat is wat Wegener voor het gemak de verwarming van de fusiereactie noemt. Deze kasten genereren microgolflstraling die het waterstofgas in de reactor, een fractie van een gram, in luttel seconden kan opstuwten tot een duizelingwekkende temperatuur van 100 miljoen °C.

Verder valt een enorme brug met kabels op die van grote hoogte naar het centrum van de reactor loopt; er zit zo'n 1000 km aan kabel in het apparaat. Boven de machine stijgt een grote uitlaatpijp uit, een soort noodafvoer voor de grote hoeveelheid vloeibare helium die de magneetspoelen supergeleidend maakt. 'Als we die

noodvoorziening ooit gebruiken, dan zal het hier sneeuwen', glimlacht Wegener.

En tot slot is er de immense 1,8 m dikke betonnen schuifdeur die de hal van de Wendelstein afsluit van de rest van het gebouw. Als de reactor operationeel is, vormt deze deur de bescherming tegen straling,

**'Al voor de start kunnen wij ons magneetveld volledig operationeel hebben'**

vooral van snelle neutronen, en tegen gammastraling die vrijkomt bij sommige experimenten in de reactor. Bij de huidige experimenten is dat niet het geval.

Hoewel het vandaag vrijdag is en de machine zoals gewoontelijk niet wordt gebruikt, is het verre van stil. Een handjevol mensen is om en op het apparaat aan het werk. Op de werkvloer staan twee ingenieurs

met bouwtekeningen in hun hand. Ze wijzen naar de machine en naar het papier. Wat ze tegen elkaar zeggen, is onoorbaar. De flinke hal is gevuld met een continu gezoom. Heliumpompen, vacuümsystemen en een secuur klimaatstelsel hebben 24 uur per dag dienst.

## Oefenen

Wegener loopt door de immense deur die tot het plafond reikt richting de controlekamer. Buiten ligt een vreemd gevormd metaal object. Het blijkt een stuk van het karakteristiek gekromde plasmavat te zijn. Het is een paar meter lang en heeft twee open uiteinden. Hierin kunnen medewerkers oefenen en ervaren hoe het is om in de echte reactor even verderop te werken. Binnenkort worden er bijvoorbeeld nieuwe elementen aan de binnenkant van de wand geïnstalleerd als bescherming tegen de hittestraling van het plasma. 'Het is lastig om te werken in de

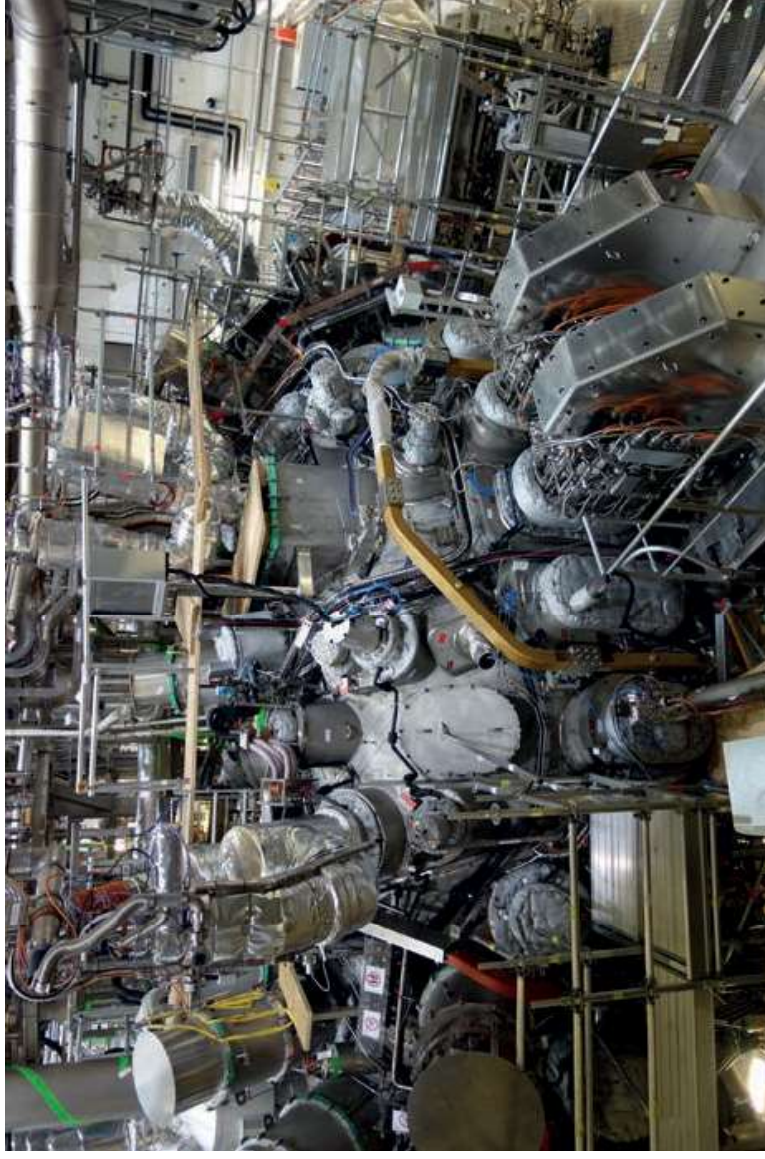


Foto: Roel van der Heijden

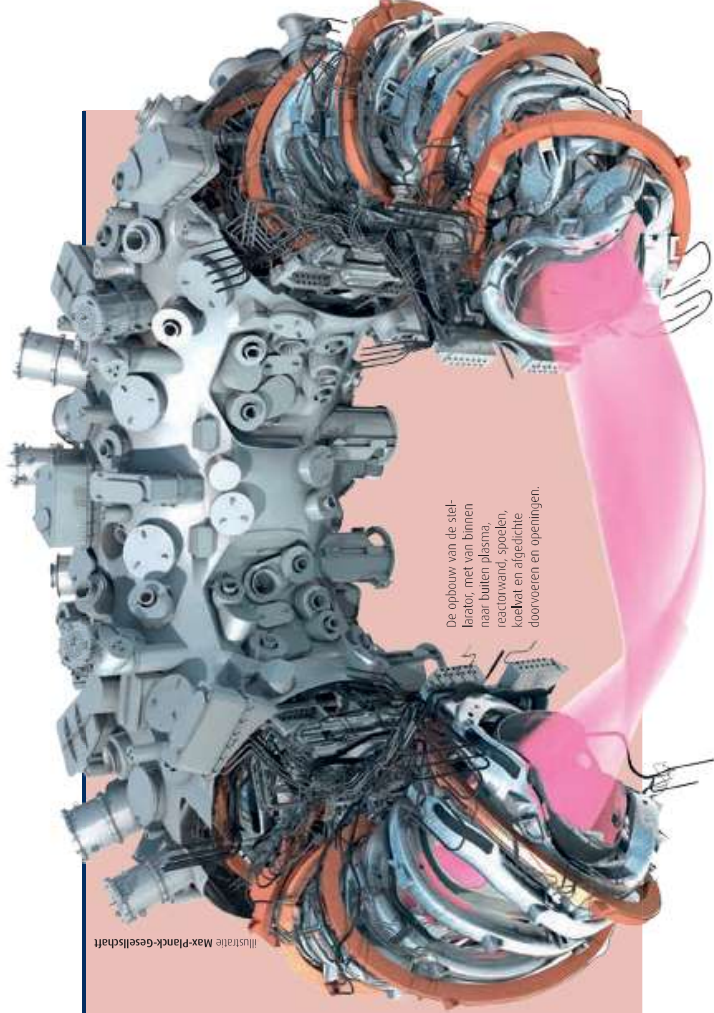
De eerste aanblik van de Wendelstein 7-X



## RINGVORMIGE WOKKEL

De Wendelstein 7-X – vernoemd naar een berg in Beieren – is een kernfusiereactor in het Noord-Duitse Greifswald die eind 2015 in gebruik is genomen nadat de bouw ruim tien jaar duurde. Anders dan de tot nu toe meest succesvolle tokamakfusiereactor Joint European Torus (JET) in Engeland en de in aanbouw zijnde ITER in Frankrijk, is de Wendelstein gebaseerd op het zogenaamde stellaratorconcept. Hierbij wordt het plasma in de fusiekamer enkel in bedwang gehouden door externe magneten en is er geen sterke elektrische stroom nodig die door het plasma zelf loopt, een essentieel onderdeel van tokamaks. Om dat met de stellarator voor elkaar te krijgen hebben reactonvat en magneetspoelen een ingewikkelde vorm: ze zien eruit als een dubbelgedraaide ringvormige wokkel. De Wendelstein is de grootste stellarator ooit gebouwd en bedoeld voor onderzoek naar handhaving van een plasma. Al zijn de bereikte plasmatemperaturen er hoog genoeg voor, er zal in de machine geen kernfusie plaatsvinden. Het uiteindelijke doel is een plasma dertig minuten vast te houden. Lukt dat, dan is de weg vrij voor de bouw van een nieuwe reactor die wel energie moet gaan produceren.

Illustratie Max-Planck-Gesellschaft



De opbouw van de stellarator, met van binnen naar buiten plasma, reactorwand, spoelen, koelwat en algehele doorvoeren en openingen.

Wentel en eenmaal binnen mag je niet overal op de ongelijke vloer staan. En dat terwijl je soms met onderdelen van wel tientallen kilo's in de weer bent'.

In de controlekamer, hemelsbreed zo'n 100 m van de reactor verwijderd, wordt nogmaals duidelijk dat de Wendelstein geen eenvoudig apparaat is. De operatie van deze fusiereactor vergt behoorlijk wat

## 'We willen de machine niet te veel pushen'

mankracht: de controlekamer doet nauwelijks order voor wat je bij een raketlancering verwacht. In totaal zijn er meer dan honderd werkplekken, opgesteld in halve cirkels, met voor elke medewerker twee beeldschermen. Vandaag staan alle beeldschermen op zwart. Alleen tegen de achterwand van de kamer hangt een groot scherm dat de huidige statistieken van de Wendelstein laat zien: de druk in de reactor ligt op ongeveer 10<sup>-10</sup> bar (ultrahoog vacuüm, te vergelijken met de ruimte rond de aarde) en de temperatuur van de supergeleidende magneten loopt voorzichtig op van 4,5 naar 5 K.

Als technisch leider is de Nederlander ir. Paul van Eeten een van de vaste aanwezigen. Hij werkt inmiddels zo'n tien jaar in Duitsland voor

het Max-Planck-Instituut für Plasmaphysik in zijn kantoor legt hij met een Duits-Nederlandse tongval uit hoe een dag met experimenten eruitziet. 'We beginnen met de evacuatie. Er mag niemand in de reactorhal zijn, ook niet in de catacomben onder de werkvloer. Daarom gaan we eerst met vier mensen door al die ruimten om te zien of er geen verstekelingen zijn. Verder controleren we op lossigend gereedschap. Met de sterke magneetvelden die worden opgewekt, kan rondvliegend metaal dingen kapotmaken.'

Nadat de reactorhal is afgesloten, maken operatoren de verschillende subsystemen van Wendelstein startklaar. De supergeleidende magneten moeten bijvoorbeeld zijn afgekoeld naar 4 K. De vacuümsystemen worden gecheckt, net als de elektrische systemen, de microgolfoverwarming en de gasinlaat. Vervolgens wordt een stationair magneetveld opgebouwd door de stroom voor de magneten aan te zetten. 'We hebben een flinke checklist, waar we zeker een uur mee bezig zijn,' zegt Van Eeten.

Wat dit proces in de toekomst zal versnellen, is het integreren van systemen die nu nog allemaal door subafdelingen worden bestuurd. 'Het vacuüm, de koeling en de magneten hebben nu elk

hun eigen besturing. Op termijn gebeurt operatie en controle vanaf één plek in de controlekamer.'

Terwijl het klaarmaken van de machine een secuur werk is dat veel tijd in beslag neemt, duren de experimenten in Wendelstein extreem kort. In deze vroeg experimentele fase een fractie van een seconde. Van Eeten: 'Het creëren van plasma is wat aansturing betreft, millisecondenwerk, dat doen we dus niet met de computer. Evenals het in de gaten houden van kritieke systemen, zoals de supergeleidende magneten.'

## Schade

Dat plasma ontstaat nadat de gasinlaat in tienden van een seconde een kleine hoeveelheid waterstof de reactor in laat. Dat wordt binnen een fractie van een seconde verwarmd waardoor het ioniseert. De geladen deeltjes beginnen vervolgen de magneetlijnen door de reactor te volgen. 'Het eerste opgewekte plasma in december had een duur van minder dan 100 ms, we zitten nu al op circa 7 s'.

Experimenten gaan de hele dag door; er zijn dan tussen de 25 en 30 plasmapulsen. Daarbij wordt gevarieerd met hoeveelheid gas, de timing van de gasinlaat, het verhitten en met verschil-

lende magneetveldconfiguraties. In totaal bevat de machine vijftig gekromde spoelen en twintig rechte, verdeeld over zeven verschillende stroomgroepen. Daarnaast beschikt de Wendelstein nog over vijf hulpspoelen die aan de buitenkant van de machine zitten.

'Wij kunnen ons magneetveld al voor het experiment volledig operationeel hebben. Dat noemt Van Eeten als een van de voordelen van het stellaratorontwerp ten opzichte van de bekende donutvormige tokamakreactor. In tokamaks, zoals de in aanbouw zijnde kernfusiereactor ITER in Zuid-Frankrijk, moet een transformator een elektrische stroom in het plasma genereren om de benodigde cirkelvormige magneetvelden te creëren. Dat kan pas het op het moment dat er een plasma is.'

Vandaag wordt er niet geëxperimenteerd; op vrijdag en ook op maandag ligt de machine standaard stil om inspecties te doen en verder te bouwen aan de machine. De Wendelstein is namelijk nog lang niet af. Zo moet er nog een divertor worden geïnstalleerd, een soort in- en uitlaat waarmee het plasma is te verversen. Dat maakt langere plasmastijd mogelijk.

Inmiddels staan de natuurkundigen van het Max-Planck-Gesellschaft te trappelen om die langere experimenten nu te doen. Van Eeten: 'Als ingenieur moeten we dan streng zijn en zeggen dat we de machine niet te veel kunnen pushen. We zijn heel voorzichtig, de Wendelstein mag geen schade oplopen.' Uiteindelijk willen de Duitsers een plasma van een half uur kunnen vasthouden in de machine. 'Pas als ons dat lukt, geloven we dat de machine ook een dag kan blijven draaien en dat hij kan dienen als basis voor een continu opererende fusiereactor.' |

Foto: Max-Planck-Gesellschaft



Het eerste waterstofplasma in de reactor.