

Der Brennstoff der Fusion ist ein extrem dünnes, elektrisch geladenes Wasserstoffgas, ein „Plasma“. Zum Zünden der Verschmelzungsreaktion muss es auf Temperaturen über hundert Millionen Grad Celsius aufgeheizt werden. Die Forschung konzentriert sich beim Prinzip des magnetischen Einschlusses auf zwei Anlagentypen: Tokamak und Stellarator. Beide schließen das heiße Plasma weitgehend berührungsfrei in Magnetfeldern ein und halten es so von materiellen Gefäßwänden fern. Den Magnetfeldkäfig des Stellarators Wendelstein 7-X erzeugen komplex geformte supraleitende Magnetspulen.

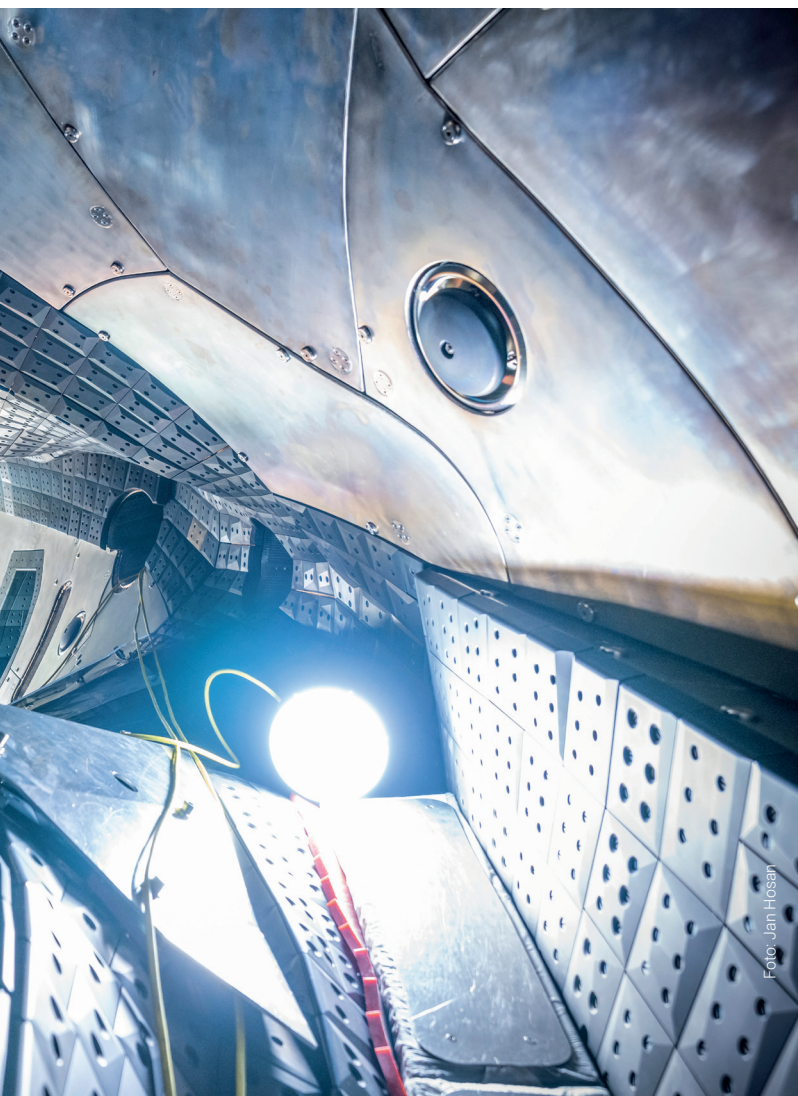


Foto: Jan Hosan

Ziele von Wendelstein 7-X

Untersuchung von Kernfragen der Fusion unter kraftwerksähnlichen Bedingungen bei Langzeit- bzw. quasistationärem Betrieb:

- Teilcheneinschluss des optimierten Magnetfeldes
- Teilchen- und Verunreinigungstransport
- Effektivität nicht-ohmscher Heizungen
- Plasma-Wand-Wechselwirkung
- Divertor-Studien
- Überprüfung von Computermodellen



Foto: Ben Peters

Sie wollen mehr über Wendelstein 7-X und den Stand der Forschung erfahren? Besuchen Sie uns: www.ipp.mpg.de/besucher

**Max-Planck-Institut
für Plasmaphysik (IPP)**

Teilinstitut Greifswald
Wendelsteinstraße 1
17491 Greifswald

Tel. (03834) 88-1000

E-Mail: info@ipp.mpg.de
www.ipp.mpg.de

Wendelstein 7-X
im interaktiven Panorama:
www.sternenmaschine.eu

Titelbild: Blick in das Plasmagefäß
Foto: Jan Hosan

**MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR PLASMAPHYSIK**



**FUSIONS-
ANLAGE
WENDEL-
STEIN 7-X**

Wendelstein 7-X, die weltweit größte und modernste Fusionsforschungsanlage vom Bautyp Stellarator, ging Ende 2015 im Teilinstitut Greifswald des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik in Betrieb. Ziel der theoretischen und experimentellen Arbeiten ist ein Kraftwerk, das – nach dem Vorbild der Sonne – Energie aus der Verschmelzung von Wasserstoff-Atomkernen zu Helium freisetzt. Gelingt es, diesen Prozess auf der Erde nutzbar zu machen, wäre eine klimafreundliche und nahezu unerschöpfliche Energiequelle erschlossen.



Blick ins das Plasmagefäß

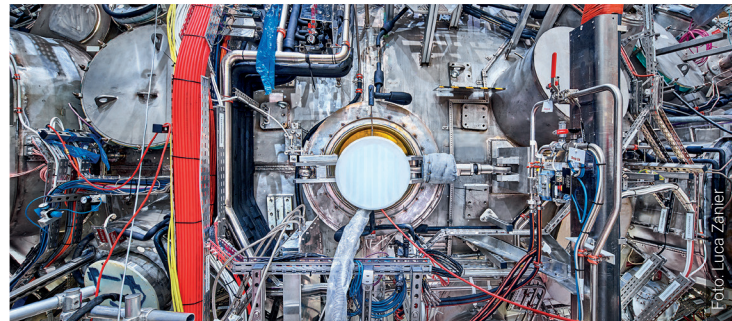
Forschungsziele

Wendelstein 7-X soll die Kraftwerkstauglichkeit des Stellarator-Prinzips zeigen und dessen Vorteil demonstrieren: den Dauerbetrieb. Dazu sind bis zu 30 Minuten lange Entladungen unter kraftwerksähnlichen Plasmabedingungen geplant. Ein energielieferndes Plasma wird Wendelstein 7-X jedoch nicht erzeugen. Dies ist die Aufgabe des internationalen Experimentalreaktors ITER.

Aufbau der Fusionsanlage

Kernstück von Wendelstein 7-X ist das Spulensystem aus 50 nichtebenen und 20 ebenen supraleitenden Magnetspulen. Auf minus 270 Grad Celsius nahe dem absoluten Nullpunkt abgekühlt, arbeiten sie nahezu verlustfrei – wichtig für den geplanten Dauerbetrieb. Die Spulen sind auf ein ringförmiges Plasmagefäß aufgefädelt und zur Wärmeisolation von einem evakuierten Außengefäß umhüllt.

Durch 254 stählerne Rohre bzw. Stützen, die von außen bis in das Plasmagefäß führen, wird das Plasma beobachtet, nachgefüllt und geheizt. Um die innere Wand des Gefäßes vor den Wärmeffüssen aus dem Plasma und umgekehrt das Plasma vor Verunreinigungen aus der Wand zu schützen, wird die Randschicht des Plasmas auf speziell ausgerüstete Stellen der Wand gelenkt, auf die wassergekühlten Platten des sogenannten Divertors. Hier werden Wärme und Verunreinigungen abgeführt.

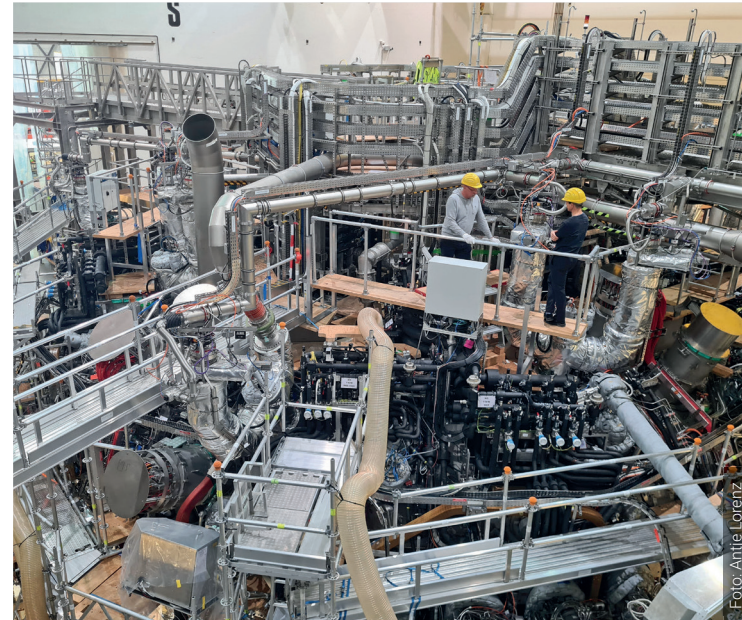


Außengefäß mit einigen der 254 Stützen

Wesentliche Daten von Wendelstein 7-X

Größe des Experiments	Ø 16 Meter; 5 Meter Höhe
Gewicht	725 Tonnen
Großer Plasmaradius	5,50 Meter (im Mittel)
Kleiner Plasmaradius	0,52 Meter (im Mittel)
Magnetfeld	3 Tesla
Entladungsdauer	30 Minuten Dauerbetrieb mit Mikrowellenheizung

Plasma	
• Zusammensetzung	Wasserstoff, Deuterium
• Volumen	30 Kubikmeter
• Menge	5 bis 30 Milligramm
Plasmaheizung	20 Megawatt
Plasmatemperatur	bis 100 Millionen Grad
Plasmadichte	bis 2×10^{20} Teilchen pro m^3
Energieeinschlusszeit	bis 0,2 Sekunden

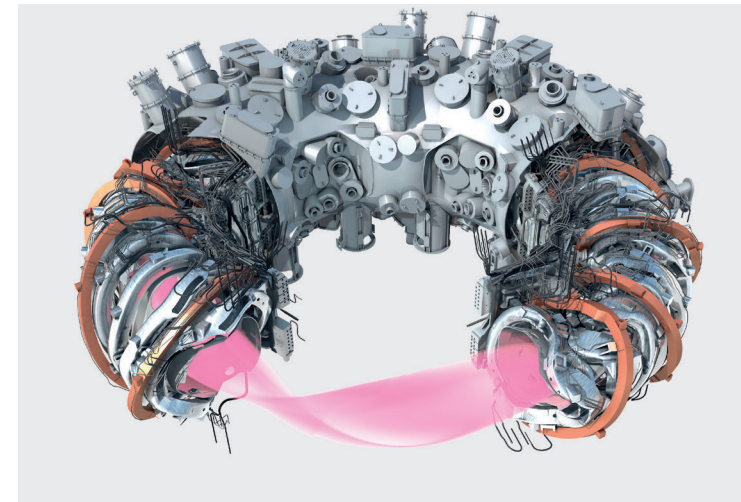


Gesamtansicht der Fusionsanlage Wendelstein 7-x

Der optimierte Stellarator

Das Stellarator-Konzept wurde 1951 von dem amerikanischen Fusionsforscher Lyman Spitzer entwickelt. Während Anlagen vom Typ Tokamak einen Teil des magnetischen Käfigs durch einen im Plasma fließenden elektrischen Strom aufbauen, arbeitet ein Stellarator ohne Plasmastrom allein mit äußeren Magnetfeldspulen.

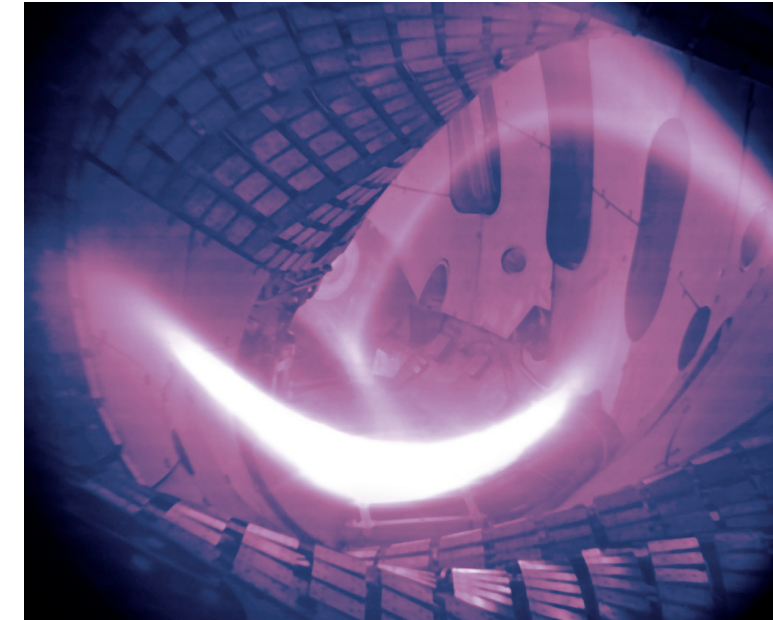
Bereits seit 1960 wurden Stellarator-Anlagen im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Garching untersucht. Diese „klassischen“ Stellaratoren konnten das Plasma jedoch deutlich weniger gut einschließen als ein Tokamak. Plasma-Theoretikerinnen und -Theoretiker des Instituts begannen daher mit der systematischen Suche nach einem verbesserten Magnetfeld. Diese Weiterentwicklung der Wendelstein-Stellaratoren zu ihrer heutigen komplexen Gestalt wurde erst durch leistungsfähige Großrechner möglich, die ab den 1980er Jahren zur Verfügung standen. Mit ihrer Hilfe wurde in zehn Jahren das theoretische Konzept für Wendelstein 7-X erarbeitet. Teile dieser Optimierung konnte der kleinere Vorgänger Wendelstein 7-AS in Garching experimentell bestätigen.



Schematische Darstellung des Wendelstein 7-x

Experimente an Wendelstein 7-X

2015 erzeugte Wendelstein 7-X das erste Helium-Plasma. Der wissenschaftliche Experimentierbetrieb startete dann 2016 mit dem ersten Wasserstoff-Plasma. Bereits ein Jahr später erzielte die Anlage den Stellarator-Weltrekord für das Fusionsprodukt. Dieses Produkt aus Plasmadichte, Temperatur und Güte der Wärmeisolation beschreibt, wie nahe man der Zündung des Fusionsfeuers kommt. Intensive Experimentierphasen wechseln sich an Wendelstein 7-X mit teilweise komplexen Ausbau- und Instandhaltungsphasen ab. Inzwischen sind alle Bereiche im Plasmagefäß, die in Wärmekontakt mit dem Plasma kommen, insbesondere der Divertor, mit Wasserkühlung ausgestattet. Damit soll er Belastungen bis zu zehn Megawatt pro Quadratmeter standhalten – ähnlich dem Space-Shuttle beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre.



Das erste Wasserstoffplasma im Wendelstein 7-x