



Projekt Wendelstein 7-X

Feinwerktechnik in der Fusionsforschung

11. Tagung "Feinwerktechnische Konstruktion"
22.09.2017, Dresden

Martin Banduch

für das W7-X Team

- IPP Greifswald
- Kernfusion
- Magnetischer Einschluss
- Wendelstein 7-X
- Feinwerktechnik an Wendelstein 7-X
- Plasmabetrieb

- Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching und Greifswald erforscht die physikalischen **Grundlagen für ein Fusionskraftwerk**.
- Das IPP Greifswald wurde 1994 für das Fusionsexperiment Wendelstein 7-X gegründet.
- Am IPP Greifswald sind rund 400 Personen beschäftigt (rund 1100 in Garching und Greifswald)

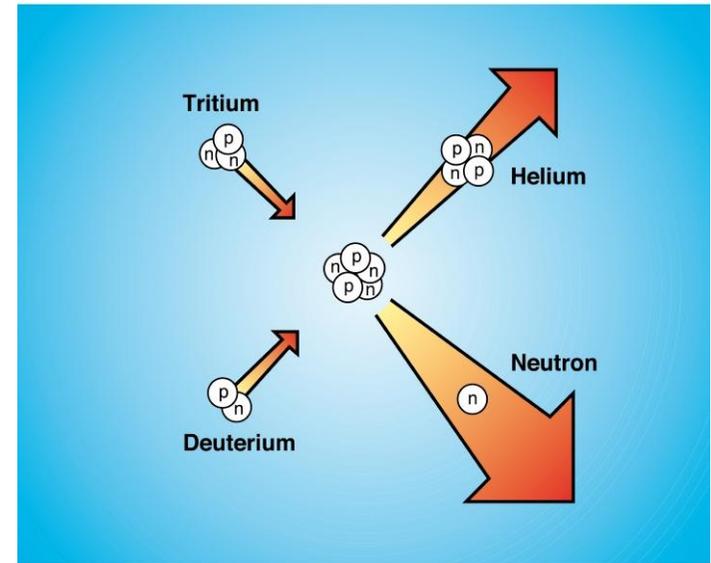
**Forschung für die
Energie der Zukunft**



- IPP Greifswald
- **Kernfusion**
- Magnetischer Einschluss
- Wendelstein 7-X
- Feinwerktechnik an Wendelstein 7-X
- Plasmabetrieb

- Gewinnung von Energie aus der Verschmelzung von leichten Atomkernen
- Ein Gramm Brennstoff könnte in einem Kraftwerk 90.000 Kilowattstunden Energie freisetzen.

90 MWh / 1 g Brennstoff

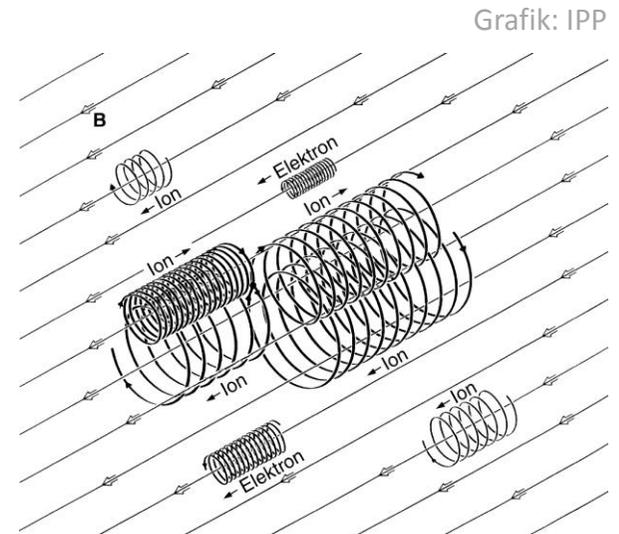
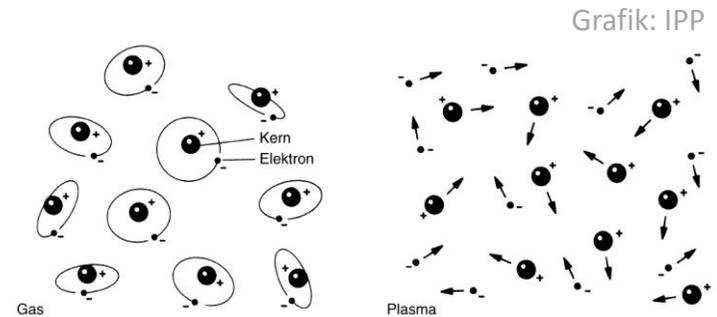


Grafik: IPP

- Voraussetzung für eine Kernfusion ist die Überwindung der Coulomb-Barriere (gleichgeladene Teilchen stoßen sich ab)
 - 1) Ausreichende Dichte (0,01% der Dichte der Luft)
 - 2) Ausreichende Energieeinschlusszeit (5-10 Sekunden)
 - 3) Ausreichende Temperatur (100 Mio. Grad Celsius)

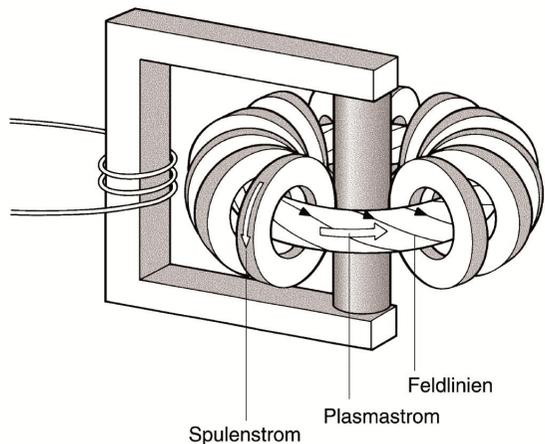
- IPP Greifswald
- Kernfusion
- **Magnetischer Einschluss**
- Wendelstein 7-X
- Feinwerktechnik an Wendelstein 7-X
- Plasmabetrieb

- Die benötigten, hohen Temperaturen erfordern einen wärmeisolierenden Einschluss des Plasmas in ein nicht materielles "Gefäß"
- Hierfür werden magnetische Felder genutzt, die den Brennstoff wärmeisolierend einschließen und von den Gefäßwänden fernhalten.
- Durch ein Magnetfeld können geladene Teilchen auf definierte Bahnen gehalten werden.

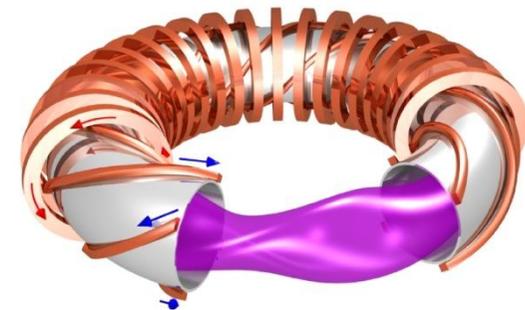


- Magnetischer Einschluss eines Plasmas in einem Torus (Ring) erfordert eine Verdrillung des toroidalen Magnetfelds.
- Aktuell werden hauptsächlich zwei Prinzipien des magnetischen Einschlusses untersucht.

Tokamak



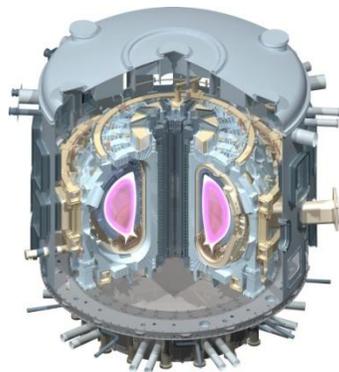
Stellarator



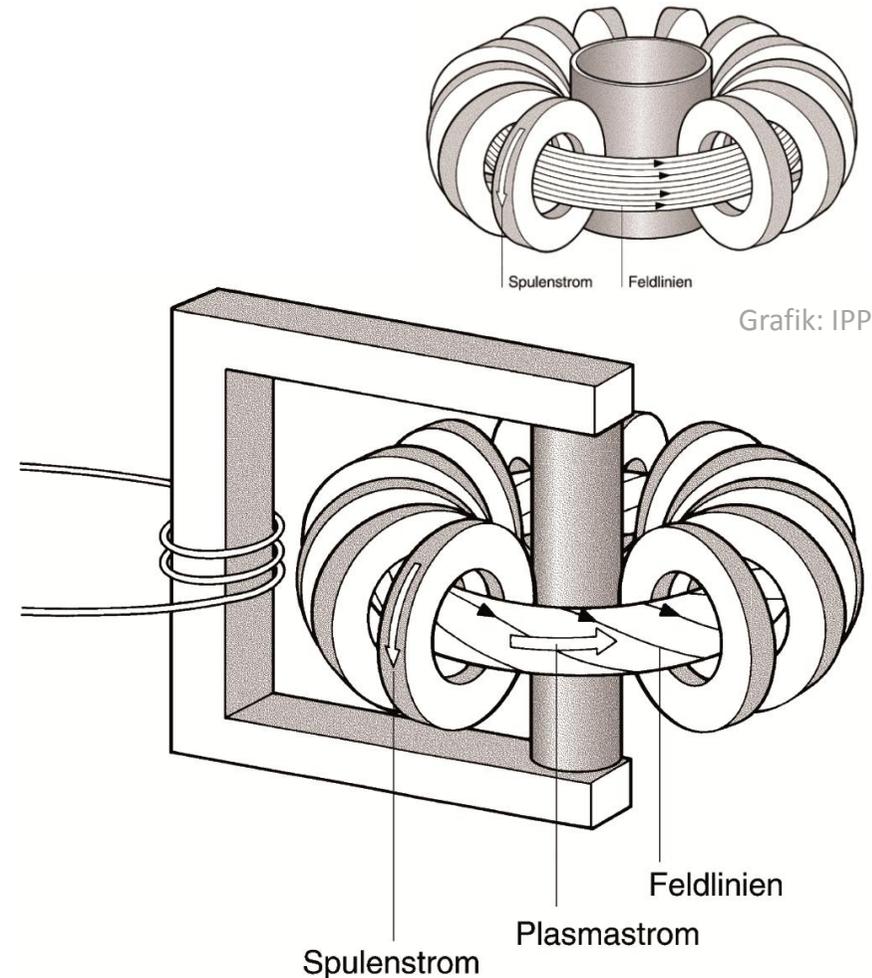
Grafik: IPP, Dr. Christian Brandt

○ Tokamak

- Magnetspulen erzeugen ein nicht verdrilltes, toroidales Magnetfeld
- ein induzierter Plasmastrom erzeugt die Verdrillung des Magnetfelds
- Vorteil: Einfache Spulengeometrie
- Nachteil: Ohne weitere Maßnahmen nicht dauerstrichfähig



Grafik: ITER

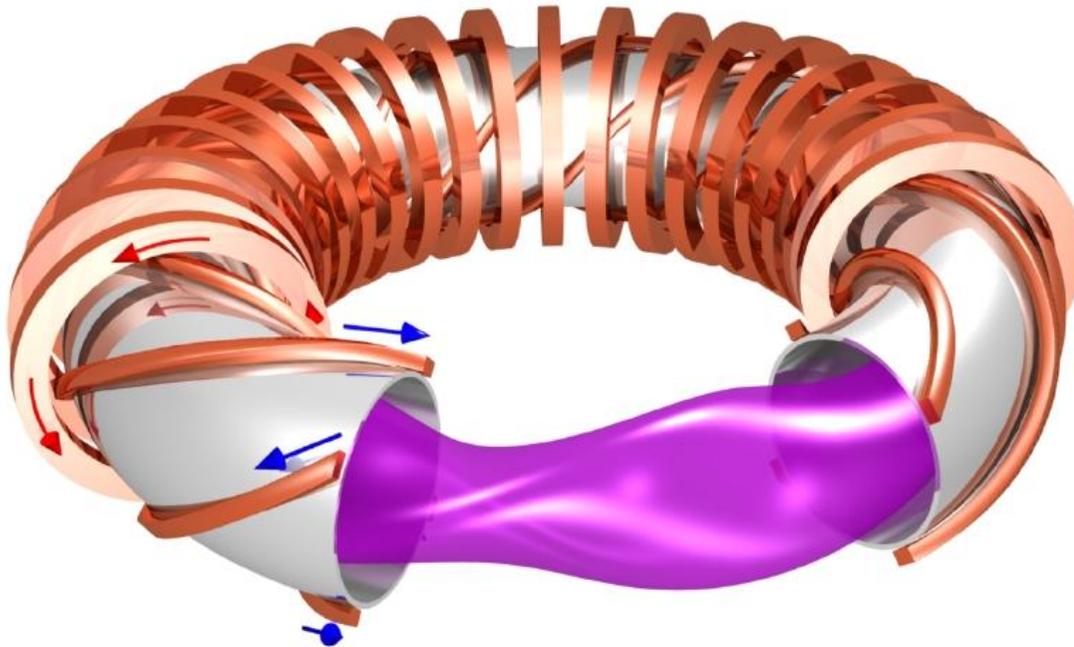


Grafik: IPP

Das aktuell, in Südfrankreich, im Bau befindliche, große, international Fusionsexperiment **ITER ist ein Tokamak**

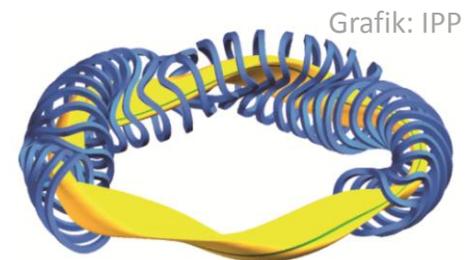
○ Stellarator

- Magnetspulen erzeugen von sich aus ein toroidales, verdrilltes Magnetfeld.
- Ein induzierter Plasmastrom ist nicht erforderlich.



Grafik: IPP, Dr. Christian Brandt

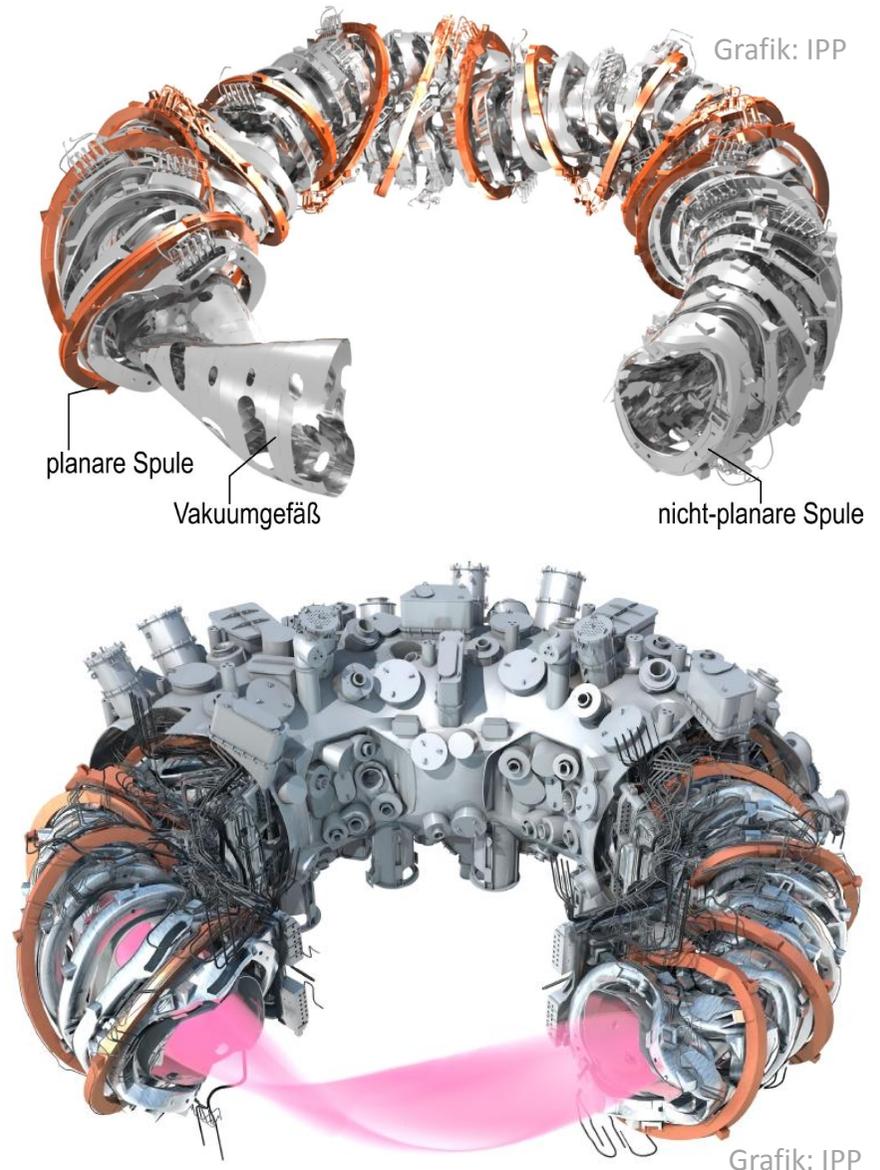
magnetisch stabile
"Plasmaflasche"

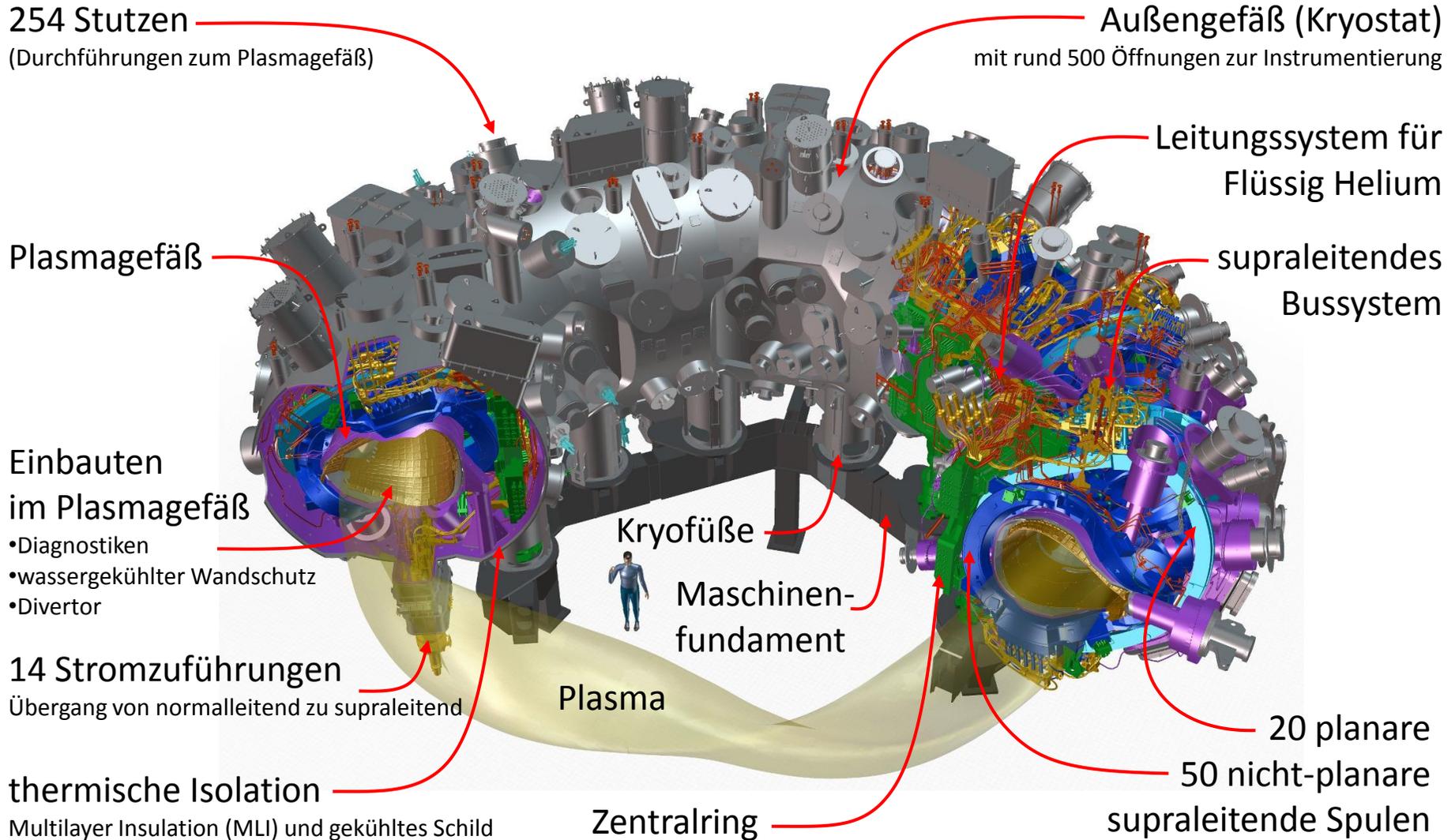


Wendelstein 7-X ist ein Stellarator

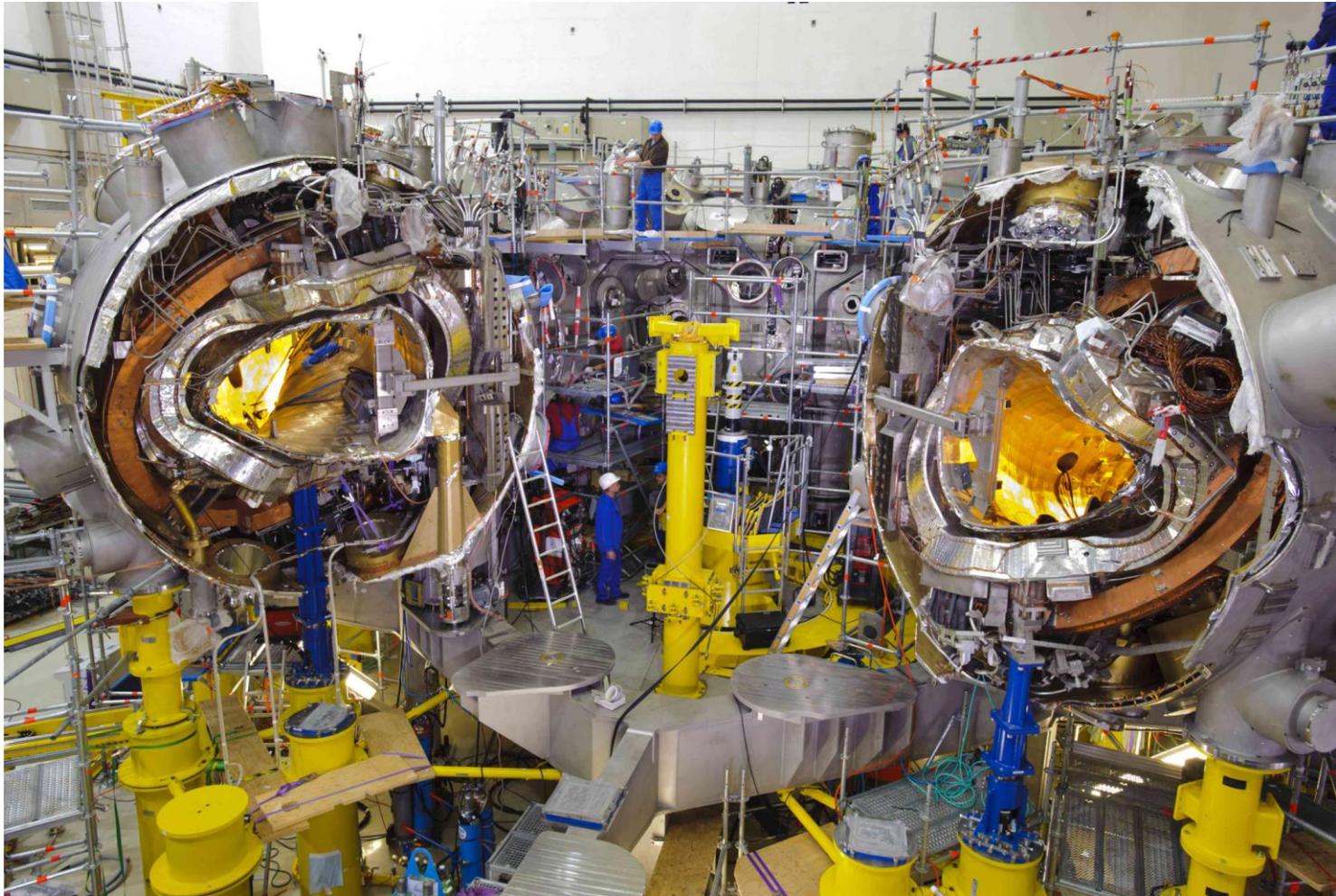
- IPP Greifswald
- Kernfusion
- Magnetischer Einschluss
- **Wendelstein 7-X**
- Feinwerktechnik an Wendelstein 7-X
- Plasmabetrieb

- Wendelstein 7-X besteht aus fünf Modulen
- Ein Modul besteht aus zwei (fast) klapp-symmetrischen Halbmodulen
- Das Plasma wird durch 70 supraleitende Magnetspulen geformt





- Wendelstein 7-X vor dem Einsetzen des letzten Moduls



- Zielsetzung des Fusionsexperiments Wendelstein 7-X
 - Weiterentwicklung von Wendelstein 7-AS (Garching, 1988 - 2002)
 - Demonstration der Eignung des Stellarator-Prinzips für Kraftwerke
 - Nutzung von effektiven Plasmaheizmethoden
 - Entwicklung von Methoden für die
 - a) Behandlung von Verunreinigungen des Plasmas
 - b) Nachfüllung des Brennstoffs
 - c) Beobachtung der Plasma-Wand-Interaktion
 - d) Beobachtung des Rand des Plasmas
 - Dauerstrichbetrieb für bis zu 30 Minuten

○ Technische Parameter von Wendelstein 7-X

- Durchmesser der Basismaschine: 16 m
- Höhe der Basismaschine: 4 m
- Masse der Basismaschine: 750 t
- Maximales Magnetfeld: 3 T
- Dauer der Plasmaentladung: bis zu 30 Minuten mit Mikrowellenheizung
- Temperatur des Plasmas: bis zu 100 Mio. Grad Celsius
- Volumen des Plasmagefäßes: 30 m³
- Masse des Plasmas: 5 - 30 mg
- Heizleistung: bis zu 15 MW (24 MW)

- IPP Greifswald
- Kernfusion
- Magnetischer Einschluss
- Wendelstein 7-X
- **Feinwerktechnik an Wendelstein 7-X**
- Plasmabetrieb

- Hohe Genauigkeitsanforderungen an die Position von Bauteilen erforderten den Einsatz feinwerktechnischer Systeme beim Bau von Wendelstein 7-X. Dies betrifft unter anderem:
 - die supraleitenden Magnetspulen
 - die Durchführungen (Stützen) und Versorgungssysteme im Kryostat
 - die Einbauten im Plasmagefäß
- Diagnostische System zur Untersuchung des Plasmas nutzen feinwerktechnische Systeme

- Metrologie für den Einbau der Stützen - Lasertracking zur Positionsbestimmung



Foto: IPP, Anja
Richter Ullmann

- Präzision Knickarmroboter zur Positionierung von Schweißbolzen im Plasmagefäß

Foto: IPP, Anja Richter Ullmann



Foto: IPP, Dr. Torsten Bräuer

- Metrologie im Plasmagefäß - Messarm z.B. zur Aufnahme der AsBuilt-Position der Magnetdiagnostik

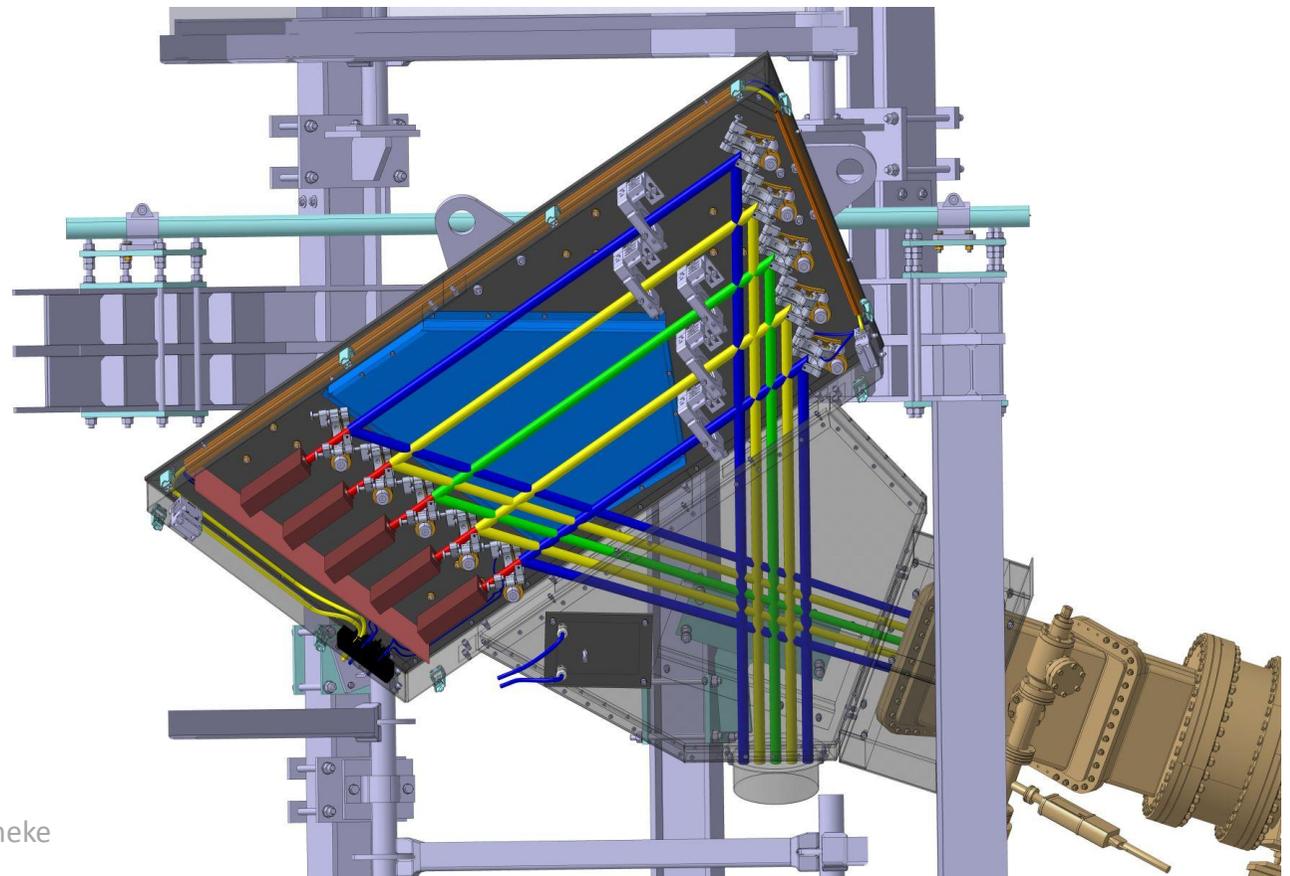


Foto: IPP, Beate Kemnitz



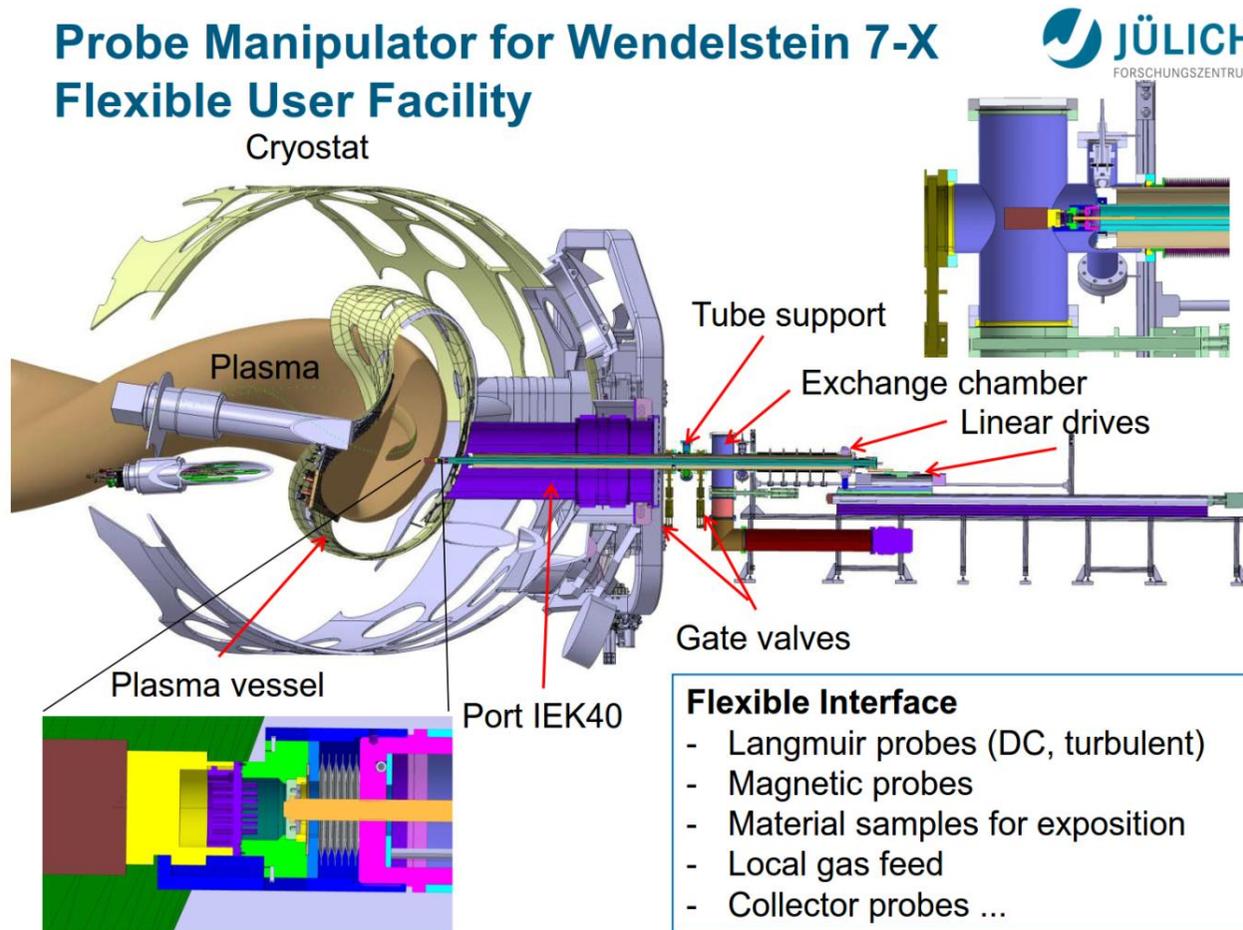
Foto: IPP, Beate Kemnitz

- Spiegel- und Optikhalter der Laserstrahlengänge der Thomson-Streuung



Grafik: IPP, Jens Meineke

- Ein genauer und schneller Piezomotor für Antrieb der Sonde des Vielzweckmanipulators

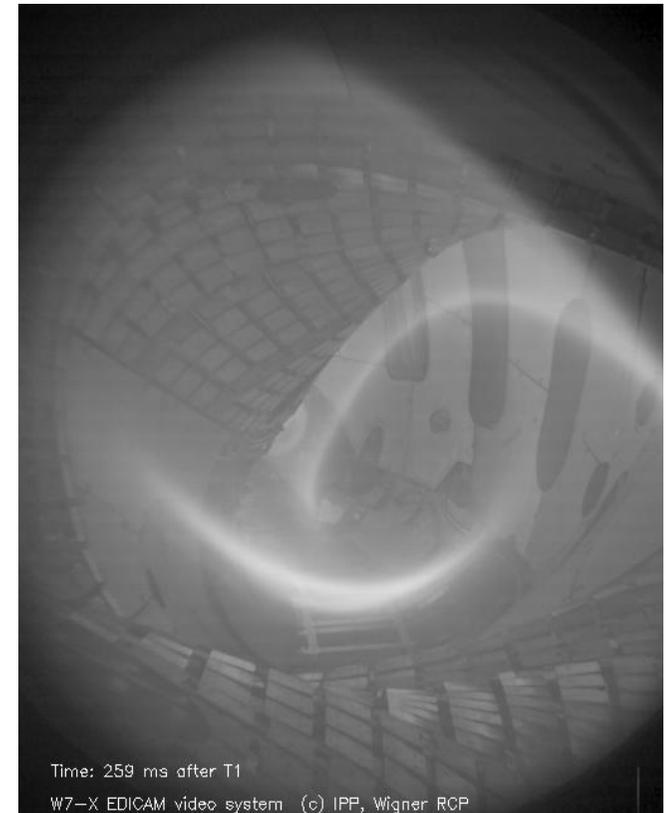
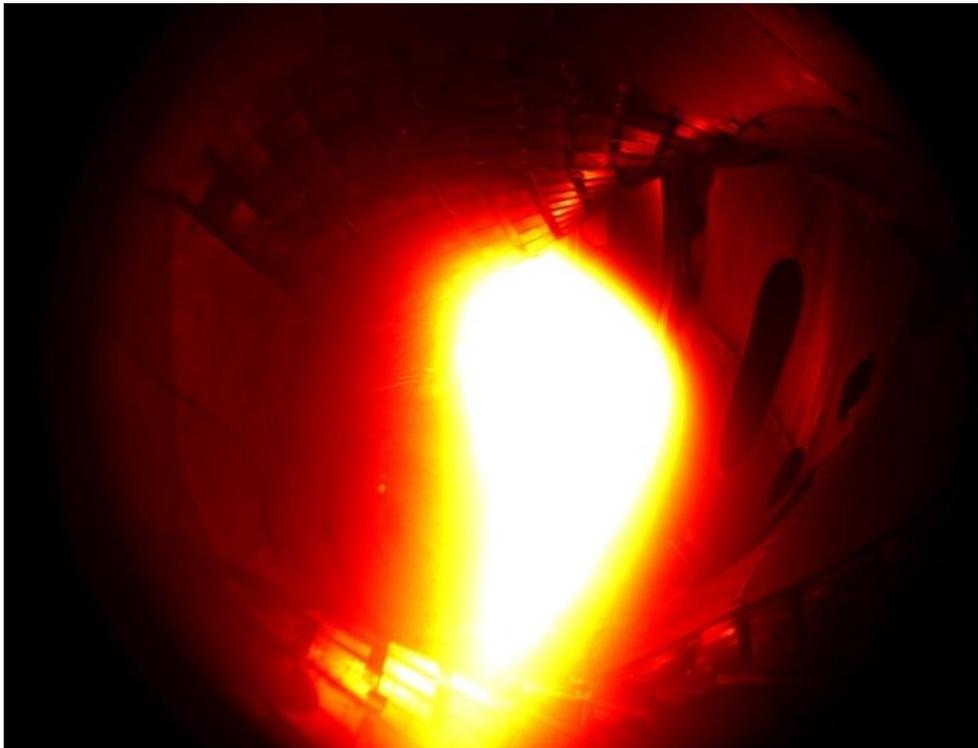


Grafik: FZJ, 1-QRN-Y0002.0

- IPP Greifswald
- Kernfusion
- Magnetischer Einschluss
- Wendelstein 7-X
- Feinwerktechnik an Wendelstein 7-X
- **Plasmabetrieb**

○ Erstes Plasma

- Heliumplasma im Dezember 2015
- Wasserstoffplasma im Februar 2016





- Das IPP Greifswald wurde für Wendelstein 7-X gegründet.
- Wendelstein 7-X ist ein supraleitendes Stellarator-Experiment.
- Es soll die Kraftwerkstauglichkeit des Stellarator-Prinzips zeigen.
- Für den Aufbau und den Betrieb des Experiments sind feinwerktechnische Systeme zwingend erforderlich.
- Erste Experimente fanden im Dezember 2015 statt. Aktuell befinden wir uns in der zweiten Experimentierphase.

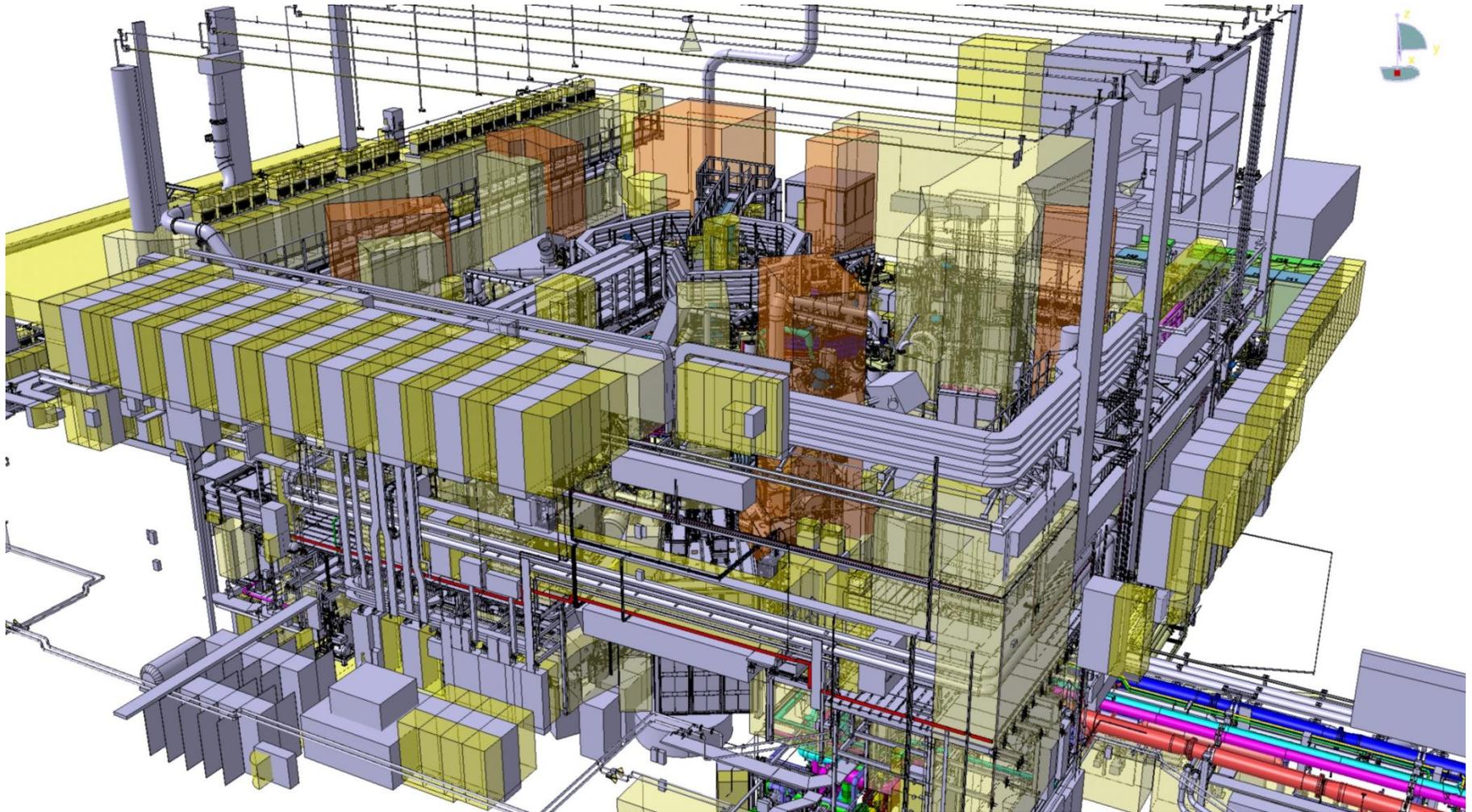


Anhang

○ History

- 1950 Undisclosed research on stellarators under the code word "project Matterhorn"
- 1965 Research on stellarators near Munich under the term "Wendelstein" ("helical rock"), the name of a mountain nearby
- 1988 Conceptual design of Wendelstein 7-X
- 1995 Funding approval by the European Community
- 1996 Setup of the project team
- 2000 Move to Greifswald, near the Baltic
- 2005 Assembly of the first superconducting coil
- 2015 Start of first plasma operation (OP1.1)
- 2017 Start of second operation phase (OP1.2a)

A time lapse video of the assembly of W7-X
http://www.ipp.mpg.de/115632/zeitraffer_w7x
<https://www.youtube.com/watch?v=MJpSrgitSMQ>



Elaborated Digital MockUps of the periphery system of W7-X