

# Wahlpflichtfach Plasmaphysik

Veranstaltungen SS 2015

apl. Prof. Dr. Emanuele Poli  
Dr. Thomas Eich

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) Garching

[www.ipp.mpg.de](http://www.ipp.mpg.de)

[www.ipp.mpg.de/~emp](http://www.ipp.mpg.de/~emp)

[www.ipp.mpg.de/~teich](http://www.ipp.mpg.de/~teich)



# Plasmaphysik II, Anwendungen

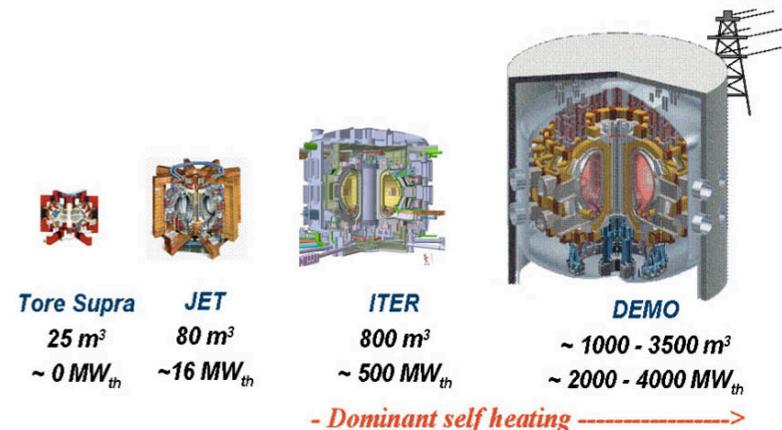
- Beginn der Vorlesung, Einführung, Überblick, Vorbesprechung am:
  - Mittwoch 22.04.2015, 12.30Uhr
- Vorbesprechung Hauptseminar Plasmaphysik:  
**Plasmadiagnostiken und ihre Anwendung in der Kernfusionsforschung**
  - Mittwoch 22.04.2015, 14.30Uhr
  - Themen siehe Überblick auf den nächsten Seiten
- ***Dozent: Dr.Thomas Eich***

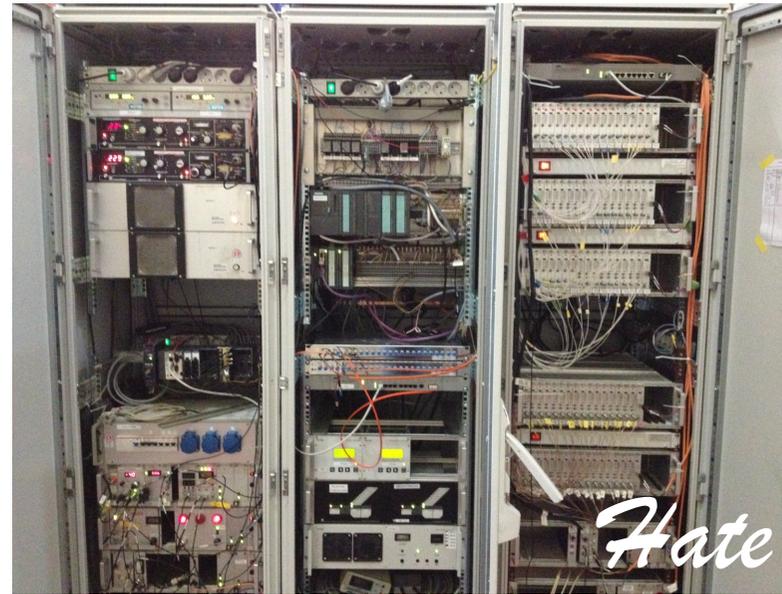
# Vorlesung: Plasmaphysik - Anwendungen

- Inhalt der Vorlesung:
  - Fusionsenergie in Sternen und im Labor
  - Einschluss von Hochtemperaturplasmen
  - Transport und Stabilität
  - Aktuelle und zukünftige Fusionsreaktoren

- Praktikum: eine Woche am
- Max-Planck-Institut in Garching

ITER is the Next Step  
Toward a Solution based on Tokamaks



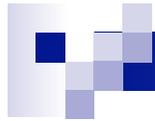


# Hauptseminar Plasmaphysik: Meßmethoden der Plasmaphysik – Anwendungen in Kernfusion



# Kurze Anmerkungen

- Kontakt: **thomas.eich@ipp.mpg.de**  
**Max-Planck-Institut für Plasmaphysik**
- Quellen sind meistens in englischer Sprache
- Sprechstunde nach Vereinbarung, Mi: 16.00 Uhr
- Termin: Mittwoch Nachmittags, 15.00 Uhr
- Benotung nach Vortrag + Diskussion
- Sie können gerne im Team arbeiten
- Fokus auf diagnostische Methoden in Kombination mit deren Anwendung

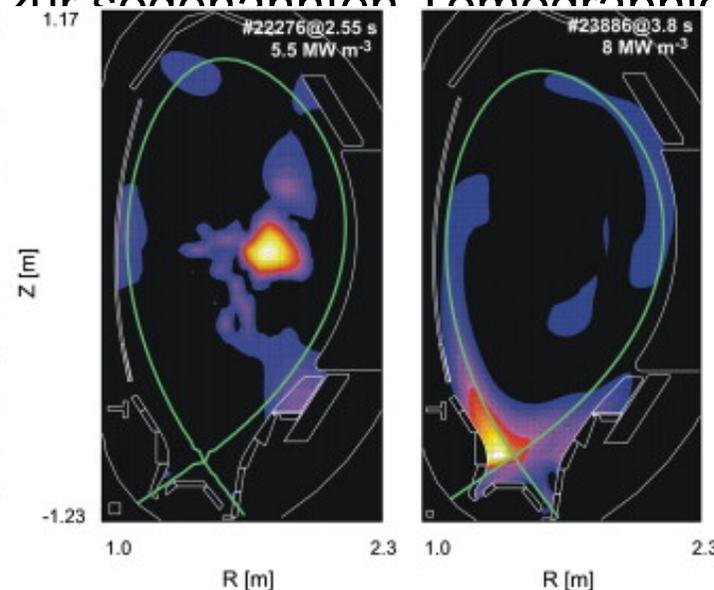
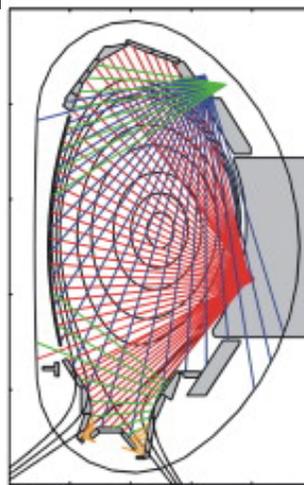


#	Thema	Diagnostik / Methode	Datum	Material durch	Teilnehmer
1	Leistungsbilanz in einem Kernfusionreaktor	Bolometer		Matthias Bernert mbern@ipp.mpg.de	2
2	Leistungsabfuhr im Divertor	Langmuir-Sonden		Bernhard Sieglin bsieglin@ipp.mpg.de	2
3	Transport in der Randschicht	Thermographie und Wärmeflussrechnung		Michael Faitsch michael.faitsch@ipp.mpg.de	2
4	Transport entlang Magnet-Feldlinien	Aktiv He-Jet		Michael Griener, Michael.griener@ipp.mpg.de	2
5	Divertor-Physik und Plasma-Detachment	Spektroskopie und Stark-Verbreit.		Steffen Potzel steffen.potzel@ipp.mpg.de	2
6	Einschluss 'Pedestal' eines Fusionsplasmas	Thomson-Streuung		Philip Schneider philip.schneider@ipp.mpg.de	2-3
7	Schnelle Teilchen	Spektroskopie und Doppler-Verbreit.		Benedikt Geiger benedikt.geiger@ipp.mpg.de	1-2
8	MHD-Moden im Core-Plasma	ECE		Alex Bock abock@ipp.mpg.de	1-2
9	Sonne als Fusionsreaktor	ohne		Thomas Eich thomas.eich@ipp.mpg.de	1
10	Van-Allen-Strahlungsgürtel der Erde	ohne		Thomas Eich thomas.eich@ipp.mpg.de	1

# Strahlungsbilanz in einem Kernfusionreaktor:

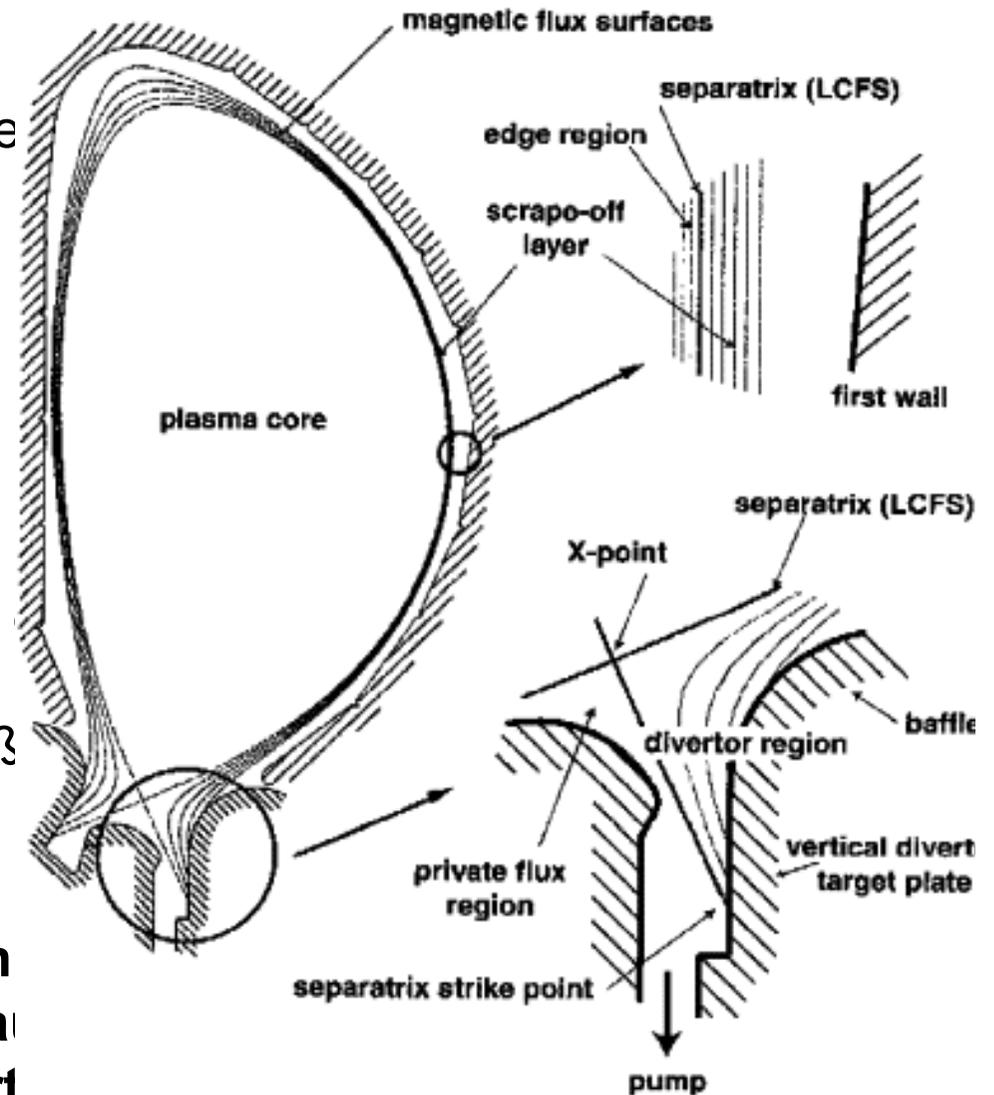
- In einem Kernfusionreaktor muss die meiste Strahlung der alpha-Teilchenheizung radiativ abgeführt werden, dieses jedoch nur im Rand des magnetisch eingeschlossen Plasmas
- Durch Hinzugabe von stark strahlenden Verunreinigungen (Neon, Argon, Xenon, Krypton) werden solche Szenarien optimiert. Wesentlich für das Verständnis ist die sogenannte Bolometer-Diagnostik
- Diese Meß-Methode dient ebenfalls zur sogenannten Tomographie

**Aufgabe: Erläutern Sie die Leistungsbilanz eines Fusions-Reaktors und erklären Sie die Bolometrische Diagnostik mit Tomographie (in dem Fall auch Bremsstrahlung)**



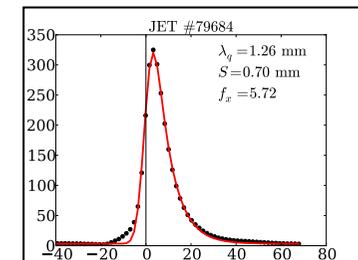
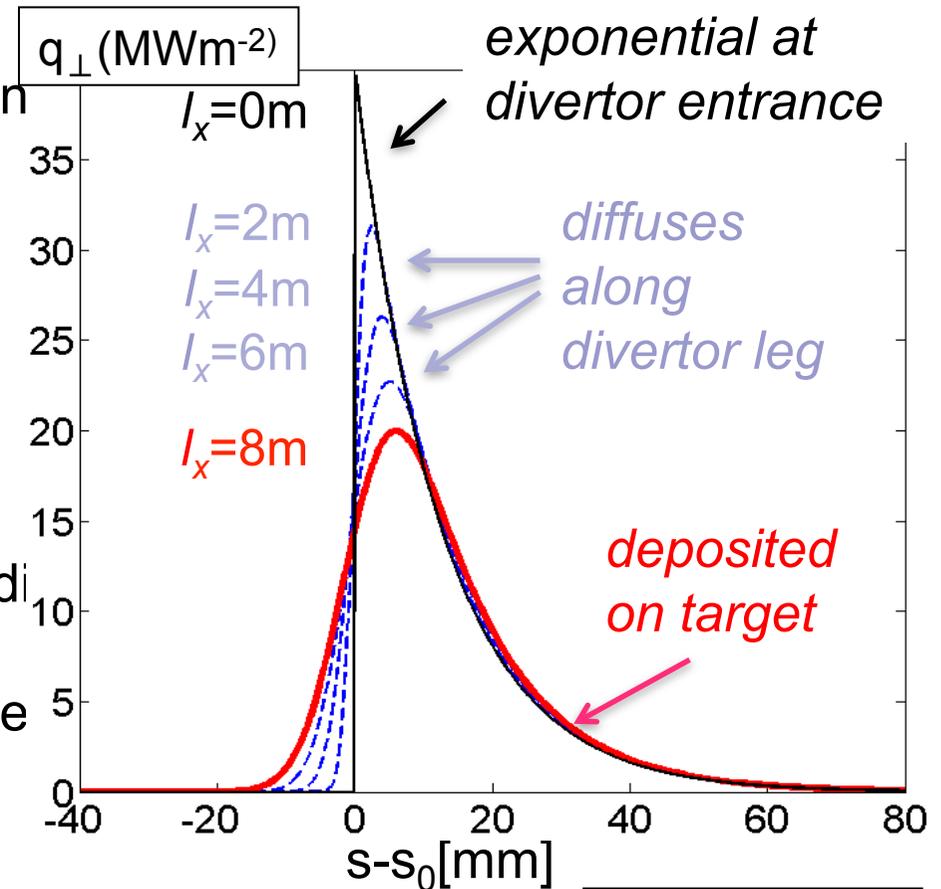
# Leistungsabfuhr zu dem Divertor:

- Die Plasmarandschicht in einem magnetischen Einschlussexperiment muss zwei sehr gegensätzliche Anforderungen erfüllen, nämlich
- (a) Teilchen (Helium-Asche des Fusionsprozesses) effektiv abpumpen
- (b) Nur einen Bruchteil der entstandenen Fusionsleistung auf sogenannten Plasmaprallplatten abführen (oder diese auf eine große Fläche verteilen)
- **Aufgabe: Erklären Sie uns Langmuir-Sonden und erläutern Sie den Transport von Plasma an offenen Feldlinien zu dem Divertor.**



# Senkrecht Transport in der Randschicht:

- Die Plasmarandschicht in einem magnetischen Einschlussexperiment muss zwei sehr gegensätzliche Anforderungen erfüllen, nämlich
- (a) Teilchen (Helium-Asche des Fusionsprozesses) effektiv abpumpen
- (b) Nur einen Bruchteil der entstandenen Fusionsleistung auf die sogenannten Plasmaprallplatten abführen (oder diese auf eine große Fläche verteilen)
- **Aufgabe: Erklären Sie uns IR Messungen und Wärmefluss-Rechnung und erläutern Sie den Transport von Plasma senkrecht zu dem Divertor**



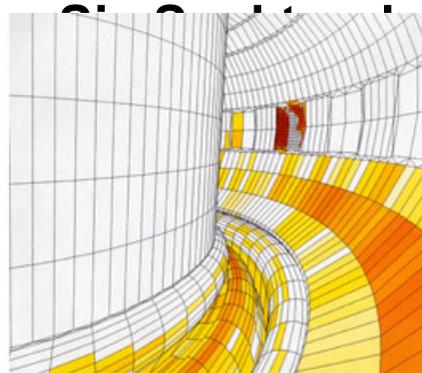
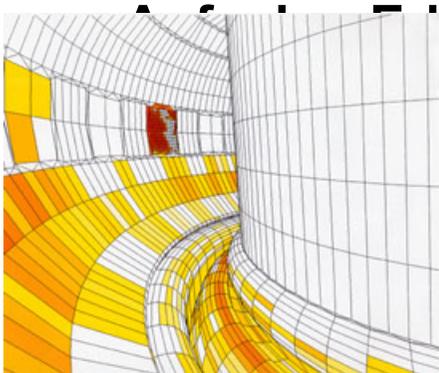


# Paralleler Transport in der Randschicht:

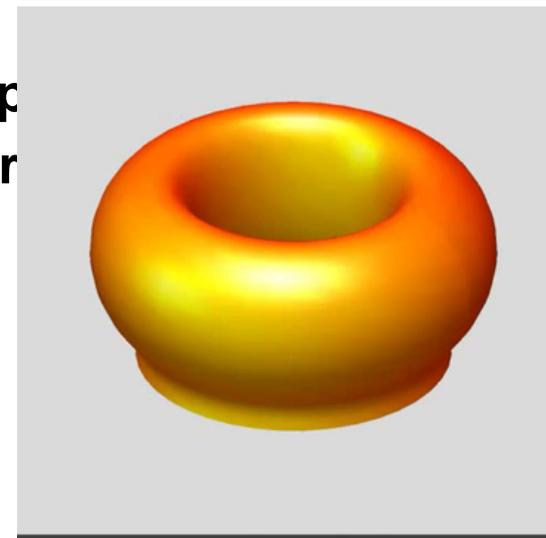
- Wird nachgereicht

# Schnelle Teilchen im Tokamak:

- Heutige Experimente erzeugen (fast nie) Fusions-alpha-Teilchen
- Wenn diese in einem Reaktor erzeugt werden, ist ihre Geschwindigkeit bzw. nicht-thermische Energie so hoch, dass diese alpha-Teilchen sich anfänglich fast stossfrei bewegen. Diese nennt man 'schnelle Teilchen'
- Um zu untersuchen wie sich solche Teilchen in einem Plasma bewegen, also ihr Transport ist, gibt es spezielle Verfahren welche die schnellsten Teilchen im Tokamak (Deuteronen aus der NBI) untersuchen



Stoßkopie und Doppelstrahltransport



# Die Divertor-Physik: ‚Detachment‘

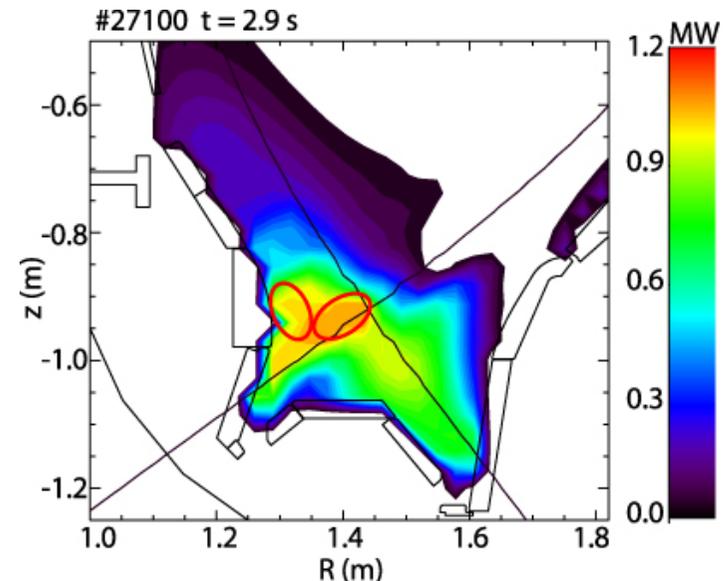
Um die Wärmelast in einem Reaktor möglichst klein zu halten, soll das Plasma ‚detached‘ sein

Das bedeutet, das Plasma berührt die Wand (bzw. den Divertor) nicht sondern es soll sich ein Neutral-Gas Puffer ausbilden

Dieser Zustand muss ‚gekonnt‘ kontrolliert sein

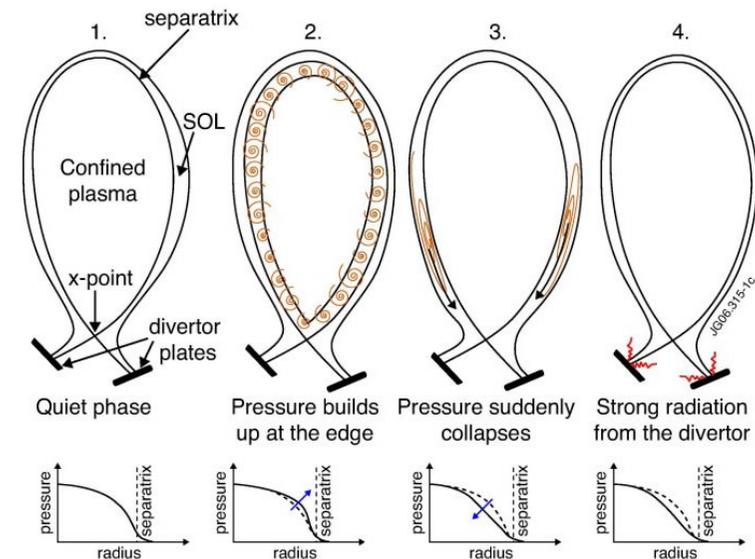
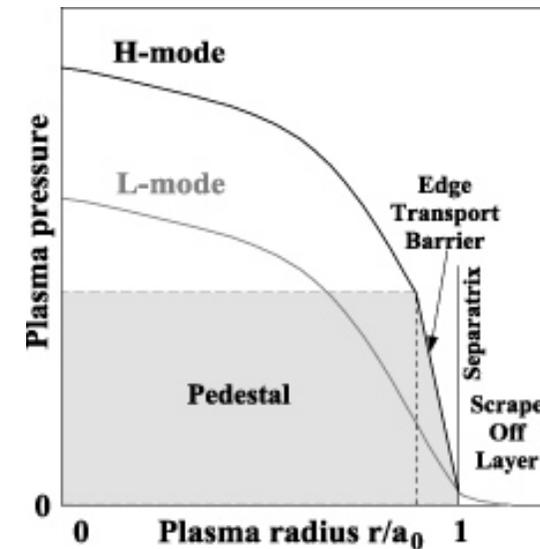
Dazu muss man ihn aber erst mal verstehen

**Aufgabe: Erklären Sie optische Spektroskopie und Stark-Verbreiterung durch das Plasma und erläutern Sie die drei Zustände des Divertor-Plasmas (attached, partial-detached, voll-detached)**



# Die ‚H-Mode‘ in Tokamaks (und ELM-Problem)

- Im Jahre 1983 wurde in Garching die sogenannte H-Mode (‚high-confinement‘) entdeckt, ein Zustand in dem das Plasma die etwa zweifache Zentraldichte und Temperatur aufweist im Gegensatz zur ‚L-Mode‘ (‚low-confinement‘)
- Diese wird durch eine sogenannte Transportbarriere, unmittelbar an dem Übergang von eingeschlossen Bereich zur Bereich offener Feldlinien, erreicht
- **Aufgabe: Thomson-Streuung + Bedeutung des Pedestal für einen Reaktor/ITER (+ELMs)**
- **3 Personen möglich**



# Core-MHD Moden und ECE Diagnostik:

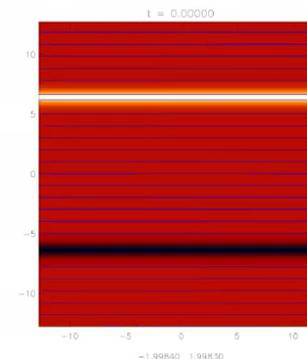
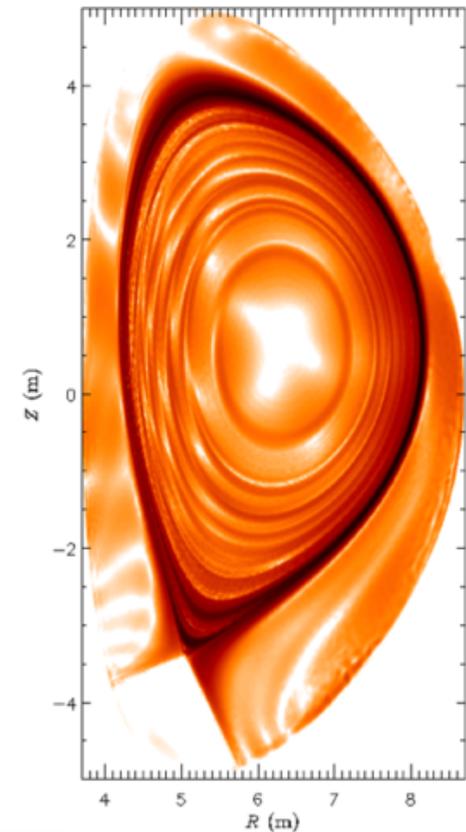
Ein Reaktor soll mit möglichst hohen Dichten betrieben werden, bei einer angestrebten Zentral-Temperatur von ca. 200 Mio Kelvin.

Hohe Dichte bei konstanter Temperatur bedeutet hoher Druck !

Ein Tokamak hat überdies einen Strom im Plasma (welcher es einschliesst)

Dadurch werden sogenannte Druckgetriebene Moden angeregt, die den (guten) Einschluss wiederum verschlechtern.

**Aufgabe: Elektronen-Cyclotron-Emmissions Diagnostic und Anwendung auf Moden-Detektion**

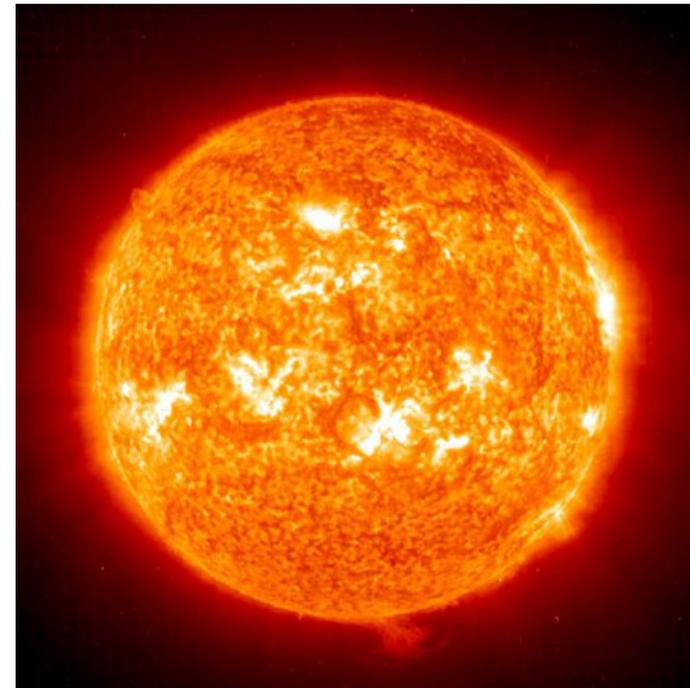


# Die Sonne als Fusionsreaktor

Die Sonne ist ein imposanter Fusions-Reaktor

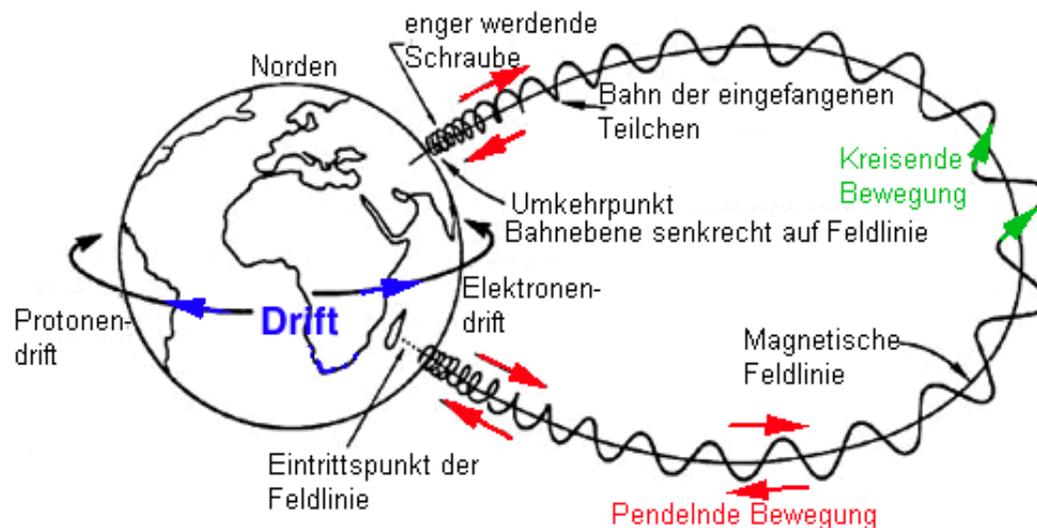
Es sollen vorgestellt werden die typischen Eigenschaften der Sonne als Fusionsreaktor und diese mit einem zukünftigen gedachten Fusionsreaktor verglichen werden

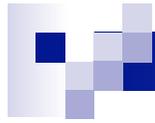
Zentrale Dichte und Temperatur,  
Energie- und Teilcheneinschlusszeit,  
Verbrennungsprozesse,  
Transportprozesse im  
Sonneninneren, Umsetzung des  
enthaltenen Brennstoffes,  
Endprodukte



# Van-Allen Strahlungsgürtel:

- Das Magnetfeld der Erde bildet einen magnetischen Käfig, in dem der geladene Teilchen, v.a. Elektronen + Protonen, von der Sonne oder aus der Hintergrundstrahlung, gefangen werden
- Diagnostik: Auge + Polarlichter

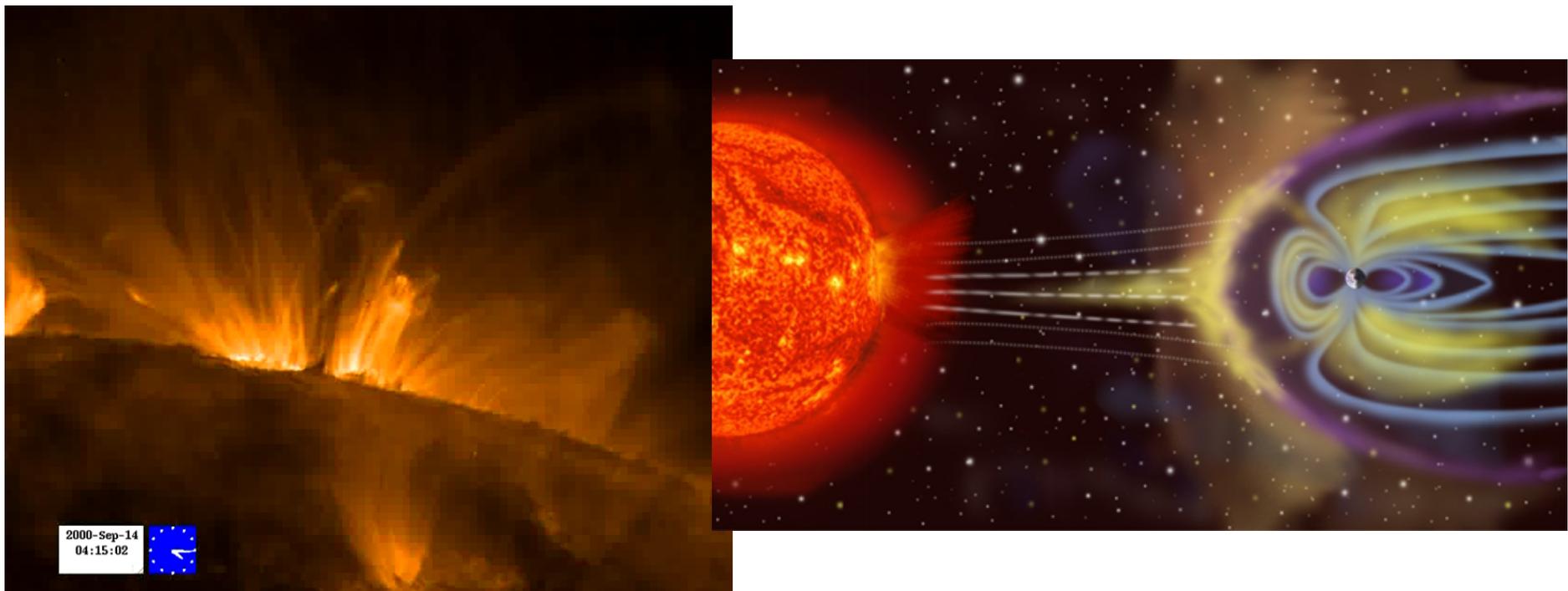




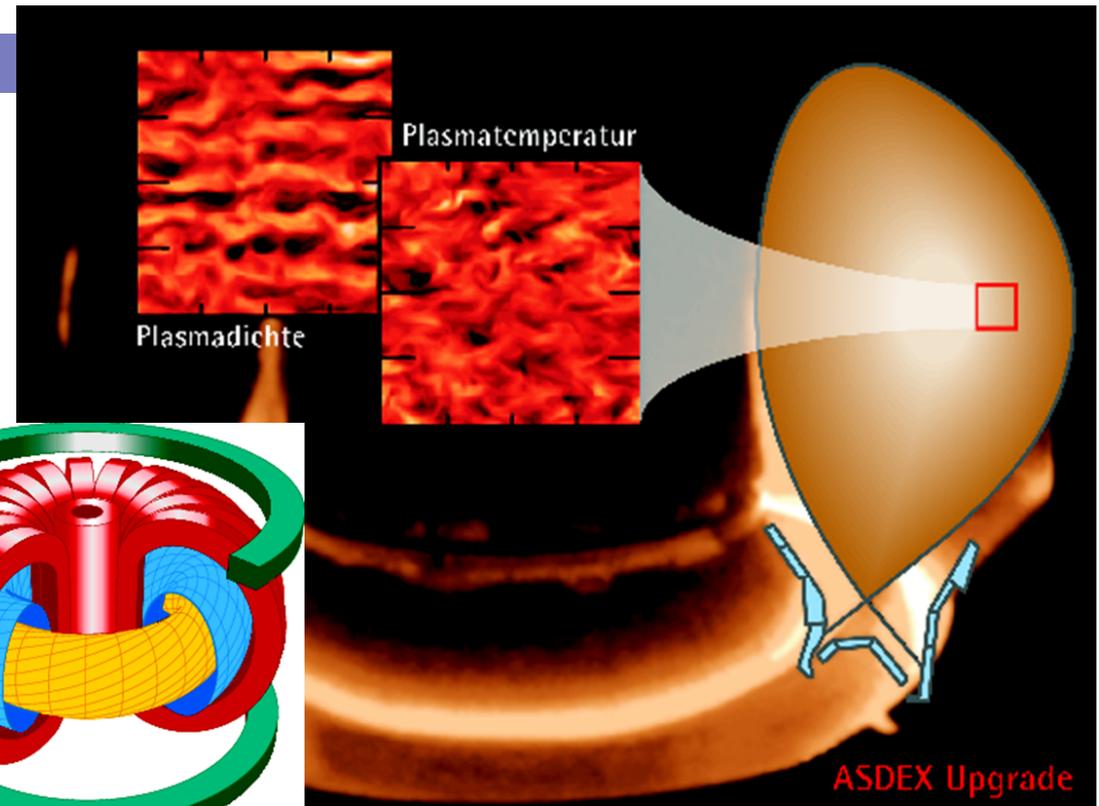
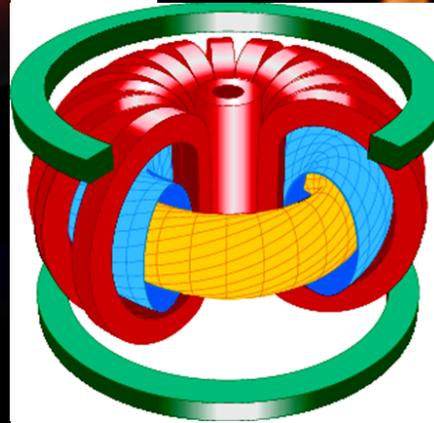
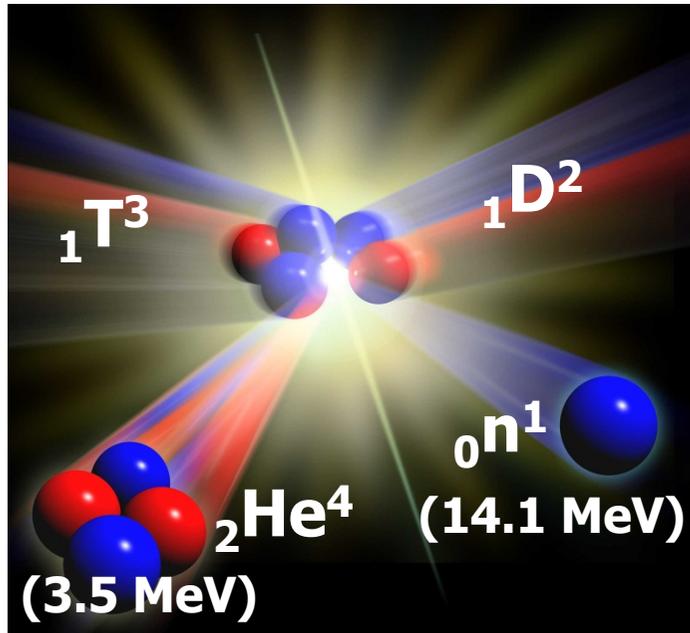
**Weitere Informationen:**

# Plasmaphysik?

- Der Grossteil des sichtbaren Universums ist ein (teilweise bzw. vollständig) ionisiertes Gas, d.h. ein Plasma → **astrophysikalische Anwendungen**



# Plasmaphysik?



- **Laborplasmen:** Die vielleicht wichtigste plasmaphysikalische Fragestellung ist: Wie kann man möglichst effizient Fusionsenergie erzeugen und so einen Beitrag zum Klimaschutz leisten?



# Vorlesung: Plasmaphysik - Anwendungen

- Vorlesung:
  - Fusionsenergie in Sternen und im Labor
  - Einschluss von Hochtemperaturplasmen
  - Fusionsreaktoren (Gleichgewicht / Stabilität)
  - Transportprozesse (stoßbehaftet / turbulent)
- Praktikum: eine Woche am Max-Planck-Institut in Garching (dieses Jahr: 10.-12. März)



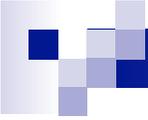
# Vorlesung: Einführung in die experimentelle Kernfusions-Forschung

- Stand der Kernfusions-Forschung, mit besonderer Gewichtung auf den magnetischen Einschluss von Hochtemperatur-Plasmen
  - Physikalische Grundlagen des magnetischen Einschlusses von Plasmen
  - Darstellung aktueller Experimente an den Tokamaks ASDEX Upgrade (Garching bei München) und JET (Oxford)
  - Ziele und Bedeutung des Stellarators Wendelstein-7X, der 2015 in Betrieb gehen soll (MPI Plasmaphysik, Greifswald)
- Der angestrebte Weg der Kernfusion zum Reaktor mit Augenmerk auf ITER, einem der größten geplanten Experimente der Wissenschaftsgeschichte



# Hauptseminar Plasmaphysik

- Plasmadiagnostik und Anwendungen in der Kernfusions-Forschung
- Es werden aktuelle Experimente aus der Tokamak-Forschung behandelt und ihre Relevanz für ITER und einen Kernfusions-Reaktor diskutiert



# Zusammenfassend

Schwerpunkt / Vertiefungsmodul M.Sc.

- WS: Vorlesung Plasmaphysik I (Grundlagen + Übung)
- SS: Vorlesung Plasmaphysik II (Anwendungen: Astrophysik, Fusionsforschung + 1-wöchiges Praktikum am IPP ) Termin Mittwoch 12.30 Uhr
- Zusätzlich (auf Wunsch): “Summer University” am IPP in Garching bzw. Greifswald
- WS: Energieversorgung, Klimawandel, Kernfusionsforschung, Vorlesung mit Seminar (4LP)
- WS: Weitere ‚kleine‘ Vorlesung aus dem Bereich Kernfusion / Energieszenarien / Plasmaphysik (2LP)