



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

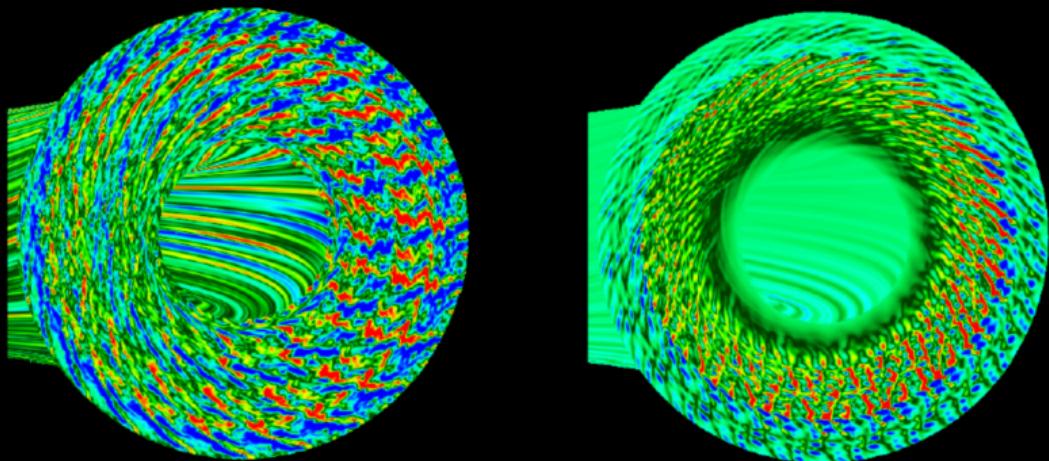
TURBULENZEN IN PLASMA

Beispiel anhand von Plasma im Tokamak Reaktor

12. Juni 2023

Manuel Lippert

Physik (Master of Science)



GLIEDERUNG

1. Magnetohydrodynamische (MHD) Gleichungen
2. Ionen Temperaturgradient (ITG) Instabilität
3. Turbulenz im Plasma stabilisieren

MAGNETOHYDRODYNAMISCHE (MHD) GLEICHUNGEN

MAGNETOHYDRODYNAMISCHE (MHD) GLEICHUNGEN

Kontinuitätsgleichung

$$\partial_t \rho + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0$$

Navier-Stokes Gleichung

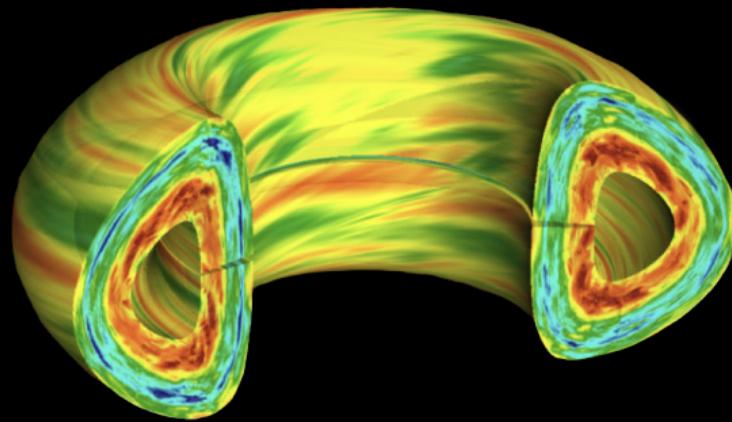
$$\rho \partial_t \mathbf{v} + \rho (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \frac{\mathbf{J} \times \mathbf{B}}{c} + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F}$$

Maxwell Gleichungen

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \nabla \times \mathbf{B} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{J}$$

$$\mathbf{J} = \sigma \left(\mathbf{E} + \frac{\mathbf{v} \times \mathbf{B}}{c} \right) \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \partial_t \mathbf{B}$$

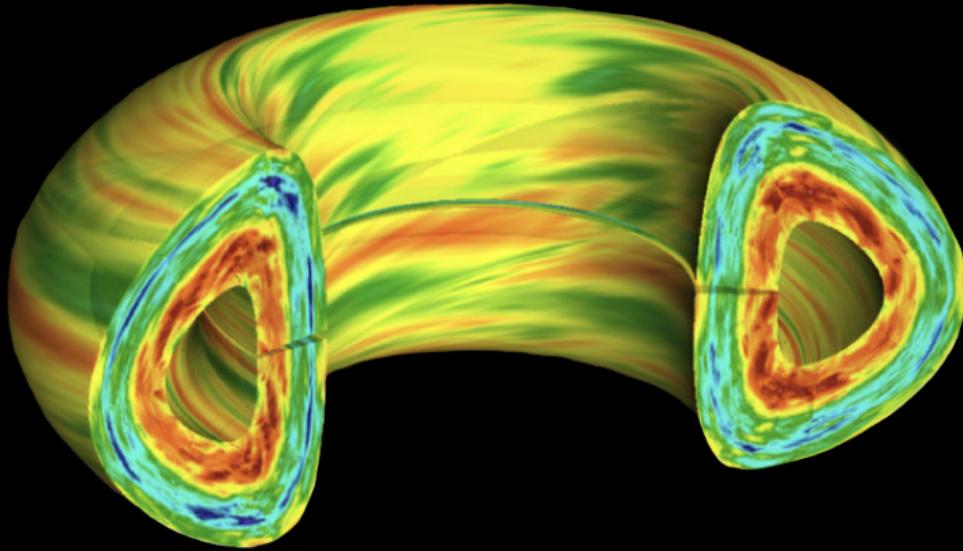
BESCHREIBUNG VON PLASMA IM TOKAMAK REAKTOR



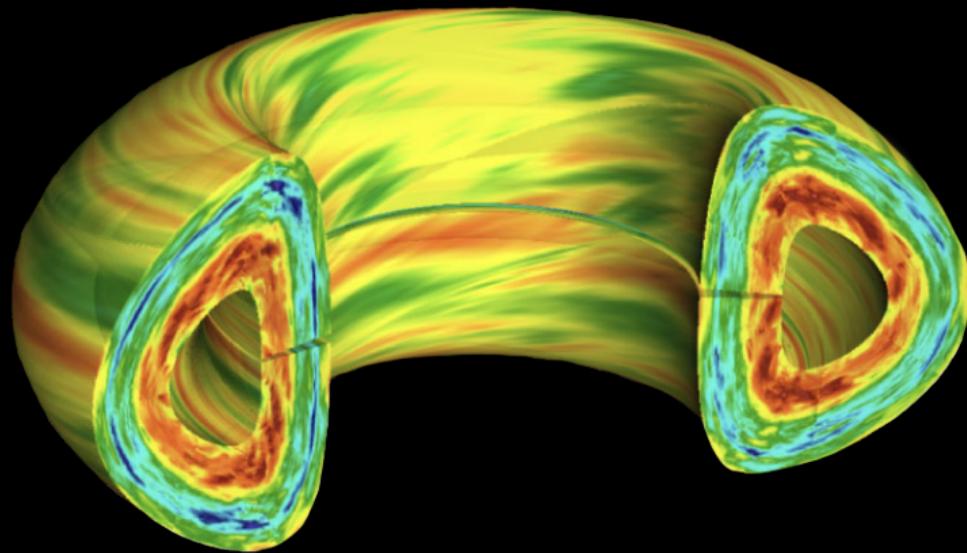
Achtung Instabilität am Plasmarand!

Ionen Temperaturgradient Instabilität \approx Rayleigh-Taylor Instabilität

EMBEDDED VIDEO

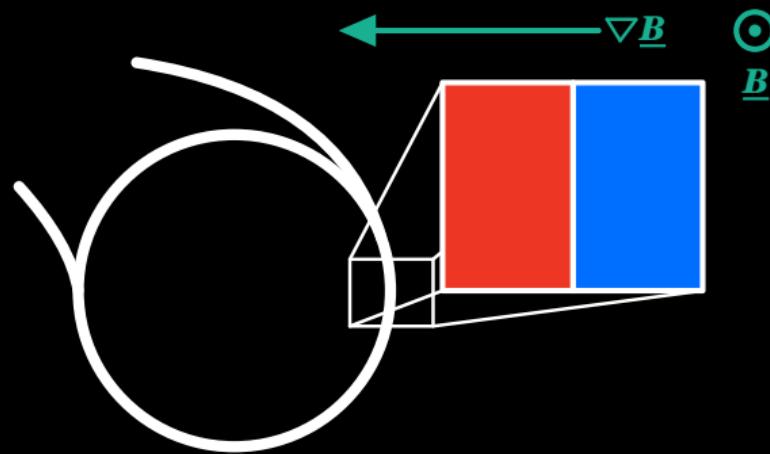


VIDEO SLIDE

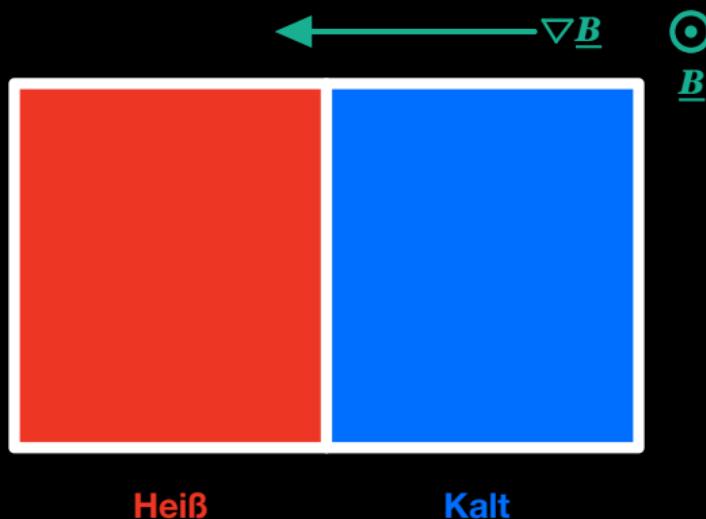


IONEN TEMPERATURGRADIENT (ITG) INSTABILITÄT

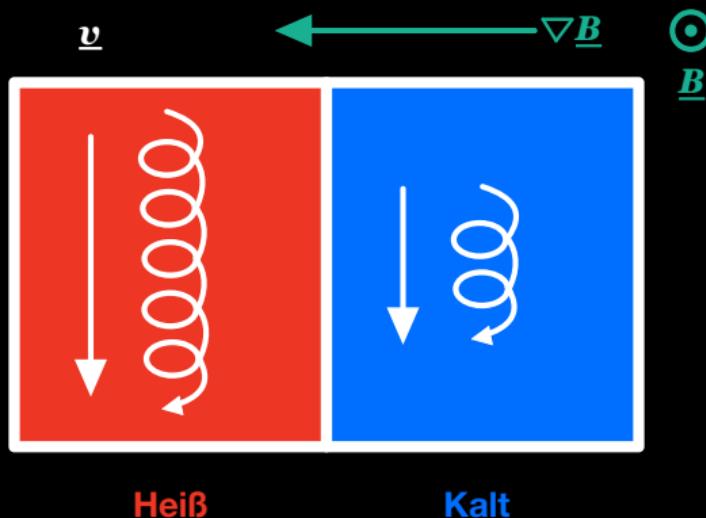
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



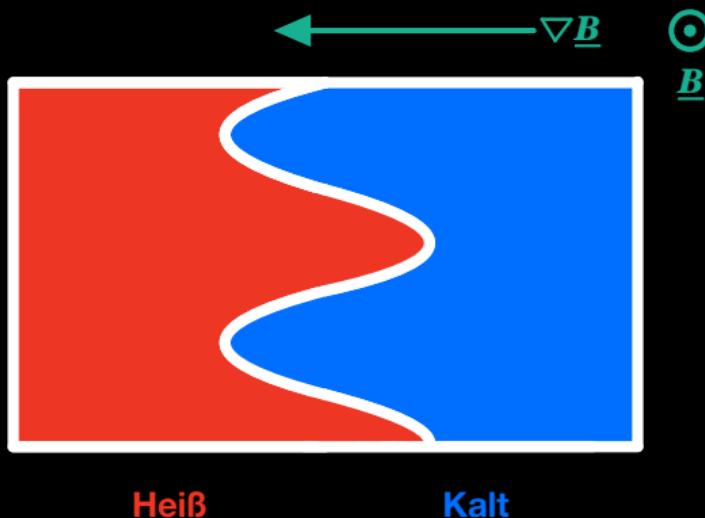
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



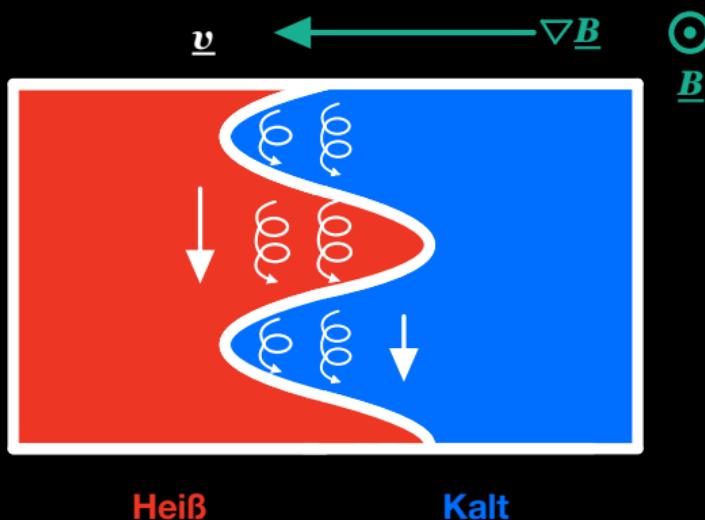
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



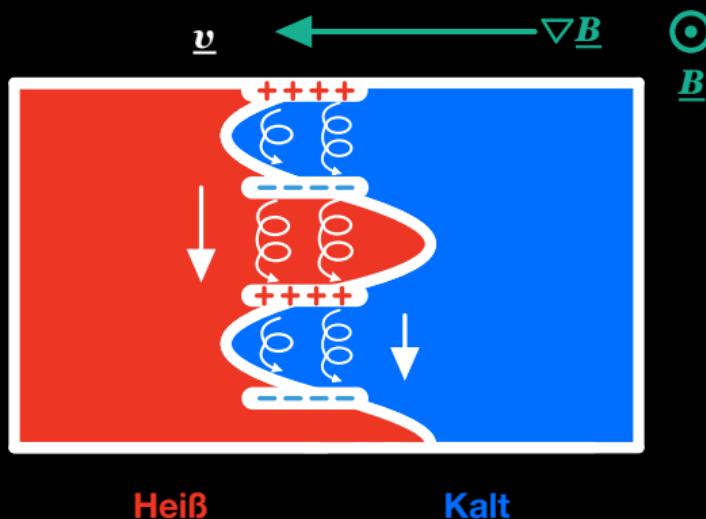
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



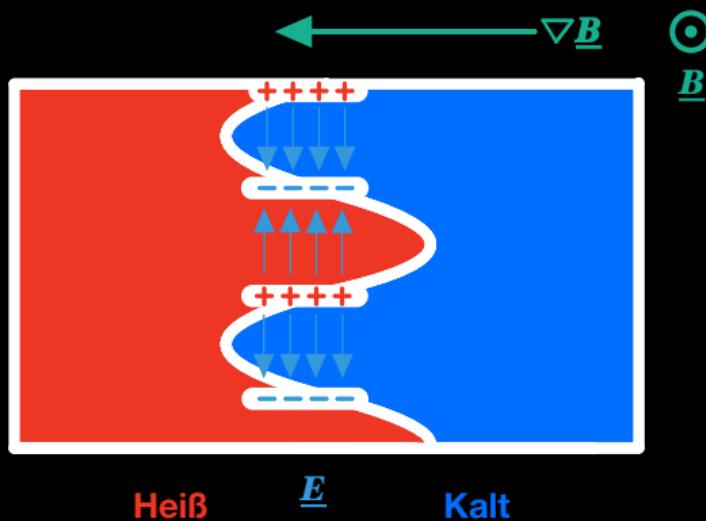
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



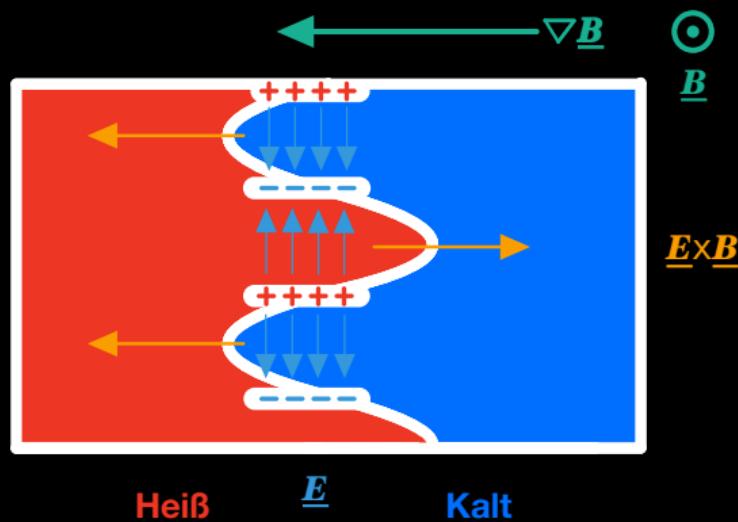
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



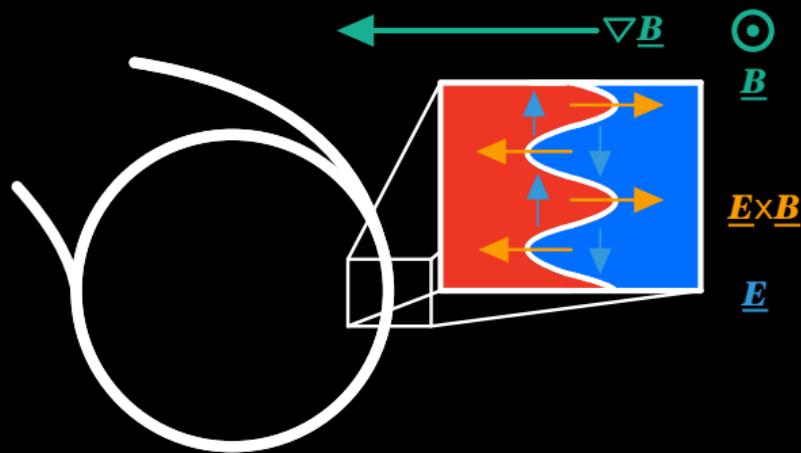
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



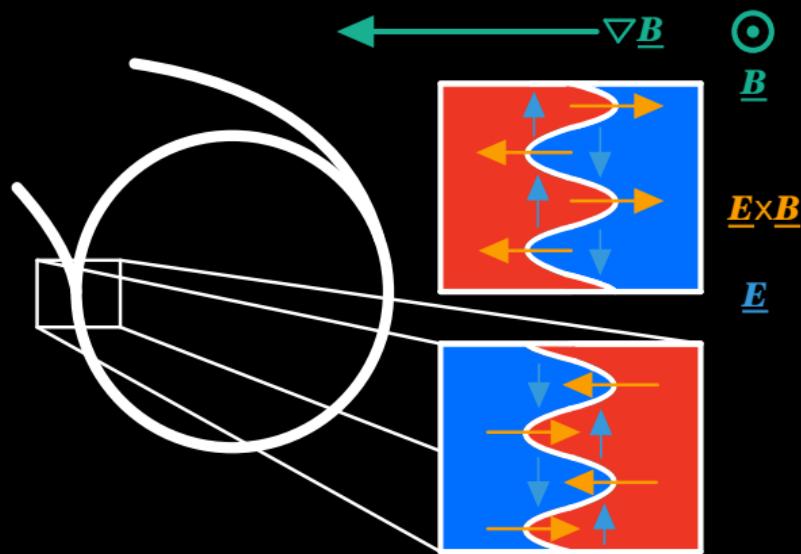
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



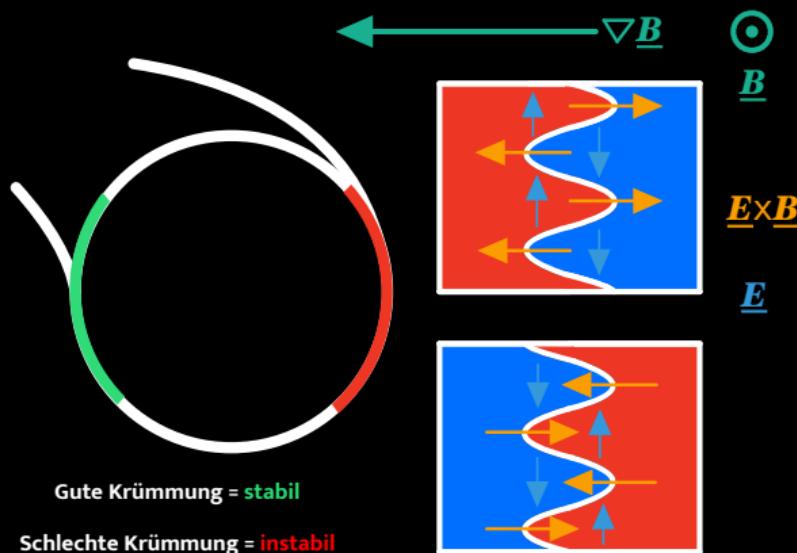
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND

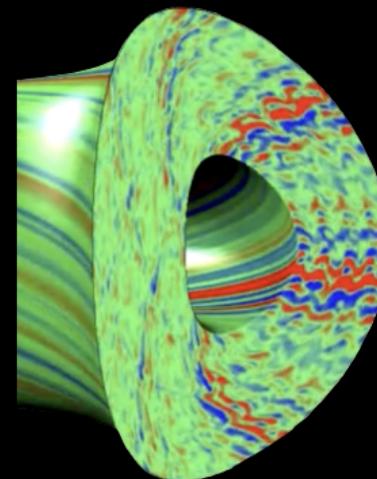


ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



ZONAL FLOW BILDUNG

- ITG Instabilität erzeugt turbulente Wirbelströmung
- Wirbelströmung breitet sich über die Breite des Plasmatorus aus
- Entstehung von **Zonal Flows**
- Namensgebung aus der Atmosphärenphysik (Bsp. Wolkenbänder von Jupiter)

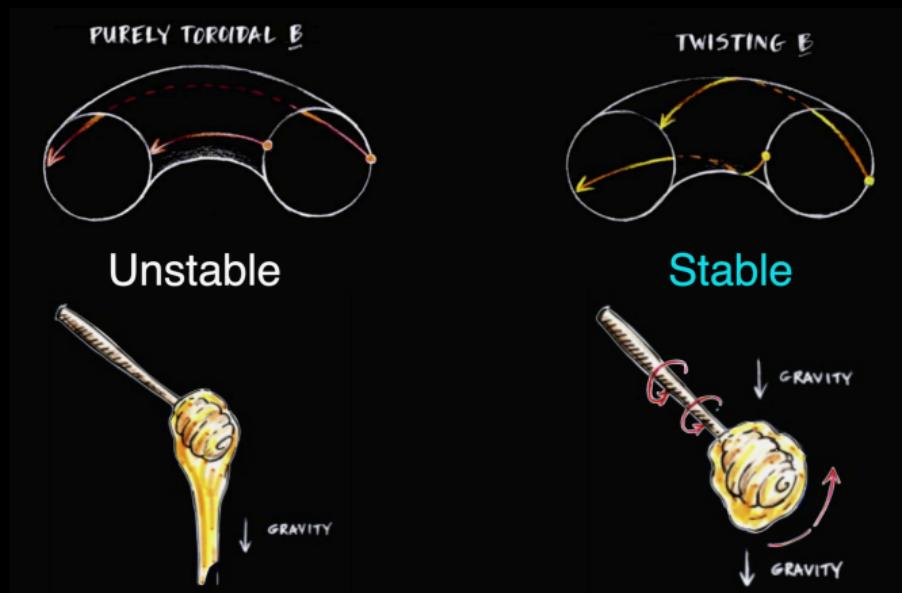


Simulation eines Plasmaschlauch von Jeff Candy und Ron Waltz mit Code GYRO

TURBULENZ IM PLASMA STABILISIEREN

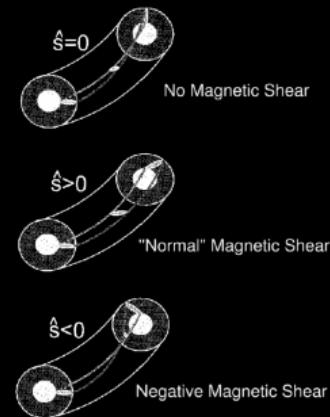
ANPASSUNG DER MAGNETFELDLINIENRICHTUNG

Verdrillen der magnetischen Flussdichte **B** überführt Plasma in stabilen Zustand



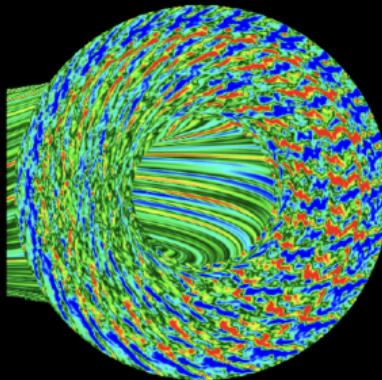
TURBULENZEN VERRINGERN

- Wirbelströmung verursachende Partikel folgen meistens Feldlinien
- Turbulenzen können mit negativer magnetischen Scherung verringert werden
- Verdrehung in Richtung der "Guten Krümmung"
- Durch die Verformung des Plasmas kann sich Scherung lokal verändern

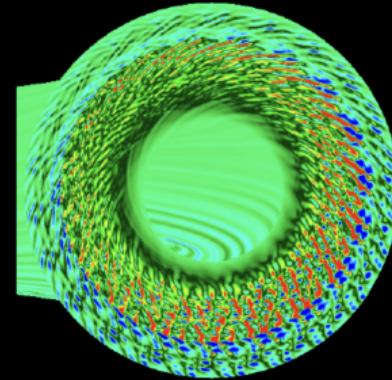


REGELUNG ODER UNTERDRÜCKUNG VON TURBULENZEN

Waltz, Kerbel, Phys. Plasmas 1994 w/ Hammett, Beer, Dorland, Waltz Gyrofluid Eqs., Numerical Tokamak Project, DoE Computational Grand Challenge



Dominante nichtlineare Interaction
zwischen turbulenter Wirbelströmung
und kontrollierten Zonal Flow



Zusätzlicher verscherter Zonal Flow
unterdrückt Turbulenz komplett

DANKE FÜR DIE AUFMERKSAMKEIT!

NUCLEAR FUSION

FEATURING HYDROGEN AND HELIUM

