



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

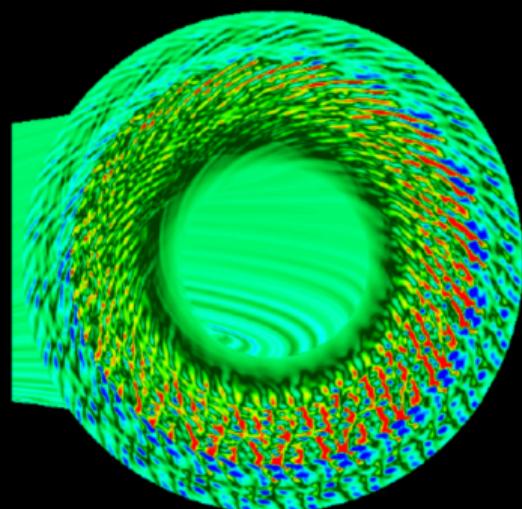
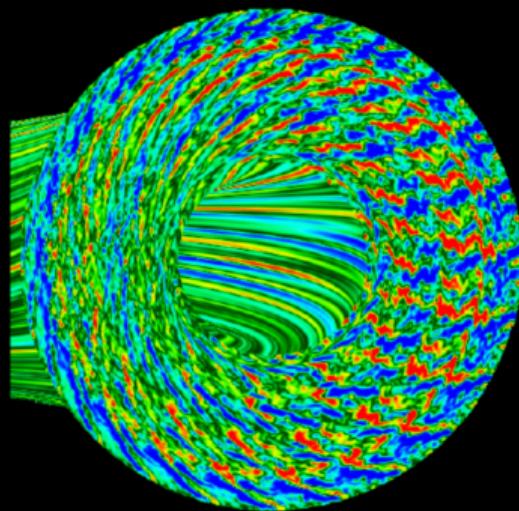
TURBULENZEN IN PLASMA

Beispiel anhand von Plasma im Tokamak Reaktor

30. Januar 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

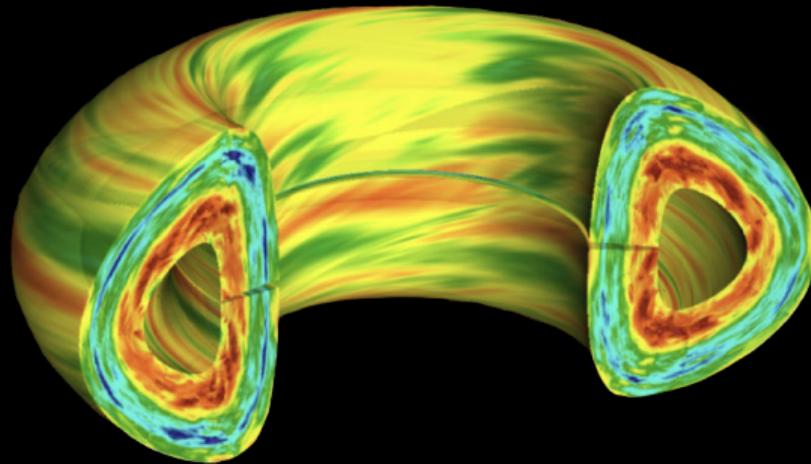
$$\rho \partial_t \mathbf{v} + \rho (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \frac{\mathbf{J} \times \mathbf{B}}{c} + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F}$$

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

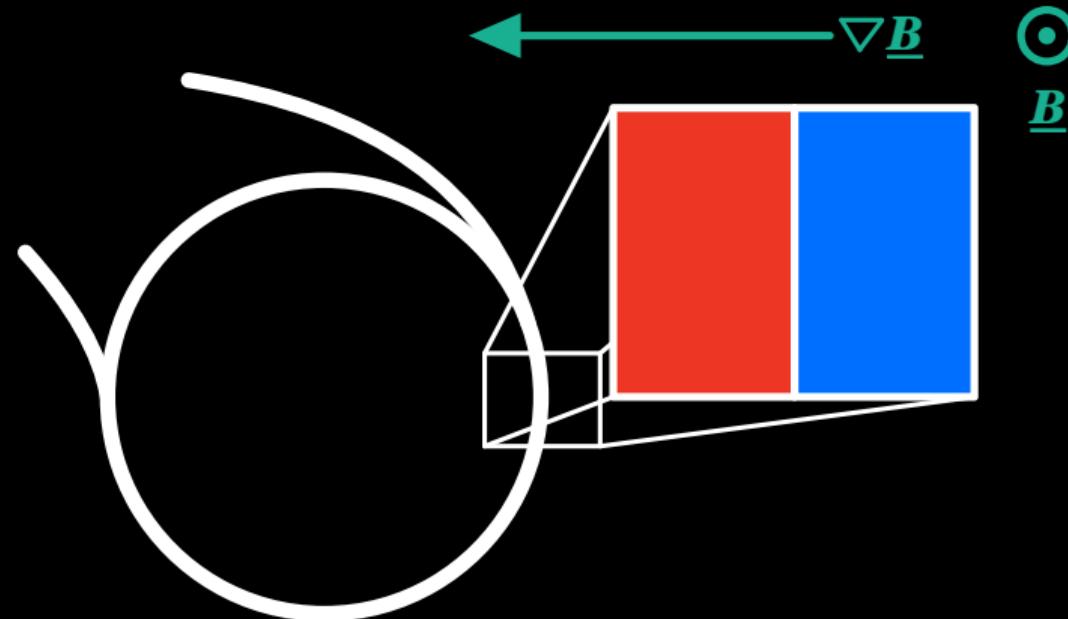


Achtung Instabilität am Plasmarand!

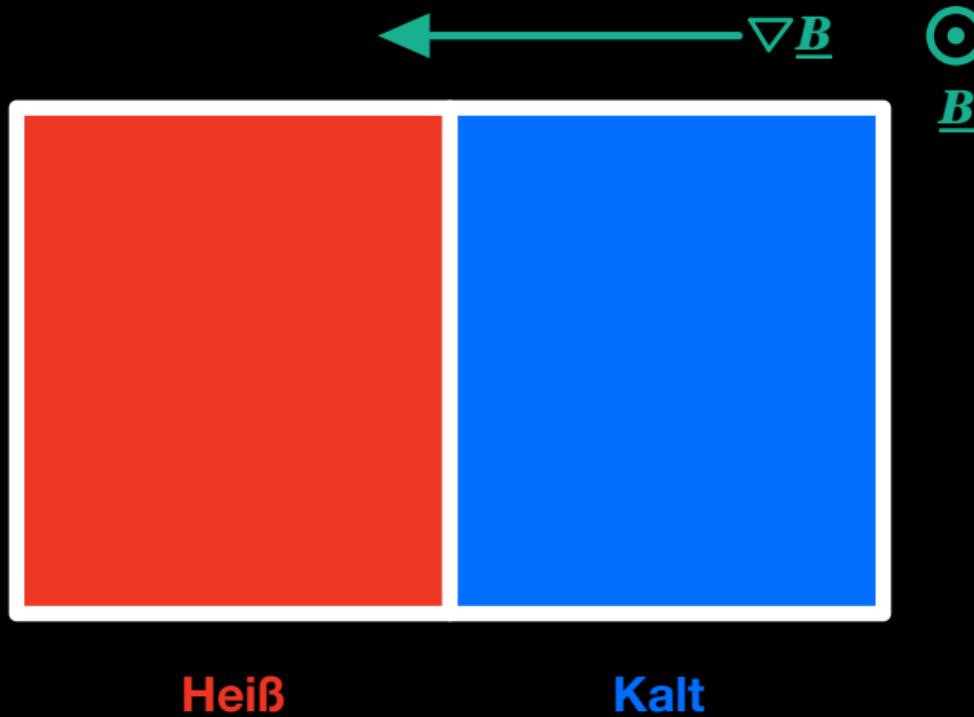
Ionen Temperaturgradient Instabilität \approx Rayleigh-Taylor Instabilität

IONEN TEMPERATURGRADIENT (ITG) INSTABILITÄT

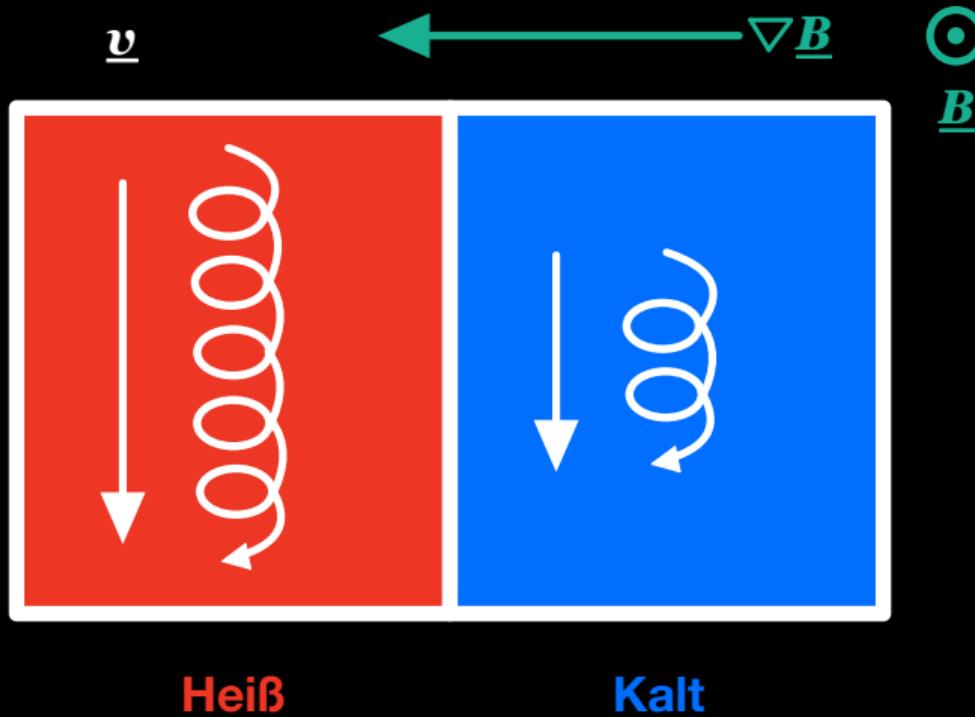
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



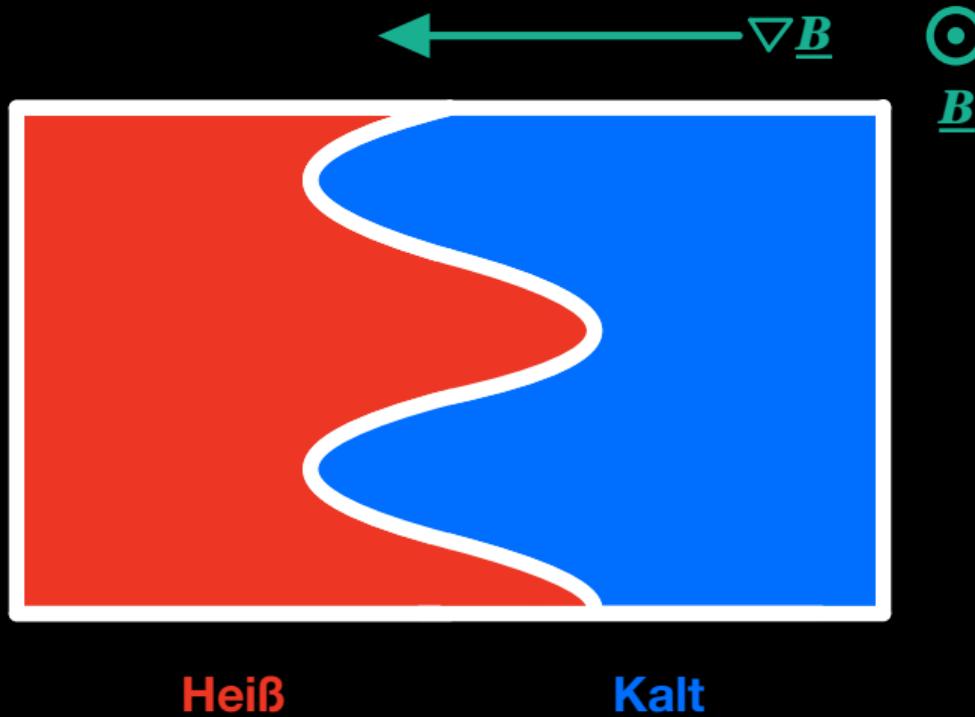
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



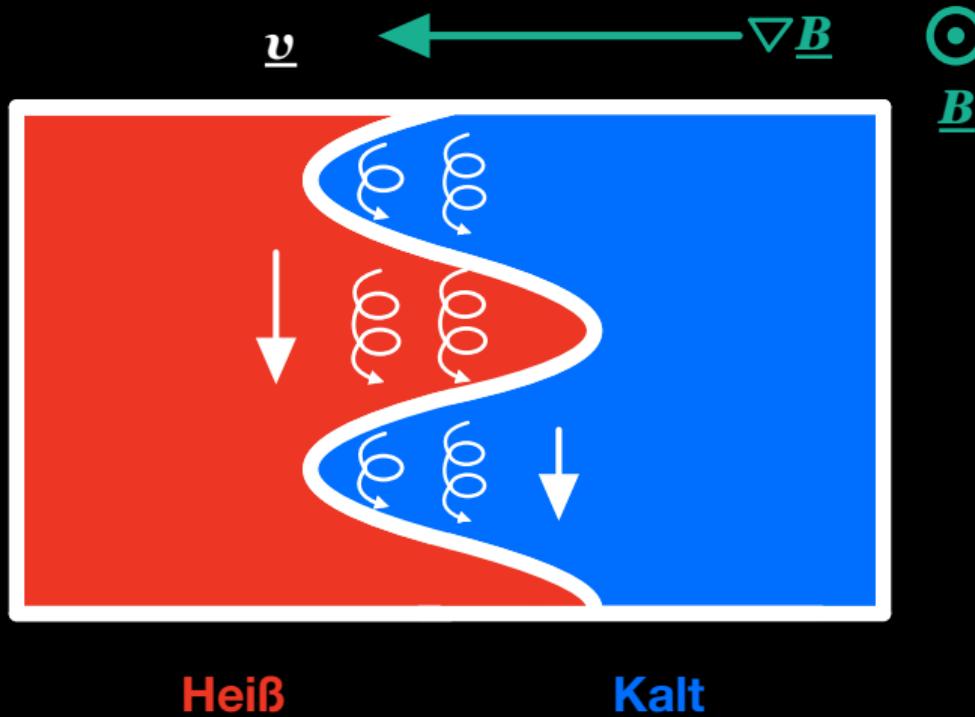
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



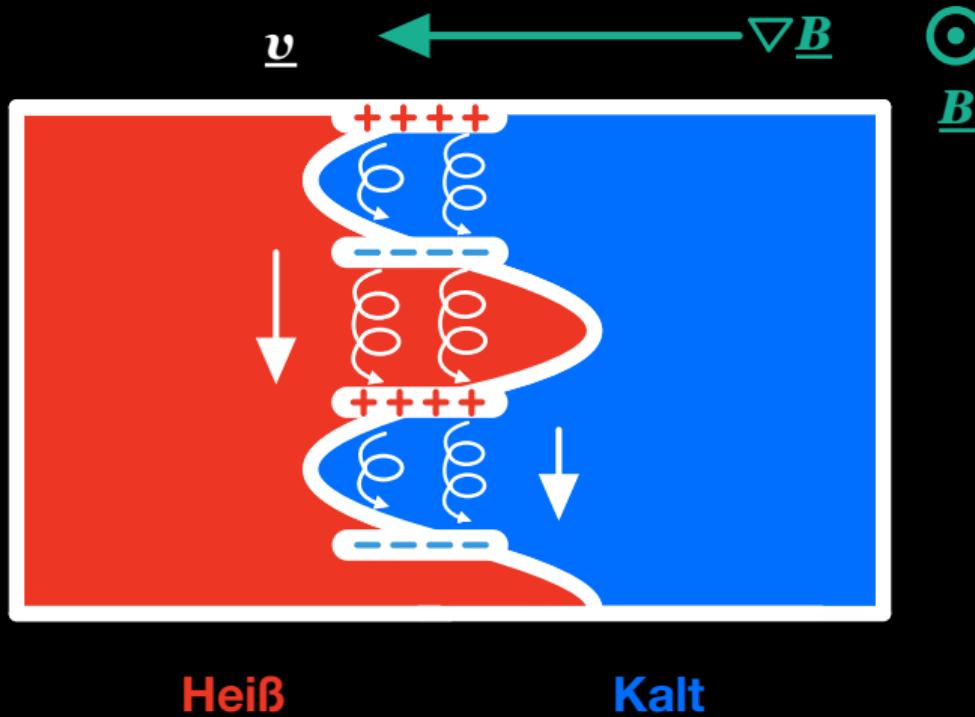
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



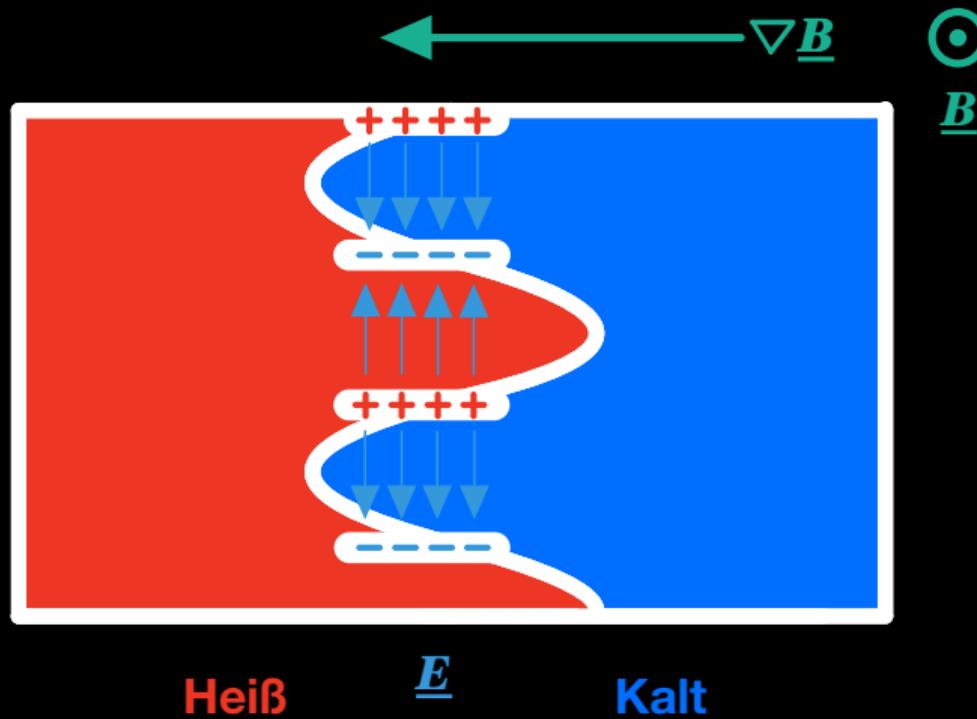
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



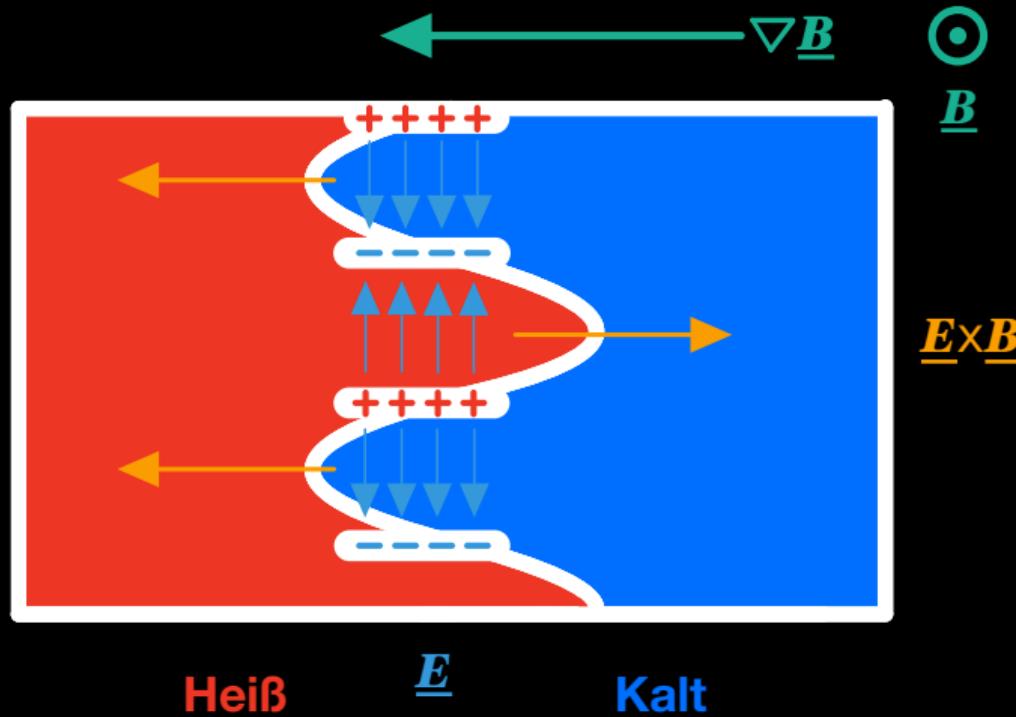
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



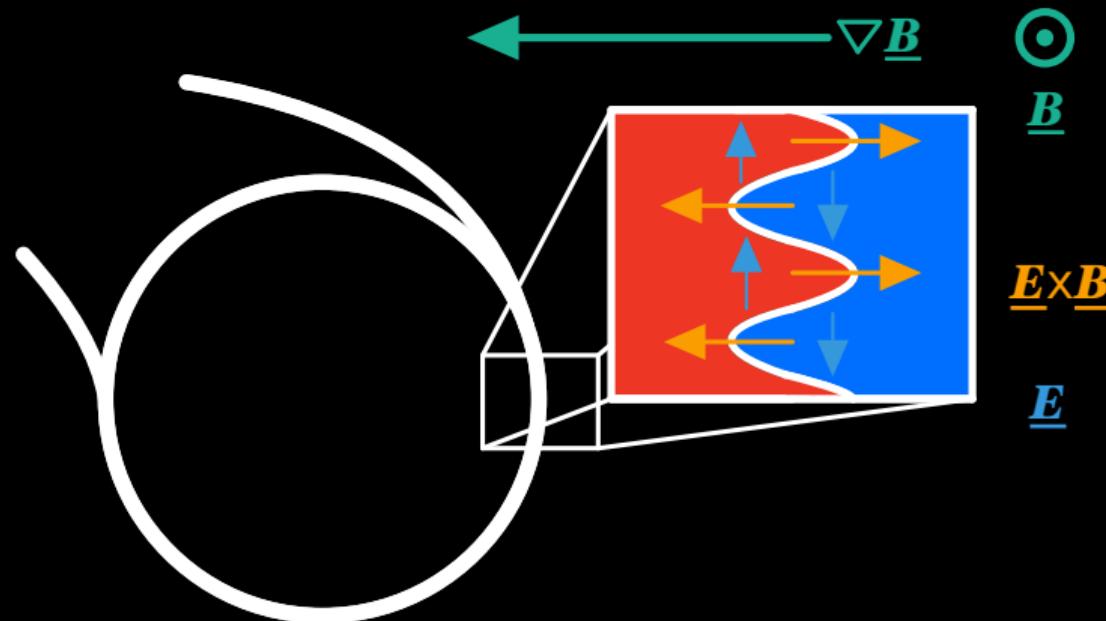
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



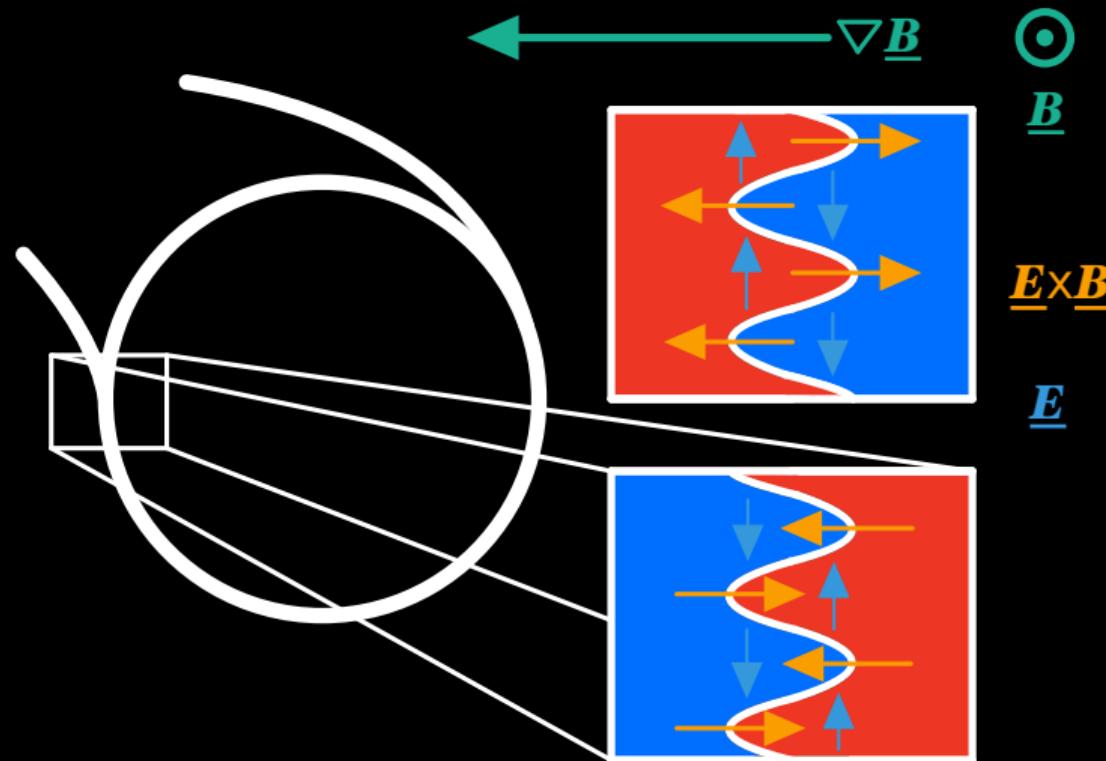
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



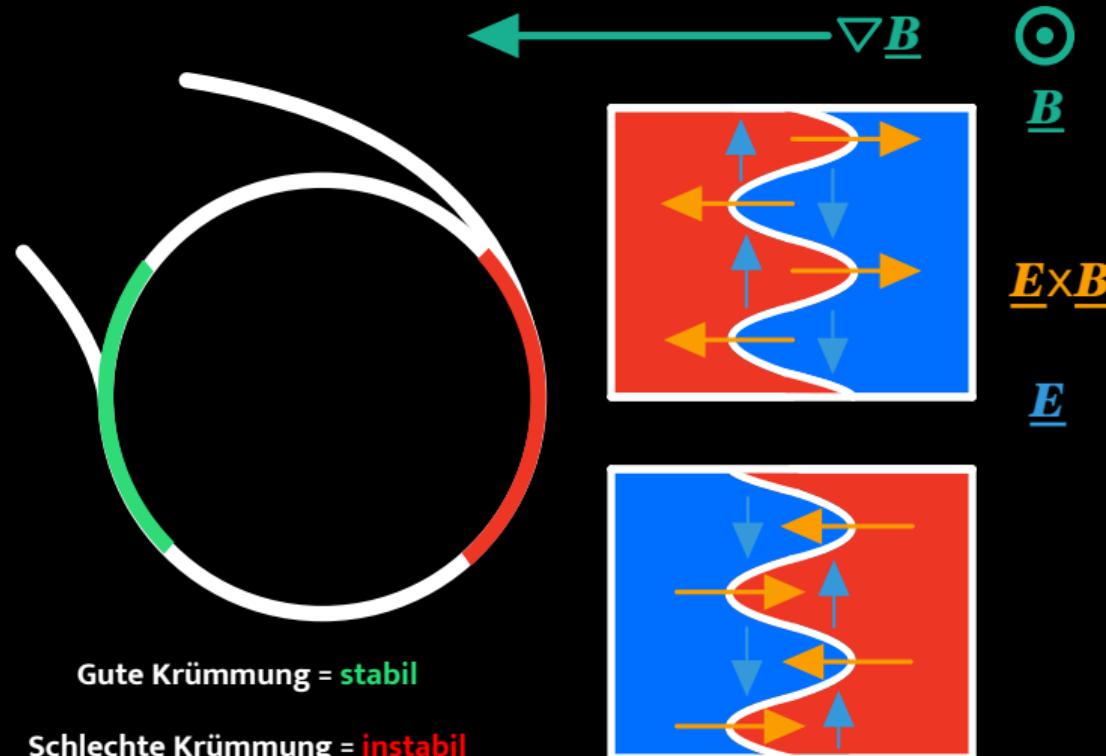
ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND

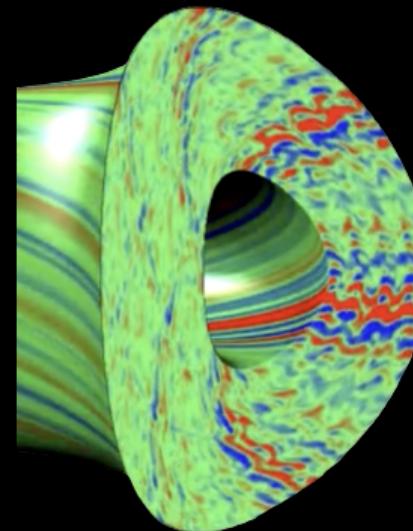


ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



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 Can-dy und Ron Waltz mit Code GYRO

TURBULENZ IM PLASMA STABILISIEREN

ANPASSUNG DER MAGNETFELDLINIENRICHTUNG

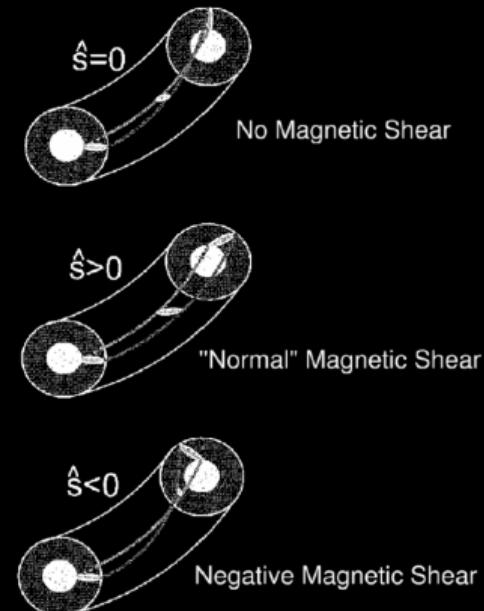
Verdrillen der magnetischen Flussdichte **B** überführt Plasma in stabilen Zustand



TURBULENZEN VERRINGERN

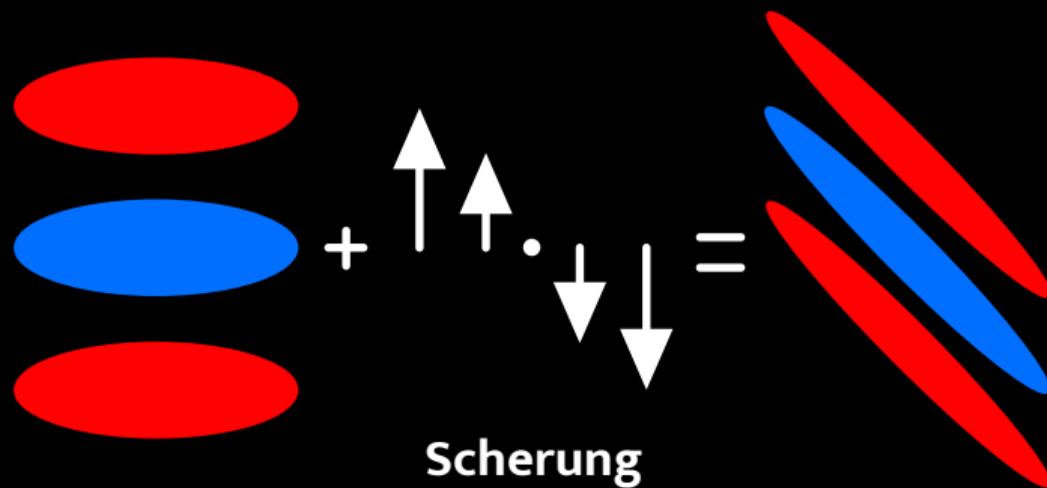
Turbulenzen können mit negativer magnetischen Scherung verringert werden.

- Wirbelströmung verursachende Partikel folgen meistens Feldlinien
- Umkehrung der magnetischen Scherung verdreht Wirbelströmung in kleinen Abständen in Richtung der "Guten Krümmung"
- Umgekehrte magnetische Scherung wird erzeugt durch Quetschung des Magnetfelds bei hohen Plasmadruck
- Durch die Verformung des Plasmas kann sich Scherung lokal verändern



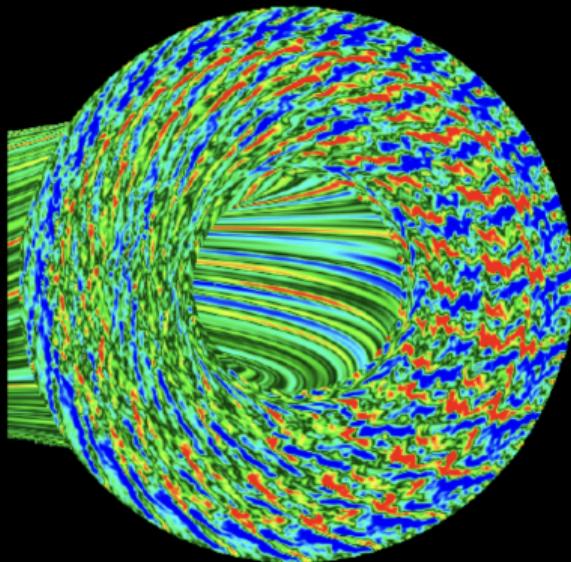
REGELUNG ODER UNTERDRÜCKUNG VON TURBULENZEN

Wirbelströmung, welche größere Längenskalen in "Schlechte Krümmung" transportieren, werden mit Scherung reduziert bis sie sich komplett unterdrücken.

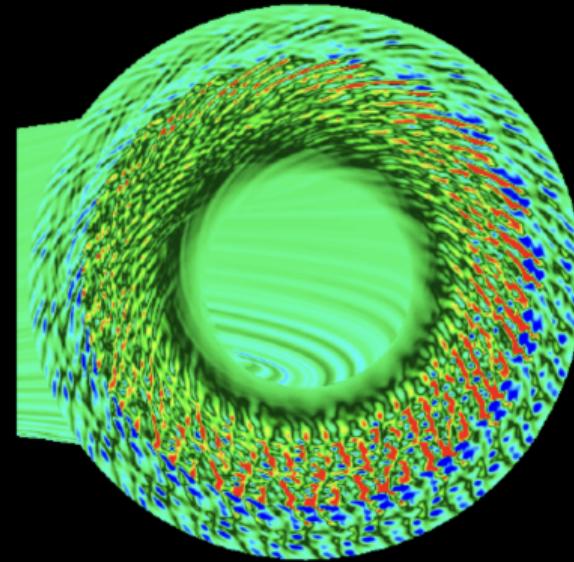


REGELUNG ODER UNTERDRÜCKUNG VON TURBULENZEN

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

