



UNIVERSITÄT  
BAYREUTH

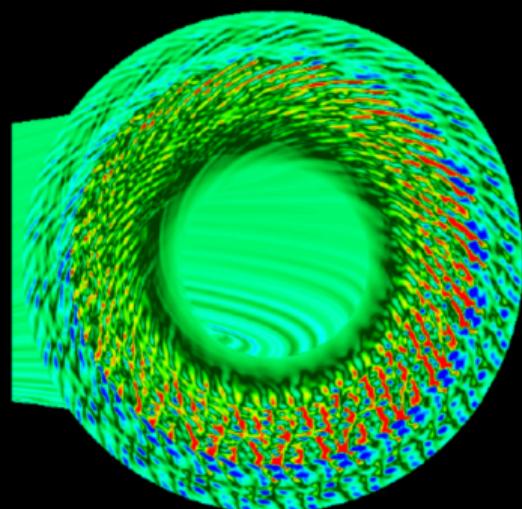
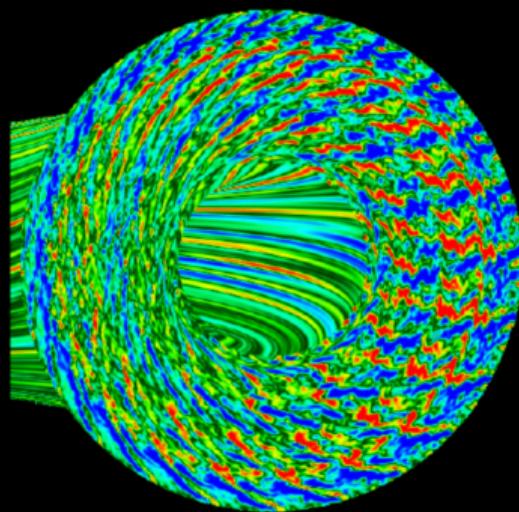
# TURBULENZEN IN PLASMA

Beispiel anhand von Plasma im Tokamak Reaktor

22. März 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

# MAGNETOHYDRODYNAMICHE (MHD) GLEICHUNGEN

## Kontinuitätsgleichung

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

## Navier-Stokes Gleichung

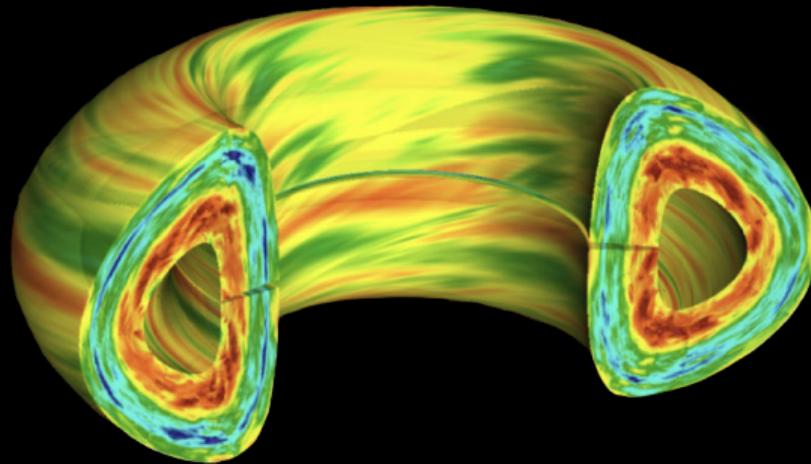
$$\rho \partial_t \mathbf{v} + \rho (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \frac{\mathbf{J} \times \mathbf{B}}{c} + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F}$$

## Maxwell Gleichungen

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

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

## BESCHREIBUNG VON PLASMA IM TOKAMAK REAKTOR

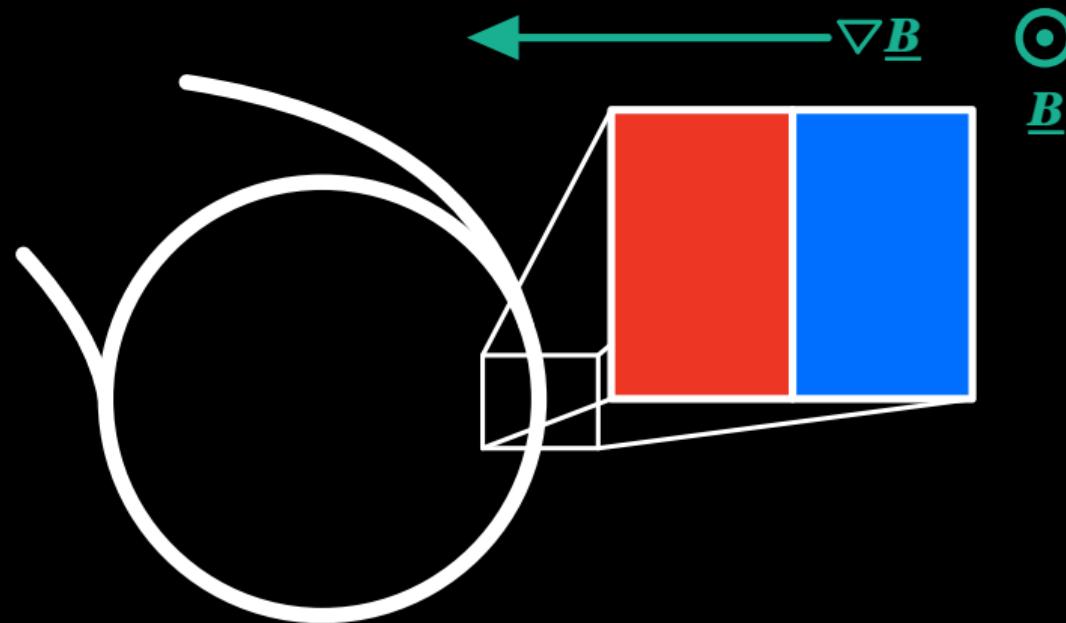


Achtung Instabilität am Plasmarand!

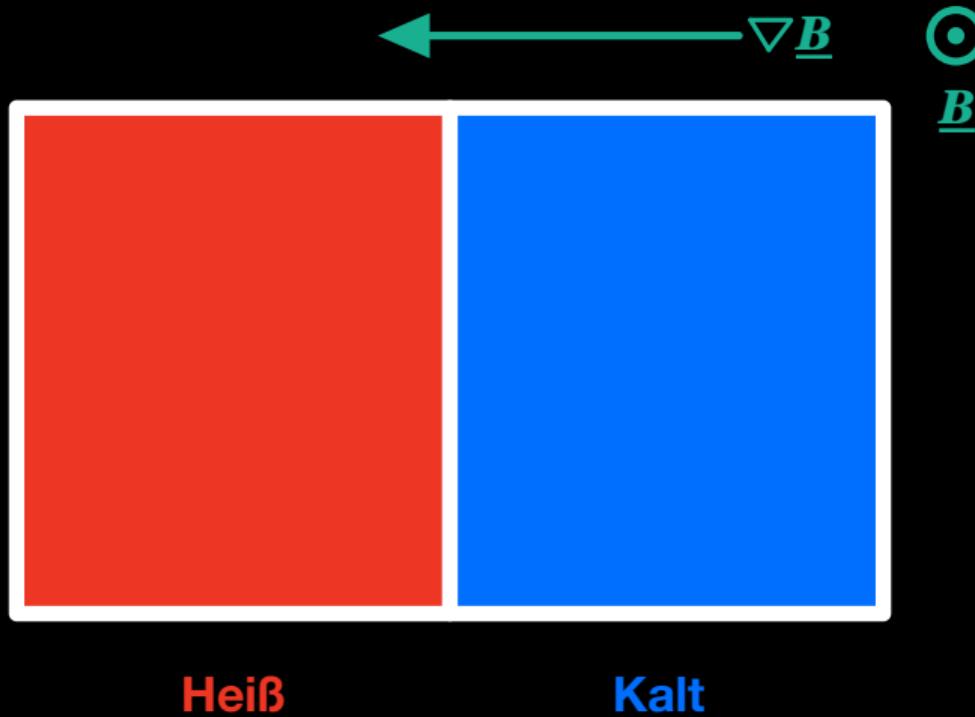
Ionen Temperaturgradient Instabilität  $\approx$  Rayleigh-Taylor Instabilität

# IONEN TEMPERATURGRADIENT (ITG) INSTABILITÄT

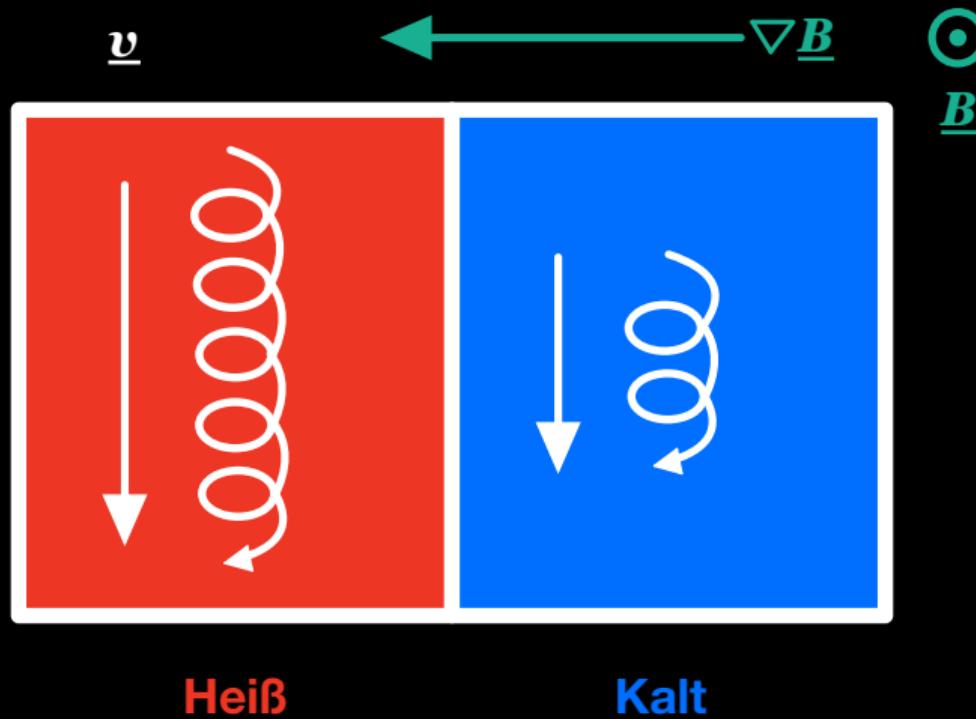
## ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



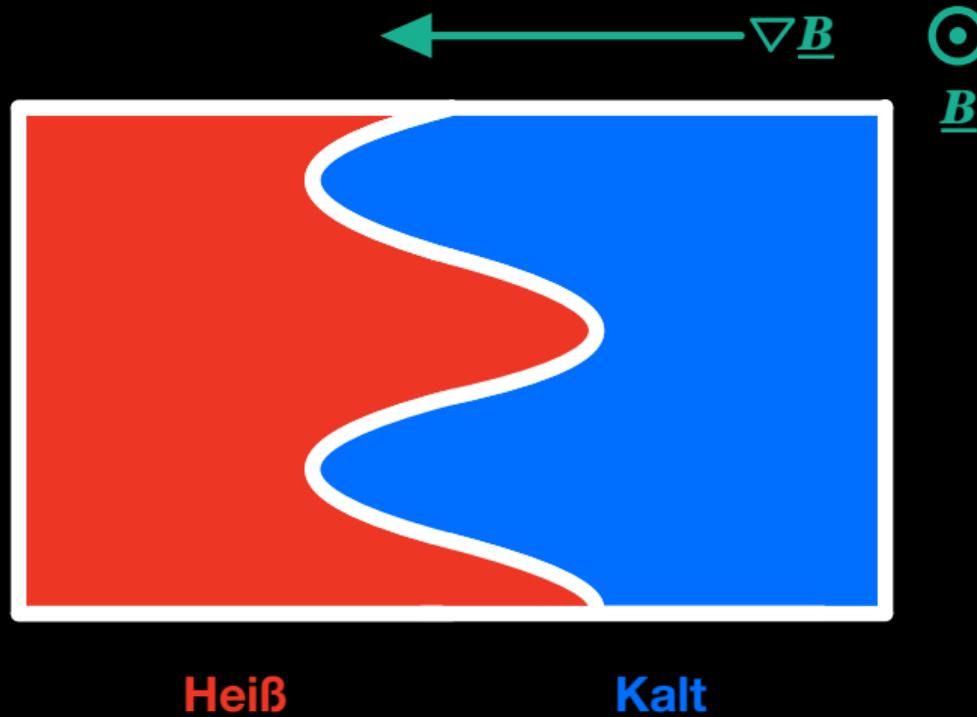
# ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



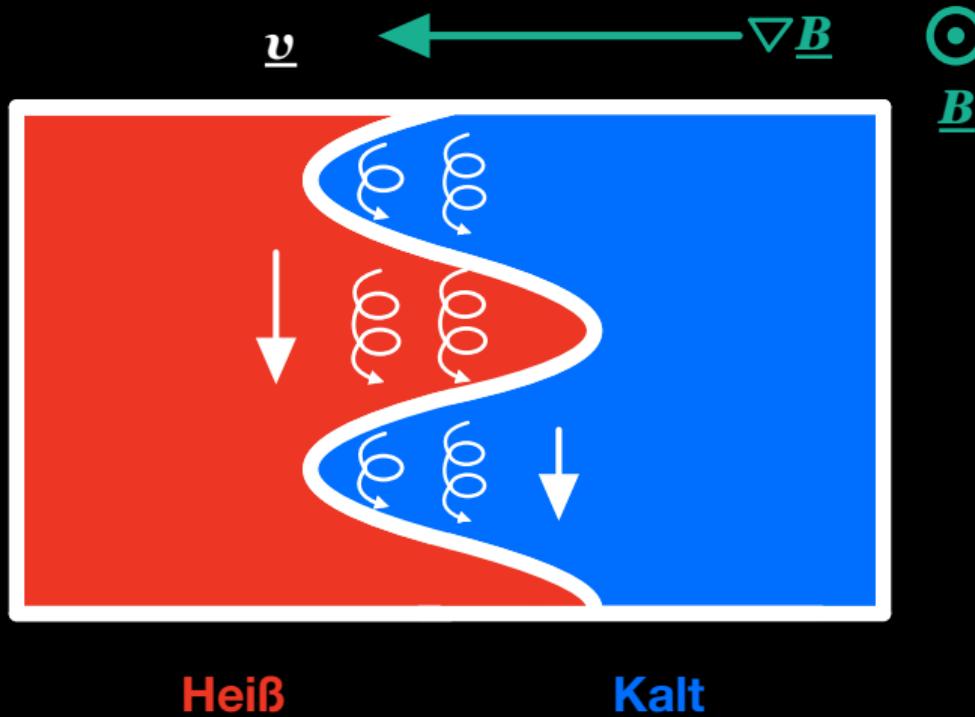
## ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



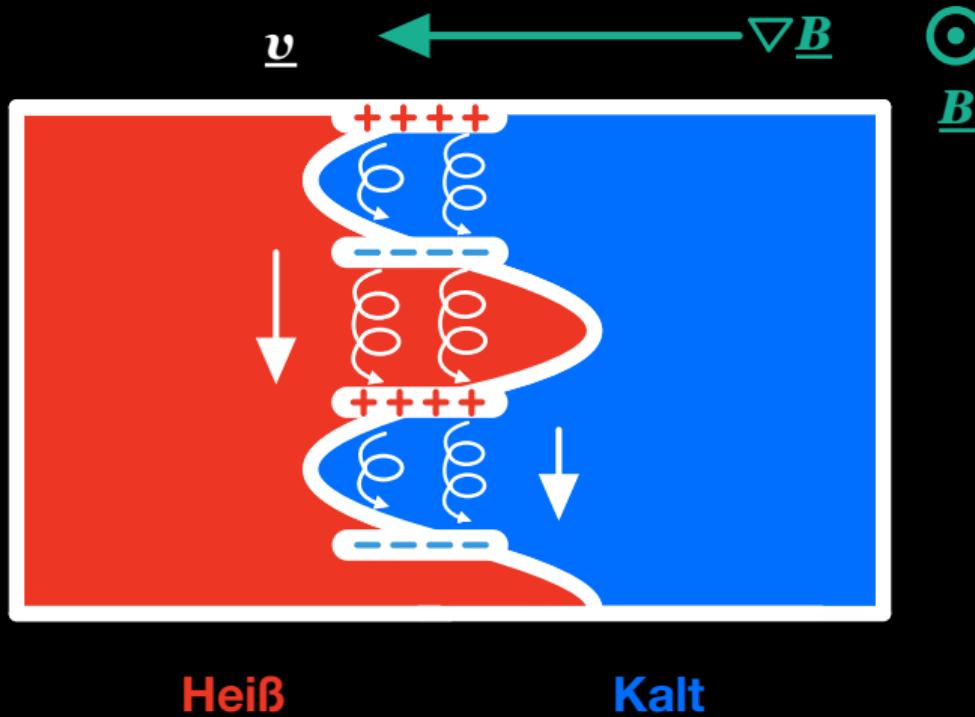
## ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



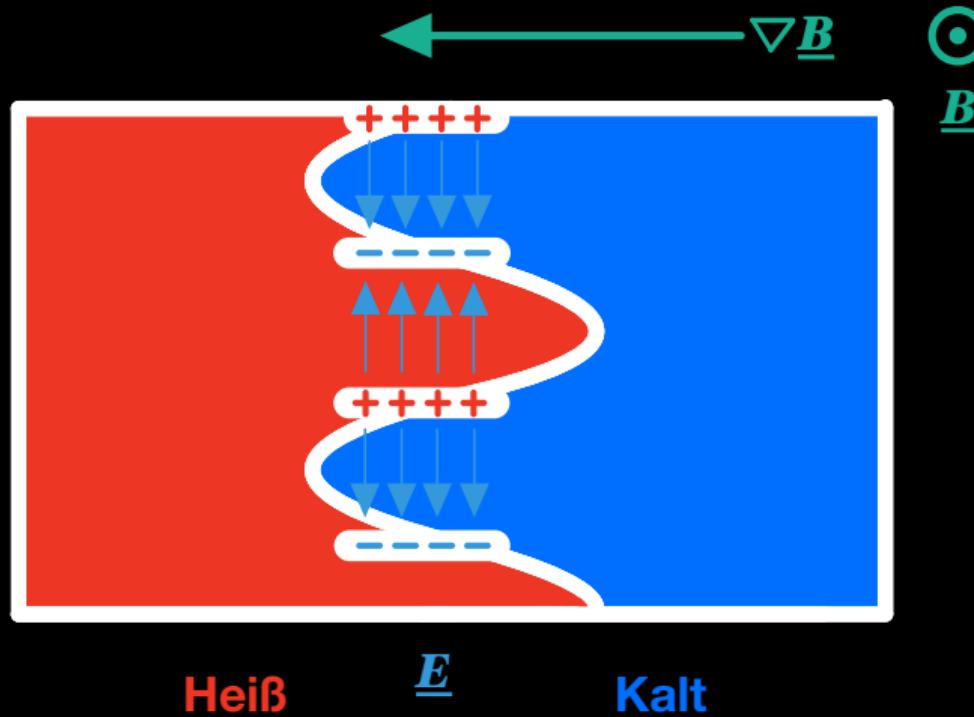
## ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



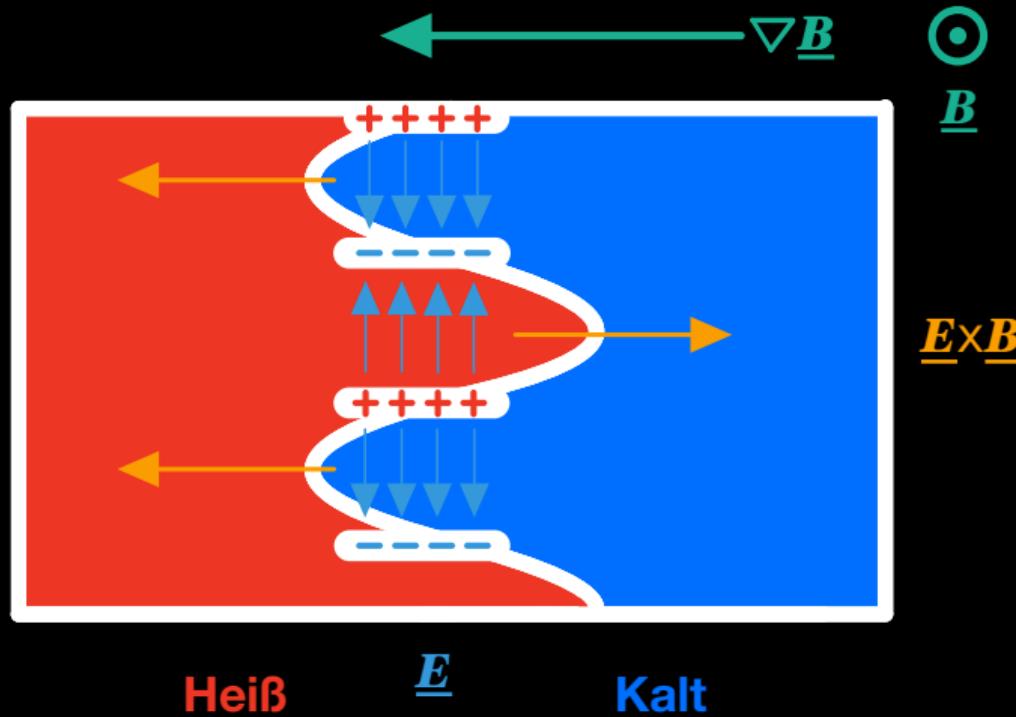
## ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



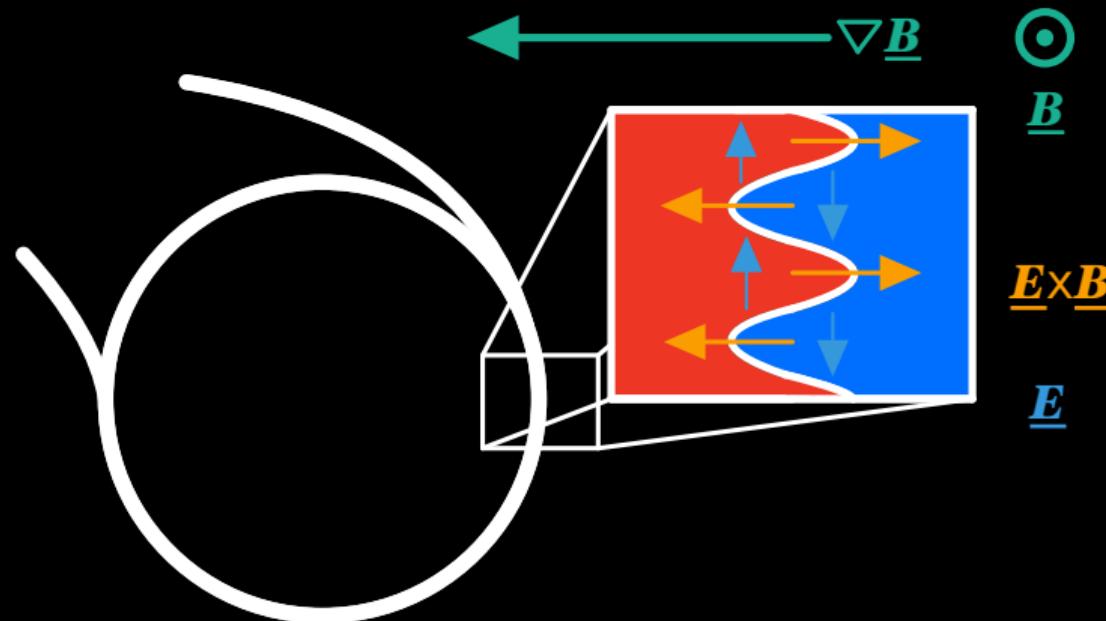
## ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



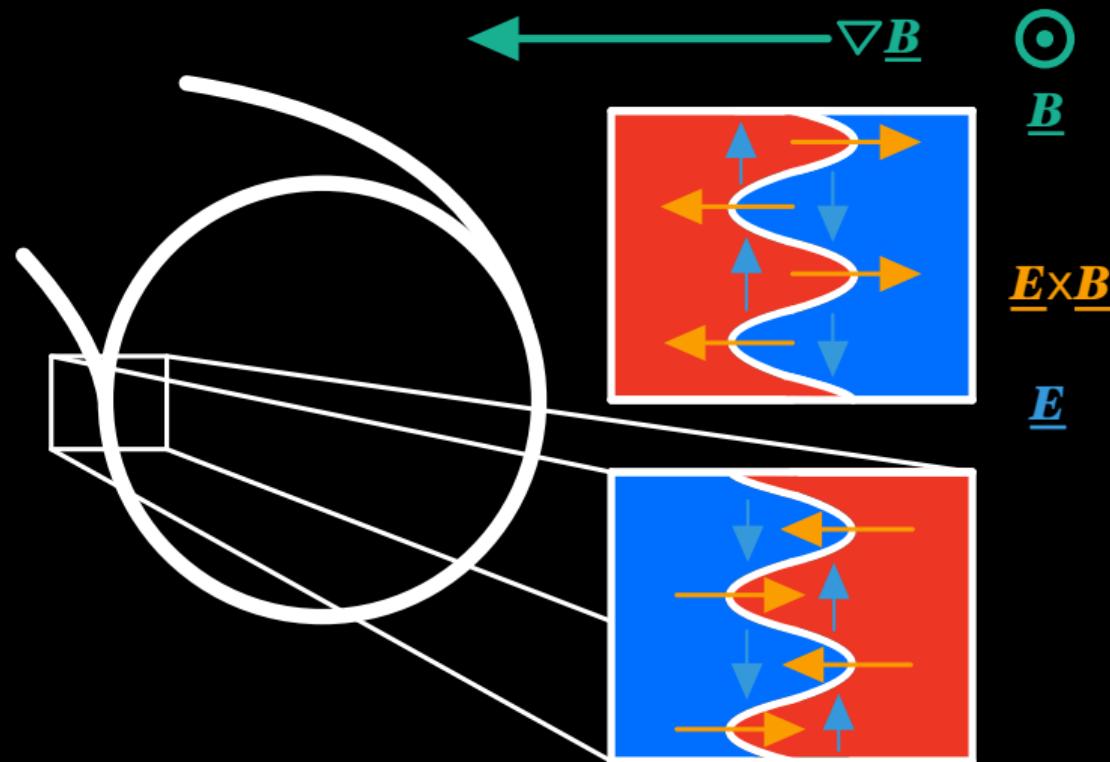
## ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



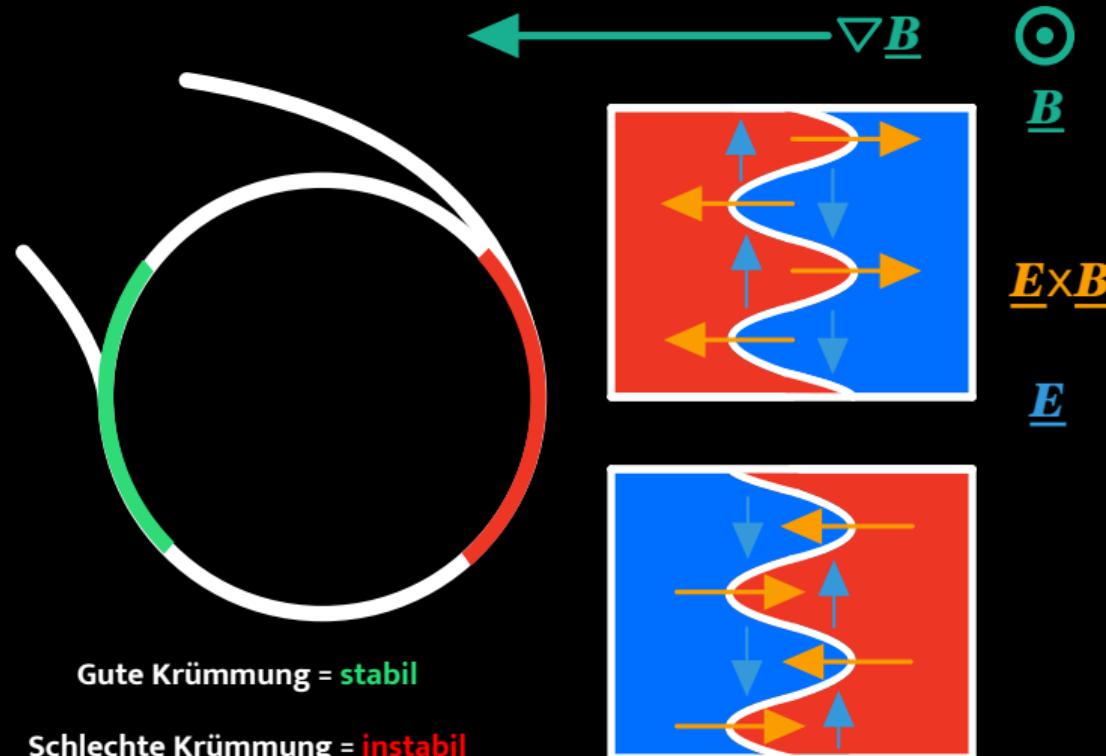
## ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



## ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND

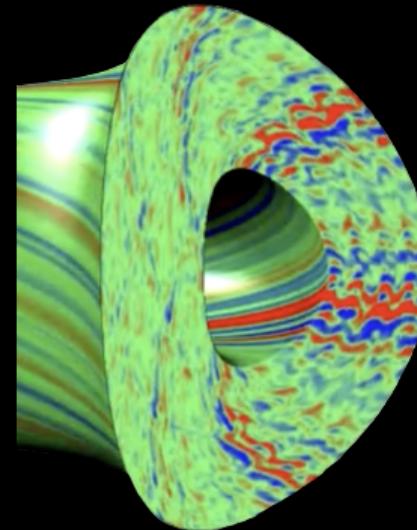


## ITG INSTABILITÄT AM PLASMARAND



## 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)

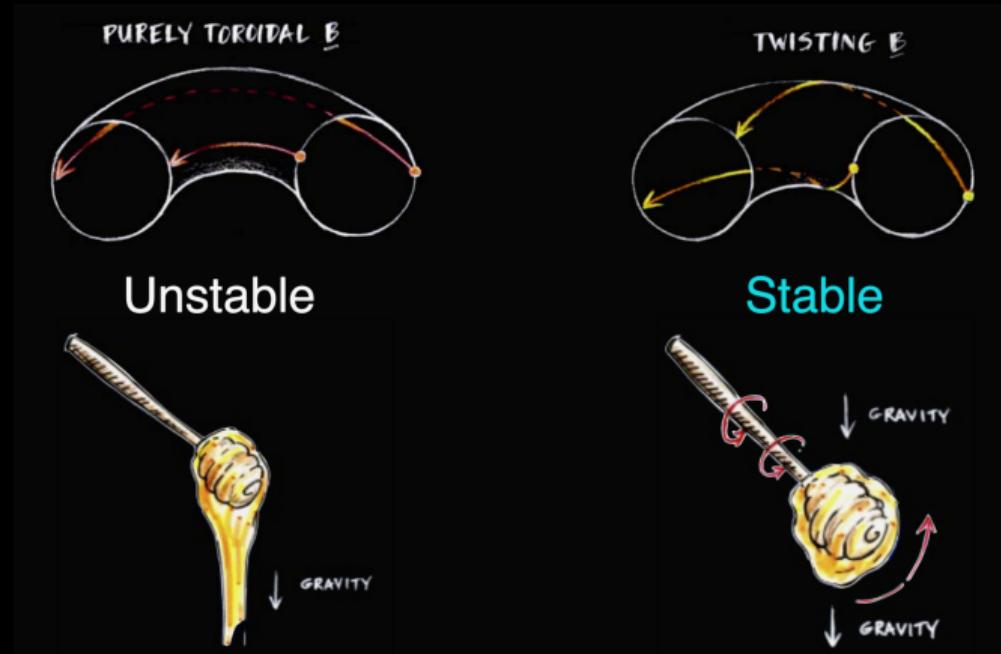


Simulation eines Plasmaschlauch von Jeff Can-dy und Ron Waltz mit Code GYRO

# TURBULENZ IM PLASMA STABILISIEREN

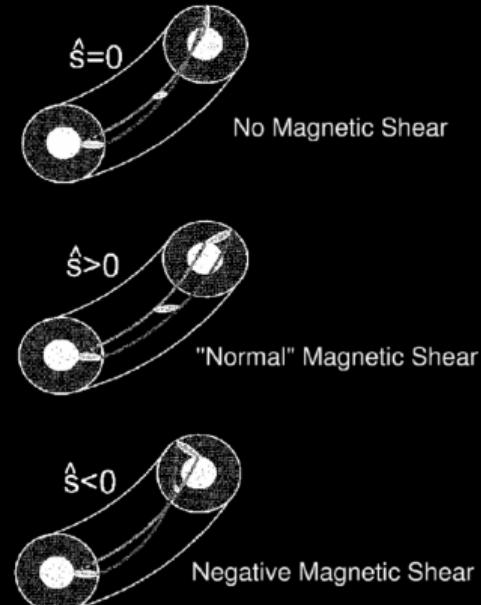
## ANPASSUNG DER MAGNETFELDLINIENRICHTUNG

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



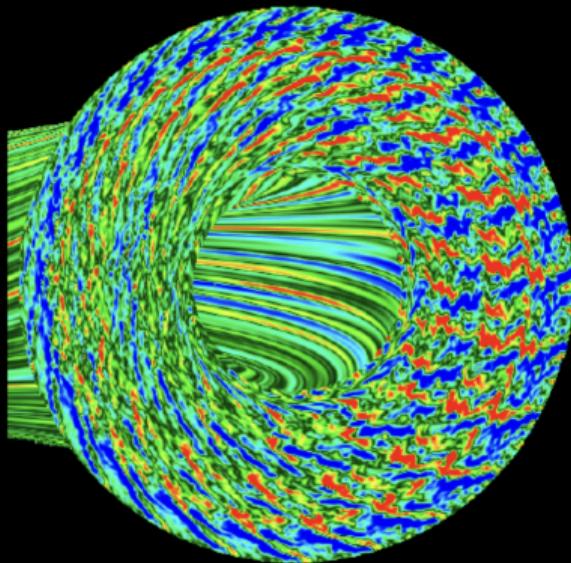
# TURBULENZEN VERRINGERN

- 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

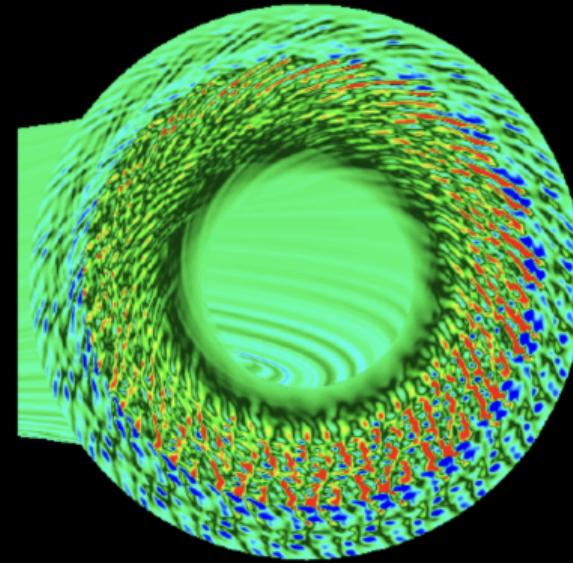


# REGELUNG ODER UNTERDRÜCKUNG VON TURBULENZEN

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

