

Thermomagnetische Konvektion im räumlich modulierten Magnetfeld

S. Anders, A. Lange

Grundlagen und Ziele

Im Zentrum dieser Arbeit steht die, seit Mitte der 60er Jahre bekannte thermomagnetische Konvektion [2]. Dabei ist eine magnetische Volumenkraft für das Einsetzen der Strömung verantwortlich.

Neuere theoretische und experimentelle Untersuchungen zeigen, dass es möglich ist, existierende Stabilitätsgrenzen durch verschiedene Modulationen des Magnetfeldes zu umgehen und so die Konvektion zu verstärken (vgl. [1], [3] und [4]).

Diese Arbeit umfasst die Entwicklung und den Aufbau einer Messzelle. Mit dieser soll in einer Schicht aus Ferrofluid durch eine periodisch räumliche Modulation des Magnetfeldes Konvektion initiiert und nachgewiesen werden.

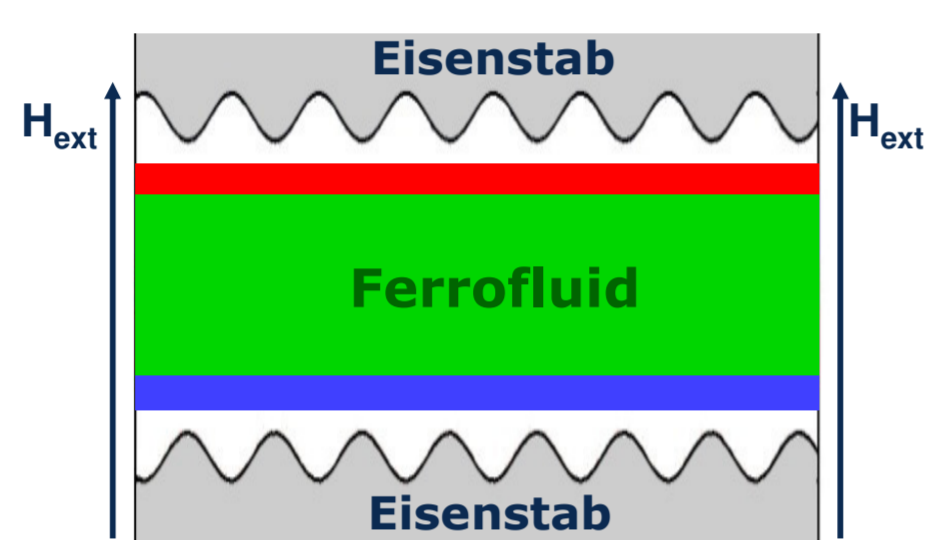


Bild 1: Modellanordnung gemäß [3] mit Ferrofluidschicht und sinusförmigen Eisenstäben zur Modulation des homogenen Magnetfeldes H_{ext} .

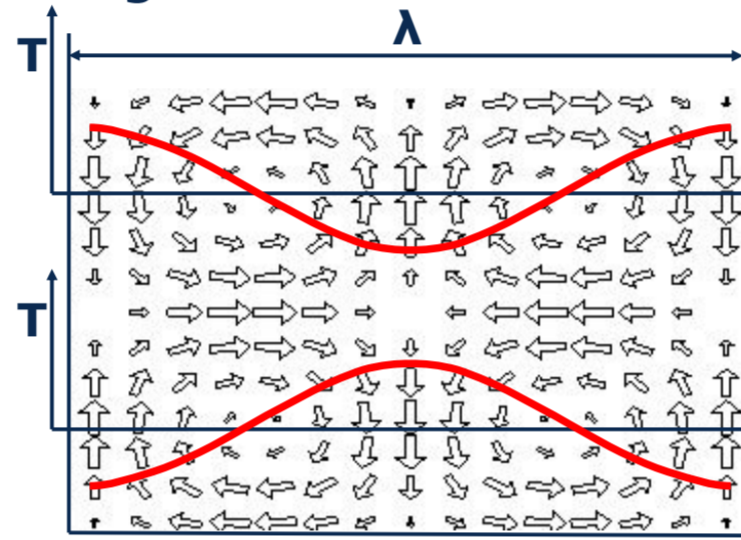


Bild 2: Vorhergesagtes Strömungsmuster gemäß [3] mit vierfach-gepaarten Konvektionsrollen und entsprechender Temperaturmodulation der Wellenlänge λ .

Grundlage dafür bilden das in [3] entwickelte Modell und die entsprechenden analytischen Rechnungen. Demnach existiert für diese Anordnung keine Stabilitätsgrenze, wie sie sonst für freie Konvektionsströmungen typisch ist. Das Strömungsmuster ist durch vierfach-gepaarte gegenläufige Konvektionsrollen gekennzeichnet.

Der Nachweis der Konvektion erfolgt indirekt über eine räumlich aufgelöste Vermessung der resultierenden Temperaturmodulationen in der Fluidschicht. Diese sinusförmigen Modulationen sollen eine quantitative Bestimmung der Strömung ermöglichen.

Aufbau der Messzelle

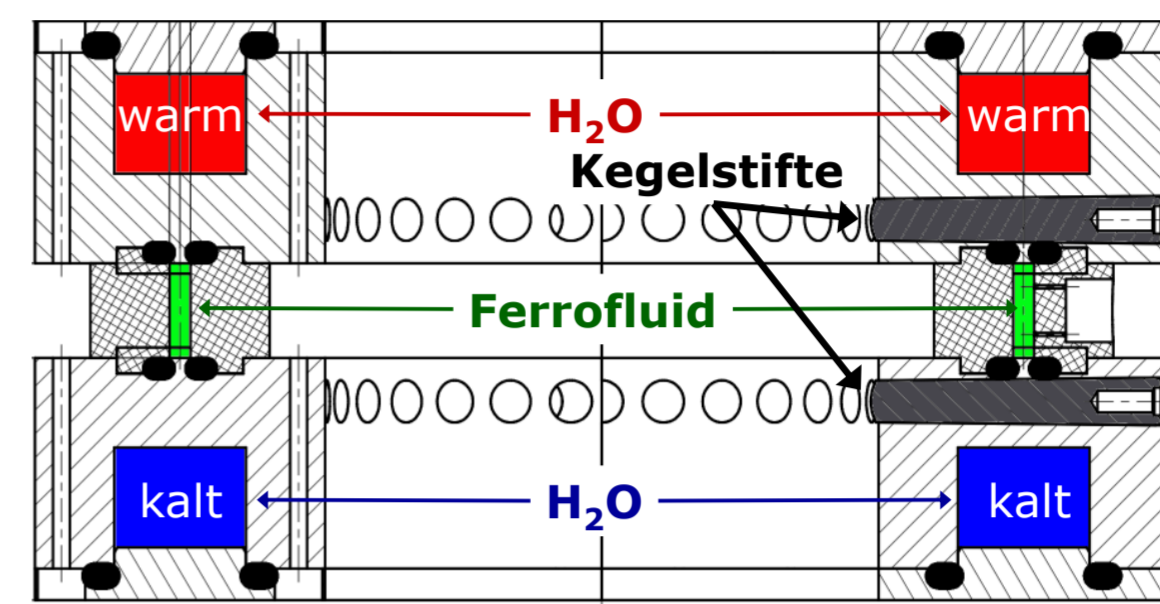


Bild 3: Winkliger Schnitt der Messzelle.

Das Modell wird durch eine Messzelle mit ringförmiger Fluidschicht von 160 mm Durchmesser, 18 mm Höhe und einer Breite von 4 mm umgesetzt. Radial angeordnete, ferritische Kegelstifte ermöglichen eine variable räumliche Modulation des homogenen externen Magnetfeldes. Wasserbäder ober- und unterhalb der Fluidschicht gestatten das Anlegen einer externen Temperaturdifferenz. Die Grundkörper und Deckel der Messzelle bestehen aus Aluminium, die radiale Begrenzung des Fluidspaltes aus einem modularen PVC-Ringsystem.

Mit den gewählten Abmessungen und Werkstoffen resultieren 28 Wellenlängen λ des Konvektionsmusters und eine sinusförmige Modulation der Magnetfeldstärke in Umfangsrichtung von ca. 7.2% bezüglich des Mittelwertes. Für die Temperaturmessung kommen insgesamt 28 NTC-Mikrothermistoren in zwei Reihen zum Einsatz, welche in Umfangsrichtung einen Bereich von zwei Wellenlängen λ überdecken.

Durch die gewählten Sensoren sind Temperaturdifferenzen im mK-Bereich auflösbar.

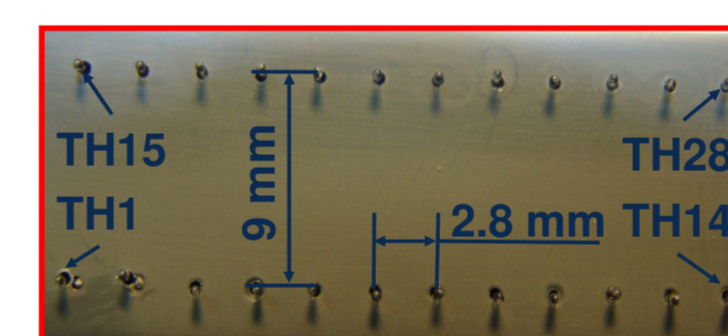


Bild 4: Anordnung der Mikrothermistoren im eingebauten Zustand in radialer Blickrichtung von Innen nach Außen.

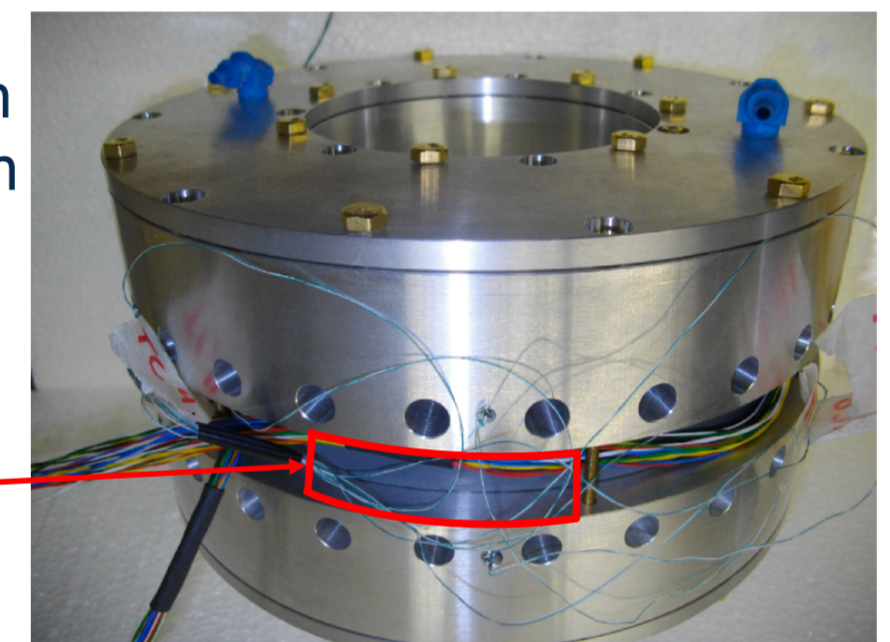


Bild 5: Vollständig aufgebaute Messzelle. Im Bild sind die Wasseranschlüsse sowie die Verkabelung der Temperatursensoren zu sehen.

Ergebnisse

Durch vergleichende Messungen konnte die Vorhersage des Fehlens einer Stabilitätsgrenze im modulierten Magnetfeld bestätigt werden. Die Temperaturverteilung und damit auch der Strömungszustand im Fluid passte sich innerhalb weniger Minuten an sprunghafte Änderungen der Feldstärke an. Die gemessenen Wellenlängen λ betragen ca. 18.7 bis 19.6 mm und lagen damit leicht über dem theoretischen Wert von 18 mm. Während der Messungen konnten Temperaturmodulationen von maximal $2T_A = 3.42$ K festgestellt werden. Genauere quantitative Parameterstudien sind Gegenstand zukünftiger Forschungen.

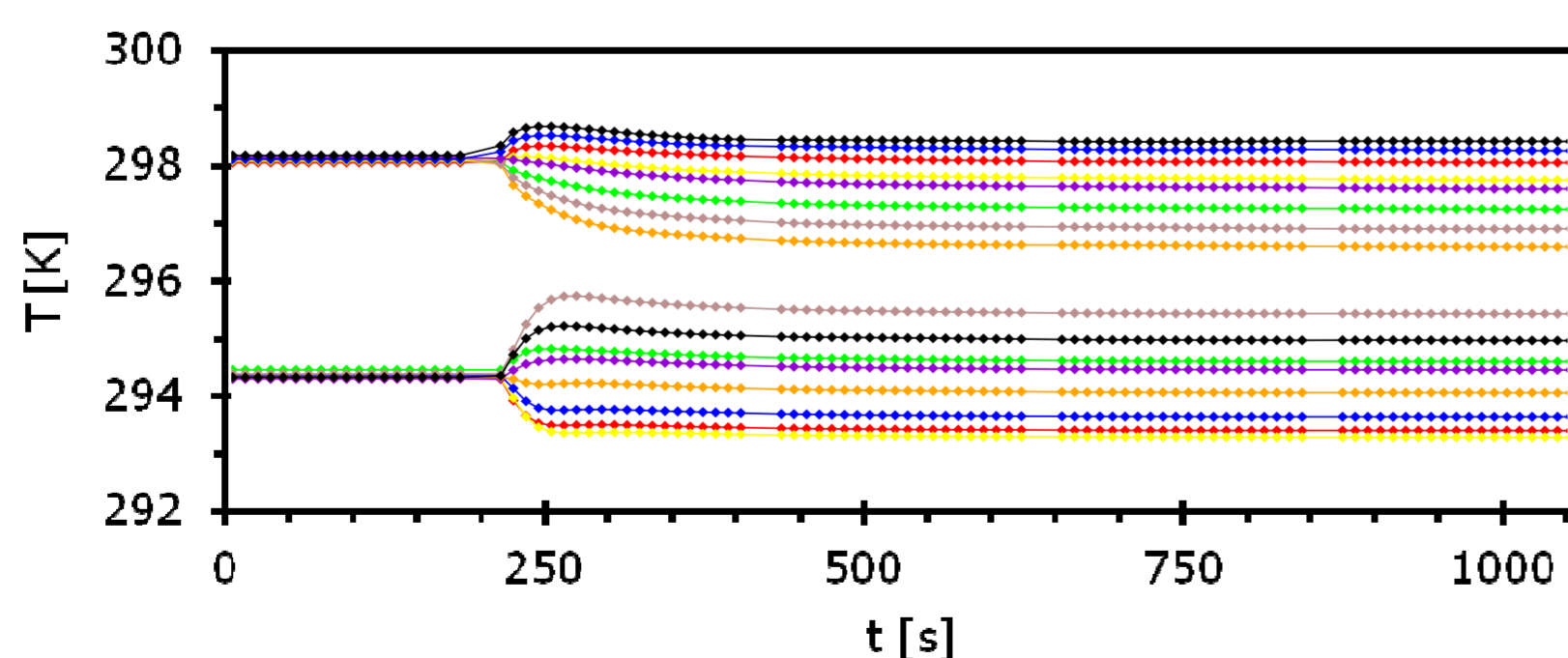


Bild 6: Zeitlicher Verlauf der Messwerte bei thermomagnetischer Konvektion im räumlich modulierten Magnetfeld für eine externe Temperaturdifferenz $\Delta T = 10$ K und $H_{ext} = 50$ kAm⁻¹. Zum Zeitpunkt $t = 222$ s wurde das externe Magnetfeld eingeschaltet.

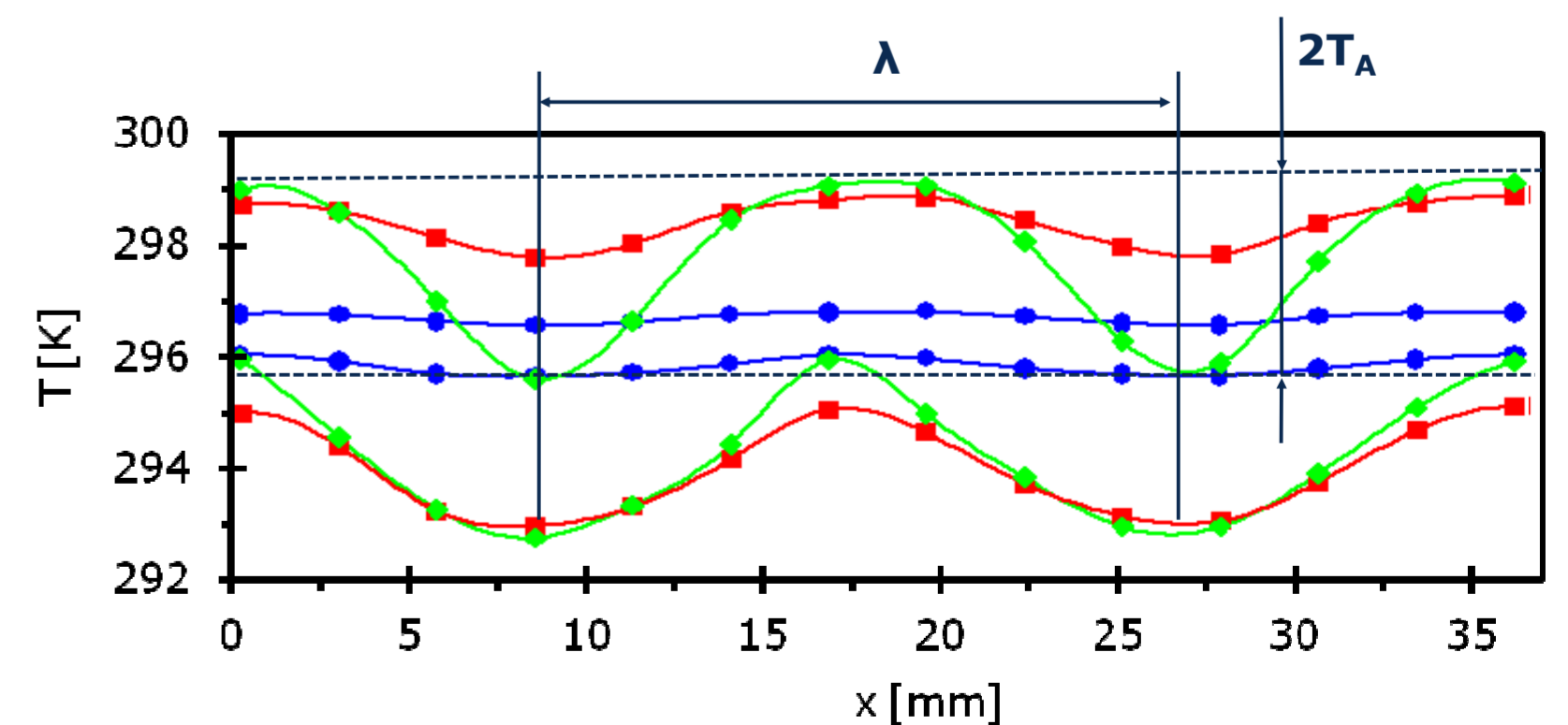


Bild 7: Räumlich aufgelöstes Temperaturfeld für verschiedene externe Temperaturdifferenzen und Feldstärken. ● ($\Delta T = 2$ K, $H_{ext} = 100$ kAm⁻¹), ■ ($\Delta T = 10$ K, $H_{ext} = 25$ kAm⁻¹), ◆ ($\Delta T = 10$ K, $H_{ext} = 100$ kAm⁻¹).

Quellen

[1] Engler, H.: *Parametrische Modulation thermomagnetischer Konvektion in Ferrofluiden*. Dissertation, Technische Universität Dresden, 2010.
[2] Finlayson, B.A.: *Convective Instability of Ferromagnetic Fluids*. Journal of Fluid Mechanics, **40**:753-767, 1970.

[3] Lange, A. und Odenbach S.: *Patterns of thermomagnetic convection caused by long- or shortwave modulation of the magnetic field*. Magnetohydrodynamics, **47**:175-182, 2011.
[4] Odenbach, S.: *Microgravity experiments on thermomagnetic convection in magnetic fluids*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **149**:155-157, 1995.