

VISUALISIERUNG VON LARGE-SCALE STRUKTUREN IN THERMISCHER KONVEKTION MITTELS PIV

A. Maystrenko¹, C. Resagk¹, A. Thess¹, J. Bosbach², C. Wagner², M. Raffel²

¹Fachgebiet Thermo- und Magnetofluidynamik, Fakultät für Maschinenbau, TU Ilmenau, PF 10 05 65, 98684 Ilmenau

²Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt Göttingen, Bunsenstr. 10, 37073

Zusammenfassung

Mittels PIV konnten erstmals groß-skalige Strukturen im turbulenten Geschwindigkeitsfeld bei thermischen Konvektionsströmungen nachgewiesen werden. Die PIV-Feldmessungen in sehr großen Lichtschnittebenen zeigen charakteristische Strömungswalzen in Abhängigkeit vom Aspektverhältnis (A) und Rayleigh-Zahl (Ra). Die Untersuchung dieser large-scale Strukturen erfolgte am zylindrischen Rayleigh-Bénard-Großexperiment „Ilmenauer Fass“ und an der rechteckigen Konvektionszelle „ILKA“, wobei Luft als Arbeitsfluid eingesetzt wurde.

Einleitung

Konvektionsströmungen spielen eine immer wichtigere Rolle in Natur und Technik. Dabei sind die thermischen und fluidmechanischen Prozesse insbesondere bei turbulenten Verhältnissen weitgehend unverstanden (Siggia 1994). Die Ilmenauer Gruppe verfügt mit dem „Ilmenauer Fass“ (Abb. 1) über ein weltweit unikales Modellexperiment zur Rayleigh-Bénard-Konvektion in Luft. Neben der detaillierten Untersuchung des Geschwindigkeits- und Temperaturfeldes in den Grenzschichten ist die Charakterisierung der globalen Strömungsstrukturen im Volumen der zylindrischen Konvektionszelle von großer Bedeutung für die Bestimmung des Wärmestroms.

Zur experimentellen Untersuchung der turbulenten thermischen Konvektion in beiden Versuchszellen stehen folgende Messsysteme zur Verfügung: Mikro-Thermistor zur Temperaturprofilmessung, 2D-LDV zur Geschwindigkeitsprofilmessung sowie 1D-PIV und Stereo-PIV zur Geschwindigkeitsfeldmessung.

Neben der zeitgemittelten Aufnahme von Temperatur- und Geschwindigkeitsprofilen in der thermischen Grenzschicht wurden auch Zeitreihen gemessen und statistisch ausgewertet. Hier zeigen sich bei bestimmten Aspektverhältnissen (Höhe zu Breite der Zelle) und Ra -Zahlen ausgeprägte periodische Fluktuationen, die Gegenstand weiterer experimenteller und theoretischer Untersuchungen sind. Diese kohärenten Oszillationen in den Temperatur- und Geschwindigkeitszeitreihen treten sowohl im „Ilmenauer Fass“ als auch in der Konvektionsbox „ILKA“ auf.

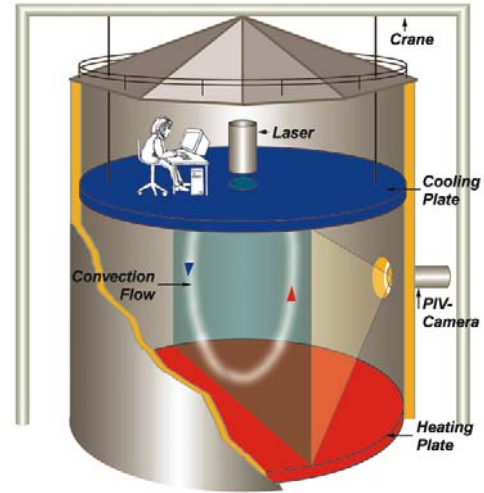
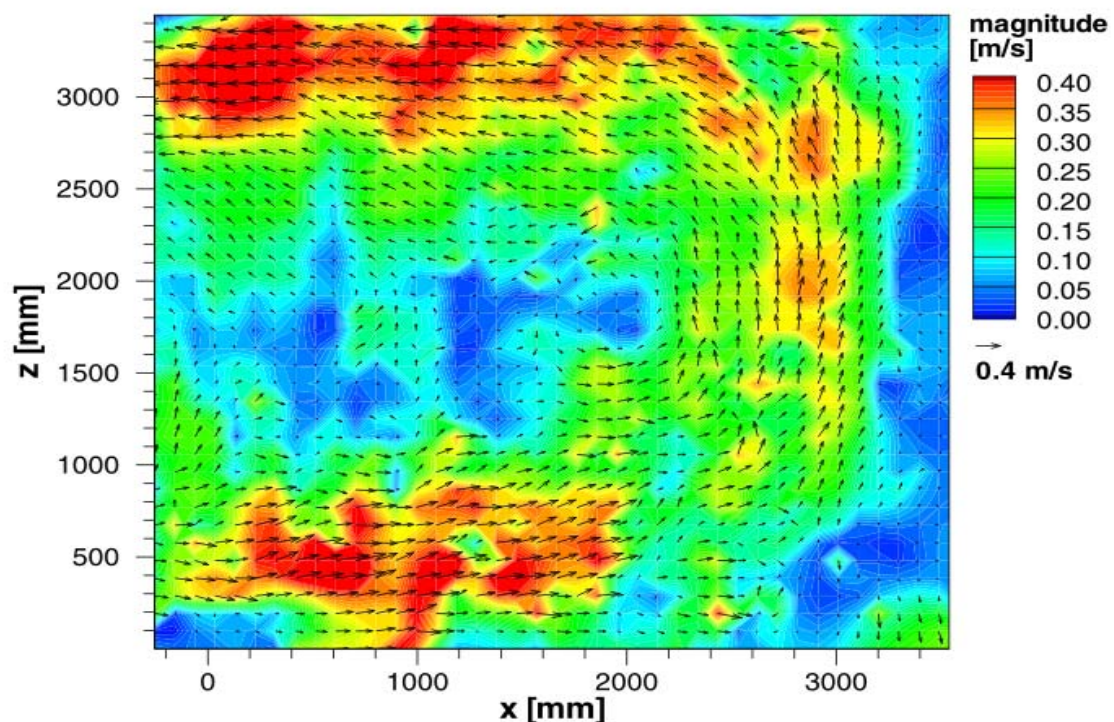


Abb. 1: Außenansicht und schematischer Aufbau der Konvektionszelle „Ilmenauer Fass“

Rayleigh-Bénard-Experiment „Ilmenauer Fass“

Von besonderem Interesse sind die beobachteten kohärenten räumlichen Strukturen in Form von groß-skaligen Rollen und Walzen, die im Widerspruch zum sonst hochgradig turbulenten Charakter der Konvektionsströmung stehen. Aufgrund der große Abmessung der Konvektionszelle mit 7,15 m Durchmesser und 6,30 m Höhe erweisen sich Geschwindigkeitsmessungen mit PIV als große Herausforderung. Mittels eines modifizierten Stereo-PIV-Systems konnten erstmals momentane und zeitgemittelte Geschwindigkeitsfelder (Abb. 2) für die halbe Querschnittsfläche bei einem Aspektverhältnis $A=2$ (Verhältnis Durchmesser zu Höhe). Hier zeigt sich ein Übergang von einer „single-roll“ in eine „dual-roll“ Struktur, womit sich die un stetigen Verläufe in den mit LDV gemessenen Geschwindigkeitsprofilen bei $A=1,8$ und $A=2,7$ erklären lassen (Abb. 3).



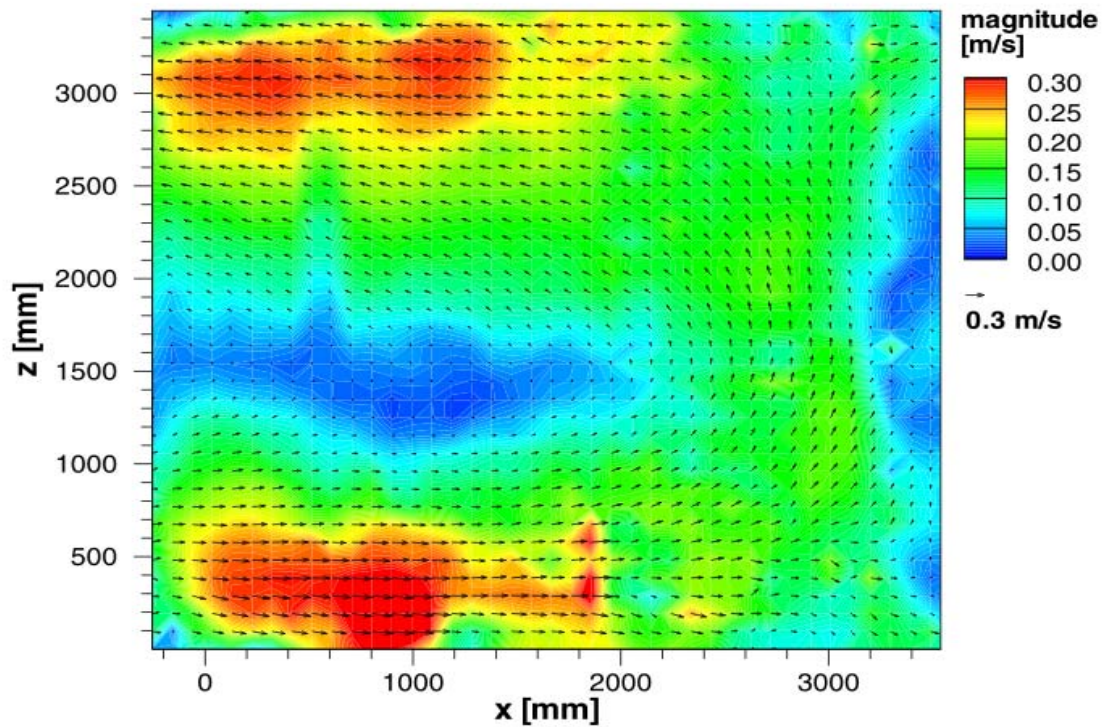


Abb. 2: Momentanes (vorherige Seite) und mittleres Geschwindigkeitsfeld in der halben Querschnittsfläche des „Ilmenauer Fass“ bei einem Aspektverhältnis $A = 2$.

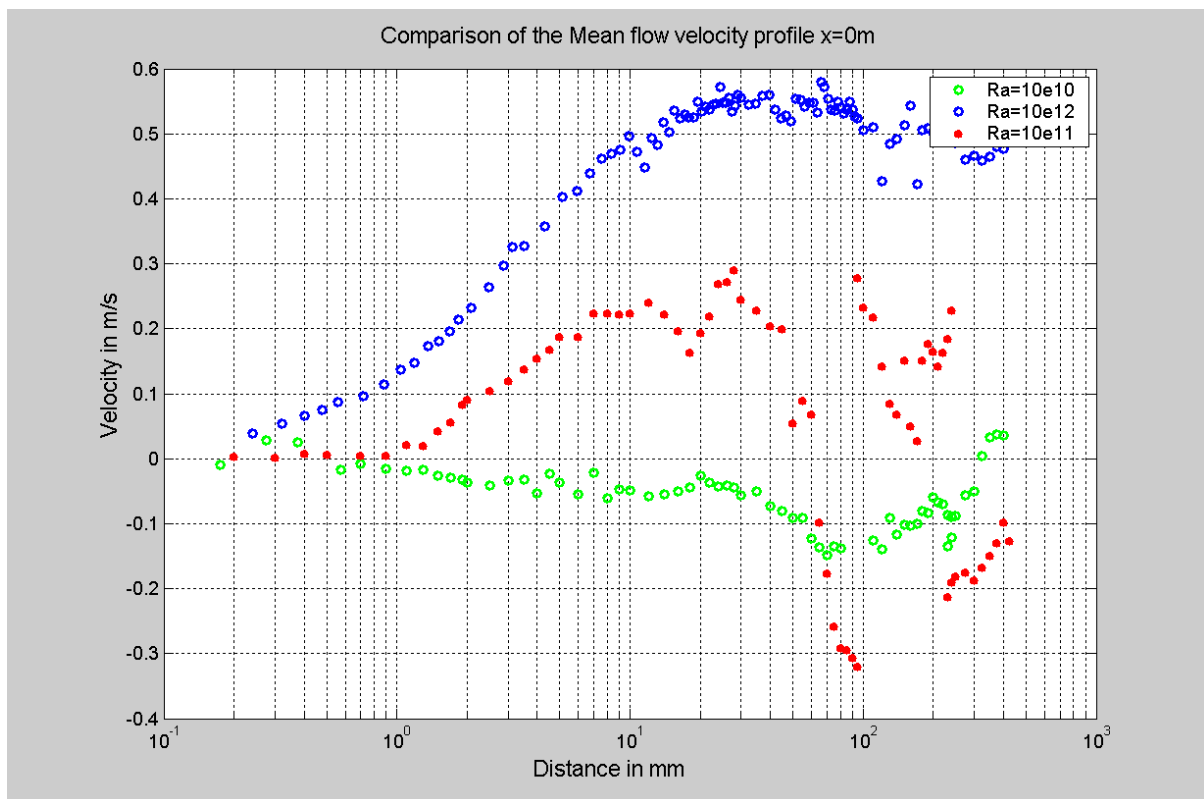


Abb. 3: Geschwindigkeitsprofile in der Grenzschicht des „Ilmenauer Fass“ für die Aspektverhältnisse $A = 1,1$ ($Ra = 10e12$), $A = 1,8$ ($Ra = 10e11$) und $A = 2,7$ ($Ra = 10e10$) (Resagk 2003).

Konvektionszelle „ILKA“

In einer zweiten, rechteckigen Konvektionszelle „ILKA“ (Abb. 4) mit 2,5 m Länge, 0,5 m Breite und 0,5 m Tiefe zeigen PIV-Aufnahmen in drei verschiedenen senkrechten Ebenen einen starken Einfluss der Ra-Zahl (Verhältnis Auftrieb zu Reibung) auf die Form und Lage der Konvektionswalze. Auch hier haben die Temperaturzeitreihen in Grenzschichtpositionen außerhalb der Mitte der Konvektionsbox ausgeprägte kohärente Strukturen (Abb. 5), die auf eine instabile Bewegung von einer oder mehreren Konvektionsrollen hinweisen.

Diese Instabilitäten in den großskaligen Strömungsmustern werden auch bei der Klimatisierung von Räumen und Fahrzeugkabinen beobachtet und führen hier zur erheblichen Verschlechterung von Lüftungsqualität und Behaglichkeit. Aus diesem Grund dienen die begonnenen experimentellen Untersuchungen an der Konvektionszelle „ILKA“ zur systematischen Erforschung der grundlegenden Mechanismen des Zusammenspiels von natürlicher und erzwungener Konvektion.

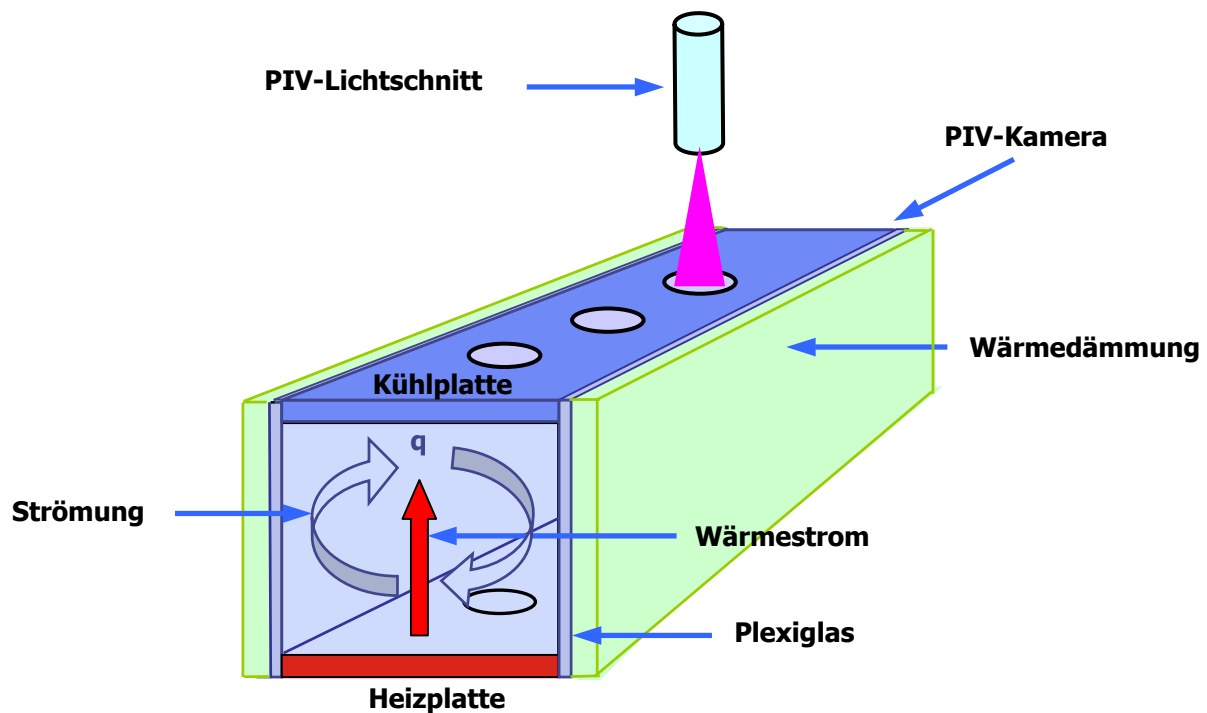


Abb. 4: Konvektionsbox „ILKA“ zur Untersuchung von natürlicher und erzwungener Konvektion in Fahrzeugkabinen.

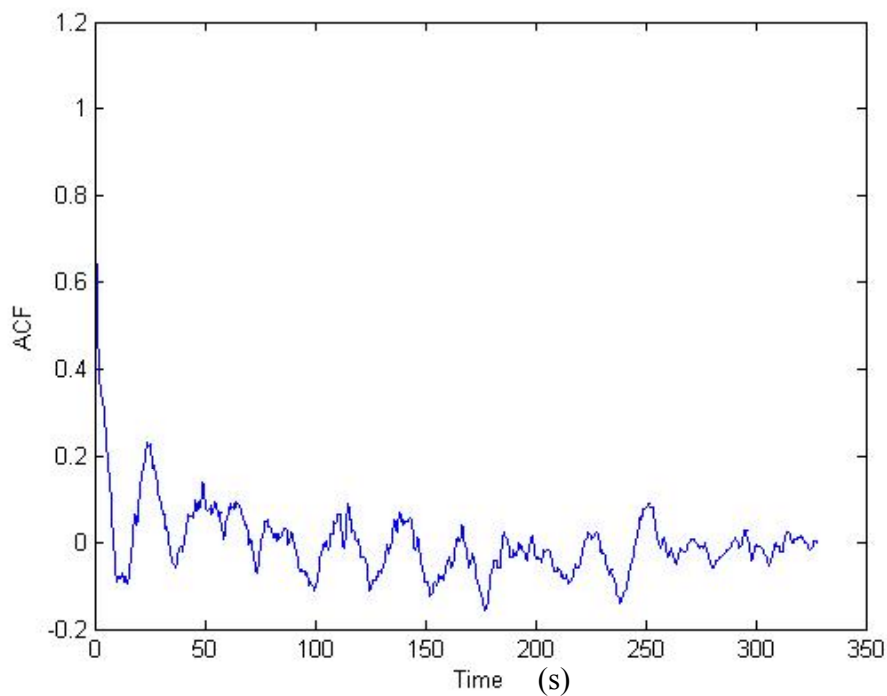


Abb. 5: Kohärente Oszillationen (Autokorrelationsfunktion) im Temperatursignal in der thermischen Grenzschicht im Abstand von 1,250 m von der Mitte der Konvektionszelle.

Dankesworte

Die Autoren danken der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren für die Förderung der Arbeiten an der Konvektionsanlage „ILKA“ im Rahmen des Verbundprojektes „Thermische Konvektion“ (VH-VI-044).

Literatur

Siggia, E. D. (1994): High Rayleigh Number Convection, *Annu. Rev. Fluid Mech.* 1994 26, 137 - 168

Resagk, C., du Puits, R., Busse, F., Tilger, A., Thess, A. (2003): Temperature and Velocity measurements in a large-scale Rayleigh-Bénard-Experiment, *Proc. iTi Conference on Turbulence, Bad Zwischenahn, 21st – 24th September 2003*