

Das Experiment barokliner Wellentank



Abb. 1a Experimentaufbau
Quelle: BTU; Langhof

Unter baroklinen Wellen (Abbildung 6) versteht man wellenförmig verlaufende Strömungsstrukturen im Druck-, Temperatur- bzw. Dichtefeld einer geschichteten und rotierenden Flüssigkeit. Als großskalige Strömungsphänomene transportieren sie Wärme und Drehimpuls durch die Atmosphäre der mittleren Breiten. Da Carl Gustav Rossby sie als Erster für die Erdatmosphäre beschrieb, sind sie in der Meteorologie auch als Rossby-Wellen bekannt. Um barokline Wellen wissenschaftlich zu studieren, benötigt man eine kontrollierte Umgebung, entweder in Form von Laborexperimenten oder numerischen Modellen. Eine solche Forschungsmöglichkeit bietet der barokline Wellentank der BTU Cottbus (Abb. 1a). Er besteht aus zwei co-rotierenden Zylindern, die beheizt bzw. gekühlt werden. Dadurch entwickelt sich eine thermisch getriebene rotierende Strömung, die baroklin instabil sein kann.

Parameter des Messvolumens	eng	mittel	weit
innerer Radius [mm]	R1 95	70	45
äußerer Radius [mm]	R2 116	116	116
max. Fluidhöhe [mm]	H 150	150	150
Spaltweite [mm]	d 21	46	71
Radienverhältnis	h 0,82	0,60	0,39
max. Aspektverhältnis	G 7,14	3,26	2,11
theoretisch mögliche Wellenzahlen	m_min 7	3	2
	m_max 23	9	5
Taylorzahl	Ta $10^3 - 10^6$	$10^4 - 10^8$	$10^5 - 10^{11}$
therm. Rossbyzahl	Ro 0,06 - 247	0,01 - 51	0,006 - 21

Abb. 1b Maximale Parametervariation
Quelle: BTU; von Larcher



Abb. 2a Barred-spiral-Galaxis
Quelle: <http://de.wikipedia.org>

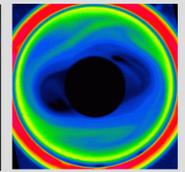


Abb. 2b 2-er Welle im Tank
Quelle: BTU; Alexandrov, Langhof

Das Experiment ermöglicht das Untersuchen einer Vielzahl von Wellentypen, wie: interne und externe Schwerewellen, sowie deren Wechselwirkungen. Die Anwendungsbereiche sind sehr vielseitig, z. B.: Strömungen in Ozeanen, Zyklonenforschung, planetaren Wellen (Abb. 3) und Galaxiebildung (Abb. 2).

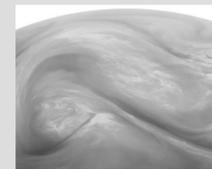


Abb. 3a Satellitenaufnahme
Quelle: MetStröm SS 08; Wernli

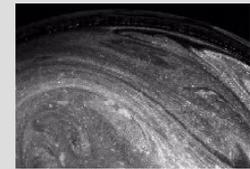


Abb. 3b Strömungsstruktur im Experiment
Quelle: BTU; Alexandrov

Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Messtechnische Untersuchungen

Im Rahmen von Messungen und Datenauswertungen sind eine Diplomarbeit und eine Veröffentlichung entstanden. In erster Linie wurde mit Particle Image Velocimetry gemessen, aber auch mit einfachen Strömungsvisualisierungs- und Thermographiemessverfahren wurde gearbeitet (Abbildungen 2a und 3b). Die Messvorgänge am Experiment lassen sich prinzipiell als Messketten darstellen (Abb. 4) und je nach Verfahren können auch statistische Datenanalysen gemacht werden. Ein Beispiel dafür ist die Particle Image Velocimetry; bei dem Verfahren werden aus zwei nacheinander folgenden Aufnahmen Geschwindigkeitsfelder berechnet. Anschließend werden die Daten auf reguläre Gitter ausgerichtet und an Hand von Empirischen Orthogonalfunktionen in Varianteile aufgespalten (siehe Abbildung 5).

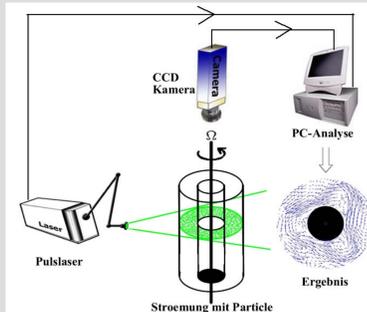


Abb. 4 Messkette
Quelle: BTU; Wang

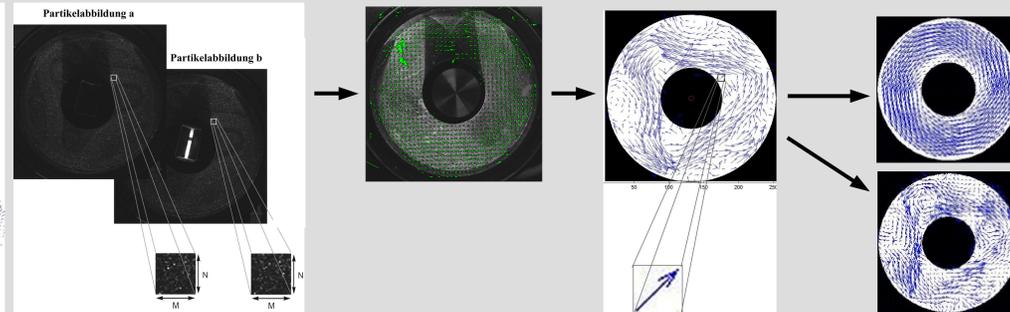


Abb. 5 Messdatenanalyse
Quelle: BTU; Harlander, Wang, Alexandrov

Numerische Untersuchungen:

Simulation von Skalen übergreifenden Strömungen mit PUMA

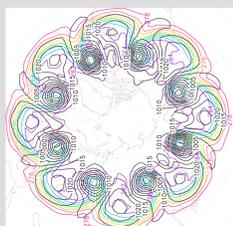


Abb. 6 Großskalige Struktur, Rossby-Welle
Quelle: BTU; Alexandrov

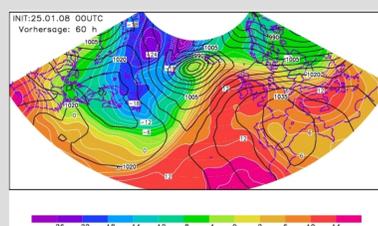


Abb. 7 Kleinskalige Struktur, Wirbelablösung
Quelle: MetStröm SS 08; Frisiusv

Numerische Simulation mit Eulag von Andreas Dörnbrack zum baroklinen Wellentank

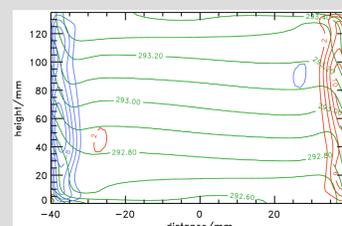


Abb. 8 Testrechnung ohne Zylinderrotation
Quelle: DLR; Dörnbrack

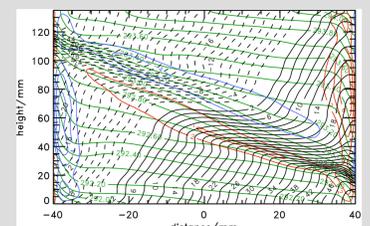


Abb. 9 Testrechnung mit Zylinderrotation
Quelle: DLR; Dörnbrack

Ausblick und Literatur:

Untersuchungsbereich, geplante Arbeiten:

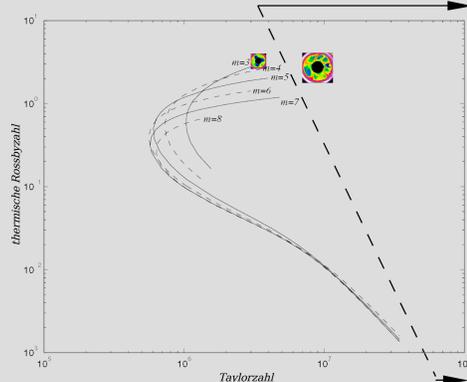


Abb. 12 Stabilitätsdiagramm barokliner Wellen
Quelle: Lewis, Nagata

- Umbau des Experimentes auf mitrotierende PIV-Kamera
- Gleichzeitiger Einsatz von Thermografie und PIV (siehe Abb. 11)
- Ausgabe von Benchmarkmessdaten
- Aktive Strömungsbeeinflussung durch einen Inlay (Abbildung 10)
- Vertikaler PIV-Schnitt

Zusammenarbeit im Projektverbund MetStröm:

- Andreas Dörnbrack: Simulationen mit Eulag
- Oswald Knoth: Simulationen mit ASAM
- Thomas von Larcher: Simulationen mit FspecEM

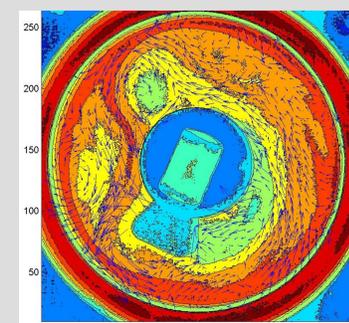


Abb. 11 Simultane Messung von PIV und Thermographie
Quelle: BTU; Langhof



Abb.10 Inlay
Quelle: BTU; Ji

Literatur:

- Sitte, B.; Egbers, Ch. (1998 – 2000): LDA-Messungen, Driftgeschwindigkeiten, Übergang ins Chaos, Attraktorenberechnung, Lyapunov-Experiment
 Lewis, G. M.; Nagata, W. (2004): Linear stability analysis for the differentially heated rotating annulus. Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics.
 Von Larcher, T. (2007): Zur Stabilität barokliner Wellen im starr rotierenden Zylinderspalt. Dissertation BTU Cottbus.
 Wang, Y. (2008): Anwendung des PIV-Messverfahrens auf konvektive und rotierende Strömungen, Diplomaarbeit BTU.
 Harlander, U.; von Larcher, Th.; Wang, Y; Egbers, Ch. (2008): PIV- and LDV-measurements of baroclinic wave interactions in a thermally driven rotating annulus. Experiments in Fluids.