

## UNTERSUCHUNGEN ZUR STRÖMUNG IN EINER AEROLOGISCHEN MESSKAMMER BEI NIEDRIGEN DRÜCKEN

### FLOW INVESTIGATION IN AEROLOGICAL MEASUREMENT CHAMBER UNDER LOW PRESSURE

**V. Motuz<sup>1</sup>, Ch. Egbers<sup>1</sup>, T. Naebert<sup>2</sup>, Ch. von Rohden<sup>2</sup>**

1 - Lehrstuhl für Aerodynamik und Strömungslehre (LAS), BTU Cottbus-Senftenberg,  
Siemens-Halske-Ring 14, D-03046 Cottbus, Germany

2 - Deutscher Wetterdienst, Meteorologisches Observatorium Lindenberg, Richard-Aßmann-  
Observatorium, Am Observatorium 12, 15848 Tauche OT Lindenberg

**Schlagworte:** zylindersymmetrische rotierende Strömung, Strömungsfeld, Verteilung der  
Strömungsgeschwindigkeit, LDA

**Key words:** cylinder symmetrical rotation flow, flow velocity distribution, LDA

#### Zusammenfassung

In der Aerologie werden atmosphärische Parameter mit Ballon getragenen Radiosonden gemessen. Während des Aufstieges führt die Einwirkung von solarer Strahlung auf die Sensoren der Messsonden, die in einer Messkammer montiert sind, zu einer Erwärmung. Diese wird durch die Umströmung der Sonden in der Luft teilweise kompensiert. Der gesamte Erwärmungseffekt kann einige Kelvin erreichen und damit die Messergebnisse negativ beeinflussen. Eine bedeutende Unsicherheitsquelle bei der Datenerfassung liegt dabei in den Annahmen über das Strömungsfeld der Luft in der Messkammer. Um eine reale Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit im Sensorenbereich zu erhalten und die Unsicherheiten bei der Datenerfassung zu reduzieren, wurde das Strömungsfeld in einer zylindersymmetrischen Messkammer in tangentialer und radialer Richtung an drei verschiedenen Messpositionen untersucht. Zur Simulation des sinkenden Umgebungsdruckes wurden diese Messungen in einem Bereich von 1000 hPa bis zu 10 hPa durchgeführt.

#### Einleitung

Bei den aerologischen Experimenten werden im Forschungsbetrieb atmosphärische Parameter mit Ballonaufstiegen gemessen. Zur Quantifizierung des Effektes der Einwirkung der solaren Strahlung auf die Sensoren der Messsonden (Temperatur, relative Feuchte) werden diese in einer evakuier- und ventilierbaren Messkammer kontrollierten Bedingungen ausgesetzt. Mit Hilfe der in der Messkammer erhobenen Daten soll die Einwirkung des Erwärmungseffektes auf die Sensoren bei der Datenevaluation korrigiert werden. Die ermittelte Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit in der Messkammer erlaubt die Analyse von umfangreichen bestehenden und zukünftigen Daten im Hinblick auf die Strahlungskorrektur zu präzisieren und wird damit zu einer Verbesserung der Datenqualität von Radiosondenmessungen essentiell beitragen, siehe Dirksen et al. 2014.

Die Strömungsgeschwindigkeit ist eine wesentliche Größe zur Parametrisierung der Strahlungskorrektur. Das Messen dieser soll nach Möglichkeit mit Hilfe eines berührungslosen Messverfahrens mit geeigneter räumlicher Auflösung realisiert werden, da das Einführen von Sonden berührend messender Messverfahren in die Messkammer zur Strömungsstörung im Bereich des Sensors führen würde. Darüber hinaus stellt die Positionierung der Messsonde in dem begrenzten und geschlossenen Raum der Messkammer eine technisch sehr aufwendige Aufgabe.

### Experimentelle Anordnungen

Bei dieser Untersuchung wurde die Strömung in tangentialer und radialer Richtung ( $U$  und  $V$ ) in der evakuier- und ventilierbaren Strahlungsmesskammer des Meteorologischen Observatoriums Lindenberg (MOL) unter fünf Druckstärken von 1000 hPa bis zu 10 hPa für drei verschiedene Messpositionen untersucht, siehe Abbildungen 1 und 2. Die MOL-Messkammer stellt einen geschlossenen Zylinder (Höhe 110 mm, Durchmesser 320 mm) mit einem Glasdeckel an der Oberseite und einem Radialventilator mit geraden Schaufeln im Inneren dar. Der Ventilator der MOL-Messkammer hat drei gerade Rotorflügel. Die Länge und die Höhe des Rotorflügels betragen 80 mm und 100 mm. Der Abstand vom Flügelende bis zu inneren Kammerwand ist ungefähr gleich der Länge des Flügels selbst. Die Spannungsversorgung des Ventilators wurde durch einen 24 Volt Gleichstrom Netzteil mit einstellbarer Spannung realisiert. Der Druck in der Messkammer wurde mit Hilfe einer Vakuumpumpe durch eine dafür vorgesehene Öffnung mit einem Ventil kontrolliert. Für Laser-Doppler-Anemometrie (LDA) Messungen wurden durch eine weitere Öffnung mit Ventil Di-Ethylhexyl-Sebacat (DEHS) Partikel von einem Partikelgenerator (Fa. Topas, ATM-230) eingelassen. Zur Ermittlung der beiden Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit,  $U$  und  $V$ , wurde ein 2D-LDA-Messsystem (Fa. Dantec Dynamics) in Rückwärtsstreuanordnung eingesetzt. Die Messsonde des verwendeten LDA-Messsystems hatte eine Sendelinse mit einer Brennweite  $f$  von 310 mm. Bei einer Laserwellenlänge von  $\lambda = 488$  nm, einem Laserstrahldurchmesser von  $2r_0 = 1.35$  mm und einem Schnittwinkel von  $\theta = 7.14$  Grad hat das Messvolumen eine Abmessungen von  $dx = 0.143$  mm,  $dy = 0.143$  mm und  $dz = 2.332$  mm. Das für die Positionierung der LDA Messsonde eingesetzte 3D-Traversierungssystem (Fa. Isel) hat eine minimale Schrittweite von  $6.35$   $\mu$ m. Die gesamte experimentelle Anlage zur Untersuchung des Strömungsfeldes in der MOL-Messkammer, einschließlich Vakuumpumpe, Traversierungs- und 2D-LDA Messsystem ist in der Abbildung 3 dargestellt.

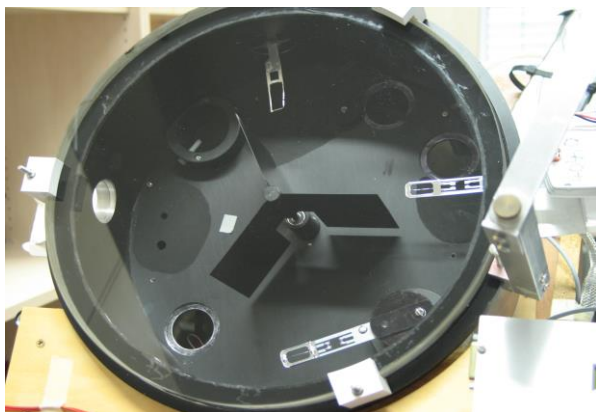


Abbildung 1. Strahlungsmesskammer des Meteorologischen Observatoriums Lindenberg

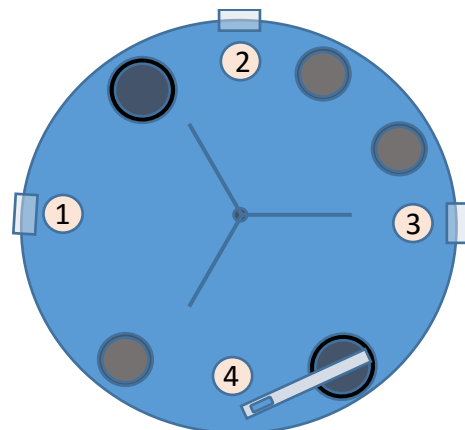


Abbildung 2. Bezeichnung der Messpositionen in der Strahlungsmesskammer

Zusätzlich zur Vermessung des Strömungsfeldes wurde im Rahmen dieser Untersuchung eine einmalige Kalibrierung der MOL-Strahlungsmesskammer bezüglich des Strömungsfeldes bei verschiedenen Druckbedingungen und an drei verschiedenen Messpositionen durchgeführt.



Abbildung 3. Experimentelle Anlage zur Untersuchung des Strömungsfeldes in der MOL-Messkammer.

Zum Vermessen des Strömungsfeldes wurden 3 Positionen hinsichtlich der Stellen zum Einbau von Messsonden in der Messkammer vordefiniert, siehe Abbildung 2. Für jede Position wurden 4-5 Messzyklen bei Labortemperaturen für jeweils voreingestellte Ventilations- und Druckstärken durchgeführt. Bei der Festlegung des Koordinatensystems wurde der Schnittpunkt des Kammerrandes und der Kammerboden als der Referenzpunkt, bei dem sich vertikale und horizontale Achsen kreuzen, vorgegeben, siehe Abbildung 4. Die radiale Achse (Abszisse) ist vom Kammerrand zur Rotorachse gerichtet und deren Koordinaten werden als  $R_r$  bezeichnet. Um eine objektive Information zur Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit an den interessierenden Messpositionen zu erhalten, wurden die Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich des Querschnittes von  $R_r \times Y = 60 \times 90 \text{ mm}^2$  für jede der vordefinierten Positionen und Druckstärken mit einem Schritt von 10 mm vermessen. Die Positionierung des Messbereiches (Messfeldes) ist für jede der 3 Messpositionen gleich und kann aus Abbildung 4 entnommen werden.

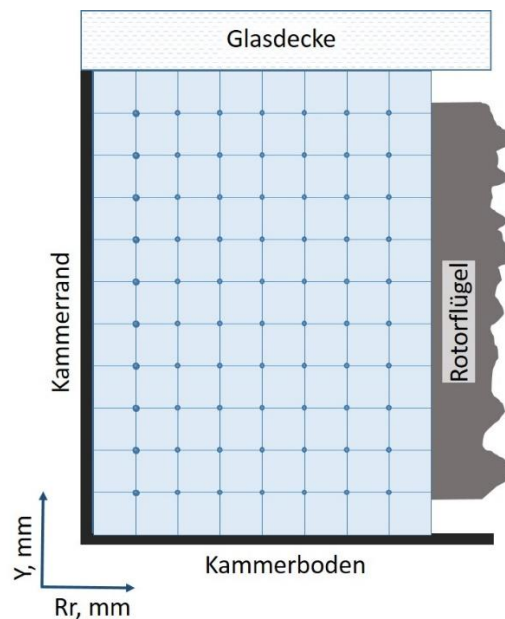


Abbildung 4. Festlegung des Koordinatensystems und des Messgitters

## Ergebnisse und Diskussion

Da die Strömungsgeschwindigkeit in der Messkammer von regelbaren Spannung des Ventilators und von der Druckstärke abhängig ist, wurde für die Folgende Evaluierung zuerst eine Kalibrierung der Strömungsgeschwindigkeit in der Mitte des definierten Messfeldes, siehe Abbildung 4, durchgeführt. Dafür wurde für fünf unterschiedliche Versorgungsspannungen des

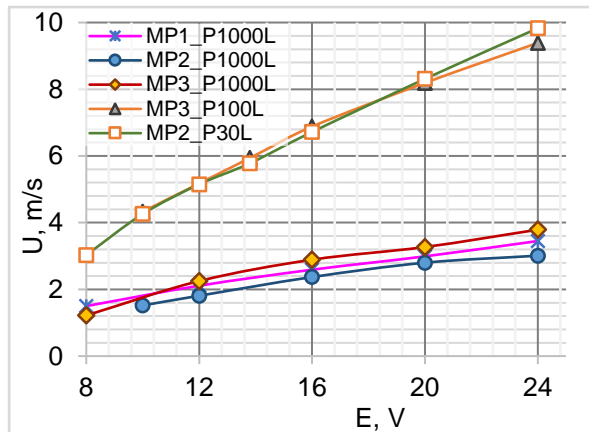


Abbildung 5. Kalibrierungskurven beim normalen und niedrigen Druck für alle drei vordefinierte Messpositionen.

Kalibriermessungen weisen eine deutliche Abhängigkeit der Kurvensteigung des Strömungsgeschwindigkeitsprofils von der Druckhöhe in der Messkammer auf. Beim normalen Druck haben die drei Profile der Messpositionen die gleiche Steigung mit einem geringen Steigungswinkel. Beim niedrigen Druck ist die Kurvensteigung des Strömungsgeschwindigkeitsprofils deutlich größer, siehe Abbildung 5.

Nach der Kalibrierung der Messkammer in hinsichtlich der Versorgungsspannung des Ventilators wurde für jede der drei Messpositionen die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit bei den Umgebungsdrücken 1000 hPa, 100 hPa, 30 hPa, 15 hPa und 10 hPa ermittelt. Diese Ermittlung betrifft die beiden Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit (tangential  $U(y, Rr)$  und radial  $V(y, Rr)$ ). Die Druckreduzierung in der MOL-Messkammer durch die Vakuumpumpe führte zur erheblichen Reduzierung des Partikelgehaltes in der Strömung. Da eine optimale Partikelkonzentration in der Strömung die notwendige Bedingung eines sicheren Messens des LDA-Messsystems ist, mussten die Messungen der Strömungsgeschwindigkeit bei niedrigen Drücken in Abhängigkeit des Partikelgehaltes und der Messposition in zwei oder drei Schritten durchgeführt werden. Die im Laufe der Untersuchung ermittelten Profile der Strömungsgeschwindigkeit weisen die allgemeine Tendenz auf, dass die Strömung in der MOL-Messkammer stark inhomogen und turbulent ist. Das Maximum der tangentialen Komponente der Strömungsgeschwindigkeit  $U(y, Rr)$  befindet sich in einem Gebiet das nah an den Rotorflügeln und in der Mitte der Kammerhöhe liegt. Diese Tendenz gilt für jede Messposition und ist bei allen vorgegebenen Drücken von 1000 hPa bis 10 hPa zu beobachten. Die tangentielle Strömungsgeschwindigkeit  $U$  erhöht sich jedoch mit dem Druckabstieg in der Messkammer, trotz die Minderung der Versorgungsspannung des Ventilators, siehe die Abbildungen 6 und 7. Bei dem Druck von 1000 hPa (normalen bzw. atmosphärischen Druck) war die Versorgungsspannung des Ventilators 24 Volt, beim Druck von 15 hPa betrug diese nur 10.3 Volt. Der Unterschied in den Profilen der Strömungsgeschwindigkeit für Messposition 1 und Messposition 2 (Abbildung 6 und Abbildung 7) ist dadurch zu erklären, dass es neben der Messstelle 2 eine zum Sondeneinbau notwendige Erhöhung im Boden der Messkammer gibt, die den Strömungsverlauf in diesem Gebiet beeinflusst.

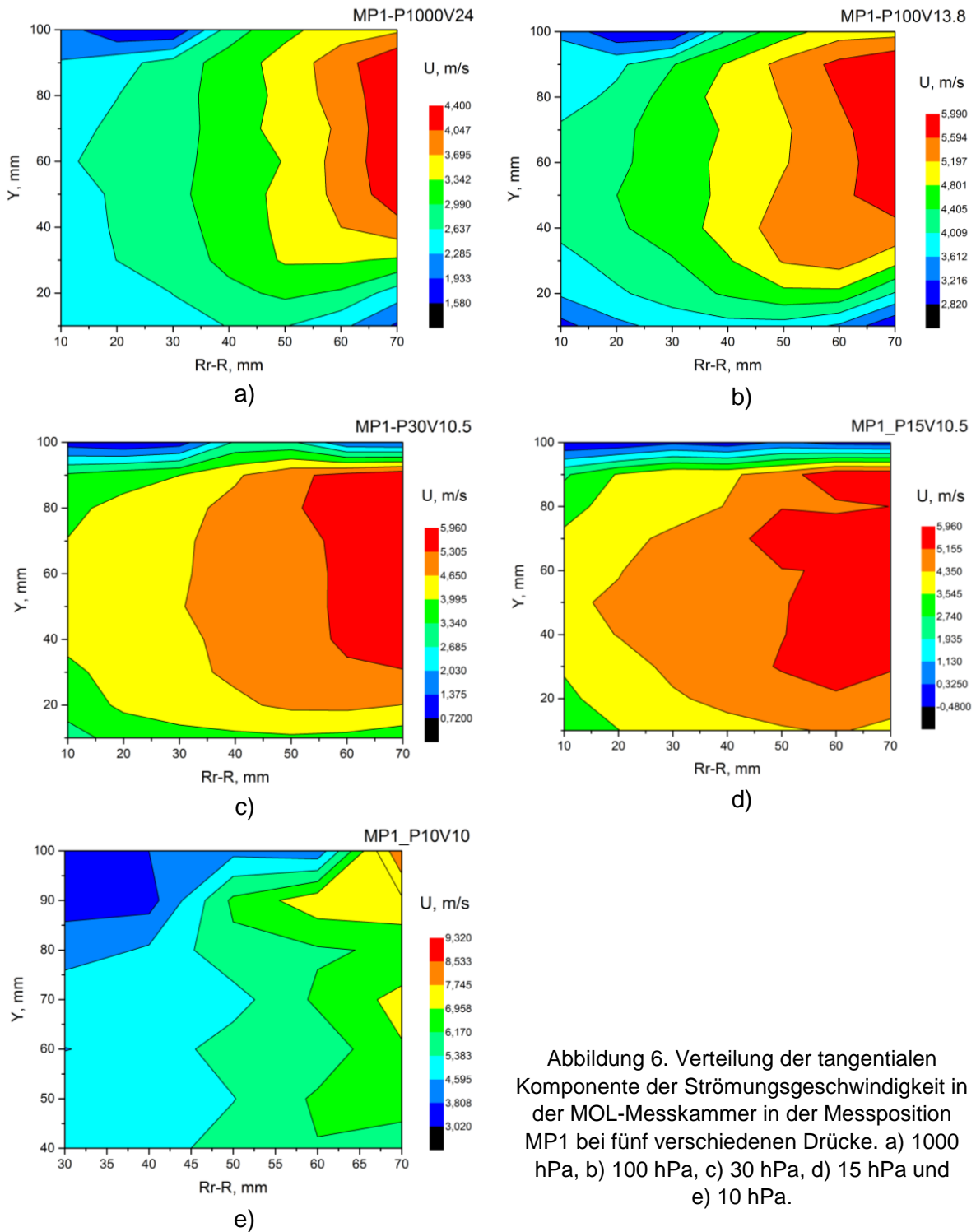


Abbildung 6. Verteilung der tangentialen Komponente der Strömungsgeschwindigkeit in der MOL-Messkammer in der Messposition MP1 bei fünf verschiedenen Drücke. a) 1000 hPa, b) 100 hPa, c) 30 hPa, d) 15 hPa und e) 10 hPa.

Die radiale Komponente der Strömungsgeschwindigkeit  $V$  sowie deren Vorzeichen sind von der Höhe abhängig, siehe Abbildung 8. Die Richtungsänderung der radialen Strömungsgeschwindigkeit findet im mittleren Bereich der Messkammerhöhe statt. An dieser Stelle hat die radiale Komponente einen minimalen Wert und strebt gegen „0“. Dieses Verhalten der radialen Komponente der Strömung kann dadurch klären werden, dass zusammen mit der tangentialen Bewegung der Strömung entgegen der Uhrzeigerrichtung eine Rotation dieser Strömung in der senkrechten Ebene stattfindet. In oberen Teil der zylinderförmigen Messkammer bewegt sich die Strömung von Zentrum der Kammer zur Wand und im unteren Teil umgekehrt, von der Wand zur Rotorachse.



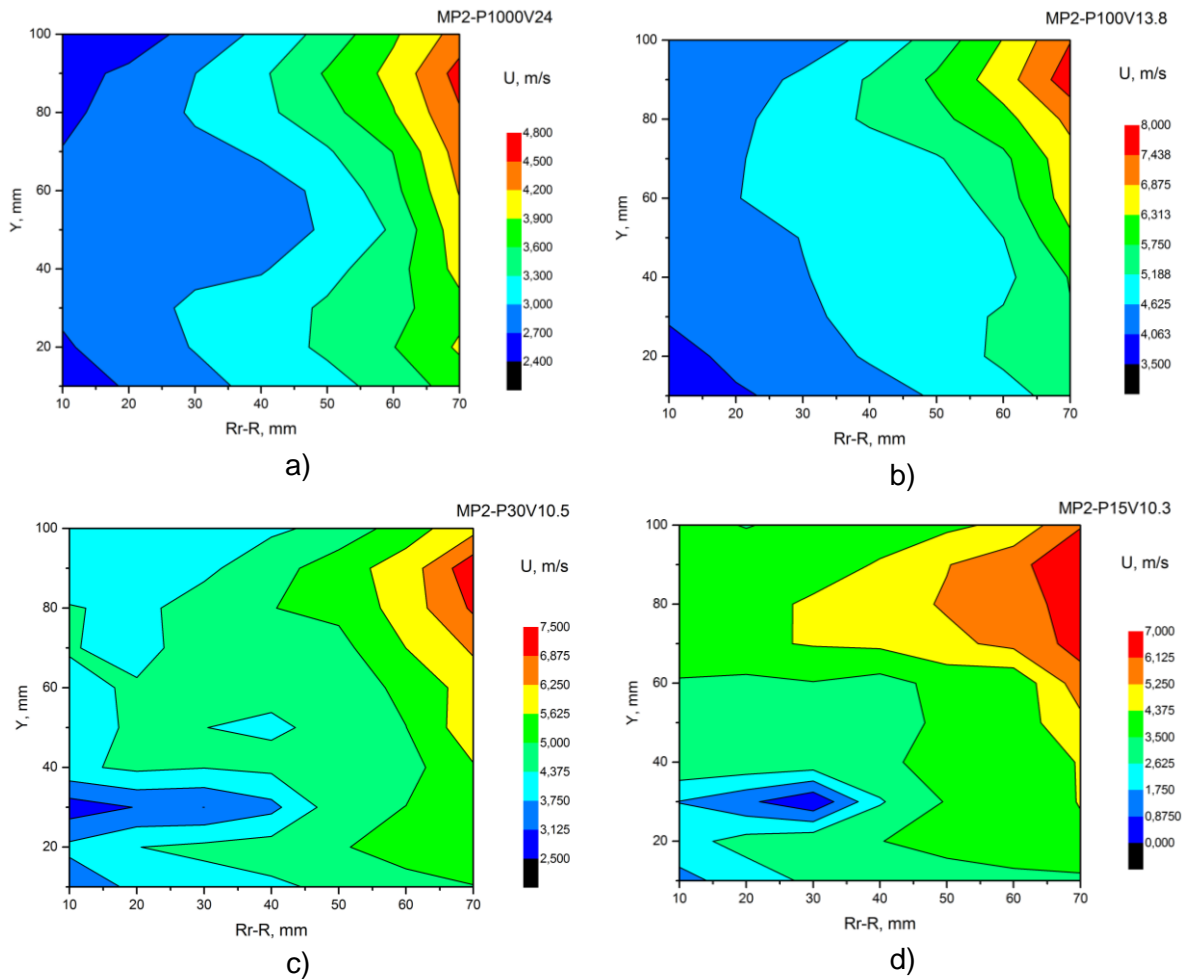


Abbildung 7. Verteilung der tangentialen Komponente der Strömungsgeschwindigkeit in der MOL-Messkammer in der Messposition MP2 bei vier verschiedenen Drücke. a) 1000 hPa, b) 100 hPa, c) 30 hPa, d) und 15 hPa.

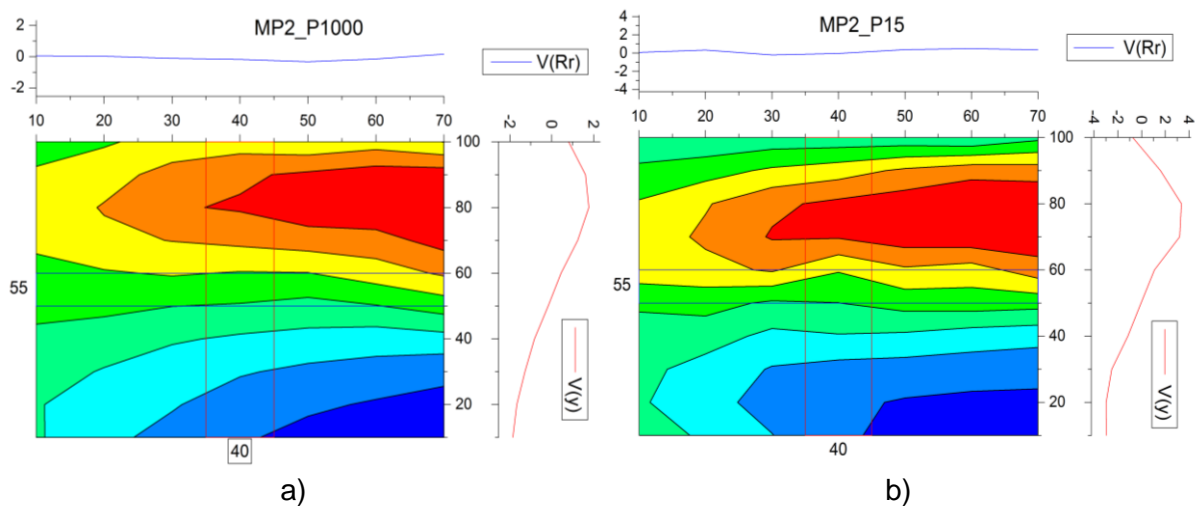


Abbildung 8. Verteilung der radialen Komponente der Strömungsgeschwindigkeit in der MOL-Messkammer in der Messposition MP2 bei dem normalen (a, 1000hPa) und dem niedrigen (b, 15 hPa) Druck.

## Schlussfolgerungen

Die durchgeführte Untersuchung der Strömung in einer geschlossenen zylinderförmigen Kammer mit einem Radialventilator welcher geraden Schaufeln besitzt und einem (relativ) großem freien Raum zwischen Schaufeln und innerer Zylinderwand lassen folgende Schlüsse zu.

- Eine Vermessung der Strömungsgeschwindigkeit mit einem LDA-Messsystem bei einem Druck unter 10 hPa ist aufgrund der extrem niedrigen Partikelkonzentration nur schwer möglich.
- Die Strömung in der solchen Messkammer ist stark inhomogen und turbulent.
- Die tangentielle Strömungsgeschwindigkeit  $U$  hat den höchsten Wert in einem Bereich der direkt am Schaufelende liegt. Dies gilt bei allen vorgegebenen Druckstärken im Bereich von 1000 hPa bis 10 hPa.
- Die zweidimensionalen Profile der radialen Strömungsgeschwindigkeit  $V$  weisen darauf hin, dass sich die in der Kammer um die Ventilatorachse rotierende Strömung gleichzeitig auch um eine tangentielle Achse dreht.
- Ausgehend von den zweidimensionalen Profilen der beiden Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit kann festgestellt werden, dass ein Radialventilator mit geraden Schaufeln und (relativ) großem Freiraum zwischen Schaufelende und innerer Kammerwand in einer zylinderförmigen Kammer eine spiralförmige rotierende Strömungsbewegung erzeugt

## Literatur

- Dirksen, R. J., Sommer, M., Immler, F. J., Hurst, D. F., Kivi, R., and Vömel, H., "Reference quality upper-air measurements: GRUAN data processing for the Vaisala RS92 radiosonde". *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 4463–4490, 2014.
- Eck, B., Fans, Pergamon Press, 1973