

Dr.-Ing. Eberhard Schmidt,  
Dipl.-Ing. Olaf Müller, Karlsruhe

# **Strömungskräfte auf Partikeln in Gasen**

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **483**

<b>1 Einleitung</b>	1
<b>2 Strukturen der Grenzschicht</b>	
2.1 Prandtl'sche Grenzschicht-Theorie	3
2.2 Reale Strömungen durch Rohre	4
2.2.1 Reales Fluidverhalten	4
2.2.1.1 Einfluß der Zähigkeit	4
2.2.1.2 Einfluß der Kompressibilität	4
2.2.1.3 Druck und Temperatur	5
2.2.2 Das ausgebildete Rohrströmungsprofil	5
2.2.3 Reynolds-Zahl	6
2.2.4 Laminare Rohrströmung	6
2.2.5 Umschlagspunkt und turbulente Rohrströmung	7
2.3 Laminare Grenzschicht der Rohrströmung	8
2.3.1 Laminare Grenzschicht und lineare Unterschicht	8
2.3.1.1 Einlaufströmung	8
2.3.1.2 Ausgebildete Rohrströmung	10
2.3.2 Abschätzung der Schichtdicken	11
2.4 Turbulente Grenzschicht der Rohrströmung	11
2.4.1 Laminar-turbulenter Umschlag der Grenzschicht	11
2.4.2 Turbulente Grenzschicht und viskose Unterschicht	12
2.4.2.1 Dreiteilung der Grenzschicht	12
2.4.2.2 Logarithmische Schicht	14
2.4.2.3 Viskose Unterschicht	15
2.4.2.4 Übergangsschicht	15
2.4.3 Abschätzung der Schichtdicken	16
2.4.4 Laminar-turbulente Vergleichsgrößen	17
2.5 Modellierung von Strömungsschichten	18
2.6 Mechanismus der Strömungskräfte	20
<b>3 Kräfte auf Partikeln in laminaren Grenzschichten</b>	
3.1 Relevanter Parameterbereich	23
3.2 Widerstandskraft auf Kugeln	23
3.2.1 Gleichströmung	23
3.2.1.1 Stokes-Bereich $Re < 0,25$	23
3.2.1.2 Übergangs-Bereich $0,25 < Re < 1000$	24
3.2.2 Scherströmung	27
3.2.2.1 Theoretische Berechnung	27
3.2.2.2 Experimentelle Ergebnisse	30
3.2.3 Zusammenfassung Widerstandskraft	34

3.3 Dynamische Auftriebskraft auf Kugeln	35
3.3.1 Gleichströmung	35
3.3.2 Scherströmung	36
3.3.2.1 tubular-pinch-effect	36
3.3.2.2 Wandferne Scherströmung	37
3.3.2.3 Scherströmung in Wandnähe	41
3.3.2.4 Experimentelle Ergebnisse	43
3.3.3 Zusammenfassung dynamische Auftriebskraft	47
<b>4 Kräfte auf Partikeln in turbulenten Grenzschichten</b>	
4.1 Instationaritäten der turbulenten Grenzschicht	49
4.1.1 Kohärente Strukturen und turbulente „bursts“	49
4.1.2 Relevante Ablösekraft	52
4.1.3 Theorie und Experiment	53
4.2 Widerstandskraft auf Kugeln	54
4.2.1 Gleichströmung	54
4.2.2 Scherströmung	55
4.3 Dynamische Auftriebskraft auf Kugeln	55
4.3.1 Gleichströmung	55
4.3.2 Scherströmung	56
4.3.2.1 Turbulente Ähnlichkeitsparameter	56
4.3.2.2 Wandferne Scherströmung	56
4.3.2.3 Scherströmung in Wandnähe	56
4.3.3 Experimentelle Bestimmung der dyn. Auftriebskraft	57
4.4 Zusammenfassung Strömungskräfte auf Kugeln	61
<b>5 Kräfte auf reale Partikeln in Staubschichten</b>	
5.1 Reale Partikelformen	64
5.1.1 Querangeströmter Zylinder	64
5.1.2 Unregelmäßige Partikelform	64
5.1.3 Kräfte auf unregelmäßig geformte Einzelpartikeln	64
5.2 Partikeln in Staubschichten	67
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b>	71
<b>7 Anhang</b>	
7.1 Versuchsapparatur Büchner	72
7.2 Reentrainment durch turbulente bursts	73
7.3 Versuchsanordnung Mollinger	74
7.4 Formfaktor <i>scruple</i> nach Thompson&Clark	76
7.5 Literaturverzeichnis	77