

Dr.-Ing. Hermann Nirschl, Freising

**Partikelbewegungen in
Scherströmungen ohne und
mit Berücksichtigung
des Einflusses angrenzender
Wände**

Reihe **7**: Strömungstechnik

Nr. **315**

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG.....	1
2	FORMULIERUNG DER ERHALTUNGSGLEICHUNGEN UND NUMERISCHER LÖSUNGSANSATZ BEI LAMINARER STRÖMUNG	4
2.1	ERHALTUNGSGLEICHUNGEN UND GLOBALE GRÖßEN ZUR BESCHREIBUNG DES UMSTRÖMUNGSVERHALTENS.....	4
2.2	BEHANDLUNG DER GEOMETRIEN.....	7
2.3	NUMERISCHER LÖSUNGSANSATZ	9
2.3.1	DRUCKKORREKTUR AUS DER LÖSUNG EINER POISSON-GLEICHUNG	11
2.3.2	METHODE DER KÜNSTLICHEN KOMPRESSIBILITÄT.....	12
2.3.3	VERGLEICH DER DARGESTELLTEN LÖSUNGSVERFAHREN.....	13
2.4	NUMERISCHE BEHANDLUNG DER NAVIER-STOKES-GLEICHUNG IM ROTIERENDEN KOORDINATENSYSTEM.....	24
2.4.1	KINEMATISCHE GRUNDLAGEN	24
2.4.2	IMPLEMENTIERUNG IN DIE IMPULSGLEICHUNG.....	24
2.4.3	BERECHNUNG AUS DER SICHT EINES ROTIERENDEN BEOBACHTERS	25
2.4.4	BERECHNUNG AUS DER SICHT EINES RÄUMLICH FIXIERTEN BEOBACHTERS	27
2.4.5	INTEGRATION DER PARTIKELBEWEGUNG	29
3	NUMERISCHE UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUM BEWEGUNGS- VERHALTEN NICHTKUGELFÖRMIGER PARTIKEL IN EINER UNIAXIALEN SCHERSTRÖMUNG.....	31
3.1	PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN DER PARTIKELBEWEGUNG IM LINEAREN SCHERFELD	36
3.2	BESCHREIBUNG DES VERSUCHSAUFBAUS	38
3.3	ANALYTISCHE LÖSUNG DER BEWEGUNGSGLEICHUNGEN.....	40
3.4	VERIFIKATION DER NUMERISCHEN BERECHNUNGEN ANHAND EXPERIMENTELLER UNTERSUCHUNGEN	44
3.4.1	ZEITLICHE ABHÄNGIGKEIT DER PARTIKELBEWEGUNG	45
3.4.2	VERGLEICH DER DIMENSIONSLOSEN UMLAUFZEITEN	50
3.4.3	VERGLEICH DER WINKELGESCHWINDIGKEITEN.....	50
3.4.4	VERGLEICH DER ERGEBNISSE MIT DER ANALYTISCHEN LÖSUNG	51
3.5	VERHALTEN DER PARTIKEL UNTER DEM EINFLUß VON TRÄGHEITSEFFEKTEN.....	53
3.5.1	ZEITLICHE ABHÄNGIGKEIT DER PARTIKELBEWEGUNG	57

3.5.2	EINFLUß DES AXSENVERHÄLTNISSSES UND DER REYNOLDSZAHL AUF DIE UMLAUFZEIT	58
3.5.3	BIFURKATION IM PARTIKELVERHALTEN BEI MITTLEREN REYNOLDSZAHLEN	61
3.6	VERHALTEN DER PARTIKEL IN NICHT-NEWTONSCHEN MEDIEN	65
3.6.1	ALLGEMEINE NUMERISCHE BEHANDLUNG NICHT-NEWTONSCHER FLUIDE	65
3.6.2	PARTIKELVERHALTEN IN NICHT-NEWTONSCHEN MODELLFLUIDEN	67
3.7	VERTEILUNG DES DRUCKS UND DER VSKOSEN KRÄFTE AN DER PARTIKELOBERFLÄCHE	71
3.8	EINFLUß DES DICHTEVERHÄLTNISSSES AUF DIE PARTIKELBEWEGUNG	75
4	NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN ZU STRÖMUNGSMECHANISCHEN WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN PARTIKEL UND EINER FESTEN WAND	79
4.1	UMSTRÖMUNG EINES RUHENDEN PARTIKELS IN EINER STATIONÄREN, LAMINAREN GRENZSCHICHT	80
4.1.1	DISKUSSION DER GLOBALEN VARIABLEN	81
4.1.2	DISKUSSION DER GESCHWINDIGKEITSFELDER.....	84
4.1.3	DREIDIMENSIONALE VERTEILUNG DER KRÄFTE UND DES WÄRMEÜBERGANGS AN DER PARTIKELOBERFLÄCHE	86
4.2	UMSTRÖMUNG EINZELNER, FEST AN EINER WAND FIXIERTER PARTIKEL VERSCHIEDENER GEOMETRIEN	90
4.2.1	DISKUSSION DER GLOBALEN VARIABLEN	91
4.2.2	DISKUSSION DER GESCHWINDIGKEITSFELDER.....	97
4.3	UMSTRÖMUNG ZWEIER FEST AN EINER WAND FIXIERTER PARTIKEL	99
4.3.1	EINFLUß DES PARTIKELABSTANDES AUF DEN WIDERSTANDS- BEIWERT DER EINZELNEN PARTIKEL	100
4.3.2	EINFLUß DES PARTIKELABSTANDES AUF DEN AUFTRIEBSBEIWERT.....	102
4.3.3	EINFLUß DES PARTIKELABSTANDES AUF DIE NUSSELTZAHL	105
4.4	UMSTRÖMUNG EINES ROTIERENDEN PARTIKELS IN EINER STATIONÄREN, LAMINAREN GRENZSCHICHT	109
4.4.1	WANDEINFLUß AUF DIE UMSTRÖMUNG EINES ROTIERENDEN ZYLINDERS.....	109
4.4.2	WANDEINFLUß AUF DIE UMSTRÖMUNG EINES ROTIERENDEN KUGELFÖRMIGEN PARTIKELS	112
4.4.2.1	ABHÄNGIGKEIT DES DRUCKFELDES VOM WANDABSTAND... 112	
4.4.2.2	ABHÄNGIGKEIT DER WINKELGESCHWINDIGKEIT VOM WANDABSTAND	114
4.4.2.3	ABHÄNGIGKEIT DER NUSSELTZAHL VOM WANDABSTAND... 116	
4.4.2.4	ABHÄNGIGKEIT DES AUFTRIEBSBEIWERTES VOM	

	WANDABSTAND	117
4.4.2.5	ABHÄNGIGKEIT DES WIDERSTANDSBEIWERTES VOM WANDABSTAND	118
4.4.2.6	EINFLUß DER SCHLUPFGESCHWINDIGKEIT AUF DEN AUFTRIEBSBEIWERT.....	120
5	NUMERISCHE SIMULATIONEN ZUM FLIEßVERHALTEN EINER SUSPENSIONSSTRÖMUNG	123
5.1	SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER GEOMETRIE	125
5.2	BERECHNUNG DER SUSPENSIONSVISKOSITÄT BEI HOMOGENER VERTEILUNG DER PARTIKEL IM SCHERSPALT	126
5.3	ANALYSE DER SCHUBSPANNUNGEN ZWISCHEN DEN EINZELNEN PARTIKELEBENEN	128
5.4	BERECHNUNGEN MIT EINER ZUFÄLLIGEN, HOMOGENEN VERTEILUNG DER PARTIKEL IM SCHERSPALT.....	132
5.5	BEMERKUNGEN ZUR ÜBERTRAGUNG DER ZWEIDIMENSIONALEN BERECH- NUNGEN AUF DAS RÄUMLICHE FLIEßVERHALTEN EINER SUSPENSION.....	134
6	ZUSAMMENFASSUNG.....	137
7	LITERATURVERZEICHNIS	140