

**Wolfgang Kümmel**

# **Technische Strömungsmechanik**

**Theorie und Praxis**

**Wolfgang Kümmel**

# **Technische Strömungsmechanik**

## **Theorie und Praxis**

3., überarbeitete und ergänzte Auflage

Mit 174 Abbildungen, 36 Tabellen, 93 Praxishinweisen  
und 57 durchgerechneten Beispielen



**Teubner**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

**Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kümmel**, geb. 1942. Von 1962-1965 Maschinenbaustudium an der Staatlichen Ingenieurschule Hagen; 1965-1970 Maschinenbaustudium an der RWTH Aachen. 1970-1977 Forschungsingenieur und Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Strahlantriebe und Turboarbeitsmaschinen der RWTH Aachen, Forschungsschwerpunkt Unterschall-Axialverdichter; 1976 Promotion. 1977-1984 Leiter der Entwicklung für Dampf- und Gasturbinen bei GHH-Sterkrade. 1985-2007 als Professor an der Fachhochschule Lübeck zuständig für die Fachgebiete Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen sowie Leiter der zugehörigen Laboratorien. Ab Sommersemester 2007 Lehrbeauftragter für Strömungsmaschinen.

1. Auflage 2001
2. Auflage 2004
- 3., überarbeitete und ergänzte Auflage 2007

Alle Rechte vorbehalten

© B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2007

Der B.G. Teubner Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.  
[www.teubner.de](http://www.teubner.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, [www.CorporateDesignGroup.de](http://www.CorporateDesignGroup.de)  
Druck und buchbinderische Verarbeitung: Strauss Offsetdruck, Mörlenbach  
Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.  
Printed in Germany

ISBN 978-3-8351-0141-8

# Vorwort zur 1. Auflage

Das vorliegende Buch entstand auf der Basis einer Vorlesung über Technische Strömungslehre an der Fachhochschule Lübeck und den Eindrücken einer jahrzehntelangen Beschäftigung mit strömungstechnischen Fragestellungen in Forschung, industrieller Entwicklung und Lehre. Das Werk richtet sich vornehmlich an Studierende des Maschinen- und Anlagenbaues sowie der Energie- und Verfahrenstechnik. Es ist jedoch von seiner Anlage her so konzipiert, daß es neben der Vermittlung der im Studium erforderlichen Kenntnisse dem späteren Ingenieur oder Naturwissenschaftler im Berufsalltag ein hilfreicher Begleiter bei der Lösung praktischer strömungstechnischer Probleme sein soll. Dazu sind u. a. insgesamt 89 gekennzeichnete Praxishinweise eingefügt, die auf relevante Zusammenhänge hinweisen, die - obwohl durch die Theorie der Strömungslehre definiert - nicht immer in dieser Klarheit explizit ersichtlich sind.

Nach der Vorstellung der physikalischen Grundlagen und Eigenschaften der Fluide im 1. Kap. beschreibt Kap. 2 das Verhalten der ruhenden Fluide. Kap. 3 beginnt zunächst mit einer Einführung in allgemeine Grundlagen der Fluidodynamik. Danach wird mit den Bewegungsgleichungen und den vier Erhaltungssätzen für Masse, Energie, Impuls und Drall das mathematische Gerüst zur Berechnung von stationären Fadenströmungen aufgebaut. Kap. 4 behandelt die in der Praxis besonders wichtigen Vorgänge der Strömung inkompressibler Fluide in Rohren, Kanälen und Gerinnen nach der Modellvorstellung der Fadenströmung. Das nachfolgende Kapitel erweitert diese Betrachtungen auf kompressible Fluide und stellt die wesentlichen Vorgänge der Gasdynamik vor. Die Rohrströmung kompressibler Fluide rundet diese Thematik ab. Kap. 6 führt in die Grundlagen der Grenzschichttheorie, des Widerstandes von Körpern und der Tragflügelströmung ein. Die Phänomene umströmter Körper werden beschrieben und der ingenieurmäßigen Berechnung zugänglich gemacht.

Kap. 8 behandelt - im Gegensatz zu den vorhergehenden Abschnitten - instationäre Strömungen anhand ausgewählter Beispiele. Es wird demonstriert, wie mit Hilfe der heute problemlos nutzbaren mathematischen Software einfache instationäre Strömungsvorgänge numerisch bearbeitet werden können. Der Leser findet Ansätze und geschlossene Lösungen zur Druckstoßberechnung in Leitungen und zur Bestimmung der Entleerungsvorgänge von Druckbehältern. Kap. 9 resultiert aus der Erfahrung des Autors, daß Konstrukteure bei ihren vielfältigen Aufgaben häufig strömungstechnische Gesichtspunkte nicht genügend berücksichtigen; die Folge sind Störungen oder nicht optimale Funktion von Bauelementen. Die Studierenden erkennen an dieser Stelle die Vernetzung der Strömungslehre mit anderen technischen Disziplinen, und dem Konstrukteur wird anhand von Grundregeln und typischen Beispielen Hilfe zur strömungsgerichteten Gestaltung angeboten.

Die Umsetzung der dargebotenen Theorie in die praktische Anwendung findet Unterstützung in 54 durchgerechneten Beispielen.

Die mathematischen Ansprüche an den Leser beschränken sich auf Grundlagen der Differential- und Integralrechnung. Die meisten Berechnungsgleichungen werden entweder durch aus-

fürliche Herleitung oder durch Verweise auf die zugrundeliegenden Ausgangsgleichungen nachvollziehbar entwickelt, wobei rein algebraische Zwischenschritte teilweise nicht erscheinen.

An dieser Stelle möchte ich allen herzlich danken, die mir bei den Vorbereitungen zu diesem Buch geholfen haben. Zu besonderem Dank bin ich Herrn Dipl.-Ing. Gunnar Wilken verpflichtet, der mich durch seine aktive Mitarbeit bei experimentellen Untersuchungen sowie bei der Erstellung von Rechenprogrammen und Diagrammen tatkräftig unterstützt hat. Frau Nicole Storjohann hat durch die Umsetzung meiner Handskizzen in die endgültigen graphischen Darstellungen einen maßgeblichen Beitrag zur Druckvorlage geleistet. Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Frau Annemarie für das sorgfältige Korrekturlesen und die große Geduld bedanken, die sie für mich während der Abfassung des Manuskriptes aufgebracht hat.

Lübeck, im Januar 2001

Wolfgang Kümmel

## Vorwort zur 3. Auflage

Die nun vorliegende 3. Auflage des Buches wurde überarbeitet und ergänzt. Dabei sind sowohl spezielle vertiefende Darstellungen der Theorie als auch aktuelle praxisbezogene Entwicklungen eingeflossen.

Im Bereich der Grundlagen ist die Theorie der Kenngrößen umfassend neu gestaltet, indem die verschiedenen Möglichkeiten der Kenngrößenbildung vorgestellt werden. Auch das Phänomen der Turbulenz wird mittels der heute gängigen Modellvorstellungen erläutert und die daraus folgenden ingenieurmäßigen Anwendungen beschrieben.

Der zunehmenden Bedeutung der regenerativen Energien wird dadurch Rechnung getragen, daß einige Grundlagen der Wirkungsweise von Windturbinen mit Hilfe der Erhaltungssätze abgeleitet werden.

Die strömungsmechanisch relevanten Gesichtspunkte für die praktische Durchführung von Druckmessungen und die Durchflußmessung mit genormten Drosselgeräten werden aufgezeigt. Die Stoffdaten für Wasser sind entsprechend IAPWS 95 tabelliert.

In den Hinweisen zur strömungsgerechten Konstruktion erscheinen die Beiträge zur Widerstandsverminderung umströmter Körper in systematisierter Form.

Mit dem Fortschritt von Hochleistungsrechnern gewinnt die numerische Strömungssimulation neben dem klassischen Experiment zunehmend an Bedeutung. In einem neuen Kapitel werden die Ausgangsgleichungen und die Möglichkeiten dieser Disziplin vorgestellt.

Für die langjährige erfreuliche Zusammenarbeit mit dem Teubner Verlag, insbesondere Herrn Dr. M. Feuchte, möchte ich mich an dieser Stelle bedanken.

Lübeck, im Mai 2007

Wolfgang Kümmel

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Physikalische Grundlagen und Eigenschaften der Fluide</b>	<b>1</b>
1.1 Thermische Zustandsgrößen	1
1.1.1 Dichte	1
1.1.2 Druck	3
1.1.3 Temperatur	5
1.2 Wärmekapazitäten und weitere thermodynamische Grundlagen	6
1.2.1 Wärmekapazitäten und Enthalpie	6
1.2.2 Weitere thermodynamische Grundlagen	7
1.3 Viskosität	11
1.4 Grenzflächen und Kapillarität	12
1.4.1 Grenzflächen	12
1.4.2 Kapillarität	14
<b>2 Ruhende Fluide</b>	<b>17</b>
2.1 Ruhende Flüssigkeiten	17
2.1.1 Hydrostatische Grundgleichung	17
2.1.2 Verbundene Gefäße und hydraulische Presse	18
2.1.3 Druckkräfte auf Begrenzungsflächen	21
2.1.3.1 Druckkräfte auf ebene Begrenzungsflächen	21
2.1.3.2 Druckkräfte auf gekrümmte Begrenzungsflächen	25
2.1.4 Niveauflächen	29
2.1.5 Statischer und thermischer Auftrieb	31
2.2 Ruhende Gase	36
2.2.1 Druckkräfte auf Begrenzungsflächen	36
2.2.2 Statischer und thermischer Auftrieb	37
2.2.3 Zustandsgrößen der Atmosphäre	39
<b>3 Grundlagen der Fluidodynamik</b>	<b>44</b>
3.1 Allgemeine Grundbegriffe	44
3.1.1 Beschreibung von Strömungsvorgängen	44
3.1.2 Reibungseffekte	47
3.1.3 Strömungsmechanische Ähnlichkeit und Kennzahlen	49
3.1.4 Strömungsformen	54
3.2 Bewegungsgleichungen für das Fluidelement	57
3.3 Die Erhaltungssätze der stationären Stromfadentheorie	61
3.3.1 Kontrollraum	61

3.3.2	Kontinuitätsgleichung.....	62
3.3.3	Energiesatz für inkompressible Fluide.....	64
3.3.3.1	Reibungsfreie Strömungsprozesse.....	64
3.3.3.2	Reibungsbehaftete Strömungsprozesse.....	67
3.3.3.3	Strömungsprozesse mit Austausch von Arbeit und Wärme.....	70
3.3.3.4	Anwendung des Energiesatzes bei Strömungsprozessen.....	72
3.3.4	Impulssatz.....	78
3.3.5	Drallsatz.....	88
3.4	Erweiterung der stationären Fadenströmung durch Mittelwerte.....	92
<b>4</b>	<b>Stationäre Strömung inkompressibler Fluide.....</b>	<b>94</b>
4.1	Vorbemerkungen.....	94
4.2	Kavitation.....	94
4.3	Strömung in Rohrleitungssystemen.....	95
4.3.1	Laminare Rohrströmung.....	95
4.3.2	Turbulente Rohrströmung.....	99
4.3.3	Strömungsverluste in geraden Rohrstücken.....	101
4.3.3.1	Grundlagen.....	101
4.3.3.2	Vollausgebildete laminare Rohrströmung.....	102
4.3.3.3	Vollausgebildete turbulente Rohrströmung.....	103
4.3.3.4	Rohreinlaufströmung.....	107
4.3.4	Strömungsverluste in Formstücken.....	110
4.3.4.1	Grundlagen.....	110
4.3.4.2	Querschnittsänderungen.....	110
4.3.4.3	Richtungsänderungen.....	118
4.3.4.4	Füllkörperschichten.....	119
4.3.5	Verluste in einsträngigen Leitungssystemen.....	120
4.3.6	Verluste in mehrsträngigen Leitungssystemen.....	124
4.4	Ausflußvorgänge.....	130
4.4.1	Ausfluß aus kleinen Öffnungen.....	130
4.4.2	Große seitliche Öffnungen.....	134
4.5	Spaltströmungen.....	135
4.5.1	Strömungsverhältnisse im Spalt.....	135
4.5.2	Verluste bei Spaltströmungen.....	140
4.6	Strömung in Ventilen.....	142
4.7	Strömung in Gerinnen.....	146
4.7.1	Erscheinungsformen der Gerinneströmung.....	146
4.7.2	Gleichförmige Gerinneströmung.....	149
<b>5</b>	<b>Stationäre Strömung kompressibler Fluide.....</b>	<b>154</b>
5.1	Energiesatz und ergänzende thermodynamische Grundlagen.....	154
5.2	Gasdynamik.....	160
5.2.1	Schallgeschwindigkeit, Mach- und Laval-Zahl.....	160

5.2.2 Allgemeine Betrachtungen zur beschleunigten und verzögerten Strömung ohne Entropieänderung.....	164
5.2.3 Verdichtungsstöße und Verdünnungswellen.....	166
5.2.3.1 Senkrechter Verdichtungsstoß bei Fadenströmungen.....	166
5.2.3.2 Schiefer Verdichtungsstoß bei ebener Strömung.....	171
5.2.3.3 Verdünnungswellen.....	176
5.2.3.4 Überschallströmungsmuster, Wellenwiderstand.....	178
5.2.4 Beschleunigte Strömungsvorgänge.....	180
5.2.4.1 Reibungsfreie Strömung.....	180
5.2.4.2 Reibungsbehaftete Strömung.....	195
5.2.5 Verzögerte Strömungsvorgänge.....	198
5.3 Rohrströmung kompressibler Fluide.....	200
5.3.1 Differentialgleichung der kompressiblen Rohrströmung.....	200
5.3.2 Isotherme Rohrströmung ( $T = \text{konst.}$ ).....	201
5.3.3 Adiabate Rohrströmung ( $q = 0$ ).....	203
<b>6 Stationäre Umströmung von Körpern.....</b>	<b>208</b>
6.1 Körper in reibungsfreier Parallelströmung.....	208
6.2 Grenzschicht.....	210
6.3 Widerstand umströmter Körper.....	218
6.3.1 Entstehung des Widerstandes.....	218
6.3.2 Ermittlung des Widerstandes.....	220
6.4 Tragflügel.....	236
6.4.1 Tragflügel mit unendlicher Spannweite.....	236
6.4.1.1 Entstehung des Auftriebs.....	236
6.4.1.2 Kräfte, Momente und aerodynamische Beiwerte am Tragflügel.....	239
6.4.2 Tragflügel endlicher Spannweite, Gesamtpolare.....	244
6.4.3 Tragflügel bei hohen Unterschall-Anström-Mach-Zahlen.....	250
<b>7 Freistrahlen.....</b>	<b>253</b>
<b>8 Ausgewählte Beispiele instationärer Strömungen.....</b>	<b>256</b>
8.1 Energiesatz der instationären Fadenströmung von Flüssigkeiten.....	256
8.2 Druckstoß bei plötzlicher Betätigung einer flüssigkeitsdurchströmte Armatur.....	264
8.3 Entleerung gasgefüllter Druckbehälter.....	269
8.4 Instationäre Umströmungsvorgänge.....	274
8.4.1 Periodische Wirbelablösung hinter stumpfen Zylindern.....	274
8.4.2 Beschleunigte Körperbewegung in viskosem ruhendem Fluid.....	276
<b>9 Hinweise zur strömungsgerechten Konstruktion.....</b>	<b>281</b>
9.1 Grundregeln strömungsgerechter Konstruktion.....	281
9.2 Konstruktion von durchströmten Kanälen und Gehäusen.....	283



9.3 Bauelemente zur Geschwindigkeitsänderung.....	286
9.3.1 Bauelemente zur Verzögerung (Diffusoren).....	286
9.3.2 Bauelemente zur Beschleunigung (Düsen).....	288
9.4 Abbau von Strömungsungleichförmigkeiten.....	290
9.5 Widerstandsverminderung umströmter Körper.....	293
9.6 Vermeidung strömungsinduzierter Schwingungen.....	296
9.7 Verminderung von Strömungsgeräuschen.....	298
<b>10 Ausblick auf die Möglichkeiten der numerischen</b>	
<b>Strömungssimulation</b> .....	302
10.1 Ausgangsgleichungen.....	302
10.2 Ausgangsgleichungen bei turbulenter Strömung.....	303
10.2.1 Struktur der Turbulenz.....	303
10.2.2 Reynolds-gemittelte Navier-Stokes Gleichungen (RANS) .....	304
10.2.3 Grobstruktursimulation.....	307
10.2.4 Direkte numerische Simulation.....	309
10.3 Numerische Verfahren.....	310
10.4 Methodologie der CFD-Anwendung.....	311
<b>11 Anhang</b> .....	313
11.1 Einheiten.....	313
11.2 Fluiddaten.....	314
11.2.1 Flüssigkeiten.....	314
11.2.1.1 Wasser.....	314
11.2.1.2 Übrige Flüssigkeiten.....	315
11.2.2 Gase und Dämpfe.....	315
11.2.2.1 Wasserdampf.....	315
11.2.2.2 Gase.....	321
11.3 Tabellen, Diagramme, Daten.....	328
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	340
<b>Namen- und Sachverzeichnis</b> .....	343

# Bezeichnungen

Alle nicht dimensionslosen Größen sind in SI-Basiseinheiten (s. Tab. 10.1) zu verwenden, bei abweichenden Einheiten sind diese angegeben. Neben der Bezeichnung ist die Stelle der primären Definition genannt, dabei bedeuten: B: Bild; G: Gleichung; K: Kapitel; T: Tabelle.

a	Beschleunigung		j	spez. Dissipationsenergie ( $> 0$ )	K1.2.2
a	Schallgeschwindigkeit	G 5.23	J	Gefälle	G 4.132
A	Fläche		k	Rauhigkeitshöhe	K4.3.3.3
A <sub>p</sub>	Projektionsfläche	K 6.3.2	k <sub>s</sub>	(äquivalente) Sandrauigkeit	K4.3.3.3
b	Breite Kanal, Spannweite		K <sub>v</sub>	Ventilkenngröße [m <sup>3</sup> /h]	G 4.118
c	Absolutgeschwindigkeit		l	Körperlänge, typische Länge	
c <sub>A</sub>	Auftriebsbeiwert	G 6.42	L	Drall	G 3.73
c <sub>F</sub>	Plattenwiderstandsbeiwert	G 6.24	L	Länge Leitung, Kanal, Spalt	
c <sub>La</sub>	Laval-Geschwindigkeit	G 5.28	Ĺ	Drallstrom	G 3.75
c <sub>M</sub>	Nickmomentenbeiwert	G 6.47	La	Laval-Zahl	G 5.29
c <sub>p</sub>	spez. Wärmekap. (p = konst.)	K1.2.1	m	Masse	
c <sub>p</sub>	Druckkoeffizient	G 4.43b	ṁ	Massenstrom	G 3.29
c <sub>p</sub>	Leistungsbeiwert	K 3.3	M	Moment	
c <sub>v</sub>	spez. Wärmekap. (v = konst.)	K 1.2.1	Ma	Mach-Zahl	G 3.6
c <sub>w</sub>	Widerstandsbeiwert	G 6.31	n	Drehzahl	
	Geschwindigkeit a.d. Wand		n	Exponent Potenzgesetz	G 4.18
c <sub>τ</sub>	Schubspannungsgeschwindigk.	G 4.23	n	Koordinate normal Stromlinie	B 3.10
D	Durchmesser		n	Polytropenexponent	G. 1.14
D	Druckmittelpunkt	B 2.4	p	absoluter statischer Druck	G 1.5
D <sub>h</sub>	hydraulischer Durchmesser	G 3.10	P	Leistung	
e <sub>n</sub>	Normaleneinheitsvektor	G 1.6	Pr	Prandtl-Zahl	G 5.12
E	Elastizitätsmodul	G 8.17	q	kinetischer Druck	G 3.36
Eu	Euler-Zahl	G 3.8	q	spezifische Wärmemenge	G 3.44
f	Frequenz	G 3.9	r	radiale Koordinate	
F	Kraft		r	Recovery Faktor	G 5.11
F <sub>A</sub>	Auftrieb; stat. G2.30; therm.: dynamisch	G 2.24 G 6.41	R	Halbmesser	
F <sub>G</sub>	Gewichtskraft		R	spezielle Gaskonstante	G 1.3
F <sub>K</sub>	Körperkraft (Fluid→fest. Rand)	B 3.17	R	Strangwiderstand	G 4.70
F <sub>p</sub>	Druckkraft		Re	Reynolds-Zahl	G 3.5
F <sub>w</sub>	Widerstand	K 6.3.1	s	Koordinate in Stromrichtung	B 3.3
F <sub>WD</sub>	Druckwiderstand	G 6.20	s	spezifische Entropie	K 1.2.2
F <sub>wR</sub>	Reibungswiderstand	G 3.4	s <sub>L</sub>	Einlaufstrecke	B 4.2
Fr	Froude-Zahl	G 3.7	Sr	Strouhal-Zahl	G 3.9
g	Erdbeschleunigung		t	statische Temperatur [°C]	G 1.9
h	spezifische Enthalpie	G 5.3	t	Zeit	
h	lokale Tiefe in einer Flüssigkeit	B 2.1	T	thermodynamische Temperatur	G 1.9
h <sub>M</sub>	metazentrische Höhe	B 2.11	u	spezifische innere Energie	T 1.4
H	Flüssigkeitsstand in Behälter	B 2.1	u	Umfangsgeschwindigkeit	G 3.81
H	geopotentielle Höhe	G 2.43	U	benetzter Umfang	G 3.10
I	Flächenträgheitsmoment		v	spezifisches Volumen	G 1.1
I	Impuls	G 3.55	V	Volumen	G 1.1
İ	Impulsstrom	G 3.59	Ṫ	Volumenstrom	G 3.32
			w	Relativgeschwindigkeit	G 3.84

$w_t$	spezifische technische Arbeit	G 3.47	$\vartheta$	Diffusoröffnungswinkel	B 4.9
xyz	kartesische Koordinatenrichtg.		$\vartheta$	Knick- bzw. Keilwinkel	B 5.7
y	spezifische Strömungsarbeit	G 3.48	$\kappa$	Isentropenexponent	G 1.13
z	Höhenkoordinate	B 2.1	$\lambda$	Reibungszahl (Rohr/Spalt/ Gerinne)	G 4.29/ 109/133
Z	Realgasfaktor	G 1.4	$\mu$	Wärmeleitfähigkeit	K 5.1
$\alpha$	Formfaktor Energiemittelung	G 3.91	$\mu$	Ausflußziffer	G 4.82
$\alpha_K$	Kontraktionszahl	G 4.53	$\nu$	Machscher Winkel	G 5.26
$\beta$	Formfaktor Impulsmittelung	G 3.90	$\pi$	kinematische Viskosität	G 1.16
$\beta$	Porosität von Sieben	T 11.11V	$\rho$	Druckverhältnis	
$\gamma$	Gleitwinkel	G 6.46	$\rho$	Dichte	G 1.1
$\Gamma$	Zirkulation	G 6.40	$\sigma$	Grenzflächenspannung	K 1.4.1
$\delta$	Grenzschichtdicke	B 6.2	$\sigma$	Stoßwinkel	B 5.7
$\delta_1$	Grenzschichtverdrängungsdicke	G 6.9	$\tau$	Schubspannung	G 1.15
$\Delta$	Differenz (Austritt - Eintritt)		$\tau$	Temperaturverhältnis	G 8.23
$\varepsilon$	Gleitzahl	G 6.46	$\varphi$	Geschwindigkeitszahl	G 4.80
$\varepsilon_w$	Wandwinkel (Kapillarität)	K 1.4.2	$\Psi$	Durchflußfunktion	G 5.63
$\zeta$	Verlustzahl	G 4.44	$\omega$	Winkelgeschwindigkeit	
$\eta$	dynamische Viskosität	G 1.15			
	Wirkungsgrad				

## Indizes

a	außen, Umgebung	turb	turbulente Strömung/Grenzschicht
A	Anlage	T	Trägheit
d	dynamisch	U	Umschlag Grenzschicht, lam. Unterschicht
D	Druck; Druckmittelpunkt	v	Körpervorderteil
Diff	Diffusor	W	Wand, feste Berandung
F	Flüssigkeit	x	Komponente in x-Richtung
G	Gehäuse, äußerer Durchmesser (Kreisring), Gas	y	Komponente in y-Richtung
h	Körperhinterteil	z	Komponente in z-Richtung
k	inkompressibel	$\delta$	am Grenzschichttrand
krit	kritischer Wert	$\tau$	Schubspannung
lam	laminare Strömung/Grenzschicht	0	Oberfläche, Umgebung
m	Mittelwert (kontinuitätsgemittelt)	$\infty$	ungestörte Anströmung
M	Maschine	-	räumlicher Mittelwert
N	Nabe, innerer Durchmesser (Kreisring)	-	zeitlicher Mittelwert bei Produkten von tur- bulenten Schwankungsgrößen
p	Druck	$\sim$	zeitlicher Mittelwert
p	polytrope Zustandsänderung	/	turbulente Schwankungsgröße
s	isentropie Zustandsänderung	$\hat{\cdot}$	Winkel im Bogenmaß
S	Schwerpunkt		
t	Totalzustand, Ruhezustand		