

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Formelzeichen und Einheiten	11
1 Einleitung	13
2 Grundgesetze der reibungsfreien Strömung	13
2.1 Kontinuitätsgleichung	14
2.2 Energiegleichung	14
2.2.1 Energieformen in einem Strömungssystem	14
2.2.1.1 Kinetische Energie	14
2.2.1.2 Potentielle Energie	16
2.2.1.3 Druck-Energie	17
2.2.1.4 Innere Energie	17
2.2.2 Bernoullische Gleichung	17
2.3 Druck-Definition in einer Strömung	19
2.3.1 Gesamtdruck	19
2.3.2 Kinetischer Druck (Dynamischer Druck)	19
2.4 Strömung in gekrümmten Bahnen	19
2.4.1 Druckänderungen senkrecht zur Strömung	19
2.4.2 Geschwindigkeitsverteilung in einer gekrümmten Strömung	20
2.5 Impulsleichung	22
2.5.1 Rohrkrümmer	23
2.5.2 Staudruck gegen Flächen	24
2.5.3 Bewegte Platte	25
2.5.4 Rückstoßkraft	25
2.5.5 Impulsstrommoment (Drehimpuls)	26
3 Innere Flüssigkeitsreibung (Viskosität)	27
4 Strömungsformen	29
4.1 Laminare Rohrströmung	29
4.2 Turbulente Strömung	31
5 Grenzschichten	31
5.1 Laminare Grenzschicht	31
5.1.1 Einlaufänge im laminar durchströmten Rohr	33
5.1.2 Grenzschichtdicke aus der Impulsstromgleichung	34
5.2 Turbulente Grenzschicht	37
5.2.1 Turbulente Grenzschichtdicke	41
5.2.2 Dicke der laminaren Unterschicht bei glatten Rohren	43
5.2.3 Einlaufänge im turbulent durchströmten Rohr	44
5.2.4 Universelles Geschwindigkeitsverteilungsgesetz	45
6 Ablösung und Wirbelbildung	50
6.1 Durchströmte Körper	50
6.2 Umströmte Körper	50
6.2.1 Grenschichtdicke bei quer angeströmten Körpern	54
6.2.2 Grenzschichtdicke am Kreiszyylinder	55

6.3	Querschnittsveränderungen	56
6.3.1	Unstetige Querschnittserweiterung	56
6.3.2	Stetige Querschnittserweiterung	57
6.3.3	Unstetige Querschnittsverengung	58
6.3.4	Stetige Verengungen	59
6.3.5	Verengungen und Erweiterungen	59
7	Druckverlust	65
7.1	Druckverlust in Rohrsystemen	65
7.1.1	Nicht kreisförmige Querschnitte	66
7.2	Druckverlustdefinition	67
7.3	Druckverlust in Gasleitungen bei großem Druckabfall	67
7.3.1	Druckabfall bei isothermer Strömung	69
7.3.2	Druckabfall bei adiabater Strömung	70
7.4	Laminare Rohrströmung	70
7.5	Turbulente Rohrströmung	72
7.5.1	Turbulente Strömung in rauhen Rohren	74
7.5.2	Berechnung	76
7.5.3	Vollkommen raue Rohre	76
7.5.4	Gesamter Bereich	77
7.5.5	Rohrrauhigkeit	78
7.5.6	Übergangsgebiet von laminarer zu turbulenter Strömung	84
7.5.7	Reibungszahl λ bei Metallschläuchen	84
7.6	Rohreinlaufverluste	91
7.6.1	Laminare Strömung	91
7.6.2	Turbulente Strömung	92
7.7	Druckabfall in gekrümmten Rohren	93
7.7.1	Geometrie der Rohrschlange	94
7.7.2	Laminare Strömung	95
7.7.3	Turbulente Strömung	96
7.7.3.1	Widerstand in ebenen Rohrschlangen	97
7.8	Druckverlust in Rohrbögen	98
7.9	Druckverlust im Krümmer und Knie	102
7.10	Druckverlust für sonstige Formstücke	107
7.10.1	Widerstandsbeiwerte für Einbauten	112
7.10.2	Widerstandsbeiwerte für Rohrleitungsorgane	115
7.10.3	Armaturen	115
7.10.4	Rückschlagarmaturen	119
7.10.5	Schmutzfänger	119
7.11	Bezugssystem für die Druckverlustbestimmung	120
8	Flächenwiderstand	121
8.1	Laminare Grenzschicht der ebenen, glatten Platte	121
8.2	Turbulente Grenzschicht der ebenen, glatten Platte	121
8.2.1	Rauhe Platten	123
9	Form- und Gesamtwiderstand	124
9.1	Druckverlustbeiwert eines Einzelrohres	126
9.1.1	Druckverlustbeiwert einer einzelnen Rohrreihe	127
9.1.2	Druckverlustbeiwert von Rohrbündeln	128
9.1.3	Strömungsmerkmale am querangeströmten Rohr und Rohrbündel	128

9.2	Berechnung des Druckverlustes im Rohrbündel mit Hilfe des Druckverlustbeiwertes ξ	132
9.2.1	Berechnung des Druckverlustbeiwertes	134
9.2.2	Einfluß der Temperaturabhängigkeit der Stoffwerte	136
9.2.3	Einfluß der Anzahl der Rohrreihen	136
9.2.4	Zusammenfassende Gleichungen des Druckverlustbeiwertes	138
9.3	Strömungsverluste bei quer angeströmten Rohrbündeln mit Hilfe des Reibungsbeiwertes λ_{sq}	139
9.4	Druckverlust in Schüttungen	143
9.5	Strömungsverteilung und Sammlung	144
9.6	Anlagen-Druckverlust	145
10	Stoffwerte	150
11	Beispiele	157
1	Bestimmung des Ruhedruckunterschiedes eines Schornsteins	157
2	Bestimmung des Volumenstromes am Rohrkrümmer	157
3	Reaktionskraft am Rohrkrümmer	158
4	Reaktionskraft an einer stehenden und bewegten Platte	159
5	Ausflußgeschwindigkeit und Reaktionskraft an einem Behälter	160
6	Geschwindigkeiten, Drehmoment und Leistungsaufnahme an einem Pumpenlauf rad	160
7	Grenzschichtdicke an einer ebenen Platte	162
8	Strömungszustände im Rohr	163
9	Wirbelablösung an einem quer angeströmten Rohr	163
10	Stoßverlust an einer plötzlichen Querschnittserweiterung	164
11	Druckverlust in einem Rohrwendel	165
12	Druckverlust in einer Wasserrohrleitung	167
13	Druckverlust in einer Heizölrohrleitung	170
14	Bestimmung der Rohrrauigkeit	173
15	Druckverlust in Abhängigkeit vom Rohrdurchmesser	175
16	Rechteckschlitz – hydraulischer Durchmesser und Druckverlust bei laminarer Strömung	178
17	Hintereinanderschaltung von Widerständen	181
18	Parallelschaltung von Widerständen	185
19	Beliebige Schaltung von Widerständen	188
20	Hydraulischer Durchmesser und Druckverlust im Rohrbündelwärmeaustauscher	190
21	Heißwasseranlage mit Naturumlauf	193
22	Pumpenanlage	197
23	Widerstandsbeiwerte von Armaturen	200
24	Kennzeichnung von Stellventilen	203
25	Druckverlust durch Armaturengruppe am Erdgasbrenner	204
26	Erhitzeranlage mit Naturzug	206
27	Luftherhitzeranlage mit Gebläse	210
28	Windkanal	217

29	Schornsteinzugstärke	221
30	Einfluß der Druckverluste auf die Schornsteinhöhe	222
31	Grenzgeschwindigkeit zur Unterteilung von kompressibler und inkompressibler Luftströmung	225
32	Vergleich von inkompressibler und kompressibler Strömung	227
33	Druckabfall bei isothermer Druckluftströmung	228
34	Druckabfall bei adiabatischer Dampfströmung	230
35	Zulässiger Rohrwiderstandsbeiwert bei adiabatischer Dampfströmung	232
36	Zulässige Einzelwiderstände bei adiabatischer Heißdampfströmung	233
37	Isotherme Strömung in einer Ferngasleitung	234
38	Adiabatische Erdgasströmung mit kritischer Geschwindigkeit am Leitungsende	236
39	Wasser-Volumenstrombestimmung mittels Meßblende	242
40	Druckluft-Volumenstrombestimmung mittels Meßblende	243
41	Heißdampf-Volumenstrombestimmung mittels Düse	246
42	Feuchte-Luft-Volumenstrombestimmung mittels Normventuridüse	249
43	Wasser-Volumenstrombestimmung mittels Meßblende und U-Rohr-Quecksilber-Differenzdruckmanometer	251
44	Auslegung von Drosselscheiben	253
45	Überschlägige Bestimmung der Widerstandsbeiwerte von Blende und Düse	254
46	Druckverlust am Glattrohrbündel	257
47	Beispiel	260
	Bildbeispiele ausgeführter Bauteile und Anlagen	263
	Literaturverzeichnis	267
	Stichwortverzeichnis	269