

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	XIII
Symbolverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
2 Strömungstechnische Grundlagen	6
2.1 Eigenschaften der Luft	6
2.1.1 Luft als strömendes Medium	6
2.1.2 Dichte der Luft	6
2.2 Kinematische Grundbegriffe	7
2.2.1 Geschwindigkeit; instationäre und stationäre Strömung	7
2.2.2 Stromlinien, Bahnlinien, Streichlinien	7
2.2.3 Stromröhre	8
2.2.4 Bedingungen am Körper	9
2.2.5 Drehung	9
3 Grundgleichungen der Strömung	11
3.1 Kontinuitätsgleichung	11
3.2 Bewegungsgleichung in Stromlinienrichtung	12
3.3 Bernoullische Gleichung	13
3.4 Bewegungsgleichung normal zur Stromlinie	16
3.5 Rechenbeispiel: Berechnung der Geschwindigkeit aus dem Staudruck ..	17
4 Bewegung zäher Flüssigkeiten; Turbulenz, Ähnlichkeit, Grenzschicht	18
4.1 Laminare und turbulente Strömung	18
4.2 Turbulenzstruktur	19
4.2.1 Mittelwerte und Schwankungen	19
4.2.2 Streuungen der Schwankungen (Effektivwerte), Turbulenzgrad ..	19
4.2.3 Energiespektrum	20
4.2.4 Korrelation der Schwankungen	21
4.2.5 Kohärenz der Schwankungen	22
4.3 Schubspannungen	23
4.3.1 Laminare Schubspannung	23
4.3.2 Turbulente (scheinbare) Schubspannung	24
4.4 Mechanische Ähnlichkeit, Reynolds-Zahl	25

4.5 Grenzschicht, Ablösung	27
4.5.1 Laminare Grenzschicht	27
4.5.2 Umschlag der Grenzschicht	29
4.5.3 Turbulente Grenzschicht an der glatten ebenen Platte	29
4.5.4 Turbulente Grenzschicht an der rauen ebenen Platte	31
4.5.5 Ablösung der Grenzschicht	32
4.5.6 Der Nachlauf	34
4.5.6.1 Mittlere Geschwindigkeiten und Turbulenz im Nachlauf	34
4.5.6.2 Wirbelbildungen	35
4.6 Strömung durch Öffnungen und Gänge	39
4.6.1 Bernoullische Gleichung mit Verlusten	39
4.6.2 Verlustquellen	40
4.6.2.1 Druckverluste durch Reibung bei konstantem Querschnitt	40
4.6.2.2 Plötzliche Erweiterung	40
4.6.2.3 Plötzliche Verengung	42
4.6.2.4 Umlenkungen	44
4.6.2.5 Einfluß der Geschwindigkeitsverteilung	44
4.6.3 Rechenbeispiele	44
4.6.3.1 Berechnung des Innendrucks	44
4.6.3.2 Strömung in einem Durchgang	45
5 Kraftwirkungen auf Körper	48
5.1 Drücke und Wandschubspannungen	48
5.1.1 Vergleich von Drücken und Wandschubspannungen	48
5.1.2 Einfluß der Reynolds-Zahl auf die Druckverteilung	49
5.1.3 Einfluß der Turbulenz auf die Druckverteilung	51
5.1.4 Einfluß des Geschwindigkeitsprofils auf die Druckverteilung	53
5.2 Auftrieb, Widerstand, Querkraft	57
5.2.1 Auftriebs-, Widerstands- und Querkraftbeiwerte	57
5.2.2 Die ebene Platte als Beispiel	58
5.2.3 Einfluß von Reynolds-Zahl und Oberflächenrauhigkeit	61
5.2.4 Einfluß der Turbulenz des Luftstromes	64
5.2.5 Einfluß des Geschwindigkeitsprofils und der Umgebung	66
5.2.6 Interferenzeinfluß von Bauten	67
5.2.6.1 Verdrängungseffekte	67
5.2.6.2 Windschatteneffekte	68
5.2.7 Einfluß des Seitenverhältnisses und der Lage im Raum	71
6 Der Wind	77
6.1 Ursachen des Windes	77
6.2 Schichten der Atmosphäre	77
6.3 Mittlere Geschwindigkeiten, Geschwindigkeitsprofile	80

6.4	Turbulenzstruktur des Windes	88
6.4.1	Turbulenzintensität	88
6.4.2	Korrelationen	89
6.4.3	Kohärenzen	92
6.4.3.1	Kohärenzen von Geschwindigkeitskomponenten	92
6.4.3.2	Druckkohärenzen	94
6.4.4	Das Spektrum des Windes	97
6.5	Statistische Verteilungen der mittleren Windgeschwindigkeiten	100
6.6	Statistische Verteilung der Extremwerte	103
6.7	Maßgebliche Geschwindigkeits- bzw. Staudruckverteilungen nach den Normen	107
6.7.1	DIN 1055, Teil 4	107
6.7.2	ÖNORM B4014, Teil 1	108
6.7.3	SIA 160	109
6.8	Beispiele zur Ermittlung der maßgeblichen Windgeschwindigkeiten	110
6.8.1	Normalhaus am Ortsrand	110
6.8.2	Normalhaus in Ortsmitte	111
6.8.3	Hochhaus in Kleinstadt	113
7	Versuchstechnik, Modellgesetze	117
7.1	Versuchsarten	117
7.2	Modellgesetze	117
7.2.1	Elastizitätsparameter $E/\rho\bar{u}^2$	119
7.2.2	Dichteverhältnis ρ_k/ρ	119
7.2.3	Logarithmisches Dämpfungsdekrement δ_k	119
7.2.4	Froude-Zahl $\bar{u}^2/g \cdot b$	119
7.2.5	Reynolds-Zahl $\rho \cdot \bar{u} \cdot b / \mu$	120
7.2.6	Geschwindigkeitsprofil $u(z)/u(10)$	120
7.2.7	Turbulenzstruktur: u_e/\bar{u} ; L_u/b ; Spektren	120
7.3	Windkanäle	121
7.4	Versuchstechnik im Windkanal	123
7.4.1	Das Modell	123
7.4.2	Strömungsverlauf	124
7.4.3	Geschwindigkeitsmessungen	125
7.4.4	Druckmessungen	126
7.4.5	Kraft- und Momentmessungen	127
7.4.6	Schwingungsuntersuchungen	127
7.5	Meßtechnik im natürlichen Wind	129
7.5.1	Meßobjekte	129
7.5.2	Geschwindigkeitsmessung	129
7.5.3	Druckmessungen	130
7.5.4	Kraft- und Momentenmessung	132
7.5.5	Schwingungsuntersuchungen	132

8 Windgeschwindigkeiten in der Umgebung von Bauwerken	136
8.1 Gefährliche und zumutbare Windgeschwindigkeiten	136
8.2 Kriterien und Beispiele	137
8.3 Berechnung der Windgeschwindigkeiten in Bodennähe	145
8.3.1 Erläuterungen des Rechenganges	145
8.3.2 Rechenbeispiele	148
8.3.2.1 Beispiel mit detaillierten Meßdaten aus Windkanal- messungen	148
8.3.2.2 Beispiel einer Abschätzung mit Hilfe von Angaben aus Abschnitt 8.2	150
8.4 Richtlinien zur Vermeidung hoher Windgeschwindigkeiten in Boden- nähe	153
9 Statische Windlasten	156
9.1 Statische und dynamische Windlasten	156
9.2 Windlastrichtungen und Windrichtungen nach den Normen	159
9.3 Berechnung der statischen Windlasten	160
9.3.1 Druck-, Reibungs- und Gesamtlasten	160
9.3.2 Zuverlässigkeit bei der Rechnung mit Beiwerten	163
10 Beiwerte für prismatische Baukörper	165
10.1 Gesamtlastbeiwerte	165
10.1.1 Gesamtlastbeiwerte nach Experimenten	165
10.1.2 Gesamtlastbeiwerte nach DIN 1055, Teil 4	166
10.1.3 Gesamtlastbeiwerte nach ÖNORM B4014, Teil 1	167
10.1.4 Gesamtlastbeiwerte nach SIA 160	168
10.1.5 Ergebnisse aus Messungen im Vergleich mit Werten der Normen	169
10.2 Außendruckbeiwerte c_{pa} vertikaler Flächen	169
10.2.1 Außendruckbeiwerte nach Experimenten	169
10.2.2 Mittlere Außendruckbeiwerte nach DIN 1055, Teil 4	174
10.2.3 Mittlere Außendruckbeiwerte nach ÖNORM B4014, Teil 1	174
10.2.4 Außendruckbeiwerte nach SIA 160	175
10.3 Innendruckbeiwerte	177
10.3.1 Innendruckbeiwerte nach Experimenten	177
10.3.2 Innendruckbeiwerte nach DIN 1055, Teil 4	178
10.3.3 Innendruckbeiwerte nach ÖNORM B4014, Teil 1	178
10.3.4 Innendruckbeiwerte nach SIA 160	179
10.4 Örtliche Druckbeiwerte für vertikale Flächen	181
10.4.1 Berechnung der örtlichen Maximallasten	181
10.4.2 Örtliche Druckbeiwerte nach Experimenten; Schadensfälle	182
10.4.3 Örtliche Druckbeiwerte nach DIN 1055, Teil 4	187
10.4.4 Örtliche Druckbeiwerte nach ÖNORM B4014, Teil 1	188
10.4.5 Örtliche Druckbeiwerte nach SIA 160	189

10.5 Rechenbeispiele	189
10.5.1 Turmhochhaus	189
10.5.1.1 Berechnung nach DIN 1055, Teil 4	189
10.5.1.2 Berechnung nach ÖNORM B4014, Teil 1	191
10.5.1.3 Berechnung nach SIA 160	196
10.5.1.4 Vergleich der Norm-Werte mit experimentellen Ergebnissen	196
10.5.2 Gebäude mit offener Giebelwand	197
10.5.2.1 Berechnung nach DIN 1055, Teil 4	197
10.5.2.2 Berechnung nach ÖNORM B4014, Teil 1	201
10.5.2.3 Berechnung nach SIA 160	202
11 Beiwerte für Dächer	207
11.1 Sattel-, Pult- und Flachdächer	207
11.1.1 Außendruckbeiwerte nach Experimenten	207
11.1.2 Außendruckbeiwerte nach DIN 1055, Teil 4	214
11.1.3 Außendruckbeiwerte nach ÖNORM B4014, Teil 1	217
11.1.4 Außendruckbeiwerte nach SIA 160	220
11.2 Freistehende Dächer	222
11.2.1 Beiwerte nach Experimenten	222
11.2.2 Beiwerte nach DIN 1055, Teil 4	224
11.2.3 Beiwerte nach ÖNORM B4014, Teil 1	224
11.2.4 Beiwerte nach SIA 160	227
11.3 Beispiele	227
11.3.1 Geschlossenes Gebäude mit Satteldach	227
11.3.1.1 Berechnung nach DIN 1055, Teil 4	229
11.3.1.2 Berechnung nach ÖNORM B4014, Teil 1	231
11.3.1.3 Berechnung nach SIA 160	235
11.3.2 Flugdach	236
11.3.2.1 Berechnung nach DIN 1055, Teil 4	236
11.3.2.2 Berechnung nach ÖNORM B4014, Teil 1	237
11.3.2.3 Berechnung nach SIA 160	239
12 Baukörper mit Kreisquerschnitt; Seile; Kugeln	242
12.1 Beiwerte nach Experimenten	242
12.1.1 Zylindrische Baukörper allgemein; Seile	242
12.1.2 Zylindrische Behälter	246
12.1.3 Kühltürme	246
12.1.4 Hangare	250
12.1.5 Kugeln	250
12.2 Beiwerte nach Normen	253
12.2.1 Beiwerte nach DIN 1055, Teil 4	253
12.2.2 Beiwerte nach ÖNORM B4014, Teil 1	257
12.2.3 Beiwerte nach SIA 160	260

12.3	Beispiel	264
12.3.1	Berechnung nach DIN 1055, Teil 4	264
12.3.2	Berechnung nach ÖNORM B4014, Teil 1	265
12.3.3	Berechnung nach SIA 160	266
13	Profile, Fachwerke	269
13.1	Beiwerte nach Experimenten	269
13.1.1	Das Einzelprofil	269
13.1.2	Fachwerkswände	270
13.1.3	Räumliche Fachwerke	276
13.1.3.1	Räumliche Fachwerke mit Rechteckquerschnitt	276
13.1.3.2	Räumliche Fachwerke mit einem gleichseitigen Dreieck als Querschnitt	277
13.2	Beiwerte nach Normen	279
13.2.1	Beiwerte nach DIN 1055, Teil 4	279
13.2.1.1	Einzelprofile und räumliche Fachwerke allgemein	279
13.2.1.2	Spezielle räumliche Fachwerke (Querschnitt Quadrat oder gleichseitiges Dreieck)	287
13.2.2	Beiwerte nach ÖNORM B4014, Teil 1	287
13.2.2.1	Einzelprofile und räumliche Fachwerke allgemein	287
13.2.2.2	Spezielle räumliche Fachwerke (Querschnitt Quadrat oder gleichseitiges Dreieck)	290
13.2.2.3	Fachwerkturen mit gemischten Profilen	291
13.2.3	Berechnung nach SIA 160	291
13.3	Beispiel: Vierkantmast	293
13.3.1	Berechnung nach DIN 1055, Teil 4	295
13.3.2	Berechnung nach ÖNORM B4014, Teil 1	295
13.3.3	Berechnung nach SIA 160	295
13.3.4	Berechnung nach Ergebnissen von Experimenten	296
14	Verschiedene Bauten	298
14.1	Tafeln und Fahnen	298
14.1.1	Experimentelle Ergebnisse	298
14.1.2	Beiwerte nach Normen	299
14.1.2.1	Beiwerte nach DIN 1055, Teil 4	299
14.1.2.2	Beiwerte nach ÖNORM B4014, Teil 1	299
14.1.2.3	Beiwerte nach SIA 160	299
14.2	Gitter, Siebe	300
14.3	Brücken	301
14.3.1	Experimentelle Ergebnisse	301
14.3.2	Beiwerte nach Normen	302
14.3.2.1	Beiwerte nach DIN 1072	302
14.3.2.2	Beiwerte nach ÖNORM B4002 und B4003	303
13.3.2.3	Beiwerte nach SIA 160	303

15 Schwingungstechnische Grundlagen	305
15.1 Allgemeine Bedeutung der Schwingungen von Konstruktionen	305
15.2 Instationäre aerodynamische Kräfte	306
15.3 Die lineare Schwingungsgleichung	308
15.3.1 System mit einem Freiheitsgrad	308
15.3.1.1 Die homogene Schwingungsgleichung	309
15.3.1.2 Die inhomogene Schwingungsgleichung	309
15.3.1.3 Dimensionslose Größen	310
15.3.2 System mit mehreren Freiheitsgraden	311
15.3.2.1 Die Schwingungsgleichung	311
15.3.2.2 Eigenfrequenzen, Eigenformen, logarithmische Dekremente	313
15.4 Zufallerregte Schwingungen	315
16 Wirbelerregte Schwingungen	322
16.1 Strouhal-Zahl; kritischer Geschwindigkeitsbereich	322
16.2 Experimentelle Ergebnisse	325
16.3 Mathematische Beschreibung	329
16.3.1 Erregerkraft	329
16.3.2 Erregerkraft und aerodynamische Dämpfung	331
16.3.3 Lustkraftoszillatator	332
16.4 Maßnahmen zur Vermeidung der Schwingungen	333
16.4.1 Mechanische Maßnahmen	333
16.4.2 Aerodynamische Maßnahmen	336
16.4.2.1 Scruton-Wendel und andere Störelemente	337
16.4.2.2 Gittermantel, Perforation	339
16.4.2.3 Maßnahmen bei Brücken	341
16.5 Querschnittsdeformationsschwingungen (Ovalling)	341
16.6 Rechenbeispiel	345
17 Biegeschwingungen durch aerodynamische Instabilität (galloping)	353
17.1 Der Erregungsmechanismus	353
17.2 Die Schwingungsgleichung	355
17.3 Experimentelle und rechnerische Ergebnisse	359
17.4 Maßnahmen zur Beseitigung	362
17.5 Rechenbeispiel	364
18 Flattern	368
18.1 Der Begriff Flattern	368
18.2 Luftkräfte und Luftkraftmomente	368
18.3 Das System der Schwingungsgleichungen	369
18.4 Stabilitätskriterien	371
18.5 Weitere Verfahren	374

18.6 Ergebnisse von Experimenten und Maßnahmen gegen Flattern	380
18.7 Rechenbeispiel	381
19 Böenerregte Schwingungen	384
19.1 Der Erregungsmechanismus	384
19.2 Das Verfahren nach Davenport	384
19.2.1 Der Effektivwert der Schwankung der Auslenkung	384
19.2.2 Die mittlere maximale Beanspruchung	389
19.2.3 Die mittlere maximale Beschleunigung	390
19.3 Weitere Verfahren; Schwingungstilgung	391
19.4 Rechenbeispiel	393
20 Schwingungen durch Interferenzeinfluß	399
20.1 Ursachen und Schadensfälle	399
20.2 Kreiszylindrische Baukörper in Reihe	400
20.3 Baukörper mit quadratischem Querschnitt in Reihe	403
Sachwortverzeichnis	406