Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis 13

1 Einführung 17

1.1 Die Bedeutung der Technischen Hydromechanik für das Bau- und Wasserwesen 17
1.2 Die Stellung der Technischen Hydromechanik innerhalb der Ingenieurwissenschaften 17
1.3 Besonderheiten und Methoden der Technischen Hydromechanik . . . 19

2 Physikalische Eigenschaften des Wassers 22

2.1 Wasser als ideale und als reale Flüssigkeit 22
2.2 Dichte 22
2.3 Volumenänderung bei Temperaturschwankungen 24
2.4 Volumenelastizität und Kompressibilität 25
2.5 Viskosität 26
2.6 Oberflächenspannung und Kapillarität 28
2.7 Luftgehalt des Wassers, Löslichkeit von Gasen 33

3 Hydrostatik 35

3.1 Der Begriff des Drucks 35
3.1.1 Definition und Einheiten des Drucks und der Druckhöhe 35
3.1.2 Atmosphärendruck p_{amb} 36
3.1.3 Bezugsdruck 37
3.1.4 Dampfdruck p_D, Kavitation 38

3.2 Grundgleichungen der Hydrostatik 39
3.2.1 Gleichgewichtsbedingung ruhender Flüssigkeiten 39
3.2.2 Hydrostatische Druckverteilung 40
3.2.3 Niveauflächen 41
3.2.4 Kommunizierende Gefäße, Flüssigkeitsmanometer 44

3.3 Hydrostatische Druckkraft auf ebene Flächen 48
3.3.1 Allgemeine Ableitung 48
3.3.2 Symmetrische Flächen unterhalb des Wasserspiegels 51
3.3.3 Horizontale Bodenflächen 55
3.3.4 Vertikale Seitenflächen 55
3.3.5 Geneigte Seitenflächen 57
3.3.6 Aufteilung einer vertikalen Seitenfläche in horizontale Felder gleicher Belastung (Schütztafelberechnung) 59

3.4 Hydrostatische Druckkraft auf gekrümmte Flächen 62
3.4.1 Allgemeine Ableitung für räumlich gekrümmte Flächen 62
3.4.2 Einfach gekrümmte Flächen 65
3.4.2.1 Lotrecht stehende gekrümmte Flächen 65

Bibliografische Informationen
http://d-nb.info/1028541961

digitalisiert durch DEUTSCHE NATIONAL BIBLIOTHEK

3.4.2.2	In der Horizontalen gekrümmte Flächen	65
3.4.2.3	Kreiszylinderflächen mit horizontaler Achse	70
3.4.2.4	Innendruck in Rohrleitungen, Kesseln und Behältern	73
3.5	Hydrostatischer Auftrieb	76
3.5.1	Auftrieb eingetauchter Körper	76
3.5.2	Auftrieb bei Bauwerken oder Bauteilen	77
3.6	Schwimmen, Schwimmstabilität	81
3.6.1	Schwimmfähigkeit von Körpern	81
3.6.2	Schwimmstabilität	82
4	**Hydrodynamik – Begriffe, Grundlagen und Grundgesetze**	87
4.1	Untersuchungsobjekt der Hydrodynamik	87
4.2	Bahnlinie und Stromlinie	87
4.3	Fließfläche und Durchfluss	88
4.4	Laminare und turbulente Strömung, Reynoldszahl	90
4.5	Wirbelbewegung	97
4.6	Stationäre und instationäre, gleichförmige und ungleichförmige Flüssigkeitsbewegung	103
4.7	Kontinuitätsgesetz	109
4.7.1	Kontinuitätsgleichung bei eindimensionaler Betrachtungsweise	110
4.7.2	Kontinuitätsgleichung in orthogonalen räumlichen Koordinaten	118
4.7.2.1	Kontinuitätsgleichung in kartesischen Koordinaten	118
4.7.2.2	Kontinuitätsgleichung in Zylinder- und Kugelkoordinaten	119
4.7.3	Kontinuitätsgleichung in ebenen kartesischen Koordinaten	120
4.7.4	Integralsatz von *Gauß*	121
4.8	Energiegesetz	122
4.8.1	Energiegleichung bei eindimensionaler Betrachtungsweise	122
4.8.1.1	Reibungsfreie Flüssigkeit	122
4.8.1.2.	Energieausgleichswerte	130
4.8.1.3	Strömung mit Verlusten an hydraulischer Energie	133
4.8.2.	Bewegungsgleichungen	135
4.8.2.1	Bewegungsgleichungen für eine reibungsfreie, inkompressible Flüssigkeit nach *L. Euler*	136
4.8.2.2	Bewegungsgleichung einer inkompressiblen Flüssigkeit unter Berücksichtigung von Verlusten an hydraulischer Energie	138
4.9	Impulssatz	139
4.9.1	Stützkraft	141
4.9.2	Impulsausgleichswerte	143
4.9.3	Anwendungsbeispiele	144
4.9.3.1	Hydraulischer Verlust bei plötzlicher Rohrerweiterung	144
4.9.3.2	Strahlverhalten an Wänden	145
4.9.3.3	Richtungsänderung in Druckrohrleitungen	148
4.9.3.4	Druckkraft auf eine angehobene Schütze	150

5	**Stationäre Strömung in Druckrohrleitungen**	153
5.1	Vorbemerkungen	153
5.2	Allgemeines Widerstandsgesetz der Druckrohrströmung	153
5.3	Laminare Rohrströmung	157
5.3.1	Fließgesetz nach *Hagen* und *Poiseuille*	157
5.3.2	Filtergesetz von *Darcy*	161
5.4	Turbulente Rohrströmung	165
5.4.1	Eigenschaften der voll ausgebildeten turbulenten Rohrströmung	165
5.4.2	Fließgesetz von *Blasius* für technisch glatte Rohre	166
5.4.3	Theorie der turbulenten Fließbewegung nach *Prandtl*	169
5.4.4	Rauheit und „hydraulisches Verhalten“	174
5.4.5	Widerstandsbeiwert λ	176
5.4.5.1	Hydraulisch glattes Verhalten	176
5.4.5.2	Hydraulisch raues Verhalten	178
5.4.5.3	Verhalten im Übergangsbereich	178
5.4.5.4	Auswertung der Widerstandsformeln	179
5.4.6	Nicht kreisförmige Rohrquerschnitte	186
5.4.7	Zusammenhang zwischen Widerstandsbeiwert λ und Manningbeiwert k_{St}	186
5.5	Örtliche hydraulische Verluste	188
5.5.1	Definition und allgemeiner Berechnungsansatz	188
5.5.2	Einlaufverluste	190
5.5.3	Verluste bei Querschnittsänderung	191
5.5.4	Verluste bei Richtungsänderung	195
5.5.5	Vereinigungs- und Verzweigungsverluste	202
5.5.6	Durchfluss- und Verlustbeiwerte von Armaturen	207
5.5.6.1	Durchfluss- und Ausflussvorgang bei Regelarmaturen	207
5.5.6.2	Verlustbeiwerte ζ einiger Armaturen	209
5.5.6.3	k_v-Wert von Regelarmaturen	214
5.5.7	Verluste durch Einbauten und umströmte Körper	215
5.5.8	Austrittsverluste	217
5.6	Methodik der hydraulischen Berechnung von Druckrohrleitungen (Einzelstränge)	220
5.6.1	6 Grundfälle der hydraulischen Rohrleitungsberechnung	220
5.6.2	Darstellung der Energie- und Piezometerlinie; Berechnungsansätze, Beispiele	223
5.7	Wirtschaftliche Aspekte hydraulischer Rohrleitungsberechnungen	235
6	**Stationäres Fließen in offenen Gerinnen**	239
6.1	Fließformeln	239
6.1.1	Allgemeine Ableitung	239
6.1.2	Empirische Fließformeln	242
6.1.3	Universelle Fließformeln	247
6.1.4	Abflussberechnung in natürlichen Fließgewässern	249
6.1.4.1	Unterschiedliche Querschnittsrauheit	250

6.1.4.2	Gegliederte Fließquerschnitte	250
6.1.4.3	Gerinne mit starkem Bewuchs der Vorländer	251
6.1.4.4	Gerinne mit vollem Bewuchs	252
6.1.5	Abfluss in teilgefüllten Rohrleitungen	253
6.2	Hydraulisch günstige Fließquerschnitte von Gerinnen	257
6.3	Schleppspannung und Erosionssicherheit	260
6.3.1	Definitionen	260
6.3.2	Kritische Fließgeschwindigkeit v_{crit}	262
6.3.3	Schleppspannung τ_{crit}	262
6.3.4	Bewegungsbeginn bei Lockergesteinen	264
6.4	Strömen und Schießen; Extremalprinzip	266
6.4.1.	Allgemeine Ableitung	266
6.4.2	Grenztiefe und Grenzgeschwindigkeit für verschiedene Querschnitte	270
6.4.2.1	Beliebige und stark gegliederte Querschnitte	270
6.4.2.2	Rechteckquerschnitt	271
6.4.2.3	Trapez- und Dreieckquerschnitt	272
6.4.2.4	Kreisquerschnitt	275
6.4.2.5	Parabelquerschnitt	278
6.5	Fließwechsel	280
6.5.1	Übergang vom Strömen zum Schießen	280
6.5.2	Übergang vom Schießen zum Strömen	282
6.5.3	Wechselsprung und überschlägliche Tosbeckenbemessung	283
6.5.3.1	Der ebene Wechselsprung	285
6.5.3.2	Überschlagsbemessung ebener Tosbecken	287
6.5.3.3	Der räumliche Wechselsprung	290
6.5.3.4	Abschätzung der Fließgeschwindigkeit v_1 am Wechselsprunganfang	293
6.6	Fließbewegung bei Querschnittsänderung	294
6.6.1	Überströmung einer positiven Sohlstufe	294
6.6.2	Lokale Verluste an Querschnittsänderungen	299
6.6.2.1	Einlaufverluste	300
6.6.2.2	Negative Sohlstufe	300
6.6.2.3	Rechenverluste	302
6.6.2.4	Stauwandverlust	303
6.6.3	Pfeilerstau	305
6.6.4	Venturikanal	309
6.7	Stationär ungleichförmiges Fließen	311
6.7.1	Differenzialgleichung der Wasserspiegellinie; *Bresse*-Kurven	311
6.7.2	Analytische Berechnung der Wasserspiegellinie	315
6.7.3	Überschlägige Berechnung der Staulänge	321
6.7.4	Schrittweise Berechnung der Wasserspiegellinie	322
6.7.4.1	Δh-Verfahren	324
6.7.4.2	Δx-Verfahren	324

7	**Instationäre Strömungen**	329
7.1	Druckstoß in Rohrleitungen	329
7.1.1	Druckstoß nach der Theorie der starren Wassersäule	329
7.1.2	Druckstoß nach der Theorie der elastischen Wassersäule	335
7.1.2.1	Grundschritt der grafischen Druckstoßermittlung	337
7.1.2.2	Reflexion und Transmission der Druckstoßwellen	339
7.1.2.2.1	Freier Wasserspiegel	340
7.1.2.2.2	Geschlossenes und partiell geöffnetes Regelorgan	341
7.1.2.2.3	Kreiselpumpe	343
7.1.2.2.4	Änderung der Druckwellengeschwindigkeit a entlang des Rohres	343
7.1.2.3	Berechnung der Druckwellengeschwindigkeit a	345
7.1.2.4	Berücksichtigung der hydraulischen Verluste	348
7.1.2.5	Berechnungsbeispiel	350
7.1.3	Abminderung von Druckstößen	353
7.2	Schwall- und Sunkwellen in offenen Gerinnen	354
7.2.1	Klassifikation der Oberflächenwellen	354
7.2.2	Schwall und Sunk	355
8	**Ausfluss aus Gefäßen und unter Schützen; Retention**	361
8.1	Ausfluss aus Bodenöffnungen	361
8.1.1	Stationärer Ausfluss aus Bodenöffnungen	361
8.1.2	Instationärer Ausfluss aus Bodenöffnungen	365
8.2	Ausfluss aus Seitenöffnungen	370
8.2.1	Freier Ausfluss aus Seitenöffnungen	371
8.2.2	Teilweise rückgestauter Ausfluss aus Seitenöffnungen	373
8.3	Ausfluss unter Schützen	375
8.3.1	Freier Ausfluss	375
8.3.2	Grenze zwischen freiem und rückgestautem Ausfluss	377
8.3.3	Rückgestauter Ausfluss	378
8.4	Seerückhalt oder Retention	381
8.4.1	Der Mechanismus der Retention	381
8.4.2	Retentionsberechnung	383
8.4.2.1	Analytisches Verfahren der schrittweisen Näherung	384
8.4.2.2	Grafisches Verfahren nach *Sorensen*	386
8.4.3	Berechnung von Rückhaltebecken	388
9	**Abfluss über Wehre und Überfälle**	394
9.1	Einteilung der Wehre und Überfälle	394
9.2	Vollkommener Überfall	395
9.2.1	Überfallformel und Überfallcharakteristik	395
9.2.2	Kreisförmig oder elliptisch ausgerundete Überfallkrone	398
9.2.3	Standardprofil	399
9.2.4	Breitkroniges Wehr	404
9.2.5	Scharfkantige Wehre, Messwehre	414

9.2.6 Wehre mit beweglichen Verschlüssen 409
9.3 Unvollkommener Überfall 411
9.4 Einfluss von Pfeilern 414
9.5 Sonderformen von Überfällen 416
9.5.1 Streichwehre 416
9.5.2 Schachtüberfälle 421
9.5.3 Heberüberfälle 428
9.6 Druckverteilung auf dem Überfallprofil nach der Potenzialtheorie . . 432
Literaturverzeichnis 439
Stichwörterverzeichnis 445