

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	VII
Inhaltsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	XV
Nomenklatur	XXI
1 Einführung	1
Teil I Grundlagen und Herleitungen	
2 Grundlagen der Mathematik	5
2.1 Konventionen	5
2.2 Physikalische Größen	5
2.2.1 Skalar	5
2.2.2 Vektor	6
2.2.3 Tensor	6
2.2.4 Skalarprodukt	7
2.3 Euler vs. Lagrange	8
2.3.1 Lagrange'sche Betrachtungsweise	8
2.3.2 Euler'sche Betrachtungsweise	9
2.4 Funktionen	9
2.4.1 Ableitungen	10
2.4.1.1 Partielle Ableitung	10
2.4.1.2 Totales Differential	10
2.4.2 Integration	11
2.5 Kinematik	12
2.5.1 Dilatation bzw. Streckung	12
2.5.2 Deviation bzw. Scherung	13
2.5.3 Rotation bzw. Drehung	14
2.5.4 Geschwindigkeitsgradiententensor	15
2.5.5 Divergenz	15
2.6 Einstein'sche Summenkonvention	16
2.7 Strömungsbegriffe	16
2.8 Ausgewählte Linien	17
2.8.1 Streichlinie	17

IX

2.8.2	Stromlinie	18
2.8.3	Pfadlinie	18
2.8.4	Stromröhre	19
2.8.5	Stromfaden	19
2.9	Ausgewählte Querschnitte	20
3	Grundlagen der Physik	23
3.1	Aggregatzustände	23
3.1.1	Fest	23
3.1.2	Flüssig	24
3.1.3	Gasförmig	24
3.1.4	Aggregatzustände von Wasser	24
3.2	Größen und ihre Einheiten	25
3.3	Newtons Axiome	25
3.3.1	lex prima - Inertialgesetz	26
3.3.2	lex secunda - Grundgleichung der Mechanik	26
3.3.3	lex tertia - "actio = reactio"	26
3.4	Grundlegende physikalische Größen	27
3.4.1	Kraft	27
3.4.2	Impuls	27
3.4.3	Arbeit	27
3.4.4	Energie	28
3.4.5	Leistung	28
3.4.6	Dichte	29
3.4.7	Spannung	29
3.4.8	Verformung(-sgeschwindigkeit)	29
3.4.9	Druck	30
3.4.9.1	Absoluter Druck	30
3.4.9.2	Relativer Druck	31
3.4.10	Kompressibilität	31
3.4.11	Viskosität	33
3.4.12	Oberflächenspannung	34
3.4.13	Durchfluss	34
3.5	Eigenschaften von Wasser	34
3.6	Grundlegendes über Wasser	35
4	Einführung in die Potentialtheorie	37
4.1	Hinführung zur Potentialtheorie	37
4.2	Parallelströmung	39
4.3	Quellen- und Senkenströmung	39
4.4	Potentialwirbel	41
4.5	Zusammenfassung der Elementarlösungen	42
5	Grundgleichungen	45
5.1	Kontinuitätsbedingung	45
5.2	Cauchy-Gleichung	47
5.3	Konstitutive Gleichung	52
5.4	Euler-Gleichung	53
5.5	Navier-Stokes-Gleichung	54

5.6	Dimensionslose Navier-Stokes-Gleichung	55
5.7	Bernoulli-Gleichung	56
5.8	Impulssatz	58
5.9	Zusammenfassung der Grundgleichungen	61
6	Turbulenz und ihre Modellierung	65
6.1	Einführung in die Turbulenz	65
6.2	Kursorische Behandlung der Numerik	67
6.3	Direkte Numerische Simulation	68
6.4	Reynolds Averaged Navier-Stokes Simulation	68
6.5	Large Eddy Simulation	68
6.6	Flachwassergleichungen	70
6.7	Abschließende Überlegungen zur Turbulenz	71
 Teil II angewandte Hydraulik		
7	Hydrostatik	75
7.1	Allgemeines zur Hydrostatik	75
7.2	Allgemeines zur Hydrostatik	75
7.3	Hydrostatischer Druck	75
7.4	Druckkraft	77
7.5	Auftrieb	77
7.6	Druckfiguren	79
7.6.1	Druckfiguren bei beidseitigem Angriff	79
7.6.2	Fluide unterschiedlicher Dichte	80
7.6.3	Wasserdruck auf geneigte ebene Fläche	81
7.6.4	Dekomposition	82
7.6.5	Wirkungslinien resultierender Horizontalkräfte	83
7.6.6	Wirkungslinien resultierender Vertikalkräfte	83
7.6.7	Fußpunktgerade	86
7.7	Hydrostatisches Paradoxon	90
7.8	Wasserdruck auf ebene Flächen	92
7.9	Bewegte Flüssigkeiten	97
7.9.1	Beschleunigung entlang einer Gerade	98
7.9.2	Beschleunigung entlang einer Kreisbahn	100
7.10	Gesetz von Boyle-Mariotte	102
8	Bernoulli-Gleichung und Energiepläne	107
8.1	Einordnung der Bernoulli-Gleichung	107
8.2	Piezometrische Druckhöhe	107
8.3	Exkurs Energieplan, eine Einführung	108
8.4	Bernoulli in Rohrleitungen	109
8.5	Exkurs Energieplan, eine Weiterführung	110
8.6	Bernoulli bei Ausflüssen	112
8.7	Kavitation	113
9	Ausfluss aus Öffnungen	117
9.1	Ausfluss aus Öffnungen	117
9.2	Torricelli-Gleichung	117

9.3	Ausfluss bei kleinen und großen Öffnungen	119
9.4	Ausfluss bei veränderlichem Wasserspiegel	123
10	Impulssatz	131
10.1	Einordnung des Impulssatzes	131
10.2	Strömungskräfte bei Freispiegelströmungen	131
10.3	Befestigungskraft	133
10.4	Flanschkraft	135
11	Stationäre Rohrströmungen	137
11.1	Dynamische Ähnlichkeit von Rohrströmungen	137
11.2	Beschreibung laminarer Strömungen	137
11.3	Wandschubspannung bei Rohrströmungen	140
11.4	Hydraulische Verluste laminarer Strömungen	142
11.5	Hydraulische Verluste turbulenter Strömungen	144
11.6	Lokale hydraulische Verluste	152
11.7	Strömungsmaschinen	158
11.7.1	Pumpen	158
11.7.1.1	Anlagenkennlinie	158
11.7.1.2	Pumpenkennlinie	159
11.7.1.3	Parallelschaltung von Pumpen	162
11.7.1.4	Serienschaltung von Pumpen	162
11.7.2	Turbinen	163
11.8	Rohrvereinigungen	165
11.9	Zusammenfassung der Rohrströmung	168
12	Instationäre Rohrströmungen	171
12.1	Allgemeines über instationäre Rohrströmungen	171
12.2	Kontinuitätsbedingung nach Alliévi	173
12.3	Energiegleichung nach Alliévi	178
12.4	Riemann-Lösung der Alliévi-Gleichungen	179
12.5	Joukowsky-Stoß	181
12.6	Impulsgleichung	185
12.7	Charakteristiken-Verfahren	187
12.7.1	Anfangscharakteristik	190
12.7.2	Berechnungsmodule	191
12.7.3	Knoten im Inneren des Gebietes	191
12.7.4	Knoten am linken Rand	192
12.7.4.1	Reservoir mit konstantem Wasserspiegel	193
12.7.4.2	Reservoir mit zeitlich veränderlichem Wasserspiegel	193
12.7.4.3	Zeitlich veränderliche Geschwindigkeit	194
12.7.4.4	Regelorgan	194
12.7.5	Knoten am rechten Rand	195
12.7.5.1	Reservoir mit konstantem Wasserspiegel	196
12.7.5.2	Reservoir mit zeitlich veränderlichem Wasserspiegel	196
12.7.5.3	Zeitlich veränderliche Geschwindigkeit	197
12.7.5.4	Regelorgan	197
12.8	Zusammenfassung instationäre Rohrströmungen	197

13 Stationäre Gerinneströmung	203
13.1 Strömungen mit freier Oberfläche	203
13.2 Dynamische Ähnlichkeit von Gerinneströmungen	203
13.3 Bernoulli-Gleichung in Gerinnen	205
13.3.1 H-y-Diagramm	206
13.3.2 Mathematische Beschreibung der kritischen Verhältnisse	211
13.3.3 Q-y-Diagramm	213
13.4 Abfluss unter einer Schütze	215
13.5 Abfluss über Wehre	216
13.5.1 Poleni-Gleichung	217
13.5.2 Du Buat-Gleichung	220
13.5.3 Unvollkommener Überfall	220
13.6 Abfluss durch einen Heber	221
13.7 Fließtiefe an einem Absturz	222
13.8 Venturi-Kanal	224
13.9 Stationär-gleichförmige Gerinneströmung	225
13.10 Stationär-ungleichförmige Gerinneströmung	231
13.10.1 Differentialgleichung der Spiegellinie	232
13.10.2 Wasserspiegelverläufe	236
13.10.2.1 Übergang Strömen-Strömen	236
13.10.2.2 Übergang Schießen-Schießen	240
13.10.2.3 Übergang Strömen-Schießen	242
13.10.2.4 Übergang Schießen-Strömen - Wechselsprung	243
13.10.2.5 Wasserspiegelverläufe beim Wechselsprung	247
13.11 Böß-Verfahren	258
13.11.1 Abstand Δx zweier Fließtiefen	259
13.11.2 Fließtiefe im Abstand Δx	259
14 Instationäre Gerinneströmung	261
14.1 St.-Venant'sche Differentialgleichungen	261
14.2 Schwall und Sunk	262
15 Einführung in die Grundwasserhydraulik	267
Teil III Aufgaben mit Lösungen	
16 Aufgaben	275
1 Aufgaben Hydrostatik	275
2 Aufgaben Ausfluss aus Öffnungen	279
3 Aufgaben Impulssatz	280
4 Aufgaben Gerinnehydraulik	282
5 Aufgaben Rohrhydraulik	286
6 Aufgaben themenübergreifende Fragen	289
7 Aufgaben instationäre Gerinnehydraulik	291
17 Lösungen	293
1 Lösungen Hydrostatik	293
2 Lösungen Ausfluss aus Öffnungen	298
3 Lösungen Impulssatz	301

4	Lösungen Gerinnehydraulik	305
5	Lösungen Rohrhydraulik	310
6	Lösungen themenübergreifende Fragestellungen.....	315
7	Lösungen instationäre Gerinnehydraulik	318

Teil IV Beispiele aus der Praxis

18	Kräfte Wehranlage Wieblingen	323
19	Lagerkräfte im PSW Leitzach	327
20	Mischwasserleitung in Hamburg	333
21	Stauziel Uppenbornwerk 1	341

Teil V Anhang

Anhang.....	349
A.1 Dipol einer Potentialströmung.....	349
A.2 Schubspannungsgleichgewicht am differentiellen Element.....	351
A.3 Herleitung für den Rohrreibungsbeiwert λ	352
A.3.1 Reynolds-Mittelung.....	352
A.3.2 Prandtl'scher Mischungswegansatz.....	353
A.3.3 Wandgesetz.....	354
A.3.3.1 Bereich I	355
A.3.3.2 Bereich II und III.....	355
A.3.4 Glatte Verhältnisse	360
A.3.5 Raue Verhältnisse	361
A.3.6 Übergangsbereich	362
A.4 Berechnung der Determinante einer Matrix	363
A.5 Herleitung kritische Verhältnisse.....	363
A.5.1 Trapezquerschnitt	363
A.5.2 Dreieckquerschnitt.....	364
A.5.3 Parabelquerschnitt	364
A.6 Wellentheorie	365
A.6.1 Tiefwasserwellen	366
A.6.2 Flachwasserwellen	366
A.6.3 Kapillarwellen	367
A.7 Lösung Hamburg-Mischwasser.....	368
A.8 Ergebnisse instationäre Rohrhydraulik	370

Teil VI Literatur

Literatur	377
-----------------	-----