

Inhaltsverzeichnis

Áriston mèn hýdōr	V
Inhaltsverzeichnis	XII
Nomenklatur	XIX
1 von Ursprung und Quelle	1
1.1 vom Ursprung	1
1.2 vom Ursprung des Lebens	3
1.3 vom Ursprung der Zivilisation	4
1.4 von Ursprung und Quelle der Industrie	6
1.5 zum Ursprung	7
Teil I Grundlagen und Herleitungen	
2 Grundlagen der Mathematik	11
2.1 Konventionen	11
2.2 physikalische Größen	11
2.2.1 Skalar	11
2.2.2 Vektor	12
2.2.3 Tensor	12
2.2.4 Skalarprodukt	13
2.2.5 Vektor- oder Kreuzprodukt	14
2.3 Euler vs. Lagrange	14
2.3.1 Lagrange'sche Betrachtungsweise	14
2.3.2 Euler'sche Betrachtungsweise	15
2.4 Funktionen	16
2.4.1 Ableitungen	16
2.4.1.1 partielle Ableitung	17
2.4.1.2 totales Differential	17
2.4.2 Integration	18
2.5 Kinematik	18
2.5.1 Dilatation bzw. Streckung	19
2.5.2 Deviation bzw. Scherung	20
2.5.3 Rotation bzw. Drehung	20
	VII

2.5.4	Geschwindigkeitsgradiententensor	21
2.5.5	Divergenz	22
2.6	Einstein'sche Summenkonvention	22
2.7	Strömungsbegriffe	23
2.8	ausgewählte Linien	24
2.8.1	Streichlinie	24
2.8.2	Stromlinie	24
2.8.3	Pfadlinie	25
2.8.4	Stromröhre	25
2.8.5	Stromfaden	26
2.9	ausgewählte Querschnitte	26
3	Grundlagen der Physik	29
3.1	Aggregatzustände	29
3.1.1	fest	29
3.1.2	flüssig	30
3.1.3	gasförmig	30
3.1.4	Aggregatzustände von Wasser	30
3.2	Größen und ihre Einheiten	31
3.3	Newtons Axiome	31
3.3.1	lex prima - Inertialgesetz	32
3.3.2	lex secunda - Grundgleichung der Mechanik	32
3.3.3	lex tertia - "actio = reactio"	32
3.4	grundlegende physikalische Größen	33
3.4.1	Kraft	33
3.4.2	Impuls	33
3.4.3	Arbeit	33
3.4.4	Energie	34
3.4.5	Leistung	34
3.4.6	Dichte	35
3.4.7	Spannung	35
3.4.8	Verformung(-sgeschwindigkeit)	35
3.4.9	Druck	36
3.4.9.1	absoluter Druck	36
3.4.9.2	relativer Druck	37
3.4.10	Kompressibilität	37
3.4.11	Viskosität	38
3.4.12	Oberflächenspannung	39
3.4.13	Durchfluss	40
3.5	Eigenschaften von Wasser	40
4	Einführung in die Potentialtheorie	43
4.1	Hinführung zur Potentialtheorie	43
4.2	Parallelströmung	45
4.3	Quellen- und Senkenströmung	45
4.4	Potentialwirbel	47
4.5	Zusammenfassung der Elementarlösungen	48
5	Grundgleichungen	51

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<i>IX</i>
5.1	Kontinuitätsbedingung 51
5.2	Cauchy-Gleichung 53
5.3	Konstitutive Gleichung 58
5.4	Euler-Gleichung 59
5.5	Navier-Stokes-Gleichung 60
5.6	dimensionslose Navier-Stokes-Gleichung 61
5.7	Bernoulli-Gleichung 62
5.8	Impulssatz 64
5.9	Zusammenfassung der Grundgleichungen 68
6	Turbulenz und ihre Modellierung 71
6.1	Einführung in die Turbulenz 71
6.2	kursorische Behandlung der Numerik 73
6.3	Direkte Numerische Simulation 74
6.4	Reynolds Averaged Navier-Stokes Simulation 74
6.5	Large Eddy Simulation 74
6.6	Flachwassergleichungen 76
6.7	abschließende Überlegungen zur Turbulenz 77
Teil II angewandte Hydraulik	
7	Hydrostatik 81
7.1	Allgemeines zur Hydrostatik 81
7.2	hydrostatischer Druck 81
7.3	Druckkraft 83
7.4	Auftrieb 83
7.5	Druckfiguren 85
7.5.1	Druckfiguren bei beidseitigem Angriff 85
7.5.2	Fluide unterschiedlicher Dichte 86
7.5.3	Wasserdruck auf geneigte ebene Flächen 87
7.5.4	Dekomposition 88
7.5.5	Wirkungslinien resultierender Horizontalkräfte 89
7.5.6	Wirkungslinien resultierender Vertikalkräfte 89
7.5.7	Fußpunktgerade 92
7.6	Hydrostatisches Paradoxon 96
7.7	Wasserdruck auf ebene Flächen 98
7.8	bewegte Flüssigkeiten 103
7.8.1	Beschleunigung entlang einer Gerade 104
7.8.2	Beschleunigung entlang einer Kreisbahn 106
7.9	Gesetz von Boyle-Mariotte 108
8	Bernoulli-Gleichung und Energiepläne 113
8.1	Einordnung der Bernoulli-Gleichung 113
8.2	piezometrische Druckhöhe 113
8.3	Exkurs Energieplan, eine Einführung 114
8.4	Bernoulli in Rohrleitungen 115
8.5	Exkurs Energieplan, eine Weiterführung 116
8.6	Bernoulli bei Ausflüssen 118
8.7	Kavitation 119

9	Ausfluss aus Öffnungen	123
9.1	Ausfluss aus Öffnungen	123
9.2	Torricelli-Gleichung	123
9.3	Ausfluss bei kleinen und großen Öffnungen	125
9.4	Ausfluss bei veränderlichem Wasserspiegel	129
10	Impulssatz	137
10.1	Einordnung des Impulssatzes	137
10.2	Strömungskräfte bei Freispiegelströmungen	137
10.3	Kräfte auf einen Schlauch mit Düse	139
11	stationäre Rohrströmungen	143
11.1	dynamische Ähnlichkeit von Rohrströmungen	143
11.2	Beschreibung laminarer Strömungen	143
11.3	Wandschubspannung bei Rohrströmungen	146
11.4	hydraulische Verluste laminarer Strömungen	148
11.5	hydraulische Verluste turbulenter Strömungen	150
11.6	lokale hydraulische Verluste	159
11.7	Strömungsmaschinen	165
11.7.1	Pumpen	165
11.7.1.1	Anlagenkennlinie	165
11.7.1.2	Pumpenkennlinie	166
11.7.1.3	Parallelschaltung von Pumpen	169
11.7.1.4	Serienschaltung von Pumpen	169
11.7.2	Turbinen	170
11.8	Rohrvereinigungen	172
11.9	Zusammenfassung der Rohrströmung	175
12	instationäre Rohrströmungen	177
12.1	Allgemeines über instationäre Rohrströmungen	177
12.2	Kontinuitätsbedingung nach Alliévi	179
12.3	Energiegleichung nach Alliévi	184
12.4	Riemann-Lösung der Alliévi-Gleichungen	185
12.5	Joukowsky-Stoß	187
12.6	Impulsgleichung	190
12.7	Charakteristiken-Verfahren	192
12.7.1	Anfangscharakteristik	195
12.7.2	Berechnungsmodule	196
12.7.3	Knoten im Innern des Gebietes	196
12.7.4	Knoten am linken Rand	197
12.7.4.1	Reservoir mit konstantem Wasserspiegel	198
12.7.4.2	Reservoir mit zeitlich veränderlichem Wasserspiegel	198
12.7.4.3	zeitlich veränderliche Geschwindigkeit	199
12.7.4.4	Regelorgan	199
12.7.5	Knoten am rechten Rand	200
12.7.5.1	Reservoir mit konstantem Wasserspiegel	201
12.7.5.2	Reservoir mit zeitlich veränderlichem Wasserspiegel	201
12.7.5.3	zeitlich veränderliche Geschwindigkeit	202
12.7.5.4	Regelorgan	202

12.8 Zusammenfassung instationäre Rohrströmungen	202
13 stationäre Gerinneströmung	209
13.1 Strömungen mit freier Oberfläche	209
13.2 dynamische Ähnlichkeit von Gerinneströmungen	209
13.3 Bernoulli-Gleichung in Gerinnen	211
13.3.1 H-y-Diagramm	212
13.3.2 mathematische Beschreibung der kritischen Verhältnisse	217
13.3.3 q-y-Diagramm	219
13.4 Abfluss unter einer Schütze	221
13.5 Abfluss über Wehre	222
13.5.1 Poleni-Gleichung	223
13.5.2 du Buat-Gleichung	225
13.5.3 unvollkommener Überfall	226
13.6 Abfluss durch einen Heber	226
13.7 Fließtiefe an einem Absturz	227
13.8 Venturi-Kanal	229
13.9 stationär-gleichförmige Gerinneströmung	231
13.10 stationär-ungleichförmige Gerinneströmung	237
13.10.1 Differentialgleichung der Spiegellinie	237
13.10.2 Wasserspiegelverläufe	241
13.10.2.1 Übergang Strömen-Strömen	241
13.10.2.2 Übergang Schießen-Schießen	245
13.10.2.3 Übergang Strömen-Schießen	248
13.10.2.4 Übergang Schießen-Strömen - Wechselsprung	248
13.10.2.5 Wasserspiegelverläufe beim Wechselsprung	253
13.11 Böß-Verfahren	264
13.11.1 Abstand Δx zweier Fließtiefen	265
13.11.2 Fließtiefe im Abstand Δx	265
14 instationäre Gerinneströmung	267
14.1 St.-Venant'sche Differentialgleichungen	267
14.2 Schwall und Sunk	268
15 Einführung in die Grundwasserhydraulik	273
Teil III Aufgaben mit Lösungen	
16 Aufgaben	281
1 Aufgaben Hydrostatik	281
2 Aufgaben Ausfluss aus Öffnungen	284
3 Aufgaben Impulssatz	285
4 Aufgaben Gerinnehydraulik	288
5 Aufgaben Rohrhydraulik	291
6 Aufgaben themenübergreifende Fragen	294
7 Aufgaben instationäre Gerinnehydraulik	296
17 Lösungen	299
1 Lösungen Hydrostatik	299
2 Lösungen Ausfluss aus Öffnungen	304

3	Lösungen Impulssatz	307
4	Lösungen Gerinnehydraulik	311
5	Lösungen Rohrhydraulik	316
6	Lösungen themenübergreifende Fragestellungen	322
7	Lösungen instationäre Gerinnehydraulik	324

Teil IV Beispiele aus der Praxis

18	Kräfte Wehranlage Wieblingen	329
19	Lagerkräfte im PSW Leitzach	333
20	Mischwasserleitung in Hamburg	339
21	Stauziel Uppenbornwerk 1	347

Teil V Anhang

Anhang	355
A.1 Dipol einer Potentialströmung	355
A.2 Schubspannungsgleichgewicht am differentiellen Element	357
A.3 Herleitung für den Rohrreibungsbeiwert λ	358
A.3.1 Reynolds-Mittelung	358
A.3.2 Prandtl'scher Mischungswegansatz	359
A.3.3 Wandgesetz	360
A.3.3.1 Bereich I	361
A.3.3.2 Bereich II und III	361
A.3.4 glatte Verhältnisse	366
A.3.5 raue Verhältnisse	367
A.3.6 Übergangsbereich	368
A.4 Berechnung der Determinante einer Matrix	368
A.5 Herleitung kritische Verhältnisse	369
A.5.1 Trapezquerschnitt	369
A.5.2 Dreieckquerschnitt	370
A.5.3 Parabelquerschnitt	370
A.6 Wellentheorie	371
A.6.1 Tiefwasserwellen	372
A.6.2 Flachwasserwellen	372
A.6.3 Kapillarwellen	373
A.7 Lösung Hamburg-Mischwasser	374
A.8 Ergebnisse instationäre Rohrhydraulik	376

Teil VI Literatur

Literatur	383
-----------------	-----