

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	VII
Inhaltsverzeichnis .....	IX
Abbildungsverzeichnis .....	XV
Nomenklatur.....	XXI
<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>
<b>Teil I Grundlagen und Herleitungen</b>	
<b>2 Grundlagen der Mathematik.....</b>	<b>5</b>
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

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
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Physik .....</b>	<b>23</b>
3.1	Aggregatzustände .....	23
3.1.1	Fest .....	23
3.1.2	Fflüssig .....	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
<b>4</b>	<b>Einführung in die Potentialtheorie .....</b>	<b>37</b>
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
<b>5</b>	<b>Grundgleichungen .....</b>	<b>45</b>
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
<b>6</b>	<b>Turbulenz und ihre Modellierung .....</b>	<b>65</b>
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
<b>Teil II angewandte Hydraulik</b>		
<b>7</b>	<b>Hydrostatik .....</b>	<b>75</b>
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
<b>8</b>	<b>Bernoulli-Gleichung und Energiepläne .....</b>	<b>107</b>
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
<b>9</b>	<b>Ausfluss aus Öffnungen .....</b>	<b>117</b>
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
<b>10</b>	<b>Impulssatz</b>	<b>131</b>
10.1	Einordnung des Impulssatzes	131
10.2	Strömungskräfte bei Freispiegelströmungen	131
10.3	Befestigungskraft	133
10.4	Flanschkraft	135
<b>11</b>	<b>Stationäre Rohrströmungen</b>	<b>137</b>
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
<b>12</b>	<b>Instationäre Rohrströmungen</b>	<b>171</b>
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

<b>13 Stationäre Gerinneströmung</b> .....	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 $\Delta x$ zweier Fließtiefen .....	259
13.11.2 Fließtiefe im Abstand $\Delta x$ .....	259
<b>14 Instationäre Gerinneströmung</b> .....	261
14.1 St.-Venant'sche Differentialgleichungen .....	261
14.2 Schwall und Sunk .....	262
<b>15 Einführung in die Grundwasserhydraulik</b> .....	267
<b>Teil III Aufgaben mit Lösungen</b>	
<b>16 Aufgaben</b> .....	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
<b>17 Lösungen</b> .....	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
<b>Teil IV Beispiele aus der Praxis</b>		
18	Kräfte Wehranlage Wieblingen .....	323
19	Lagerkräfte im PSW Leitzach .....	327
20	Mischwasserleitung in Hamburg .....	333
21	Stauziel Uppenbornwerk 1 .....	341
<b>Teil V Anhang</b>		
<b>Anhang</b> .....		<b>349</b>
A.1	Dipol einer Potentialströmung .....	349
A.2	Schubspannungsgleichgewicht am differentiellen Element .....	351
A.3	Herleitung für den Rohrreibungsbeiwert $\lambda$ .....	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
<b>Teil VI Literatur</b>		
<b>Literatur</b> .....		<b>377</b>