

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	1
1.1	Geschichtliche Entwicklung	1
1.2	Formelzeichen und Einheiten in der Hydraulik	2
1.2.1	Basisgrößen der SI-Einheiten	2
1.2.2	Symbolverzeichnis	3
1.3	Dezimale Vielfache von Einheiten	7
1.4	Griechisches und kyrillisches (russisches) Alphabet, römische Ziffern und Zahlen	7
1.5	Umrechnung von britischen und US-Einheiten in metrische Einheiten	9
1.6	Historische und nicht mehr gebräuchliche Einheiten	12
1.7	Umrechnungen wichtiger Einheiten	12
2	Mathematische Grundlagen in der Hydraulik, wichtige geometrische Werte	15
2.1	Wichtige Zahlenwerte	15
2.2	Trigonometrie	15
2.2.1	Allgemeines Dreieck	15
2.2.2	Rechtwinkliges Dreieck	15
2.2.3	Umrechnungen der Winkelfunktionen	16
2.3	Wichtige Funktionen	16
2.3.1	Quadratische Gleichung	16
2.3.2	Kubische Gleichung	16
2.3.3	Newtonsches Näherungsverfahren	17
2.3.4	Taylor-Reihe	17
2.3.5	Exponentialfunktion	18
2.4	Umrechnung von Gefälle und Böschungsneigung	18
2.5	Flächenberechnung (Auswahl)	19
2.6	Volumenberechnung (Auswahl)	22
2.7	Geometrie von Gerinne-Querschnitten mit offenem Wasserspiegel	23
2.7.1	Offene Gerinne	24
2.7.2	Genormte Kanalquerschnitte bei Vollfüllung nach DIN 4263:2011-06	25
2.8	Schwerpunkt S, Flächenträgheitsmoment und Zentrifugalmoment	27
2.9	Hydraulisch günstige Fließquerschnitte	28
3	Physikalische Größen und Einheiten	33
3.1	Schwerebeschleunigung	33
3.2	Corioliskraft	34
3.3	Gezeiten	35
3.4	Eigenschaften des Wassers	37
3.4.1	Dichte	37
3.4.2	Dichteveränderungen durch Beimengungen	39
3.4.3	Relative Raumänderung des Wassers	41

3.4.4	Dampfdruck des Wassers	41
3.4.5	Viskosität von Wasser	42
3.4.6	Volumenelastizität	43
3.4.7	Druckwellengeschwindigkeit	43
3.4.8	Oberflächenspannung und Kapillarität	46
3.5	Materialwerte weiterer Flüssigkeiten und Gase	48
3.6	Materialwerte von Rohrleitungen und Baustoffen	49
3.7	Sink-, Fall- und Steiggeschwindigkeit	50
3.7.1	Allgemeiner Ansatz	50
3.7.2	Sink- bzw. Absetzgeschwindigkeit von Feststoffen in Wasser	54
3.7.3	Fallgeschwindigkeit von Wassertropfen in Luft	58
3.7.4	Steiggeschwindigkeit von Luftblasen im Wasser	59
3.8	Druck	61
3.8.1	Definition der Druck-Einheiten	61
3.8.2	Atmosphärendruck	62
3.8.3	Absolutdruck und Bezugsdruck	64
3.8.4	Dampfdruck, Haltedruck und Kavitation	65
3.8.5	Druckmessung	67
4	Hydrostatik	69
4.1	Definitionen	69
4.2	Hydrostatische Druckkraft auf ebene Flächen	71
4.2.1	Senkrechte Seitenflächen	71
4.2.2	Konstruktive Lastaufteilung	73
4.2.3	Geneigte Seitenflächen	75
4.2.4	Horizontale Bodenflächen, hydrostatisches Paradoxon	77
4.2.5	Ebene Flächen unterhalb des Wasserspiegels	78
4.3	Zerlegung der Druckkraft in horizontale und vertikale Anteile	81
4.3.1	Geneigte Seitenflächen	82
4.3.2	Polygonartige Stauwand	83
4.3.3	Einfach gekrümmte Stauwand	84
4.3.4	Kreiszyylinderflächen	86
4.4	Innendruck von Behältern, Kesselformel	91
4.5	Flüssigkeitsmanometer	92
4.6	Niveauflächen	94
4.6.1	Kommunizierende Gefäße	95
4.6.2	Niveaufläche in gleichmäßig beschleunigten Gefäßen	95
4.6.3	Niveaufläche in rotierenden Behältern	96
4.6.4	Wasserspiegellage in Gerinnekrümmungen	98
4.7	Auftrieb	99
4.7.1	Im Wasser eingetauchte Körper	99
4.7.2	Hydrostatischer Auftrieb auf Bauwerke	100
4.7.3	Hydrodynamischer Auftrieb auf Bauwerke	101

4.8	Schwimmen und Schwimmstabilität	102
4.8.1	Nachweis der Schwimmfähigkeit.....	102
4.8.2	Nachweis der Schwimmstabilität	103
4.9	Hydraulische Presse	107
5	Hydrodynamische Grundgleichungen	109
5.1	Einführung	109
5.2	Begriffe und Definitionen	110
5.3	Kontinuität	113
5.4	Allgemeine Strömungsgleichungen	115
5.5	Bernoulli-Gleichung	118
5.6	Fließwechsel	119
5.7	Wellenausbreitung	121
5.8	Flachwassergleichungen	122
5.9	Saint-Venant-Gleichungen	123
5.10	Abflussformeln	124
5.11	Impuls- und Stützkkräfte	125
5.12	Ausgleichsbeiwerte	127
5.13	Filtergesetz von Darcy	128
6	Druckrohrströmung	129
6.1	Einleitung	129
6.2	Energie- und Drucklinie (Durchflussberechnung)	129
6.3	Fließarten, Geschwindigkeitsprofile und Reibungsbeiwert	133
6.3.1	Laminare Rohrströmung	133
6.3.2	Turbulente Rohrströmung	134
6.3.3	Reibungsbeiwert im turbulenten Bereich	137
6.4	Absolute und relative hydraulische Rauheit	142
6.5	<i>Q-d-I</i>-Tafeln zur Durchflussermittlung	143
6.6	Druckrohrsortiment nach DIN (Auswahl)	146
6.7	Nicht kreisförmige Querschnitte	155
6.8	Verkrustung und Alterung von Rohren	158
6.9	Örtliche Verluste in Rohrleitungselementen und Armaturen	160
6.9.1	Verluste durch Querschnittsänderungen	161
6.9.2	Verluste durch Richtungsänderungen.....	169
6.9.3	Einlaufverluste	171
6.9.4	Auslaufverluste.....	176
6.9.5	Vereinigungsverluste	177
6.9.6	Verzweigungsverluste.....	183
6.9.7	Integraler Verlustbeiwert der Rohrverzweigung.....	185
6.9.8	Verluste an Armaturen	187
6.10	Lufteinschluss und Teilfüllung	198
6.11	Wasserabzug und Wasserverteilung	200
6.11.1	Stromvereinigung	200

6.11.2	Wasserabzug mit gelochten Röhren.....	201
6.11.3	Stromtrennung.....	202
6.11.4	Wasserverteilung.....	202
6.12	Pumpen- und Turbinenleitungen	203
6.12.1	Pumpenleitungen.....	203
6.12.2	Pumpensonderform: Druckluftheber.....	211
6.12.3	Turbinenleitungen	215
6.12.4	Hydraulik der Pumpspeicherung	218
6.13	Hydraulische Berechnung von Rohrnetzen	221
6.13.1	Wirtschaftliche Fließgeschwindigkeit und wirtschaftlicher Durchmesser	222
6.13.2	Netzaufbau	225
6.13.3	Hydraulische Kennlinien.....	226
6.13.4	Berechnungsregeln.....	230
6.13.5	Berechnungsverfahren.....	230
6.14	Druckstoß	232
6.14.1	Ursachen und Phänomene	232
6.14.2	Berechnungsansätze	234
6.14.3	Druckstoßverminderung.....	237
7	Freispiegelströmung	239
7.1	Allgemeines, Begriffe	239
7.2	Fließformeln	242
7.2.1	Fließformel nach Gauckler-Manning-Strickler (GMS-Formel).....	243
7.2.2	Fließformel nach Darcy und Weisbach.....	249
7.2.3	Einfluss der Querschnittsformen auf die Abflussberechnung.....	252
7.2.4	Abflusskurven	254
7.3	Abfluss in teilgefüllten, geschlossenen Leitungen	256
7.3.1	Genormte Kanalquerschnitte	256
7.3.2	Zuschlagen geschlossener Leitungen bei Teilfüllung.....	262
7.3.3	Abfluss in Durchlässen unter Verkehrswegen	262
7.4	Schießen und Strömen	267
7.4.1	Der kritische Fließzustand.....	268
7.4.2	Die Bedeutung der Froude-Zahl	274
7.4.3	Hydraulische Effekte beim Fließwechsel Strömen-Schießen.....	275
7.4.4	Der Wechselsprung (Hydraulic Jump).....	276
7.4.5	Ermittlung der Randbedingung v_1 und h_1 am überströmten Wehr	277
7.4.6	Fließwechsel durch Verringerung des Fließquerschnittes	280
7.4.7	Fließwechsel durch erhöhte Rauheit und Störsteine.....	282
7.4.8	Fließwechsel an unterströmten Verschlüssen.....	283
7.5	Schubspannung und Sohlbewegung	283
7.5.1	Definition der Schubspannung	283
7.5.2	Kritische Schubspannung und kritische Geschwindigkeit.....	285
7.5.3	Geschiebetransport.....	288

7.6	Lokale Verluste	290
7.6.1	Einlaufverluste	290
7.6.2	Gerinneübergänge	291
7.6.3	Krümmungen	293
7.6.4	Einbauten (Pfeilerstau).....	295
7.7	Stau- und Senkungslinien	296
7.8	Instationäre Freispiegelströmungen – Schwall- und Sunkwellen	303
7.8.1	Allgemeines	303
7.8.2	Berechnungsansatz Schwallwelle.....	305
7.8.3	Sunkwelle, Berechnungsansatz	306
7.8.4	Schwall und Sunk im Rechteckquerschnitt.....	306
7.8.5	Näherungsberechnungen	307
7.8.6	Schwall in beliebig geformten Gerinnequerschnitten	308
7.8.7	Iterative Berechnung der Sunkwellen.....	309
7.8.8	Verformung von Schwallwellen.....	310
7.8.9	Berechnungsbeispiel	312
7.8.10	Maßnahmen zum Schwallabschlag.....	316
7.9	Ausfluss aus Öffnungen und unter Schützen	317
7.9.1	Bodenöffnungen	318
7.9.2	Seitenöffnung	319
7.9.3	Ausfluss unter Schützen.....	321
7.9.4	Rückgestauter Ausfluss.....	325
7.9.5	Rückgestauter Ausfluss aus Seitenöffnungen und Schlitzten.....	328
8	Überfälle und Hochwasserentlastungsanlagen	329
8.1	Einleitung Überfälle	329
8.2	Überfallformel	331
8.3	Überfallbeiwert	332
8.3.1	Basiswert μ_0	332
8.3.2	Beiwert μ_1 der Zulaufgeschwindigkeit.....	335
8.3.3	Beiwert μ_2 der Verluste durch Strahleinschnürung und Ablösung.....	338
8.3.4	Einfluss des Strahldruckes – Beiwert μ_3	339
8.3.5	Der unvollkommene Überfall – Beiwert μ_4	339
8.3.6	Einfluss der schrägen Anströmung – Beiwert μ_5	340
8.3.7	Einfluss von Pfeilern und Seiteneinschnürung – Beiwert μ_6	342
8.4	Rechtecküberfall	344
8.4.1	Breitkroniger Überfall.....	345
8.4.2	Scharfkantiger Überfall.....	347
8.4.3	Beweglicher Überfall	349
8.4.4	Zylinderwehr	352
8.4.5	Schmalkroniger Überfall.....	354
8.4.6	Standardüberfall.....	356
8.4.7	Dachwehr.....	359

8.4.8	Schlauchwehr	359
8.5	Dreiecküberfall	360
8.6	Parabelüberfall	362
8.7	Kreisüberfall	362
8.8	Proportionalüberfall	364
8.9	Exponentialüberfall	365
8.10	Zusammengesetzte Messwehre	366
8.11	Streichwehr	367
8.12	Piano-Wehr	369
8.13	Tiroler Wehr	370
8.14	Heberüberfall	370
8.14.1	Vergleich Heberüberfall – normaler Überfall	370
8.14.2	Grenzbedingung Unterdruck im Heberscheitel	371
8.14.3	Arbeitszyklus eines und mehrerer Heber	372
8.14.4	Abflusssteuerung durch gestaffelte Heber	373
8.14.5	Abflusssteuerung durch Belüftung des Hebers	374
8.15	Ringförmige Überfälle	377
8.15.1	Schachtüberfall	378
8.15.2	Versturzleitung	390
8.15.3	Wirbelfallschacht	391
8.16	Sammelrinne	394
8.17	Übergangsrinnen und Schussrinnen	400
8.17.1	Wasserspiegellagenberechnung	400
8.17.2	Luftaufnahme in Schussrinnen	401
8.17.3	Stoßwellen	405
8.17.4	Krümmungseinfluss	408
8.17.5	Kavitation in Schussrinnen	408
8.17.6	Schussrinnenbelüfter	409
8.17.7	Beispiel Schussrinne	410
8.18	Treppen und Kaskaden	412
8.19	Wurfstrahl und Kolkbildung	417
8.20	Tosbecken	421
8.20.1	Formen des Wechselsprunges	421
8.20.2	Die konjugierten Wassertiefen	422
8.20.3	Der Energieverlust des einfachen Wechselsprunges	423
8.20.4	Tosbecken	423
8.20.5	Tosbeckenformen	424
8.20.6	Beispiel Tosbeckenberechnung	427
8.21	Grundablass und Entnahmeeinrichtung	428
9	Wasserstrahlen	435
9.1	Wasserstrahlen in der Luft	435
9.1.1	Senkrechter Wasserstrahl in der Luft	436

9.1.2	Schräger Wasserstrahl in der Luft – Wurfstrahl	441
9.1.3	Wurfstrahl bei Hochwasserentlastungsanlagen.....	445
9.2	Wasserstrahlen im Wasser	445
9.2.1	Freistrahlin in unbegrenztem Raum	446
9.2.2	Umgelenkter Freistrahlin	447
9.2.3	Freistrahlin in begrenztem Raum mit freiem Wasserspiegel.....	450
9.3	Strahlausbreitung in einer Querströmung	451
10	Sicker- und Grundwasserströmungen	453
10.1	Begriffe und Definitionen	453
10.1.1	Porosität.....	453
10.1.2	Suffosion, Erosion und Kolmation	455
10.1.3	Durchlässigkeitsbeiwert.....	456
10.1.4	Filter und Filteraufbau	461
10.1.5	Kapillare Steighöhe.....	463
10.2	Grundwasser-Strömungsgleichungen	464
10.3	Brunnenentnahme	466
10.3.1	Ungespanntes Grundwasser	467
10.3.2	Gespanntes Grundwasser	468
10.3.3	Beispiel Brunnen	469
10.4	Strom- und Potentialliniennetz	470
10.5	Sohlwasserdruck	472
10.6	Durchströmung eines Erddammes	477
10.7	Hydraulischer Grundbruch	481
10.8	Geotextile Filter	483
10.9	Stofftransport im Grundwasser	485
	Literaturverzeichnis	487
	Stichwortverzeichnis	505