

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Aufgaben und Bedeutung der Hydrometrie</b> . . . . .	1
1.1	Definition . . . . .	1
1.2	Aufgaben und Inhalte . . . . .	1
1.3	Kurzer geschichtlicher Abriss der Hydrometrie . . . . .	2
	Literatur . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Grundbegriffe</b> . . . . .	9
2.1	Abflussbildung und Wasserkreislauf . . . . .	9
2.2	Wasserstand, Abfluss und Durchfluss . . . . .	9
2.3	Hydraulische Grundlagen des Durchflusses in offenen Gerinnen . . . . .	10
2.3.1	Physikalische Eigenschaften des Wassers . . . . .	12
2.3.2	Der Durchfluss in offenen Gerinnen . . . . .	13
2.3.3	Empirische Fließformeln . . . . .	19
	Literatur . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Messung des Wasserstands</b> . . . . .	25
3.1	Definition und Zweck von Wasserstandsmessungen . . . . .	25
3.2	Kriterien für die Standortwahl einer Pegelstelle . . . . .	26
3.3	Überblick über Messeinrichtungen zur Wasserstandserfassung . . . . .	27
3.4	Nichtregistrierende Pegel . . . . .	28
3.4.1	Lattenpegel . . . . .	28
3.4.2	Stauhöhenpegel . . . . .	32
3.4.3	Stech- oder Abstichpegel . . . . .	34
3.5	Selbstregistrierende Pegel . . . . .	36
3.5.1	Scheitelwert- oder Grenzwertmarkierpegel . . . . .	37
3.5.2	Mechanischer Schwimmerpegel . . . . .	41
3.5.3	Einperl- oder Druckluftpegel . . . . .	52
3.5.4	Drucksondenpegel . . . . .	59
3.5.5	Ultraschall-Echolotpegel . . . . .	65
3.5.6	Wasserstandsmessung mit Radar und geführten Mikrowellen . . . . .	73
3.5.7	Wasserstandsmessung mit optischen Verfahren . . . . .	83

3.5.8	Weitere Verfahren zur Wasserstandserfassung . . . . .	87
3.5.9	Aufzeichnung und Speicherung von Wasserstandsdaten . . . . .	93
3.5.10	Vergleichende Betrachtung der Messunsicherheit verschiedener Verfahren der Wasserstandsmessung . . . . .	103
3.5.11	Zusammenfassende Wertung und Kriterien zur Wahl von Wasserstandsmessverfahren . . . . .	109
	Literatur . . . . .	111
<b>4</b>	<b>Messung des Durchflusses</b> . . . . .	<b>115</b>
4.1	Einführung . . . . .	115
4.2	Grundgleichungen . . . . .	115
4.3	Überblick über Methoden der Durchflussmessung . . . . .	117
4.4	Volumetrische Durchflussmessung . . . . .	119
4.4.1	Messgefäße . . . . .	120
4.4.2	Messbecken . . . . .	121
4.4.3	Kippgefäße . . . . .	123
4.4.4	Danaide . . . . .	124
4.5	Durchflussbestimmung über die Messung der Fließgeschwindigkeit einzelner Lotrechten (Vertikalen) . . . . .	126
4.5.1	Geschwindigkeitsverteilung in einem Gewässer . . . . .	127
4.5.2	Festlegung der Lage und Anzahl von Messpunkten . . . . .	130
4.5.3	Überblick über Messgeräte zur punkthaften Fließgeschwindigkeitsmessung . . . . .	133
4.5.4	Hydrometrische Flügel . . . . .	136
4.5.5	Magnetisch-induktive Strömungssonden (MID) . . . . .	145
4.5.6	Ultraschall-Doppler-Strömungssonden . . . . .	152
4.5.7	Schwimmer zur Fließgeschwindigkeitsmessung . . . . .	166
4.5.8	Pendeldurchflussmesser . . . . .	172
4.5.9	Pitot- und Prandtl-Staurohre . . . . .	176
4.5.10	Thermische Strömungssonden . . . . .	182
4.5.11	Laser-Doppler-Strömungssonden . . . . .	185
4.5.12	Durchführung von Punktmessungen der Fließgeschwindigkeit . . . . .	191
4.5.13	Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeit und des Gesamtdurchflusses nach der Geschwindigkeitsflächenmethode . . . . .	207
4.5.14	Unsicherheiten der punkthaften Geschwindigkeitsmessung und der Geschwindigkeitsflächenmethode . . . . .	217
4.5.15	Zusammenfassende Wertung und Kriterien zur Auswahl von Geräten zur punkthaften Geschwindigkeitsmessung . . . . .	225
4.6	Durchflussbestimmung über die Messung der mittleren Querschnittsgeschwindigkeit . . . . .	229
4.6.1	Messschirme . . . . .	230

4.6.2	Mobile Ultraschall-Doppler-Geräte (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP) . . . . .	231
4.6.3	Tracerverfahren . . . . .	266
4.6.4	Durchführung von Integrationsmessungen zur Bestimmung der mittleren Querschnittsgeschwindigkeit . . . . .	287
4.6.5	Berechnung des Durchflusses über die mittlere Querschnittsgeschwindigkeit . . . . .	294
4.6.6	Kriterien zur Auswahl von Verfahren zur integrativen Messung von Querschnittsgeschwindigkeiten . . . . .	294
4.7	Durchflussbestimmung über die mobile Messung der Oberflächenfließgeschwindigkeit . . . . .	297
4.7.1	Einführung . . . . .	297
4.7.2	Messung mit Radar-Doppler-Sonden . . . . .	298
4.7.3	Optische Messung mit mobilen Kamerasystemen . . . . .	303
4.7.4	Berechnung der mittleren Querschnittsgeschwindigkeit und des Durchflusses aus Oberflächenfließgeschwindigkeiten . . . . .	312
4.7.5	Zusammenfassende Wertung der berührungslosen Oberflächenfließgeschwindigkeit-Messverfahren . . . . .	314
4.8	Weitere Verfahren der mobilen Durchflussmessung . . . . .	316
4.8.1	Mobile Venturikanäle . . . . .	317
4.8.2	Mobile Überfallwehre . . . . .	320
4.8.3	Durchflussmessung mit aufsteigenden Luftblasen . . . . .	321
	Literatur . . . . .	329
<b>5</b>	<b>Kontinuierliche Erfassung des Durchflusses . . . . .</b>	<b>339</b>
5.1	Standortwahl und Ausstattung einer Durchflussmessstelle . . . . .	340
5.1.1	Wahl des Messquerschnitts . . . . .	340
5.1.2	Ausstattung einer Durchflussmessstelle . . . . .	340
5.2	Überblick über Methoden der kontinuierlichen Durchflussmessung . . . . .	346
5.3	Durchflusserfassung mithilfe von Durchflussmessbauwerken und hydraulischen Bestimmungsgrößen . . . . .	347
5.3.1	Einführung . . . . .	347
5.3.2	Hydraulische Funktion von Messbauwerken . . . . .	348
5.3.3	Typisierung von Durchflussmessbauwerken . . . . .	353
5.3.4	Scharfkantige Wehre . . . . .	353
5.3.5	Breitkronige Wehre . . . . .	367
5.3.6	Schmalkronige Wehre (Wehrschwellen) . . . . .	373
5.3.7	Venturi-Gerinne . . . . .	381
5.3.8	H-Flumes . . . . .	393
5.3.9	Ausflussöffnungen (Orifices) . . . . .	397
5.3.10	Kalibrierung von Durchflussmessbauwerken . . . . .	406

5.3.11	Unsicherheiten bei der Durchflussermittlung mit Messbauwerken . . . . .	408
5.3.12	Auswahl eines geeigneten Durchflussmessbauwerks . . . . .	413
5.3.13	Nationale und internationale Normen zu Durchflussmessbauwerken. . . . .	414
5.4	Durchflussermittlung über Wasserstand-Durchfluss-Beziehungen (Durchfluss- oder Abflusskurven) . . . . .	416
5.4.1	Prinzip . . . . .	416
5.4.2	Aufstellen von Wasserstand-Durchfluss-Beziehungen . . . . .	417
5.4.3	Extrapolation im Hoch- und Niedrigwasserbereich. . . . .	427
5.4.4	Festlegen des zeitlichen Gültigkeitsbereichs . . . . .	432
5.4.5	Durchflusstabelle (Abflusstafel) . . . . .	434
5.4.6	Sensitivität und Unsicherheit von Durchflusskurven. . . . .	435
5.4.7	Korrektur der Durchflussermittlung bei zeitlich begrenzten Veränderungen der Durchflusskurve . . . . .	440
5.4.8	Zusammenfassung . . . . .	448
5.5	Durchflusserfassung mit Ultraschall . . . . .	448
5.5.1	Einführung . . . . .	448
5.5.2	Messverfahren . . . . .	449
5.5.3	Ultraschall-Laufzeit-Verfahren . . . . .	449
5.5.4	Ultraschall-Doppler-Verfahren. . . . .	469
5.5.5	Zusammenfassung . . . . .	475
5.6	Durchflusserfassung nach dem magnetisch-induktiven Prinzip (MID). . . . .	476
5.6.1	Einführung . . . . .	476
5.6.2	Magnetisch-induktives Messprinzip . . . . .	477
5.6.3	Anforderungen an eine MID-Messstelle . . . . .	479
5.6.4	Anwendung des magnetisch-induktiven Messprinzips zur kontinuierlichen Durchflussermittlung in offenen Gerinnen. . . . .	480
5.6.5	Vor- und Nachteile . . . . .	487
5.7	Durchflusserfassung durch kontinuierliche Messung des Wasserspiegelgefälles . . . . .	488
5.7.1	Einführung . . . . .	488
5.7.2	Messprinzip der $\Delta W$ -Durchflussmessung . . . . .	490
5.7.3	Messtechnische Umsetzung. . . . .	494
5.7.4	Kalibrierung. . . . .	496
5.7.5	Ergebnisse und ihre Zuverlässigkeit . . . . .	497
5.7.6	Zusammenfassung . . . . .	500
5.8	Integrierende Durchflussmessung mittels aufsteigender Luftblasen . . . . .	501
5.8.1	Einführung . . . . .	501
5.8.2	Messprinzip . . . . .	501
5.8.3	Messtechnische Umsetzung. . . . .	502

5.8.4	Durchführung von kontinuierlichen Durchflussmessungen mittels aufsteigender Luftblasen .....	505
5.8.5	Ergebnisse integrierender Durchflussmessungen mittels aufsteigender Luftblasen .....	506
5.8.6	Zusammenfassung .....	507
5.9	Durchflusserfassung durch kontinuierliche Messung der Oberflächengeschwindigkeit .....	508
5.9.1	Einführung .....	508
5.9.2	Messung der Oberflächengeschwindigkeit mit Radar .....	509
5.9.3	Messung der Oberflächengeschwindigkeit mit optischen kamerabasierten Systemen .....	517
5.9.4	Berechnung des Durchflusses aus kontinuierlich gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten .....	527
5.9.5	Zusammenfassende Wertung und Ausblick .....	528
5.10	Durchflussermittlung an Staustufen, Schleusen, Pumpstationen sowie Fischauf- und -abstiegshilfen .....	529
5.10.1	Einführung .....	529
5.10.2	Prinzip der Durchflussermittlung an Staustufen und Schleusen ...	530
5.10.3	Messtechnische Erfassung des Durchflusses .....	531
5.10.4	Kalibrierung .....	538
5.10.5	Unsicherheit .....	538
5.10.6	Zusammenfassung .....	539
5.11	Hybride Durchflussermittlung .....	540
5.11.1	Einführung .....	540
5.11.2	Anwendungsbeispiele .....	541
5.11.3	Zusammenfassung .....	547
5.12	Zusammenfassende Wertung und Kriterien zur Auswahl von Methoden zur kontinuierlichen Durchflusserfassung .....	548
	Literatur .....	553
<b>6</b>	<b>Datenerfassung und -fernübertragung .....</b>	<b>565</b>
6.1	Datenerfassung vor Ort .....	565
6.1.1	Analog-mechanische Registrierung .....	565
6.1.2	Elektronische Datenerfassung .....	565
6.2	Datenfernübertragung (DFÜ) .....	568
6.2.1	Datenfernübertragung über Kabelwege .....	569
6.2.2	Datenfernübertragung über das öffentliche Telefonnetz .....	570
6.2.3	Datenfernübertragung über Funk .....	579
6.2.4	Datenfernübertragung über Satelliten .....	579
6.2.5	Datenmanagementsysteme .....	582
6.3	Zusammenfassende Wertung .....	583
	Literatur .....	586

<b>7 Auswertung von Wasserstands- und Durchflussdaten</b> .....	589
7.1 Einführung .....	589
7.2 Erste Qualitätsüberprüfung von Messdaten .....	589
7.3 Umsetzung von Wasserstandsdaten in Durchflusswerte .....	591
7.4 Primärstatistische Auswertung von Wasserstands- und Durchflussdaten ..	593
7.4.1 Gang- und Summenlinien .....	593
7.4.2 Dauerlinien .....	595
7.4.3 Gewässerkundliche Hauptzahlen .....	597
7.4.4 Hydrologische Längsschnitte .....	599
7.5 Zusammenfassende Wertung und Ausblick .....	599
Literatur .....	602
<b>8 Messnetze zur Durchflusserfassung</b> .....	605
8.1 Aufgabe und historische Entwicklung .....	605
8.2 Erforderliche Messnetzdicke .....	607
8.3 Erforderliche Beobachtungslänge .....	609
8.4 Kategorien von Beobachtungsnetzen .....	610
8.5 Optimierung von Messnetzen .....	610
8.6 Redundanz von Wasserstands- und Durchflussmessnetzen .....	612
8.6.1 Datenverfügbarkeit .....	613
8.6.2 Messunsicherheit .....	615
8.6.3 Redundanz-Kategorien für Pegelmessnetze .....	616
8.7 Zusammenfassende Wertung .....	619
Literatur .....	619
<b>9 Organisation von hydrologischen Messdiensten</b> .....	621
9.1 Aufgaben und Organisationsformen .....	621
9.2 Personelle Anforderungen .....	622
9.3 Messgeräteausrüstung .....	624
9.4 Messwertprotokolle .....	625
9.5 Sicherheitsaspekte .....	626
9.6 Zusammenfassende Wertung .....	626
Literatur .....	628
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	629