

Inhalt

1 Aufgaben und Bedeutung der Hydrometrie	1
1.1 Definition	1
1.2 Aufgaben und Inhalte	1
1.3 Kurzer geschichtlicher Abriss der Hydrometrie	2
Literatur.....	6
2 Grundbegriffe	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	11
2.3.2 Der Durchfluss in offenen Gerinnen	13
2.3.3 Empirische Fließformeln	19
Literatur.....	22
3 Messung des Wasserstands	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 „geführt“ Mikrowellen	72
3.5.7 Weitere Verfahren zur Wasserstandserfassung	83

3.5.8	Aufzeichnung und Speicherung von Wasserstandsdaten	86
3.5.9	Vergleichende Betrachtung der Messunsicherheit verschiedener Verfahren der Wasserstandsmessung	95
3.5.10	Zusammenfassende Wertung und Kriterien zur Wahl von Wasserstandsmessverfahren	102
Literatur	103	
Firmeninformationen und -produkte	105	
4	Messung des Durchflusses	107
4.1	Einführung	107
4.2	Grundgleichungen	107
4.3	Überblick über Methoden der Durchflussmessung	109
4.4	Volumetrische Durchflussmessung	111
4.4.1	Messgefäß	112
4.4.2	Messbecken	113
4.4.3	Kippgefäß	114
4.4.4	Danaide	115
4.5	Durchflussbestimmung über die Messung des Durchfluss- querschnitts und der Fließgeschwindigkeit einzelner Lot- rechten (Stromfäden)	118
4.5.1	Geschwindigkeitsverteilung in einem Gewässer	118
4.5.2	Festlegung der Lage und Anzahl von Messpunkten	122
4.5.3	Überblick über Messgeräte zur punkthaften Fließ- geschwindigkeitsmessung	124
4.5.4	Hydrometrische Flügel	127
4.5.5	Magnetisch-induktive Strömungssonden (MID)	137
4.5.6	Ultraschall-Doppler-Strömungssonden	143
4.5.7	Schwimmer zur Fließgeschwindigkeitsmessung	158
4.5.8	Pendeldurchflussmesser	164
4.5.9	Pitot- und Prandtl-Staurohre	168
4.5.10	Thermische Strömungssonden	174
4.5.11	Laser-Doppler-Strömungsmesser	177
4.5.12	Durchführung von Punktmessungen der Fließgeschwindigkeit	183
4.5.13	Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeit und des Gesamtdurchflusses nach der Geschwindigkeitsflächenmethode	197
4.5.14	Unsicherheiten der punkthaften Geschwindigkeits- messung und der Geschwindigkeitsflächenmethode	208
4.5.15	Zusammenfassende Wertung und Kriterien zur Aus- wahl von Geräten zur punkthaften Geschwindig- keitsmessung	214
4.6	Bestimmung des Durchflusses über die Messung des Durch- flussquerschnitts und der mittleren Querschnittsgeschwindigkeit	217
4.6.1	Messschirme	218

4.6.2	Mobile Ultraschall-Doppler-Geräte (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)	219
4.6.3	Tracerverfahren	253
4.6.4	Durchführung von Integrationsmessungen zur Bestimmung der mittleren Querschnittsgeschwindigkeit	273
4.6.5	Berechnung des Durchflusses über die mittlere Querschnittsgeschwindigkeit	279
4.6.6	Kriterien zur Auswahl von Verfahren zur integrativen Messung von Querschnittsgeschwindigkeiten	280
4.7	Weitere Verfahren der mobilen Durchflussmessung	282
4.7.1	Mobile Venturikanäle	282
4.7.2	Mobile Überfallwehre	285
4.7.3	Durchflussmessung mit aufsteigenden Luftblasen	286
	Literatur	294
	Firmeninformationen und -produkte	300
5	Kontinuierliche Erfassung des Durchflusses	303
5.1	Standortwahl und Ausstattung einer Durchflussmessstelle	304
5.1.1	Wahl des Messquerschnitts	304
5.1.2	Ausstattung einer Durchflussmessstelle	305
5.2	Überblick über Methoden der kontinuierlichen Durchflussmessung ...	310
5.3	Durchflussmessung mit Hilfe von Durchflussmessbauwerken und hydraulischen Bestimmungsgrößen	311
5.3.1	Einführung	311
5.3.2	Hydraulische Funktion von Messbauwerken	312
5.3.3	Typisierung von Durchflussmessbauwerken	317
5.3.4	Scharfkantige Wehre	318
5.3.5	Breitkronige Wehre	331
5.3.6	Schmalkronige Wehre (Wehrschwellen)	337
5.3.7	Venturi-Gerinne	344
5.3.8	H-Flumes	357
5.3.9	Ausflussöffnungen (Orifices)	365
5.3.10	Kalibrierung von Durchflussmessbauwerken	368
5.3.11	Unsicherheiten bei der Durchflussermittlung mit Messbauwerken	370
5.3.12	Auswahl eines geeigneten Durchflussmessbauwerks	374
5.3.13	Nationale und internationale Normen zu Durchflussmessbauwerken	376
5.4	Durchflussermittlung über Wasserstand-Durchfluss-Beziehungen (Durchfluss- oder Abflusskurven)	377
5.4.1	Prinzip	377
5.4.2	Aufstellen von Wasserstand-Durchfluss-Beziehungen	378
5.4.3	Extrapolation im Hoch- und Niedrigwasserbereich	389
5.4.4	Festlegen des zeitlichen Gültigkeitsbereichs	394
5.4.5	Durchflusstabelle (Abflusstafel)	396

5.4.6	Sensitivität und Unsicherheit von Durchflusskurven	397
5.4.7	Korrektur der Durchflussermittlung bei zeitlich begrenzten Veränderungen der Durchflusskurve	404
5.4.8	Zusammenfassung	409
5.5	Durchflusserfassung mit Ultraschall	410
5.5.1	Einführung	410
5.5.2	Messverfahren	410
5.5.3	Ultraschall-Laufzeit-Verfahren	411
5.5.4	Ultraschall-Doppler-Verfahren	431
5.5.5	Zusammenfassung	438
5.6	Durchflusserfassung nach dem magnetisch-induktiven Prinzip (MID)	439
5.6.1	Einführung	439
5.6.2	Magnetisch-induktives Messprinzip	440
5.6.3	Anforderungen an eine MID-Messstelle	441
5.6.4	Anwendung des magnetisch-induktiven Messprinzips zur kontinuierlichen Durchflussermittlung in offenen Gerinnen	442
5.6.5	Vor- und Nachteile	450
5.7	Durchflusserfassung durch kontinuierliche Messung des Wasserspiegelgefälles (ΔW -Verfahren)	451
5.7.1	Einführung	451
5.7.2	Messprinzip der ΔW -Durchflussmessung	453
5.7.3	ΔW -Anlage zur Messung instationärer Durchflüsse	455
5.8	Visuelle Durchflussmessung	466
5.8.1	Einführung	466
5.8.2	Messprinzip	467
5.8.3	Messtechnische Umsetzung	468
5.8.4	Durchführung von kontinuierlichen visuellen Durchflussmessungen	471
5.8.5	Ergebnisse visueller Durchflussmessungen	472
5.8.6	Zusammenfassung	473
5.9	Durchflusserfassung durch Messung der Oberflächengeschwindigkeit	473
5.9.1	Einführung	473
5.9.2	Messung der Oberflächengeschwindigkeit mit Radar	474
5.9.3	Weitere Verfahren zur Durchflussbestimmung über Oberflächengeschwindigkeitsmessungen	484
5.10	Durchflussermittlung an Staustufen, Schleusen, Pumpstationen sowie Fischauf- und -abstiegshilfen	487
5.10.1	Einführung	487
5.10.2	Prinzip der Durchflussermittlung an Staustufen und Schleusen	488
5.10.3	Messtechnische Erfassung des Durchflusses	489
5.10.4	Kalibrierung	497

5.10.5 Unsicherheit	498
5.10.6 Zusammenfassung	498
5.11 Zusammenfassende Wertung und Kriterien zur Auswahl von Methoden zur kontinuierlichen Durchflusserfassung	499
Literatur	502
Firmeninformationen und -produkte	510
6 Datenerfassung und -fernübertragung	513
6.1 Datenerfassung vor Ort	513
6.1.1 Analog-mechanische Registrierung	513
6.1.2 Elektronische Datenerfassung	513
6.2 Datenfernübertragung (DFÜ)	516
6.2.1 Datenfernübertragung über Kabelwege	516
6.2.2 Datenfernübertragung über das öffentliche Telefonnetz	518
6.2.3 Datenfernübertragung über Funk	526
6.2.4 Datenfernübertragung über Satelliten	527
6.2.5 Datenmanagementsysteme	529
6.3 Zusammenfassende Wertung	532
Literatur	533
Firmeninformationen und -produkte	534
7 Primärstatistische Auswertung von Wasserstands- und Durchflusssdaten	537
7.1 Einführung	537
7.2 Erste Qualitätsüberprüfung von Messdaten	537
7.3 Umsetzung von Wasserstandsdaten in Durchflusswerte	539
7.4 Primärstatistische Auswertung von Wasserstands- und Durchflusssdaten	541
7.4.1 Gang- und Summenlinien	541
7.4.2 Dauerlinien	544
7.4.3 Gewässerkundliche Hauptzahlen	546
7.4.4 Hydrologische Längsschnitte	548
7.5 Zusammenfassende Wertung und Ausblick	548
Literatur	550
Firmeninformationen und -produkte	551
8 Messnetze zur Durchflusserfassung	553
8.1 Aufgabe und historische Entwicklung	553
8.2 Erforderliche Messnetzdichte	555
8.3 Erforderliche Beobachtungslänge	556
8.4 Kategorien von Beobachtungsnetzen	557
8.5 Optimierung von Messnetzen	558
8.6 Redundanz von Wasserstands- und Durchflussmessnetzen	560
8.6.1 Datenverfügbarkeit	560
8.6.2 Messunsicherheit	562

8.6.3 Redundanz-Kategorien für Pegelmessnetze	563
8.7 Zusammenfassende Wertung	566
Literatur	566
9 Organisation von hydrologischen Messdiensten	569
9.1 Aufgaben und Organisationsformen	569
9.2 Personelle Anforderungen	570
9.3 Messgeräteausstattung	571
9.4 Messwertprotokolle	572
9.5 Sicherheitsaspekte	573
9.6 Zusammenfassende Wertung	573
Literatur	575
Sachverzeichnis	577