
Heinz G. Erb

**DURCHFLUSS-
MESSTECHNIK
FÜR DIE WASSER-
UND ABWASSER-
WIRTSCHAFT**

VULKAN-VERLAG ESSEN

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	V
Auf der Spur des Verborgenen	
1 Auf einen Blick	1
Genau gemessen ist fast geklärt	
2 Begriffe, Schlagwörter, Fachchinesisch	3
Einige notwendige Erklärungen	
2.1 Normen, Richtlinien, Verwaltungsvorschriften, Regelwerke	3
2.1.1 Die Wasserschutzgesetze	3
2.1.2 Durchflußrelevante ATV-Richtlinien	4
2.1.3 DIN – Normen	5
2.2 Begriffsbestimmungen	5
2.2.1 Wichtige durchflußrelevante Begriffe	6
2.2.2 Wichtige abwasserführende Bauwerke mit strömungs- und messtechnischer Relevanz	8
2.3 Grundbegriffe und Grundgleichungen der Durchflusssmesstechnik und Strömungsmechanik	9
2.3.1 Durchfluß	9
2.3.2 Volumen oder Menge	10
2.3.3 Lokale Fließgeschwindigkeit	10
2.3.4 Mittlere Fließgeschwindigkeit	10
2.3.5 Kontinuitätsgleichung	11
2.3.6 Energiegleichung und Durchfluß	12
2.4 Leistungs- und Qualitätsmerkmale von Durchflusssmessgeräten	15
2.4.1 Messgröße	15
2.4.2 Messwert	16
2.4.3 Messergebnis	16
2.4.4 Ausgabe	16
2.4.5 Messprinzip	16
2.4.6 Messverfahren	17
2.4.7 Ausgabebereich	17
2.4.8 Messbereich	17

2.4.9	Durchflussbereich	17
2.4.10	Anlauf- oder Ansprechwert.....	17
2.4.11	Empfindlichkeit	17
2.4.12	Genauigkeit, Messgenauigkeit, Messfehler, Messabweichung.	18
2.4.13	Messunsicherheit	20
2.4.14	Messfehler.....	20
2.4.15	Wiederholbarkeit/Reproduzierbarkeit.....	21
2.4.16	Hysterese	22
2.4.17	Drift.....	22
2.4.18	Linearität.....	24
2.4.19	Linearisierung.....	25
2.4.20	Justieren/Abgleichen	25
2.4.21	Kalibrieren	25
2.4.22	Eichen	26
3	Die Bewegungen des Abwassers	27
	Hydraulische Grundlagen	
3.1	Situation	27
3.1.1	Abflusszustände und Abflussdynamik.....	27
3.1.1.1	Strömender oder unterkritischer Abfluss, rückgestaute oder verzögerte Strömung.....	28
3.1.1.2	Schießender Abfluss oder überkritischer Abfluss, beschleunigte Strömung.....	28
3.1.1.3	Kritischer Abfluss, gleichförmige Strömung	29
3.2	Strömungsprofile und Strömungsverluste.....	30
3.2.1	Laminare Strömung.....	30
3.2.2	Turbulente Strömung	32
3.2.3	Übergangsströmung.....	32
3.2.4	Einphasige und mehrphasige Strömung	33
3.2.5	Örtliche Verluste.....	33
3.2.6	Geschwindigkeitsverteilung.....	35
3.2.7	Die stationär gleichförmige oder eindeutige Strömung, auch Normalabfluss genannt	36
3.2.8	Stationär annähernd gleichförmige Strömung.....	37
3.2.9	Nicht eindeutige und nicht gleichförmige Strömung.....	37
3.2.10	Strömungsstörungen.....	32

4	Das Abwasser, Transportwege und Bauwerke	42
	Kanäle sind teurer als Straßen	
4.1	Situation	42
4.1.1	Entwässerungsverfahren	45
4.1.2	Trennsystem	48
4.1.3	Mischsystem	49
4.1.3.1	Modifiziertes System	50
4.2	Kanalnetz	51
4.2.1	Sammlersysteme	51
4.2.2	Verteilersysteme	52
4.2.3	Entlastung	53
4.2.4	Überlastung	53
4.2.5	Gefälle, Ablagerungen und Einflussgrößen bei Durchflussbestimmung	53
4.2.5.1	Schleppspannung oder Schleppkraft	54
4.3	Abflussgesetze und Fließformeln	56
4.3.1	Abwasseranfall	56
4.3.1.1	Zusammensetzung und Herkunft des Abwassers im Mischwassersystem	56
4.3.2	Abwasserabflussarten	59
4.3.2.1	Freier Abfluss oder Normalabfluss	59
4.3.2.2	Mischwasserabfluss zur Kläranlage	60
4.3.2.3	Trockenwetterabfluss	60
4.3.2.4	Regenabfluss	61
4.3.2.5	Fremdwasserabfluss	61
4.3.2.6	Minimalabfluss	62
4.3.2.7	Kritischer Abfluss	62
4.3.2.8	Steilabfluss	62
4.3.2.9	Drosselabfluss	62
4.3.2.10	Vereinigung schießender Abflüsse	66
4.3.2.11	Offene Gerinne	66
4.3.2.12	Rückstau	67
4.4	Kanalprofile	68
4.4.1	Normprofile	68
4.4.1.1	Abgeleitete Profile oder Sonderprofile	69
4.4.2	Rechteckprofile	74

4.4.3	Düker.....	74
4.4.4	Vollfüllung und Teilfüllung	79
4.5	Kanalbauwerke	80
4.5.1	Schächte	81
4.5.2	Einlauf	81
4.5.3	Auslaufbauwerke.....	82
4.5.4	Entlastungs- und Speicherbauwerke	83
4.5.4.1	Regenüberläufe RÜ	83
4.5.4.2	Regenüberlaufbecken RÜB	86
4.5.4.3	Regenrückhaltebecken RRB.....	88
4.5.4.4	HochwasserrückhaltebeckenHRB	70
4.5.4.5	Messbauwerk.....	81
4.5.4.6	Trennbauwerke	92
5	Abwassermanagement	93
	Bewirtschaftung, Steuerung, Betriebsoptimierung	
5.1	Situation	93
5.2	Problemstellung	93
5.3	Betriebsziel	94
5.4	Kanalnetzsteuerung	94
5.4.1	Kanalnetzbewirtschaftung	95
5.4.1.1	Stauräume.....	96
5.4.1.2	Drosselung	97
5.4.1.3	Abflussregelung	98
5.4.1.4	Pumpwerke	99
6	Durchflussmessung und Planung der Mess-Stelle	101
	Eine Messung ist nur so gut wie ihre Planung	
6.1	Situation	101
6.1.1	Online Durchfluss- und Füllstandstechnik.....	102
6.2	Projektmanagement	102
6.2.1	Zehn Projektschritte	103
6.2.1.1	Messplan.....	103
6.2.1.2	Messziel	103
6.2.1.3	Projektteam.....	103

6.2.1.4	Mess-Strategie	104
6.2.1.5	Organisation und Verantwortlichkeiten	104
6.2.1.6	Dokumentation	104
6.2.1.7	Beschaffung	104
6.2.1.8	Mess-Stellen-Vorbereitung.....	104
6.2.1.9	Inbetriebnahme	105
6.2.1.10	Messbetrieb.....	105
7	Durchflussmesstechnik.....	107
	Nicht Technik um jeden Preis sondern preiswerte Technik	
7.1	Verfahren- und Messgeräte: aktueller Stand und Klassifizierung.....	107
7.1.1	Mengenmessung von Trink- und Brauchwasser.....	109
7.1.1.1	Mittelbare Mengenzähler.....	110
7.1.1.2	Unmittelbare oder direkte Mengenmessung	111
7.1.2	Durchflussmessung von Abwasser	112
7.1.2.1	Durchflussmessung in Druckleitungen.....	112
7.1.2.1.1	Mit konstantem Querschnitt	112
7.1.2.1.1.1	Drosselgeräte.....	115
7.1.2.1.1.2	Magnetisch induktive Durchflussmessgeräte: Geschwindigkeitsmessung.....	117
7.1.2.1.1.3	Ultraschalldurchflussmessgeräte:Geschwindigkeitsmessung	119
7.1.2.1.1.4	Staurohre	124
7.1.2.2	Durchflussmessung bei Teilfüllung	125
7.1.2.2.1	Mit Strömungsumlenkung: Höhenabhängige Verfahren	125
7.1.2.2.1.1	Messrinnen.....	125
7.1.2.2.1.1.1	Venturirinne	126
7.1.2.2.1.1.2	Parshallrinne	127
7.1.2.2.1.1.3	Khafagirinne	128
7.1.2.2.1.1.4	Badgerauslaufrinne	128
7.1.2.2.1.1.5	Venturikanäle im Schachtbauwerk.....	130
7.1.2.2.1.1.5.1	Badger Mess-Schachtrinne.....	130
7.1.2.2.1.1.5.2	Palmer-Bowlusrinne	130
7.1.2.2.1.1.6	Messung des Durchflusses über die Fließgeschwindigkeit in Messrinnen.....	131
7.1.2.2.1.2	Überfälle	132
7.1.2.2.1.2.1	Scharfkantiger Rechtecküberfall	134
7.1.2.2.1.2.2	Scharfkantiger Dreiecksüberfall	135
7.1.2.2.1.2.3	Breit- und rundkroniger Überfall	136

7.1.2.2.1.2.4	Messüberfall mit Trapezausschnitt.....	137
7.1.2.2.1.2.5	Entlastungswehre.....	137
7.1.2.2.2.	Durchflussmessung bei Teilfüllung ohne Strömungsumlenkung: Geschwindigkeitsabhängige Verfahren.....	139
7.1.2.2.2.1	Geschwindigkeitsmessung.....	139
7.1.2.2.2.1.1	Ultraschall-Laufzeitverfahren	140
7.1.2.2.2.1.2	Flächenhafte Fließgeschwindigkeit	145
7.1.2.2.2.1.2.1	MID Magnetische Induktion für teilgefüllte Querschnitte.....	146
7.1.2.2.2.1.2.2	MID Magnetische Induktion für teilgefüllte Rechteck- querschnitte.....	147
7.1.2.2.2.1.2.3	Ultraschall Mehrpfadverfahren	148
7.1.2.2.2.1.3	Messung der punktuellen Fließgeschwindigkeit.....	149
7.1.2.2.2.1.3.1	Punktförmige Messung mit fest installiertem Ultraschall- Dopplersensor.....	150
7.1.2.2.2.1.3.2	Punktmessung mit magnetisch induktiven Messewert- aufnehmern	152
7.1.2.2.2.1.3.3	Punktmessung mit Eintauchsonden nach dem magnetisch induktiven Verfahren	154
7.1.2.2.2.1.3.4	Punktmessung mit Messflügel	155
7.1.2.2.2.1.3.5	Punktmessung mit Staurohr.....	156
7.1.2.2.2.2	Wasserstandsmessung in einem oder zwei Messquerschnitten	157
7.1.2.2.2.3	Durchflussmessung mit den kombinierten Verfahren Fließhöhe und Fließgeschwindigkeit v, h	158
7.2	Messung der Fließhöhe h oder des Wasserstands	160
7.2.1	Schwimmer-Verfahren: direktes Verfahren	160
7.2.2	Echolot-Verfahren: indirektes Verfahren	162
7.2.3	Druck-Verfahren: indirektes Verfahren.....	164
7.2.3.1	Hydrostatische Druckaufnehmer.....	164
7.2.3.2	Einperl-Verfahren	165
7.2.4	Kapazitives Verfahren: indirektes Verfahren.....	166
7.2.5	Radar-Verfahren oder Mikrowellen- Reflexions-Verfahren: indirektes Verfahren	166
7.3	Kosten der Durchflussmessung.....	166
8	Durchflussmessung in Entwässerungssystemen und Abwasserreinigungsanlagen	169
	Warum messen“?“	
8.1	Situation.....	169

8.2	Messanforderungen	170
8.2.1	Messen im Kanalnetz	170
8.2.1.1	Messziele	170
8.2.1.2	Problemstellung.....	171
8.3	Die Praxis der Durchflussmessung in offenen und geschlossenen Kanälen mit Teilfüllung	173
8.3.1	Situation	173
8.3.2	Kontinuierliche Durchflussmessung.....	174
8.3.3	Mobile Durchflussmessung	175
8.3.3.1	Mobile Durchflussmessgeräte mit kombinierter Messtechnik .	177
8.3.3.2	Mobile Venturikanäle.....	179
8.3.3.3	Mobile Messüberfälle	179
8.4	Durchflussmessung an Entlastungsbauwerken	180
8.4.1	Problemstellung.....	180
8.4.2	Messziel	180
8.4.3	Wo wird gemessen ?.....	181
8.4.4	Was wird gemessen ?	182
8.4.5	Wie wird gemessen ?	182
8.5	Fremdwasser messen im Kanal	183
8.5.1	Ex- und Infiltration	183
8.5.2	Wo messen	187
8.5.3	Wann messen	187
8.5.4	Wie messen	187
8.6	Messen und Sanieren im Kanal	188
8.6.1	Situation	188
8.6.2	Das Problem	187
8.6.3	Das Ziel	190
8.6.4.	Maßnahmen	191
8.6.5	Einsatz der Durchflussmesstechnik	192
8.7	Messen in der Kläranlage	194
8.7.1	Situation	194
8.7.2	Aufbau der Kläranlage.....	195
8.7.3	Prozessabläufe	196
8.7.3.1	Im Zulauf	196
8.7.3.1.1	Mechanische Reinigungsstufe	196

8.7.3.1.2	Biologische Reinigungsstufe	197
8.7.3.2	Im Auslauf	199
8.7.3.3	Schlammprozess.....	199
8.8	Messen - Steuern - Regeln: MSR-Prozess im Klärwerk	200
8.8.1	Situation	200
8.8.2	Ziel.....	201
8.8.3	Durchfluss - und Pegel-gesteuerte und -geregelt Teilprozesse	202
8.8.3.1	Im Zulauf	204
8.8.3.1.1	Pumpensteuerung.....	204
8.8.3.1.2	Rechensteuerung.....	204
8.8.3.2	Biologie.....	204
8.8.3.2.1	Rücklaufschlammsteuerung.....	204
8.8.3.3	Auslauf	205
8.8.3.3.1	Filterspülung.....	205
8.8.3.3.2	Auslaufmessung.....	205
8.9	Bewertung der Durchfluss- und Füllstands- Messverfahren.....	205
8.9.1	Geschwindigkeitsabhängige Verfahren in Druckrohren.....	206
8.9.1.1	Magnetisch - induktive Durchflussmessgeräte	206
8.9.1.2	Ultraschall – Laufzeitverfahren.....	207
8.9.1.3	Ultraschalldurchflussmessgeräte-Dopplerfrequenzverfahren .	208
8.9.2	Durchflussmessgeräte in offenen und geschlossenen Kanälen bei Teilfüllung	208
8.9.2.1	Lokale Geschwindigkeitsmessung bei Teilfüllung mit Doppler- Ultraschall	208
8.9.2.2	Kombinierte Geschwindigkeitsmessung mit Querschnittsverengung	210
8.9.2.3	Kombinierte Fließhöhen - und Geschwindigkeits- messung, v/h.....	211
8.9.3	Höhenabhängige Verfahren	212
8.9.3.1	Messrinne mit Querschnittsverengung.....	212
8.9.3.2	Messwehr.....	213
8.9.4	Wasserstandsmessungen.....	213
8.9.4.1	In nur einem Querschnitt.....	213
8.9.4.2	In zwei Querschnitten.....	214
8.9.4.3	Freier Abfluss ohne Querschnittsverengung.....	214

9	Schutzanforderungen in Entwässerungsanlagen	215
9.1	Situation	215
9.2	Explosionsschutz.....	215
9.2.1	Betroffene Bereiche	216
9.3	IP – Schutzarten	217
9.4	Elektromagnetische Verträglichkeit EMV	220
9.5	Niederspannungsrichtlinien 73/23ff/EWG, EN	221
10	Hydraulische und numerische Kalibrierung	223
	Nicht kalibriert ist nicht gemessen	
10.1	Ursachen von Messfehlern	223
10.2	Feldkalibrierung	226
10.3	Numerische Kalibrierung	229
11	Qualitätsmanagement – Eigenkontrollverordnung – Produkthaftpflicht	233
11.1	Qualitätsmanagement.....	233
11.2	Eigenkontrollverordnung	234
11.3	Instandhaltung, Wartung, Kalibrierzyklen	236
12	Durchflussmessung in Fließgewässern	239
13	Entwicklungen und Trends in der Durchflussmessung....	241
14	Literaturhinweise	243
	Messprojektmanagement.....	247
	Pflichtenheft für die Messgeräteausschreibung.....	251
15	Stichwortverzeichnis	255