

DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 181

Messung von Wasserstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen

September 2011

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland

Tel.: +49 2242 872-333

Fax: +49 2242 872-100

E-Mail: info@dwa.de

Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

Druckhaus Köthen

ISBN:

978-3-941897-94-6

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2011

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblattes darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Entwässerungssysteme und Abwasseranlagen müssen den wasserwirtschaftlichen Zielsetzungen und den geltenden technischen und gesetzlichen Anforderungen genügen. Zu diesem Zweck sind Verfahren und Einrichtungen zur Abwasser-sammlung, -fortleitung und -behandlung gemäß dem Stand der Technik einzusetzen und die Anlagen ordnungsgemäß zu betreiben. Dazu gehören auch ein optimierter Betrieb und eine Leistungskontrolle der Anlagen. Die Kenntnis der Prozessabläufe, ihre Beeinflussungsmöglichkeiten und der damit erzielbare Erfolg bilden hierfür die notwendige Grundlage. Informationen über den Wasserstand und den Durchfluss gehören in öffentlichen und privaten Abwasseranlagen zu den wichtigsten Basisdaten für Planung und Betrieb.

Eine Schlüsselrolle kommt den Abwasserdurchflüssen bei der Überwachung und dem Betrieb der Abwasseranlagen und bei der Bildung von Frachten und Bilanzen zu. Die Durchflussmessung leistet darüber hinaus einen wesentlichen Beitrag zur Transparenz der Leistungen und Kosten von Abwasseranlagen. Für Planungszwecke erlangen Messdaten des Niederschlag-Abfluss-Prozesses in Entwässerungsnetzen als Grundlage einer Überprüfung und Kalibrierung von Kanalnetz- und Schmutzfrachtmodellen erhöhte Bedeutung. Durch realitätsnahe Eingangsdaten und kalibrierte Simulationsmodelle können bereits im Planungsprozess Fehlinvestitionen durch Über- oder Unterdimensionierung vermieden werden. Verlässliche Messdaten können Beurteilungskriterium und Entscheidungsgrundlage für die Wahl von Sanierungsverfahren und deren zeitliche Einordnung sein.

Die Planung von Messbauwerken, -einrichtungen und -programmen sind Ingenieurleistungen, die vertiefte Kenntnisse der Hydraulik, Hydrologie und Messtechnik voraussetzen. Der Messbetrieb erfordert sachkundiges und aufmerksames Personal. Qualitätsgesichertes Datenmaterial setzt eine zeitnahe Datenprüfung voraus, die als Bestandteil des Messens anzusehen ist. Weitergehende Ansprüche können sich aus den Fachanwendungen ergeben.

Das vorliegende Merkblatt DWA-M 181 zielt darauf ab, notwendige Grundlagen und Informationen für die Planung und Durchführung von Durchfluss- und Wasserstandsmessungen in Entwässerungssystemen (gegebenenfalls Abwasseranlagen) bereitzustellen. Ausgehend von den durchzuführenden Messprogrammen und den erforderlichen hydraulischen und messtechnischen Grundlagen werden die relevanten Messverfahren sowie die wesentlichen Aspekte zu Planung, Betrieb und Qualitätssicherung vorgestellt. Die Dokumentation und Prüfung von Datenmaterial aus Einzel- und Temporrärmessungen sowie aus der Inbetriebnahmephase von Dauermessungen wird ausführlich dargelegt. Aussagen zu Kosten- und Umweltauswirkungen ergänzen das Merkblatt DWA-M 181. Hinweise zum Management, der Verarbeitung und der weitergehenden Prüfung von Daten aus Dauermessungen können dem Merkblatt DWA-M 151 „Messdaten in Entwässerungssystemen“ (in Vorbereitung) entnommen werden.

Verfasser

Dieses Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe ES-1.7 „Quantitative und qualitative Abflussmessung“ im DWA-Fachausschuss ES-1 „Grundsatzfragen/Anforderungen“ erarbeitet.

Der DWA-Arbeitsgruppe ES-1.7 „Quantitative und qualitative Abflussmessung“ gehören folgende Mitglieder an:

HOLLENBERG, Andrea	Dipl.-Ing., Bielefeld
KOCH, Jan	Dipl.-Ing., Darmstadt
LIBUDA, Jörg	Dipl.-Ing., Essen
MILKE, Hubertus	Prof. Dr.-Ing., Leipzig
RISTENPART, Erik	Dr.-Ing., Hannover
RUß, Hans-Josef	Dipl.-Ing., Tönisvorst
SITZMANN, Dieter	Prof. Dipl.-Ing., Coburg
UHL, Mathias	Prof. Dr.-Ing., Münster (Sprecher)
WEIß, Gebhard	Dr.-Ing., Bad Mergentheim

Als Gäste haben mitgewirkt:

DÖREN, Lothar	Dipl.-Ing. (FH), Bielefeld
ERTL, Thomas	Dipl.-Ing., Wien, Vertreter des ÖWAV (informativ)

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

BERGER, Christian	Dipl.-Ing., Hennef Abteilung Abwasser und Gewässerschutz
-------------------	---

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	4
Bilderverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	9
Benutzerhinweis.....	10
1 Anwendungsbereich.....	10
2 Begriffe	10
2.1 Definitionen	10
2.2 Abkürzungen und Symbole	11
3 Normative Verweisungen.....	13
4 Messprogramme, -projekte und -aufgaben.....	14
4.1 Veranlassungen.....	14
4.2 Messprogramme.....	15
4.3 Durchführung von Messprojekten	15
4.4 Messaufgaben	16
5 Hydraulische Grundlagen	18
5.1 Vorbemerkungen.....	18
5.2 Hydraulische Grundlagen zur Wasserstandsmessung	18
5.2.1 Hydrostatische Druckverteilung	18
5.2.2 Messfehler bei Abweichung von der hydrostatischen Druckverteilung	18
5.3 Hydraulische Grundlagen zur Abflussmessung.....	19
5.3.1 Stationäre und instationäre Fließvorgänge in Abwasseranlagen	19
5.3.2 Strömung in Druckrohren	19
5.3.3 Strömung in offenen Gerinnen.....	19
5.3.3.1 Stau- und Senkungslinien	19
5.3.3.2 Geschwindigkeitsverteilung	20
5.3.3.3 Fließzustände Strömen und Schießen	21
6 Messtechnische Grundlagen	22
6.1 Messtechnische Grundzusammenhänge	22
6.2 Übertragungseigenschaften von Messeinrichtungen.....	23
6.2.1 Messen als Übertragungsvorgang.....	23
6.2.2 Statische Übertragungseigenschaften.....	23
6.2.3 Dynamische Übertragungseigenschaften.....	25
6.2.4 Datenspeicherung	25
7 Messverfahren	26
7.1 Messung des Wasserstandes.....	26
7.1.1 Allgemeines	26
7.1.2 Ultraschall-Echolotsonden.....	26
7.1.3 Radar- und Mikrowellenecholote	27
7.1.4 Drucksonden	28

7.1.5	Weitere Verfahren.....	29
7.1.6	Einflüsse auf die Wasserstandsmessung	29
7.2	Messung des Durchflusses.....	31
7.2.1	Vorbemerkungen.....	31
7.2.2	Hydraulische Methoden	32
7.2.2.1	Allgemeines.....	32
7.2.2.2	Venturikanäle.....	32
7.2.2.3	Messwehre	34
7.2.2.4	Entlastungswehre.....	35
7.2.2.5	Ausflussöffnungen und Drosselorgane	35
7.2.3	Methoden mit Geschwindigkeitsmessung im gesamten Querschnitt.....	36
7.2.3.1	Allgemeines.....	36
7.2.3.2	Magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID) im vollgefüllten Rohrquerschnitt	36
7.2.3.3	Magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID) bei Teilfüllung	37
7.2.3.4	Vielpunktmessung.....	38
7.2.4	Methoden mit Geschwindigkeitsmessung in Teilen des Fließquerschnittes	39
7.2.4.1	Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeit	39
7.2.4.2	Messung nach dem Mitführungseffekt (Ultraschall-Laufzeitverfahren)	39
7.2.4.3	Ultraschall-Dopplerverfahren	41
7.2.4.4	Radar-Dopplerverfahren	42
7.2.4.5	Messung mit digitaler Mustererkennung (Ultraschall-Echobilder).....	43
7.2.4.6	MID-Sonde.....	44
7.2.4.7	Kombinierte Messwertaufnehmer.....	45
7.2.5	Methoden mit punktueller Geschwindigkeitsmessung.....	46
7.2.5.1	Messflügel.....	46
7.2.5.2	MID-Eintauchsonde.....	46
7.2.5.3	Ultraschall-Eintauchsonde.....	46
7.2.5.4	Staurohr.....	47
7.2.6	Volumetrische Methoden	47
7.2.7	Tracermethoden.....	47
8	Messgenauigkeit.....	49
8.1	Messergebnis.....	49
8.2	Grobe Fehler	49
8.3	Messabweichung und Messfehler	49
8.4	Messunsicherheit.....	50
8.5	Angabe von Messabweichungen und Messunsicherheiten im Messbereich.....	51
8.6	Fehlergrenzen	51
9	Planung, Bau und Installation.....	52
9.1	Planung.....	52
9.1.1	Planungsschritte.....	52
9.1.2	Messkonzept	53
9.1.3	Messprogramm	53
9.2	Beurteilung der Örtlichkeit zur Eignung als Messstelle.....	55
9.3	Anforderungen an Messwertaufnehmer	56
9.4	Anordnung und Einbau der Sensoren.....	56
9.4.1	Allgemeine Hinweise.....	56
9.4.2	Sensoranordnung im Längsschnitt	56

9.4.3	Sensoranordnung im Querschnitt.....	59
9.5	Erstkalibrierung	59
9.6	Abnahme von Messstellen.....	60
10	Messbetrieb	60
10.1	Betriebliche Aufgaben	60
10.2	Betriebsvorschriften	61
10.3	Dienst- und Betriebsanweisungen	61
10.4	Betriebs- und Funktionskontrollen	62
10.5	Besonderheiten bei mobilen Messeinrichtungen.....	64
10.6	Besonderheiten bei einer Abflusssteuerung	65
10.7	Datenübertragung und -sicherung.....	65
10.8	Dokumentation der Messstelle und des Messbetriebs.....	66
11	Prüfung und Dokumentation von Daten	66
11.1	Datenarten.....	66
11.2	Qualitätseigenschaften von Datenmaterial	67
11.3	Ziele, Arten und Stufen der Datenprüfung	68
11.4	Prüfung auf Repräsentativität	69
11.5	Prüfungen während der Betriebskontrollen.....	70
11.5.1	Bedeutung und Umfang	70
11.5.2	Plausibilitätsprüfung	70
11.5.3	Richtigkeitsprüfung.....	70
11.6	Prüfungen des aktuellen Datenmaterials.....	70
11.6.1	Bedeutung und Umfang	70
11.6.2	Plausibilitätsprüfungen	70
11.6.2.1	Plausibilitätsprüfung des Messbetriebs.....	70
11.6.2.2	Numerische Plausibilitätsprüfungen der Ganglinienverläufe	70
11.6.2.3	Visuelle Plausibilitätsprüfungen der Ganglinienverläufe	74
11.6.3	Konsistenz- und Richtigkeitsprüfung von Wasserstands- und Durchflussdaten.....	74
11.6.3.1	Wasserstandsdaten.....	74
11.6.3.2	Kenndaten der Durchflussmesseinrichtung	74
11.6.3.3	Messstellenkalibrierung der Durchflussmesseinrichtung	74
11.6.3.4	Prüfung der Kontinuitätsbedingung an Bauwerken	74
11.6.3.5	Prüfung von Abflusskurven anhand von Wasserspiegellagenberechnungen	75
11.6.3.6	Prüfungen mithilfe numerischer Strömungsmodellierung	76
11.7	Prüfung des Datenmaterials einer längeren Zeitspanne	76
11.7.1	Bedeutung und Umfang	76
11.7.2	Konsistenz- und Richtigkeitsprüfung der Durchflussdaten	76
11.7.2.1	Prüfung der Streuung der Abflusskurve	76
11.7.2.2	Prüfung der Kennwerte von Abflusskurven	76
11.7.3	Plausibilitäts- und Konsistenzprüfungen von Abflussganglinien und -bilanzen.....	77
11.7.3.1	Bedeutung und Umfang	77
11.7.3.2	Prüfung der Abflussbilanzen bei Trockenwetter.....	77
11.7.3.3	Prüfung der Schmutzwasserganglinien anhand von Periodizitäten	78
11.7.3.4	Prüfung der Fremdwasserganglinien.....	79
11.7.3.5	Prüfung der Niederschlag-Abfluss-Bilanzen.....	79
11.7.4	Prüfung auf Ausreißer.....	80
11.7.5	Homogenitätsprüfung	80

11.7.5.1	Bedeutung und Umfang	80
11.7.5.2	Prüfung von Systemänderungen	80
11.7.5.3	Prüfung von Belastungsänderungen	80
11.7.5.4	Prüfung auf Sprünge	81
11.7.5.5	Prüfung auf Trends	81
11.7.5.6	Doppelsummenanalyse	81
11.8	Datenergänzung und Datenkorrektur	82
11.9	Dokumentation der Daten	82
12	Kosten- und Umweltauswirkungen	83
12.1	Kosten	83
12.2	Nutzen	83
12.3	Umweltauswirkungen	83
Anhang A	Beispiele für Messprogramme	84
A.1	Messprogramm zur Durchflussüberwachung im Ablauf von Kläranlagen	84
A.2	Messprogramm zur Wasserstandsmessung in Regenbecken	84
A.3	Messprogramm zur Ermittlung der abflusswirksamen Flächen	85
A.4	Messprogramm Fremdwasser	85
A.5	Dauermessung von Durchfluss oder Wasserstand für eine Kanalnetzsteuerung	86
A.6	Kriterien zur Messstellenauswahl	86
Anhang B	Vergleich der Verfahren zur kontinuierlichen Messung des Wasserstandes	87
Anhang C	Vergleich der gebräuchlichsten Verfahren zur kontinuierlichen Messung des Durchflusses	89
Anhang D	Genauigkeitsangaben für Messverfahren	95
Bundes- und Landesrecht		97
Technische Regeln		97
DIN Normen		97
DWA-Regelwerk		97
Sonstige technische Regeln		97
Literatur		97

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Druckverteilung bei unterschiedlichem Stromlinienverlauf	18
Bild 2:	Turbulentes, radialsymmetrisches Geschwindigkeitsprofil im Kreisrohr	19
Bild 3:	Wasserspiegellinienverlauf in offenen Gerinnen	20
Bild 4:	Geschwindigkeitsprofil mit Linien gleicher Geschwindigkeit (Isotachen) bei Freispiegelabfluss in einem Kreisrohr	21
Bild 5:	Diagramm der spezifischen Energiehöhe E für konstanten Abfluss Q	21
Bild 6:	Lineare Kennlinie mit möglichen Kennlinienabweichungen	24
Bild 7:	Nichtlineare Kennlinie (z. B. Q - h -Beziehung)	24
Bild 8:	Messanordnung Schall-Echolote in Abwasser und Luft	27
Bild 9:	Messanordnung bei der unmittelbaren Druckmessung mit einer Tauchsonde, Messanordnung bei der mittelbaren Druckmessung mit einem Einperlpegel	28
Bild 10:	Zu dokumentierende Abstände bei einer Ultraschall-Wasserstandsmessung	29

Bild 11:	Übersicht der Methoden zur Durchflussmessung.....	31
Bild 12:	Hydraulische Größen und Bezeichnungen am Venturigerinne	33
Bild 13:	Verschiedene Bauformen von Venturikanälen	33
Bild 14:	Lage der Wasserstandsmessung bei Messwehren in Hauptströmungsrichtung.....	34
Bild 15:	Belüfteter und unbelüfteter Überfallstrahl am scharfkantigen Wehr.....	34
Bild 16:	Lage der Wasserstandsmessung bei Streichwehren	35
Bild 17:	Entlastungswehr mit Tragflügelprofil	35
Bild 18:	Magnetisch-induktiver Abflussmesser in gedükter Anordnung	37
Bild 19:	Einsatz eines mobilen MID für die zeitweilige Durchflussmessung in Freispiegelkanälen.....	37
Bild 20:	Magnetisch-induktiver Abflussmesser für Teilfüllungsmessung in ungedükter Anordnung.....	38
Bild 21:	Schema für eine Vielpunktmessung der Geschwindigkeit in einer teilgefüllten Rohrleitung.....	38
Bild 22:	Sensoranordnungen bei der Ultraschall-Laufzeitmessung.....	40
Bild 23:	Prinzipskizze der Geschwindigkeitsmessung mittels Ultraschall-Dopplereffekt in vollgefülltem Gerinne und Sensoranordnung	41
Bild 24:	Einsatzbereich für die kombinierte Durchflussmessung im nicht rückgestauten Bereich.....	42
Bild 25:	Schema des Prinzips der Geschwindigkeitsmessung mittels Radar-Dopplereffekt.....	43
Bild 26:	Geschwindigkeitsermittlung mittels digitaler Mustererkennung	44
Bild 27:	Prinzipskizze zur Tracermessung.....	47
Bild 28:	Planungsstufen eines Messvorhabens	53
Bild 29:	Einbaubedingungen für magnetisch-induktive Durchflussmesser (MID) bei unterschiedlicher Anströmung.....	57
Bild 30:	Einbaubedingungen für Geschwindigkeitsmesssonden bei unterschiedlicher Anströmung	58
Bild 31:	Bilanzgrößen an einem Regenüberlaufbecken.....	75
Bild 32:	Abflusskurve an einer Messstelle im Kanal	76
Bild 33:	Prüfung der Streuung der Abflusskurve.....	77
Bild 34:	Typische Trockenwetterganglinien eines kleinen Einzugsgebiets.....	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Messung von Wasserständen und Durchflüssen in Abwasseranlagen	17
Tabelle 2:	Störeinflüsse bei der Wasserstandsmessung	30
Tabelle 3:	Arten und Ursachenbereiche von Messabweichungen	50
Tabelle 4:	Zusammenhang von Grad des Vertrauens und Erweiterungsfaktor k_p	51
Tabelle 5:	Kontroll- und Wartungsschritte bei verschiedenen Messverfahren.....	63
Tabelle 6:	Prüfstufen.....	69
Tabelle 7:	Mögliche Kriterien für numerische Plausibilitätskontrollen von Ganglinien.....	72
Tabelle 8:	Verfahren zur Datenergänzung und -korrektur.....	82
Tabelle D.1:	Angaben zur Unsicherheit verschiedener Messverfahren im Abwasserbereich.....	96

Benutzerhinweis

Dieses Merkblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher/wirtschaftlicher Gemeinschaftsarbeit, das nach den hierfür geltenden Grundsätzen (Satzung, Geschäftsordnung der DWA und dem Arbeitsblatt DWA-A 400) zustande gekommen ist. Für dieses besteht nach der Rechtsprechung eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jedermann steht die Anwendung des Merkblattes frei. Eine Pflicht zur Anwendung kann sich aber aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Vertrag oder sonstigem Rechtsgrund ergeben.

Dieses Merkblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für fachgerechte Lösungen. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall; dies gilt insbesondere für den sachgerechten Umgang mit den im Merkblatt aufgezeigten Spielräumen.

1 Anwendungsbereich

Das Merkblatt gilt für Wasserstands- und Durchflussmessungen in Entwässerungssystemen (gegebenenfalls Abwasseranlagen), die insbesondere gemäß der Eigenkontroll- und Selbstüberwachungsverordnungen der Länder verlangt werden. Darüber hinaus richtet sich das Merkblatt an alle Personen, die sich mit Konzeption, Planung und Durchführung von Messprojekten befassen sowie an diejenigen, die für Bau, Gerätebeschaffung und -installation und den Betrieb von Messstellen einschließlich der Auswertung der Messdaten zuständig sind.

2 Begriffe

2.1 Definitionen

Verwendete Definitionen und Begriffe entsprechen denen der DIN 1319, DIN 4044, DIN 4049, DIN 19559 in ihrer sinngemäßen Anwendung auf Abwasseranlagen. Weitere Begriffsfestlegungen in diesem Merkblatt sind:

Begriff	Definition
Messbauwerk	Bauwerk zur Erzeugung eindeutiger hydraulischer Verhältnisse und Einhaltung der strömungstechnischen Anforderungen des Messverfahrens
Messgebiet	Einzugsgebiet einer Messstelle oder eines Messnetzes
Messintervall	zeitlicher Abstand zwischen zwei Einzelmessungen

Begriff	Definition
Messkonzept	genereller technischer Entwurf zur Lösung einer Messaufgabe einschließlich Betrieb und Dokumentation
Messnetz	mehrere, gleichzeitig betriebene Messeinrichtungen eines Messvorhabens
Messprogramm	Programm, in dem die Anforderungen an die Messungen verbindlich beschrieben sind, insbesondere durch eine Zusammenstellung der zu messenden Kenngrößen, Art, Zeitfolge und Dauer der Messungen sowie Messverfahren und Randbedingungen
Messprojekt	Messvorhaben, dessen Ziele und Leitvorstellungen für einen konkreten Anwendungsfall festgelegt sind
Messstellenkalibrierung	Ermittlung des Zusammenhangs zwischen dem Messergebnis einer Messeinrichtung und einem unabhängigen Referenzmesswert
Temporär-messung	Messung, die für eine begrenzte Zeitspanne durchgeführt wird
Zuverlässigkeit	Wahrscheinlichkeit, dass eine Messeinrichtung unter den gegebenen Einsatzbedingungen innerhalb einer festgelegten Zeitspanne ausfallfrei funktioniert