

Durchflussmessungen auf Kläranlagen

Gestaltungsgrundsätze – Planungshinweise –
Prüfmethodik

LANUV-Arbeitsblatt 45

Durchflussmessungen auf Kläranlagen

Gestaltungsgrundsätze – Planungshinweise –
Prüfmethodik

[LANUV-Arbeitsblatt 45](#)

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen 2020

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0, Telefax 02361 305-3215 E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de
	LANUV-Arbeitsblatt 45 ist die überarbeitete und aktualisierte Fassung des LUA-Merkblatts Band 47 (Dezember 2004).
Projektbearbeitung:	Prof. Helmut Grüning (FH Münster), Dr. Reinhard Hassinger (ehemaliger Leiter der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau der Uni Kassel)
Fachliche Begleitung:	Dr. José Fernández, Dr. Gerta Mentfewitz (alle LANUV)
Titelfoto	LANUV
ISSN	2197-8336 (Print), 1864-8916 (Internet), LANUV-Arbeitsblätter
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter • www.lanuv.nrw.de Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	6
1 Einleitung.....	7
2 Durchflussmeseinrichtungen auf Kläranlagen.....	9
2.1 Anordnung und Messbereiche	9
2.2 Anforderungen an die Prüfung nach SüwV-kom	9
3 Grundlagen der Durchflussmessungen auf Kläranlagen	11
3.1 Hydraulisch-hydrometische Grundlagen	11
3.2 Erläuterungen zu den üblichen Messmethoden	12
3.2.1 Venturi-Kanäle und bauartkalibrierte Messrinnen	12
3.2.2 Magnetisch-induktive Durchflussmesser (MID).....	13
3.2.2.1 Vollgefüllte magnetisch-induktive Durchflussmesser	13
3.2.2.2 Teilgefüllte magnetisch-induktive Durchflussmesser.....	15
3.2.3 Sohlgebundene Ultraschall-Systeme zur Erfassung von Geschwindigkeitsprofilen und Wassertiefe	15
3.2.4 Laufzeit-Ultraschallsysteme.....	16
3.2.5 Seltener eingesetzte Messsysteme	16
3.2.5.1 Übersicht.....	16
3.2.5.2 Messwehre	17
3.2.5.3 Rückstau-Venturi-Kanal.....	17
3.2.5.4 Messrinnen mit v-h-Messung.....	18
3.2.5.5 Laufzeit-Ultraschallgeräte für offene Gerinne	18
3.3 Auswahlkriterien	19
3.4 Hydrometrie der Venturi-Kanäle	20
3.4.1 Begriffe und Definitionen	20
3.4.2 Hydraulische Grundfunktionen	20
3.4.3 Typisierung.....	21
3.4.4 Hydraulisch-hydrometrische Anforderungen.....	21
3.4.4.1 Vorbemerkungen.....	21
3.4.4.2 Bezugsniveau für Wasserstandsmessung	22
3.4.4.3 Erforderliche Verbauungsverhältnisse (Einschnürungsverhältnisse).....	22
3.4.4.4 Zulässiger Unterwasserstand	22
3.4.4.5 Messort für Oberwasserstandsmessungen.....	23
3.4.4.6 Beruhigungsstrecke im Oberwasser	23
3.5 Technik der magnetisch-induktiven Durchflussmessung	25
3.5.1 Bezeichnungen und Definitionen	25
3.5.2 Funktionsprinzip	25

3.5.3	Hydraulische und hydrometrische Kriterien	26
3.5.3.1	Allgemeines.....	26
3.5.3.2	Sicherstellung der Rohrvollfüllung/hydraulische Berechnung.....	26
3.5.3.3	Übergangsschächte.....	27
3.5.3.4	Lufteintrag	27
3.5.3.5	Durchmesserwahl.....	29
3.5.3.6	Ablagerungen	30
3.5.3.7	Sicherstellung eines günstigen Geschwindigkeitsprofils	30
3.6	Messwehre	32
3.7	Neuere Messmethoden	32
3.7.1	Teilfüllungs-MID	32
3.7.2	Oberflächen-Radarmessung in Gerinnen	33
3.8	Abflussmessung bei geringen Abflüssen auf kleinen Kläranlagen	34
3.8.1	Hydrometrische Randbedingungen	34
3.8.2	Hydraulische Verfahren	34
3.8.3	Verfahren mit unterbrochenem Wasserstrom	35
4	Prüfung der Durchflussmeseinrichtungen	37
4.1	Anforderungen und Hinweise zur Durchführung	37
4.1.1	Allgemeine Anforderungen	37
4.1.2	Rechtsvorschriften und Richtlinien.....	38
4.1.3	Prüfbereiche	39
4.1.4	Maßgebliche Messwerte (Auswertergebnisse)	39
4.1.5	Bilanzierung von Mengen aus Zählimpulsen	41
4.1.6	Messabweichungen.....	41
4.1.6.1	Zufällige Abweichungen	41
4.1.6.2	Messabweichungen bei Mengenbilanzierung	42
4.1.6.3	Messabweichungen bei Momentanwerten.....	42
4.1.6.4	Zulässige Messabweichung.....	42
4.1.7	Messtechnische Geräteprüfung durch Hersteller vor Ort	43
4.2	Prüfmethoden für Durchflussmeseinrichtungen	43
4.2.1	Überblick und Einsatzbedingungen	43
4.2.2	Auswahl und Eignung von Prüfmethoden	44
4.3	Bauliche Vorkehrungen zur messtechnischen Überprüfung.....	44
4.3.1	Allgemeine Anforderungen	44
4.3.2	Voraussetzungen zur trockenen Überprüfung von Venturi-Kanälen.....	45
4.3.3	Voraussetzungen zum Einsatz von Kontrollmessgeräten	45
4.4	Anforderungen an Messeinrichtungen und Signalübertragung	46
4.4.1	Ultraschall-Wasserstandsmesser für Venturi-Rinnen.....	46
4.4.2	Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte.....	46
4.4.3	Signalbearbeitung und Signalübertragung sowie Messwertregistrierung	47
4.4.4	Vorkehrungen zur Erhaltung der Messgenauigkeit und zur Kontrolle.....	48
4.5	Planerische und betriebliche Anforderungen	49
4.5.1	Planerische Hinweise	49
4.5.2	Unterlagen zu Durchflussmeseinrichtungen.....	49

4.5.3	Betriebliche Erfordernisse	50
4.6	Prüfberichte und Prüfbescheinigungen	51
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	53
6	Literaturverzeichnis	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bezeichnungen und Längenverhältnisse am Venturi-Kanal.....	20
Abbildung 2:	Zulässiger relativer Unterwasserstand h_u/h_o als Funktion des Einschnürungsverhältnisses b_e/b_o (vereinfachte Theorie: Konjugierte Tiefe des Wechselsprungs auf ebener Sohle für einen Verlust in Höhe von 10 % der Grenzgeschwindigkeitshöhe)	23
Abbildung 3:	Messschacht mit magnetisch-induktiver Messeinrichtung in einer Abwasserleitung (gedükertes Vollfüllungs-MID)	25
Abbildung 4:	Funktionsprinzip der magnetisch induktiven Durchflussmessung	26
Abbildung 5:	Zu vermeidender Absturz in einem OW-Übergangsschacht	28
Abbildung 6:	Luft eintrag durch Absturz bei überstauter Zulaufleitung zum MID-Messschacht	29
Abbildung 7:	Vor- und Nachlaufängen für vollgefüllte MID-Aufnehmer (nach Hassinger, 1993).....	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Durchflussmessung nach SöwV-kom für verschiedenen Kläranlagen	9
------------	---	---

1 Einleitung

Dieses Arbeitsblatt gibt Hinweise für die Durchfluss- bzw. Abflussmessung auf kommunalen und industriell-gewerblichen Kläranlagen. In den kommunalen Anlagen in NRW wird das Abwasser von über 17 Millionen Einwohnern (Stand: 2015) behandelt und anschließend in ein Gewässer eingeleitet. Die genaue Kenntnis der behandelten Abwasservolumina ist aus ökologischen und ökonomischen Gründen erforderlich. Die Überwachung der Funktion und Wirkung einer Kläranlage erfolgt durch online-Analytik und Probenahmen. Probenentnahmegeräte werden häufig vom Messsignal des Durchflussmessgerätes angesteuert. Frachtermittlungen erfolgen auf der Basis der gemessenen Abflüsse und Volumina. Messfehler verfälschen die Informationen zur ausgeleiteten Fracht und damit zur Wirkung der Anlage. Ökonomische und ökologische Bedeutung hat die genaue Durchflussmessung im Hinblick auf die schadlichkeitsbasierte Berechnung der Abwasserabgabe, die u. a. auf der Grundlage des behandelten Abwasservolumens ermittelt wird. Darüber hinaus ermöglicht die Durchflussmessung die Überwachung der wasserrechtlichen Begrenzung für die jeweilige Einleitstelle. Außerdem ist eine genaue Abflussmessung aus betrieblichen Gründen bedeutsam.

Die Kläranlage ist auf einen bestimmten Durchfluss ausgelegt, der an der letzten Mischwasserbehandlung oder im Zulaufbereich der Anlage begrenzt wird. Regelungsprozesse auf Kläranlagen, wie die Rücklaufschlammregelung oder die Zu- bzw. Abschaltung weiterer Behandlungsstränge, basieren letztlich auf den ermittelten Durchflüssen.

Aus den genannten Gründen schließt die gesetzliche Forderung der Anlagenüberwachung die Ermittlung der Art und Menge des Abwassers (§ 61 WHG und § 59 LWG) ein. Die Voraussetzung für die optimale Wirkung der Kläranlage sind funktionierende und auf den aktuellen Durchfluss angepasste Anlagenkomponenten.

Im Rahmen der Selbstüberwachungsverpflichtung hat der Betreiber die Funktion der Durchflussmessenrichtungen zu prüfen und sicher zu stellen. Den Prüfumfang, die Prüfmethode und zulässige Abweichungen regelt die Verordnung über Art und Häufigkeit der Selbstüberwachung von kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen und -einleitungen SÜwV-kom – Selbstüberwachungsverordnung kommunal vom 25. Mai 2004 (SÜwV-kom).

Herausforderungen für die Überprüfung von Durchflussmessenrichtungen sind z. B.:

- Eingeschränkte Zugänglichkeit zur Durchflussmessenrichtung.
- Fehlender Platz bzw. fehlende freie Rohrlänge für den Einbau der Kontrollmessenrichtungen.
- Im Vergleich zum möglichen Maximalabfluss bzw. Messbereich der Durchflussmessung geringe Volumenströme im Zeitraum der Kontrollmessung.
- Digital vernetzte Systeme (z.B. BUS-Systeme) in denen die aktuellen Messwerte nicht sichtbar oder leicht zugänglich gemacht werden können.

- Seit Inkrafttreten der SÜwV-kom hat sich die Durchflussmesstechnik weiterentwickelt. So sind bekannte Messverfahren (z.B. Laufzeit-Ultraschall) für den Dauereinsatz in Abwasseranlagen entwickelt worden, die auch zunehmend Verwendung finden. Dieses Arbeitsblatt gibt Hinweise zum Einsatz dieser Messtechniken. Weiterhin sind technische Regelwerke neu erschienen oder überarbeitet worden. Dazu zählen u. a.:
 - DWA-Merkblatt M 181.
 - DWA-Arbeitsblätter A 110, A 111 und A 112.
 - Aktualisierte Merkblätter in anderen Bundesländern (Bayern und Hessen).

Diese Entwicklungen werden in diesem Arbeitsblatt aufgegriffen. Es enthält nicht nur Grundlagen zu den Messtechniken, sondern gibt auch Hinweise zur Methodik der Überprüfung der Durchflussmesseinrichtungen für Prüfstellen, für Planer und Betreiber sowie für die Aufsichtsbehörden.

2 Durchflussmeseinrichtungen auf Kläranlagen

2.1 Anordnung und Messbereiche

Durchflussmeseinrichtungen auf Kläranlagen sind im Zu- und/oder Ablaufbereich zu finden. Sind mehrere Durchflussmeseinrichtung vorhanden, gelten die nachstehend erläuterten Anforderungen nur für die Anlage, die für die Abgabe in das Gewässer maßgeblich ist. Die Messung im Ablaufbereich hat den betrieblichen Vorteil, dass die Abflussmessung in gereinigtem Abwasser durchgeführt werden kann. Einflüsse und Störungen durch Abwasserinhaltsstoffe auf die maßgeblichen Querschnitte und auf die Messtechnik werden dadurch verringert oder vermieden. Die Durchflussschwankungen auf Kläranlagen reichen von minimalen Nachtabflüssen insbesondere während längerer Trockenperioden bis zu maximalen Zuflüssen, die im Regenwetterfall auftreten. Diese werden bereits im Kanalnetz oder Zulaufbereich der Anlage auf den Bemessungswert gedrosselt. Ansonsten entsprechen die Abflussschwankungen dem Trockenwettertagesgang. Abhängig von der Ausbaugröße der Kläranlage reicht das Spektrum der Messwerte von minimalen Abflüssen unter 1 l/s in kleinen Kläranlagen bis zu Durchschnittsabflüssen von mehreren Kubikmetern in der Sekunde bei großen Kläranlagen. Vor allem bei kleinen Kläranlagen bei Kanalnetzen mit geringem Fremdwasseranfall sind ausgeprägte Tagesgänge die Regel.

2.2 Anforderungen an die Prüfung nach SÜwV-kom

Gemäß Anlage 1 der SÜwV-kom sind die Durchflüsse einer Kläranlage bzw. die zum Gewässer abgegebenen Wassermengen zu messen. Dabei erfolgt eine Differenzierung der Messintervalle in Abhängigkeit von der Ausbaugröße der Kläranlage (Tabelle 1). Für Kläranlagen ab einer Ausbaugröße von mehr als 500 EW sind kontinuierliche Messungen erforderlich.

Tabelle 1: Durchflussmessung nach SÜwV-kom für verschiedenen Kläranlagen

Ausbaugröße der Kläranlage	Häufigkeit	Art (Ablauf Kläranlage)
≤ 500 EW	14-täglich	Kurzzeitmessung mit Messwehr, Messgefäß etc., an unterschiedlichen Wochentagen und Tageszeiten, um ein unterschiedliches Bild zu erhalten, mind. zweimal jährlich in den Nachtstunden
> 500 bis 2000 EW	kontinuierlich	Registrierung des Momentanwertes, Mengenintegration mittels Zählwerk o.ä., Protokollierung von minimalem und maximalem Durchfluss und der Tageswassermenge, Anzeige des Momentanwertes an der Probenahmestelle
2001 bis 10.000 EW		
10.001 bis 100.000 EW		
> 100.000 EW		

Die SÜwV-kom schreibt eine regelmäßige Überprüfung der Durchfluss-Messeinrichtungen vor (§ 5). Einzelheiten zur Prüfung und den Prüfintervallen enthält Anlage 3 der SÜwV-kom. Demnach sind erforderlich:

- a) eine Erstprüfung bei Inbetriebnahme und Änderung der Durchflussmessstelle.
- b) eine Folgeprüfung in einem Abstand von nicht mehr als 3 Jahren nach der letzten Prüfung.

Die Bewertung und Überprüfung einer Durchflussmessung erfordert in erheblichem Umfang hydraulische und hydrometrische Kenntnisse. Aus diesem Grund muss die Überprüfung durch eine sach- und fachkundige Prüfstelle erfolgen.

Die Regelungen dieses Arbeitsblattes sind auch auf die Überprüfung von industriellen Direkt- und Indirekteinleitern übertragbar.

3 Grundlagen der Durchflussmessungen auf Kläranlagen

3.1 Hydraulisch-hydrometische Grundlagen

Zunächst ist zu erwähnen, dass der Durchfluss oder Abfluss ein Volumenstrom (Volumeneinheit pro Zeiteinheit) ist, der per se noch keine Masse beinhaltet. Als Volumeneinheiten werden meist Liter (l) oder Kubikmeter (m³) und als Zeiteinheiten Sekunden (s) oder Stunden (h) verwendet. Nur wegen der Tatsache, dass die Dichte des Wassers für die hier anstehenden Ziele als konstant angenommen werden kann und dass die Dichten von Reinwasser und Abwasser sich nur vernachlässigbar unterscheiden, können das Volumen oder die Menge in Kubikmetern als Ersatzgrößen für die Wassermasse in Tonnen herangezogen werden.

Der Durchfluss ist bei der überwiegenden Zahl der in der Praxis angewandten Messmethoden ein indirekter Messwert. Lediglich bei volumetrischen Methoden durch Füllung eines Behälters mit bekanntem Inhalt kann von einer direkten Messung des Volumenstroms gesprochen werden. Steht der Behälter auf einer Waage, wird direkt der Massenstrom (in kg/s oder t/h) gemessen, aus dem der Volumenstrom rückgerechnet werden kann.

Es können zwei grundsätzliche Methoden unterschieden werden:

1. Erfassung des durchflossenen Querschnitts und der mittleren Strömungsgeschwindigkeit in diesem Querschnitt und Berechnung nach der Kontinuitätsgleichung ($Q = v_m \cdot A$). Bei vollgefüllten Profilen ist die Querschnittsfläche durch die Geometrie bzw. den Durchmesser vorgegeben, wobei hier der Umstand zu berücksichtigen ist, dass der tatsächlich verfügbare Querschnitt durch Inkrustationen, Sielhäute, Ablagerungen oder Fremdkörper reduziert sein kann.
2. „Hydraulische“ Methoden in offenen Gerinnen, die darauf basieren, dass durch eine spezielle Geometrie und Rückstaufreiheit das hydraulische Phänomen der Abflusskontrolle (Fließwechsel Strömen → Schießen oder Auftreten der kritischen Tiefe bzw. des spezifischen Energieminimums) erzwungen wird, so dass für den Durchfluss durch den Kontrollquerschnitt eine stationäre Wasserstands-Abfluss-Beziehung (Q-h-Linie/Abflusskurve/Schlüsselkurve) besteht, die zur Abflussmessung genutzt werden kann. Dazu ist der Wasserstand oberstrom des Kontrollquerschnitts zu messen, so dass man aus dieser Wasserspiegellage in Bezug auf die Sohle im Kontrollquerschnitt einen guten Schätzwert für den sohlbezogenen Energiegehalt der Strömung erhält. Aus diesem kann unter Anwendung der Q-h-Linie der Abfluss bestimmt werden. Als Kontrollbauwerke kommen Einschnürungen von der Seite (Venturi-Kanäle) oder Erhöhungen der Sohle (Messwehre) oder eine Kombination von beidem zum Einsatz.

3.2 Erläuterungen zu den üblichen Messmethoden

3.2.1 Venturi-Kanäle und bauartkalibrierte Messrinnen

Die Bezeichnung „Venturi-Kanal“ bzw. „Venturi-Rinne“ repräsentiert in diesem Arbeitsblatt alle hydraulisch wirkenden Messrinnen mit überwiegend seitlicher Einschnürung, wie Venturi-Rinnen, Khafagi-Venturi-Kanal, Parshall-Rinne, Palmer-Bowlus-Rinne etc.

Die auf Kläranlagen anzutreffenden Venturi-Rinnen haben häufig Rechteckquerschnitte. In seltenen Fällen sind jedoch auch Messrinnen in Parabelform (Pollux) oder in Trapezform (Bopp & Reuther, Züllig) im Einsatz. Für die Wasserstandsmessungen werden Ultraschall-Echolote oder Wasserstandssensoren auf Radarbasis eingesetzt.

Die Messsysteme bestehen üblicherweise aus einer Messrinne, häufig als Fertigteil oder in Ortbetonbauweise, einem Ultraschall-Sensor und einem Ultraschall-Messumformer. Die Verbindungsleitung zwischen Ultraschallsensor und dem Umformer kann sehr lang sein, muss aber bestimmte Spezifikationen des Herstellers erfüllen. Meist wird der Messumformer in einem in unmittelbarer Nähe des Venturi-Kanals stehenden Schaltschrank oder Schaltkasten oder im weiter entfernt liegenden Betriebsgebäude angeordnet.

Der Messumformer wertet die Ultraschallsignale aus, berechnet die Wasserstände durch Subtrahieren der gemessenen Distanz vom Nullebenenabstand und daraus nach einer einprogrammierten oder fest implementierten Linearisierungsfunktion (Abflusskurve) den Abfluss. Die momentanen Abflusswerte werden über die Zeit aufintegriert, so dass dabei die abgeflossenen Volumina bestimmt werden. Für jede Volumeneinheit wird ein aktives Rechtecksignal (z.B. 24 VDC) ausgegeben und/oder ein Impulsrelais angesteuert. Mit diesen können Zähler oder Zählleitungen von Prozessleitsystemen angesteuert werden. Als analoge Ausgangssignale werden üblicherweise proportional zum Durchfluss analoge Ströme (0 bzw. 4 bis 20 mA) erzeugt und ausgegeben. Moderne Geräte zeigen die im System vorhandenen Parameter und Messwerte im Klartext an. Zudem wird die digitale Übertragung über Rechnerschnittstellen oder BUS-Systeme von modernen Geräten geleistet. Auf analoge Schnittstellen wird dann i.d.R. verzichtet. Wenn jedoch die Architektur dieser BUS-Systeme die Anzeige von Momentanwerten nicht erlaubt, ist die Kontrolle erschwert.

Das hydraulische Messverfahren weist folgende systemspezifischen Vor- und Nachteile auf:

Vorteile:

- Zugängliche, beobachtbare Strömung.
- Unempfindlich gegen Wandbeläge (Fett, etc.); Wandbeläge beeinträchtigen jedoch in dem Maße die Messung, wie sie den durchflossenen Querschnitt verringern. Diese Einflüsse vergrößern systematisch den Abflusswert. Die Beläge sind aber sichtbar und zugänglich und können auf einfache Weise entfernt werden.
- Messsystem besitzt meist offene und zugängliche Schnittstellen; leichte Kontrollierbarkeit der Wasserstandsmessung und Durchflussberechnung.

- Bei kleiner werdendem Abfluss nimmt anders als beim Vollfüllungs-MID (Magnetisch-induktive Durchflussmesser) auch die durchflossene Querschnittsfläche ab, so dass die Messgenauigkeit und die Fließgeschwindigkeiten ausreichend hoch bleiben. Dies trifft insbesondere auf trapezförmige oder parabelförmige Venturi-Kanäle zu.
- Kostengünstig, da kein spezieller Schacht und keine Armaturen erforderlich sind.
- Leichte Anpassungsmöglichkeiten an veränderte Bedingungen.
- Venturi-Messsysteme können durch Auswechseln bzw. Höhersetzen der Venturi-Einsätze und Einprogrammieren einer anderen Abflusskurve relativ leicht an Abflusszustände angepasst werden, die vom ursprünglichen Bemessungsabfluss der Anlage abweichen. So ist auch eine Kompensation erhöhten Rückstaus (z.B. durch nachgeschaltete Rechenanlagen) möglich.

Nachteile:

- Wasserstandsmessung kann durch Wellen, Schaum, Spinnenweben etc. beeinträchtigt werden.
- Empfindlichkeit des Ultraschallsensors gegen mechanische Belastung oder Verformung der Halterung.
- Empfindlichkeit der Ultraschall-Echolottechnik gegenüber Erwärmung (Sonnenbestrahlung); als Gegenmaßnahme ist eine Abdeckung erforderlich.
- Örtliche Bedingungen des Gerinnes wie Rauheit, Sohlgefälle oder Störungen im Zulauf, wie nicht reguläre Querschnitte, Sonden und Probenahmeschläuche haben gewisse negative Einflüsse auf das Messergebnis.
- Eine bestimmte Mindest-Höhendifferenz zwischen Ober- und Unterwasserspiegel ist erforderlich. Für jeden Zustand mit Oberwasserstand und Abfluss gibt es einen bestimmten Unterwasserstand, bei dessen Überschreitung die Rückwirkung einsetzt. Generell gilt: Der Fließwechsel in der Engstelle (sichtbar anhand Wechselsprung) darf nicht durch Rückstau beeinflusst werden.
- Ablagerungsgefahr im Oberwasserkanal bei zu geringen Fließgeschwindigkeiten.
- Wegen des Lichtzutritts können auch in Kläranlagenabläufen die Messrinnen durch Algen und Sielhäute beeinträchtigt werden. Eine regelmäßige Reinigung verhindert dies jedoch zuverlässig.

3.2.2 Magnetisch-induktive Durchflussmesser (MID)

3.2.2.1 Vollgefüllte magnetisch-induktive Durchflussmesser

Magnetisch-induktive Durchflussmesser werden derzeit als Vollfüllungs-MID überwiegend in Kläranlagenabläufen eingesetzt. Sie arbeiten nach dem Prinzip einer Geschwindigkeitsmessung in einem festen, bekannten Fließquerschnitt (in der Regel Kreisrohr), wobei durch Vollfüllung des Rohres dafür gesorgt wird, dass der durchflossene Querschnitt immer dem lichten Rohrquerschnitt entspricht.

Die MID-Systeme bestehen in der Regel aus zwei Komponenten: Einem Messwertempfänger, der in die Rohrleitung eingebaut wird, und einem Messumformer. Die Messsignale des Empfängers, die sehr schwach und leicht gestört werden können, werden durch ein Spezialkabel mit mehrfacher Abschirmung zum Messwertumformer übertragen, der das

Messsignal verstärkt, aufbereitet, auf der Anzeige darstellt und zu Durchflusssummen integriert. Bei Kompaktgeräten sitzt der Umformer direkt über dem Aufnehmer, was den Vorteil hat, dass die Signalkabel sehr kurz sind und innerhalb des Gehäuses verlaufen. Nachteilig ist bei diesen Kompaktgeräten, dass zum Ablesen von Werten auf dem Display ein Einstieg in Schächte erforderlich sein kann und dass die Gefahr für den Umformer, durch Überflutung beschädigt zu werden, deutlich größer ist.

Die Ausgabe der Momentanmesswerte für den Durchfluss erfolgt meist über ein proportionales Ausgangssignal (meist 0/4 – 20 mA). Der Stromhub von 4 – 20 mA wurde eingeführt, um einen Drahtbruch (unterbrochene Stromschleife) klar vom Messwert 0 unterscheiden zu können.

Die Mengeninformationen (abgeflossene Kubikmeter) werden meist durch Impulse mit einer bestimmten Impulswertigkeit (Volumen pro Impuls) ausgegeben. Üblich sind aktive Impulse (z.B. von Transistoren erzeugte Spannungsfanken mit 24 VDC) oder passive Impulse als potentialfreie Relaiskontakte. Die letzteren haben den Vorteil, dass sie ohne Beachtung der Potentiale der verbundenen Geräte eine sichere Übertragung erlauben.

Auch gibt es rein digitale Gerätevarianten, die das Messergebnis über ein BUS-Protokoll (Modbus, Fieldbus, CAN, Ethernet, etc.) an nachgeordnete Prozessleitsysteme (PLS) oder Datenfernübertragungssysteme (DFÜ) übertragen.

Vorteile:

- Rückstau beeinflusst das Messergebnis nicht.
- Geringe hydraulische Verluste des eigentlichen Messwertaufnehmers. Die Gesamtverluste durch den Messschacht mit Übergangsschächten, Einläufen, Armaturen und Krümmern erreichen aber Beträge, die den Verlusten an Venturi-Rinnen gleichkommen oder diese übertreffen.
- Bei normalen Verhältnissen sind die Wartungsaufwendungen gering.
- Wenn das Abwasser so beschaffen ist, dass im Messquerschnitt keine Ablagerungen und/oder Wandbeläge anwachsen, stellen moderne MID sehr betriebsstabile Messsysteme dar, die keiner nennenswerten Wartung bedürfen. Die Stabilität des Gerätenullpunkts ist durch die automatische Nullpunkt Korrektur moderner Geräte normalerweise gewährleistet.
- Die Messgenauigkeit ist bei ausreichender Strömungsgeschwindigkeit hoch.

Nachteile:

- Aufwendige Überleitung von Freispiegelströmungen in Druckrohrströmung und zurück (Dükerung), hier kann Lufteintrag zu Problemen führen.
- Hohe Investitionskosten für Messschacht nebst Zubehör. Hierzu zählen neben den Tiefbauten beispielsweise Prallwände, Rohrleitungen, Schieber, Schachtabdeckungen, Schachtentwässerungspumpe, Entlüftungen etc.
- Der Strömungsbereich ist nicht zugänglich. Die Kontrollmöglichkeiten sind eingeschränkt.
- Unsichtbare Elektrodenbeläge, insbesondere Fett, können den Messwert verfälschen.

- Bei abnehmendem Durchfluss wird die Fließgeschwindigkeit proportional kleiner. Wegen der konstanten Durchflussfläche ist die Fließgeschwindigkeit bei geringen Abflüssen sehr klein. Dies kann zu Ablagerungen führen und die Messgenauigkeit drastisch verschlechtern, z.B. bei geringem Nachtabfluss. Andererseits nimmt die durchflossene Fläche bei hohen Abflüssen auch nicht zu, so dass in der Zusammenwirkung von Übergangsschächten, Messrohr mit Armaturen, Dükerung etc. erhebliche Verlusthöhen auftreten können.

3.2.2.2 Teilgefüllte magnetisch-induktive Durchflussmesser

Bei den teilgefüllten induktiven Durchflussmessern hat sich auf dem Markt eine Technologie durchgesetzt, bei der die Wassertiefe im Messquerschnitt mittels kapazitivem Abgriff erfasst wird. Damit entfallen die früher vorhandenen mehrfach übereinanderliegenden Elektrodenpaare. Hier war infolge von Fettschichten ein Kontaktproblem zum Medium möglich. Bei derzeit verfügbaren Teilfüllungs-MID liegt die untere Messbereichsgrenze bei einer Füllhöhe von etwa 10 % des Durchmessers.

Ihr wesentlicher Vorteil ist in der Tatsache begründet, dass wegen der vermiedenen Dükerung in ihnen mit Abnahme des Durchflusses auch die durchflossene Fläche abnimmt, so dass die Geschwindigkeiten vergleichsweise hoch bleiben, was die Messgenauigkeit verbessert und Ablagerungen vermeiden hilft. Auf Kläranlagen haben sie deshalb im Zulauf eine besondere Berechtigung, weil hier die erzwungene Vollfüllung wegen Ablagerungen zu erheblichen Problemen führen kann.

3.2.3 Sohlgebundene Ultraschall-Systeme zur Erfassung von Geschwindigkeitsprofilen und Wassertiefe

Für die Abflussmessung in teilgefüllten Rohren und Gerinnen stehen seit einigen Jahren profilierende Messsysteme mit auf der Sohle zu montierenden Sensoren zur Verfügung. Diese erfassen mit Ultraschall von unten sowohl die Wassertiefe als auch das vertikale Geschwindigkeitsprofil. Die Geschwindigkeitsverteilung in einer Messlinie wird typischerweise in mehreren Ebenen aufgelöst. Die Geräte leiten aus dem Vertikalprofil der Geschwindigkeit mithilfe empirischer und aus Modellen ermittelter Faktoren den Querschnittsmittelwert ab und bestimmen mit der über die Abflusstiefe berechneten durchflossenen Fläche den Abfluss.

Die Messunsicherheiten sind schwer einzuschätzen. Zum Beispiel werden bei den kleinen Abflusstiefen in teilgefüllten Rohrleitungen oder in Gerinnen nur wenige Messebenen erfasst und für die Profilbildung verwendet.

Die Erfahrungen zeigen, dass ein zuverlässiger Dauerbetrieb im Rohabwasser nur mit intensiver Wartung unter Berücksichtigung der hydrometrischen Randbedingungen und der Einbauvorschriften möglich ist. In Kläranlagenabläufen können sie in kompakten Querschnitten (Wassertiefe relativ zur Breite groß) jedoch eine dauerhafte und ausreichend genaue Messmöglichkeit bieten.

3.2.4 Laufzeit-Ultraschallsysteme

Zunehmend werden Laufzeit-Ultraschallsysteme zum Montieren auf Rohre oder als einbaufertiges Messmodul angeboten. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass Paare von Ultraschallsensoren auf ein vollgefülltes Rohr aufgeschraubt werden (clamp-on-Systeme). Die Geräte messen für einen Ultraschallimpuls den Laufzeitunterschied für den Hinweg vom ersten Sensor zum zweiten Sensor und für den Rückweg. Der Schallweg durchkreuzt die Strömung so, dass aus dem Laufzeitunterschied eine Information über die mittlere Strömungsgeschwindigkeit gewonnen werden kann. Die herausragende Besonderheit ist, dass der Ultraschall durch die Rohrwand geleitet wird, so dass keinerlei Eingriff in den Strömungsverlauf nötig ist.

Vorteile:

- Kein Eingriff in die Strömung
- Leichte Montage und Demontage (z. B. zur Kalibrierung)

Nachteile:

- Höhere Ansprüche an die Länge der Vorlaufstrecke als MID
- Feinverteilte Luft kann die Messung bis zum Totalausfall stören
- Inkrustationen können den Schallübergang stören
- Zu hoher Feststoffgehalt führt zu starker Dämpfung des Ultraschallsignals mit der Gefahr des Ausfalls
- Möglicherweise höhere Kosten als ein MID

Diese Technik ist insbesondere für Kontrollmessungen geeignet. Sie ist aber auch für Langzeitmessungen einsetzbar. Dann muss jedoch dafür gesorgt werden, dass das Koppelmedium zwischen Sensoren und Rohrwand beständig ist.

Einige Geräte bieten die Möglichkeit, zwei Sensorpaare anzuschließen. Die Messung mit zwei Pfaden ermöglicht die Beurteilung der Ungleichverteilung der Geschwindigkeit. Das ist der entscheidende Vorteil gegenüber der 1-Pfad-Messung. Wenn die Sensorpaare den Querschnitt in einem Winkel von 60 bis 90 Grad zueinander durchschallen, bietet der Mittelwert der beiden separaten Geschwindigkeitswerte eine wesentlich bessere Erfassung des Querschnitts-Mittelwerts und damit einen genaueren Durchfluss. Damit können auch dann akzeptable Messunsicherheiten erhalten werden, wenn die Zuströmverhältnisse nicht optimal sind.

3.2.5 Seltener eingesetzte Messsysteme

3.2.5.1 Übersicht

Als Sonderlösungen sind immer noch ältere Messverfahren wie Messwehre, Verfahren mit besonderen hydrometrischen Eigenschaften (Rückstau-Venturi-Kanäle) und Ultraschall-Laufzeitsysteme für geschlossene oder offene Leitungen im Einsatz. Darüber hinaus weisen moderne voll berührungslose Messtechniken einige Vorteile auf, so dass hierfür künftig ein häufiger Einsatz anzunehmen ist.

3.2.5.2 Messwehre

Messeinrichtungen mit Messwehren arbeiten nach dem hydraulischen Messverfahren, indem der Kontrollquerschnitt durch eine Einschnürung von unten (Wehrwand) hergestellt wird. Sie haben wegen der so erzwungenen großen Wassertiefen oberstrom des Wehres den Nachteil einer gewissen Ablagerungsgefahr im Oberwasser.

Messwehre kommen deshalb vorwiegend in Abläufen kleinerer Kläranlagen in Betracht, weil sie durch die Dreiecksform des Überfallquerschnitts auch sehr kleine Abflüsse mit ausreichender Genauigkeit erfassen können. Sie müssen dort trotz des Einsatzes in klarem Wasser regelmäßig gewartet und gereinigt werden, weil die Abflusskurve durch Biofilme und Algenbesatz sowie Verlegungen in der Anströmung gestört werden kann. Die Überfallquerschnitte müssen durch vorgeschaltete Rückhalteeinrichtungen (z.B. Lochblechwände) vor Treibzeug geschützt werden. Zwischen Wasserstandsmessung und Überfall darf kein Verlust auftreten. Der Sensor muss außerhalb der Spiegelabsenkung zum Überfall hin angeordnet werden. In Kläranlagen mit Teichen, die am Auslauf ohnehin einen Überfall benötigen, stellen sie eine sehr wirtschaftliche und ausreichend genaue Messmethode dar.

3.2.5.3 Rückstau-Venturi-Kanal

Der Rückstau-Venturi-Kanal (RSVK) ist eine Modifikation des Venturi-Kanals, bei der der Engpassquerschnitt prismatisch und länger gestaltet und mit einem zusätzlichen Geschwindigkeitssensor ausgestattet wird. Damit kann die Messung auch dann fortgesetzt werden, wenn infolge Rückstau kein Fließwechsel in der Messrinne vorliegt. Durch Auswerten der hydraulischen Grundgleichungen für den gemessenen Wasserstand im Oberwasser und die gemessene Geschwindigkeit in der Engstelle ist unter Berücksichtigung der Querschnitts-Geometrie die Berechnung des Abflusses möglich (Hassinger, 1999). Der RSVK hat bei entsprechender Gestaltung einen sehr breiten Messbereich von wenigen Liter pro Sekunde bis zu mehreren Kubikmetern in der Sekunde. Er ist deshalb insbesondere für die Abflussmessung in großen Mischwasser- und Regenwasserkanälen mit starken Schwankungen des Durchflusses geeignet. Betrieblich besonders günstig ist es, wenn die Geschwindigkeitsmessung mit berührungslos arbeitendem Oberflächen-Radar durchgeführt wird.

3.2.5.4 Messrinnen mit v-h-Messung

Die zunehmende Verfügbarkeit von Radar-Geschwindigkeitssensoren für die Oberflächengeschwindigkeit, die oft in einem Gehäuse mit Wasserstandssensoren kombiniert sind, erlaubt es, den Durchfluss in offenen Kanälen vollkommen berührungslos und ohne Eingriffe in den Verlauf der Rinnen zu messen. Dabei misst der Wasserstandssensor die Füllhöhe und der Geschwindigkeitssensor die Oberflächengeschwindigkeit. Aus dem Wasserstand kann über die Flächenfunktion die durchflossene Querschnittsfläche berechnet werden. Die gemessene Oberflächengeschwindigkeit kann über Kalibrierfaktoren oder Erfahrungs- bzw. Literaturwerte auf den Querschnittsmittelwert umgerechnet werden. Beide Parameter ergeben dann miteinander multipliziert den Durchfluss.

Wegen des vollkommen berührungslosen Abgriffs eignet sich diese Methode bei allen Wasserarten mit beliebigen Inhaltsstoffen. Eine Einschränkung ist dadurch gegeben, dass die Oberflächengeschwindigkeit derzeit nur dann mit Radar gemessen werden kann, wenn diese einen Mindestwert (mehrere Dezimeter pro Sekunde - herstellerabhängig) überschreitet. Nur dann sind infolge des Fließvorgangs an der Oberfläche die Turbulenz- und Wellenstrukturen vorhanden, die für die Messung unbedingt nötig sind. Somit sind alle Zustände mit geringen Oberflächengeschwindigkeiten nicht messbar.

Durch die Unsicherheiten bei der Bestimmung des Querschnittsmittelwertes der Geschwindigkeit ist eine Kalibrierung erforderlich, sofern die Umrechnungsfaktoren zwischen gemessener Oberflächengeschwindigkeit und Querschnittsmittelwert nicht aus anderen Informationen abgeleitet werden können.

3.2.5.5 Laufzeit-Ultraschallgeräte für offene Gerinne

Diese Gerätetypen arbeiten mit Ultraschall-Sensorpaaren, die in einem offenen Gerinne einander diagonal gegenüberliegen und in Abhängigkeit von der Füllhöhe zu- oder abgeschaltet werden. Systeme dieser Art werden schon lange für größere Gewässer eingesetzt. Sie sind jedoch auch in größeren Kläranlagen-Ausläufen mit offenen Gerinnen im Einsatz. Diese Systeme unterliegen derzeit noch einem Entwicklungsprozess, um den Einsatz für kleinere Querschnitte zu erweitern. Es muss sich noch herausstellen, ob die behaupteten Vorteile gegenüber den Teilfüllungs-MID in der Praxis zum Tragen kommen.

3.3 Auswahlkriterien

Unter Berücksichtigung der genannten Vor- und Nachteile der wichtigsten Methoden können zusammenfassend folgende Hinweise für die Auswahl des Messsystems gegeben werden: Venturi-Kanäle mit Ultraschall-Wasserstandsmessung und digitaler Linearisierung stellen eine wirtschaftlich günstige und erprobte Messmethode dar. Die Messstellen sollten mit vorgefertigten, typgeprüften Messrinnen ausgestattet werden. Bei vertretbarem betrieblichem Aufwand und guter Kontrollierbarkeit wird damit eine voll ausreichende Messgenauigkeit erreicht.

Der Einsatz magnetisch-induktiver Durchflussmesser bietet sich an, wenn

- die Strömung innerhalb einer Anlage ohnehin in einer zugänglichen Rohrleitung gefördert wird und sich diese Leitung als Messrohr eignet,
- der Rückstau vom Vorfluter so hoch steigt, dass die Leitung eingestaut ist,
- die hohe Messgenauigkeit des MID erforderlich ist,
- die zu messende Strömung sehr tief unter Gelände verläuft,
- das Platzangebot den Bau einer längeren, geraden und offenen Rinne nicht erlaubt.

Die oben aufgeführten neueren Methoden haben Ihre Berechtigung unter den erwähnten besonderen Bedingungen. Sie eignen sich insbesondere bei der Nachrüstung in bestehenden Rinnen- oder Rohrsystemen. Die Anforderungen der SÜwV-kom können damit bei Berücksichtigung der Einsatzbedingungen eingehalten werden.

3.4 Hydrometrie der Venturi-Kanäle

3.4.1 Begriffe und Definitionen

Für die Abwasserdurchflussmessung mit Venturi-Kanälen existiert als einschlägige Norm die DIN 19559, Teile 1 und 2. Abbildung 1 veranschaulicht die Definitionen und Bezeichnungen für Venturi-Kanäle in Skizzenform.

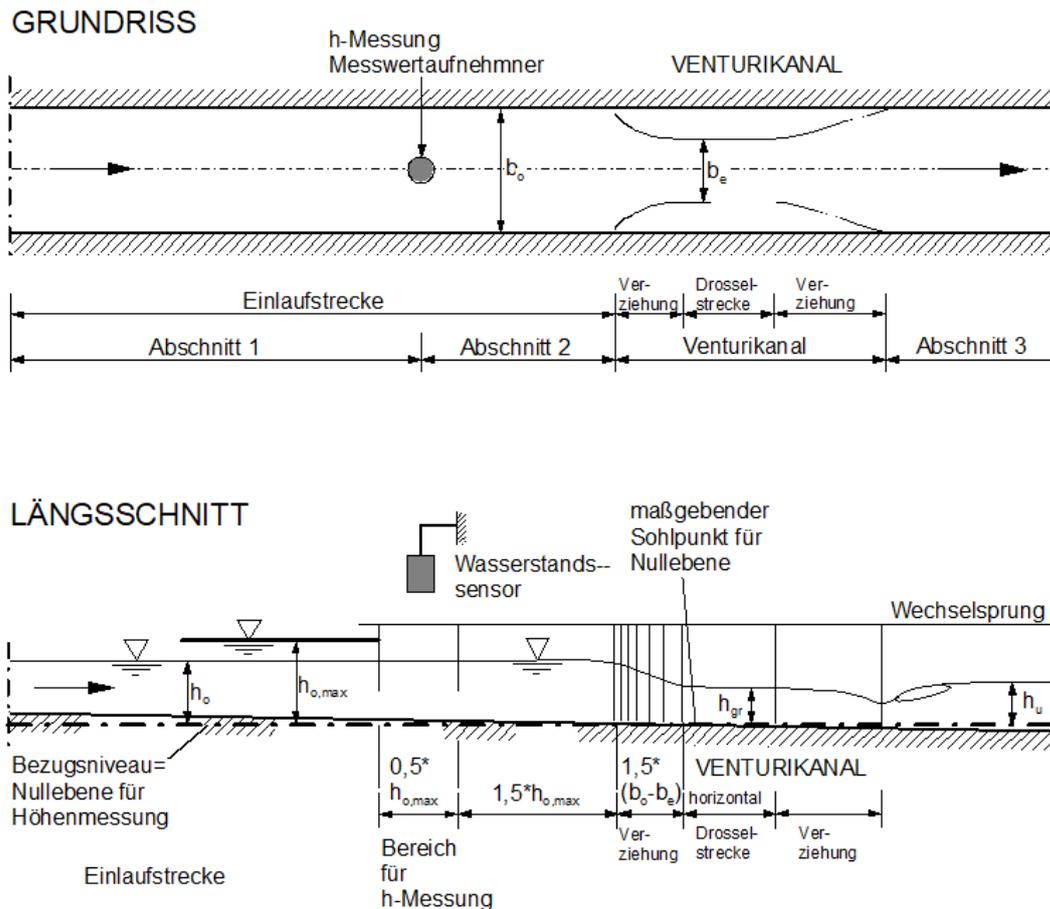


Abbildung 1: Bezeichnungen und Längenverhältnisse am Venturi-Kanal
 (Quelle: LUA-Merkblatt 47)

3.4.2 Hydraulische Grundfunktionen

Bei Venturi-Rinnen wird durch eine Querschnittseinschnürung in einem offenen Gerinne ein Übergang vom strömenden zum schießenden Abfluss erzwungen, wobei in der Engstelle Grenzabfluss auftritt (siehe auch Abbildung 1). Die überkritische schießende Strömung verhindert, dass sich Störungen aus dem Unterwasser in den Engquerschnitt rückwärts fortpflanzen, womit eine feste Beziehung zwischen Wasserstand im Oberwasser und Abfluss durch das Venturi-Gerinne sichergestellt ist (Abflusskurve). Wenn der Oberwasserstand mit einem dazu geeigneten Gerät gemessen wird, lässt sich daraus unter Anwendung der Abflusskurve der Durchfluss berechnen. Die in den Messgeräten vollzogene Umsetzung von Oberwasserständen in die korrespondierenden Abflüsse wird auch Linearisierung genannt. Wasserstandsmessgeräte (Ultraschall oder Radar) besitzen in der Regel diese Funktionalität. Bei Einsatz als

Durchflussmessgeräte besitzen sie darüber hinaus die Funktion der Integration der Momentanwerte des Durchflusses zu Volumina/Mengen mit der Erzeugung von Mengeneinheiten, wenn die einem Impuls zugeordnete Mengeneinheit (Impulswertigkeit) überschritten ist. Die Impulse werden als elektrisches Signal oder als Relaiskontakt ausgegeben und können von empfangenden Geräten gezählt werden.

3.4.3 Typisierung

Bei den Venturi-Kanälen sind unterschiedliche Grundtypen im Einsatz, die wie folgt unterteilt werden können:

- a) Standard-Kanäle nach DIN 19559, Teil 2,
- b) bauartkalibrierte Rinnen, die als Fertigteile eingebaut werden, in verschiedenen Formen (Khafagi-Venturi, Parshall-Rinne, Palmer-Bowlus-Rinne etc.),
- c) Rechteck-Rinnen mit mäßig langer Drosselstrecke (meist Ortbeton),
- d) Sonderformen.

Die vorstehenden Grundtypen unterscheiden sich in den Abflusskurven:

- Bei Standard-Rinnen (a) ist die Abflusskurve theoretisch berechenbar. Die Berechnung kann anhand der in DIN 19559 angegebenen Gleichung 20 mit anschließender Korrektur des Reibungseinflusses nach den dortigen Abschnitten 4 und 5 erfolgen.
- Typgeprüfte Fertigteile-Rinnen (b) werden im hydraulischen Labor kalibriert. Ihre Durchflusscharakteristik ist innerhalb einer Modellfamilie auf die gesamte Baureihe übertragbar. Die Abflusskurve wird vom Hersteller mitgeliefert; sie kann bei korrektem Einbau der Rinne als maßgebend und richtig angesehen werden. Damit kann bei einwandfreiem Einbau und Betrieb die Hersteller-Abflusskurve einer Prüfung zugrunde gelegt werden.
- Die theoretische Berechnung von Rechteckrinnen mit mäßig langer Drosselstrecke (c) ist in guter Näherung möglich, wenn die Auswirkungen der Stromlinienkrümmung und der Grenzschichtentwicklung bei der Berechnung der Abflusskurve berücksichtigt werden.
- Die Abflusskurven von Sonderformen in Ortbeton (d), die sich durch eine besondere Geometrie in der Drosselstrecke oder nicht normgerechte Ausführung auszeichnen, sind in der Regel nur durch Vor-Ort-Kalibrierung oder Modellversuche zu ermitteln.

3.4.4 Hydraulisch-hydrometrische Anforderungen

3.4.4.1 Vorbemerkungen

Dem hydraulischen Grundprinzip und der Funktionsweise der jeweiligen Typen entsprechend sind hydraulische und hydrometrische Anforderungen zu berücksichtigen. Mit Bezug auf Abbildung 1 sind den folgenden Abschnitten beschriebenen Bedingungen einzuhalten.

3.4.4.2 Bezugsniveau für Wasserstandsmessung

Zur Berechnung von Durchflüssen aus gemessenen Höhen sind Höhenmesswerte aus einem Höhensystem zu verwenden, dessen Nullpunkt im hydraulisch wirksamen Null-Niveau liegt. Dieses Null-Niveau befindet sich in der Höhe der Rinnensohle an dem Punkt, an dem sich die Grenztiefe einstellt. Der Ort des Auftretens der Grenztiefe ist innerhalb des eingeschnürten Bereichs normalerweise nicht exakt anzugeben, woraus sich die Forderung ergibt, dass die Sohle hier horizontal liegen muss. Dies muss in der Praxis überprüft werden. Da in der Praxis manchmal fälschlicherweise die Sohle unter dem Höhensensor als Nullniveau verwendet wird, sind in Abbildung 1 die maßgeblichen Höhenbezüge verdeutlicht.

Bei typgeprüften Venturi-Kanälen mit unebener Sohle (Beispiel: Parshall-Rinne) ist vom Rinnenlieferanten mit den Abflusskurven eine Angabe über den für die Höhenmessung maßgebenden Sohlpunkt bzw. die genaue Position der Wasserstandsmessung mitzuliefern.

Die Sohlhöhe direkt unter der Wasserstandsmessung ist für die Höhenmessung nicht maßgebend. Zur Einjustierung von Wasserstandsmessern muss deshalb immer ein Höhenvergleich mit dem hydraulisch maßgebenden Sohlpunkt im eingeschnürten Querschnitt vorgenommen werden (Abbildung 1). Allerdings darf die Sohle unter dem Sensor wegen der nur geringen zulässigen Gefälle höhenmäßig nicht stark vom Nullniveau abweichen.

3.4.4.3 Erforderliche Verbauungsverhältnisse (Einschnürungsverhältnisse)

Die erforderliche Einschnürung (Verhältnis b_e/b_0) lässt sich berechnen, wenn ein gewisser Unterwasserstand und ein Messbereich vorgegeben werden. Ein anderer Gesichtspunkt für die Wahl des Verbauungsverhältnisses ist die angestrebte Messgenauigkeit bei kleinen Abflüssen. In der Praxis wird meist der umgekehrte Weg beschritten, indem die Einschnürung durch die geometrischen Vorgaben der Rinnenhersteller (z.B. beim Khafagi-Venturi: 40%) festgelegt ist und der zulässige Unterwasser-Aufstau gemäß dem folgenden Abschnitt geprüft wird.

3.4.4.4 Zulässiger Unterwasserstand

Bei der hydraulischen Abflussmessung muss der Unterwasserstand so niedrig bleiben, dass der Fließwechsel (Grenztiefe) in der Einschnürung nicht überstaut wird. Die zulässige Unterwassertiefe lässt sich unter Anwendung des Impulssatzes (konjugierte Tiefen des Wechselsprungs) rechnerisch ermitteln. Abbildung 2 zeigt als Ergebnis einer solchen Berechnung für Rechteckquerschnitte, dass das Verhältnis der Unterwassertiefe zur Oberwassertiefe nicht vom Abfluss, sondern vom Einschnürungsgrad abhängt. Bei Venturi-Kanälen, die sich allmählich wieder aufweiten, ist der zulässige Unterwasserstand größer als bei solchen mit abruptem Ende.

Der Nachweis der Rückstaufreiheit kann im Grunde nur durch hydraulische Nachrechnung des weiterführenden Systems unter Berücksichtigung aller kontinuierlichen und örtlichen Verluste geführt werden. Ein Sohlabsturz im Unterwasser des Venturi-Kanals allein genügt als Beleg der Rückstaufreiheit nicht, da dieser durch die Höhenlage nachfolgender Gerinneabschnitte ebenfalls überstaut sein kann.

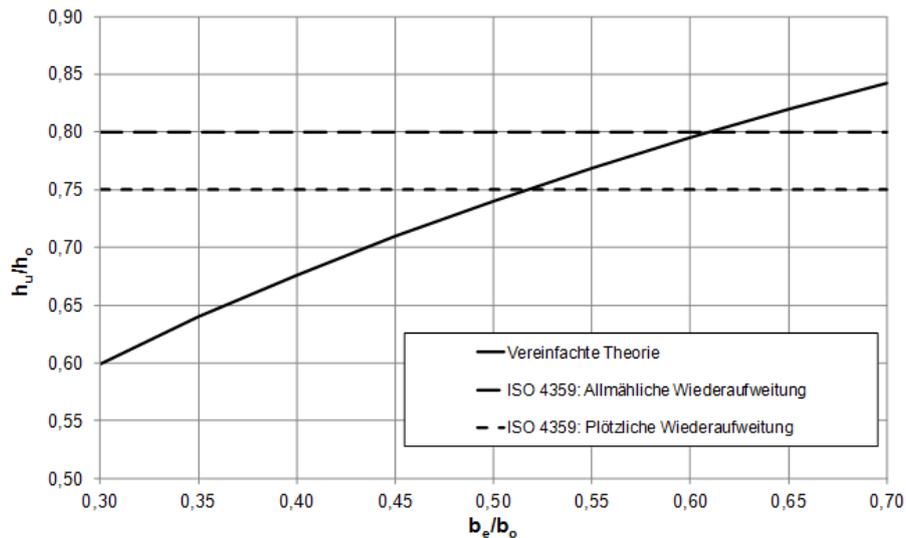


Abbildung 2: Zulässiger relativer Unterwasserstand h_u/h_o als Funktion des Einschnürungsverhältnisses b_e/b_o (vereinfachte Theorie: Konjugierte Tiefe des Wechselsprungs auf ebener Sohle für einen Verlust in Höhe von 10 % der Grenzgeschwindigkeitshöhe) (Quelle: LUA-Merkblatt 47)

3.4.4.5 Messort für Oberwasserstandsmessungen

Die durch die Einschnürung des Querschnitts verursachte Wasserspiegelabsenkung beginnt in der Gerinnemitte bereits oberhalb der Verziehung. Die Messstelle für die Wasserspiegelhöhe muss deshalb soweit oberstrom liegen, dass die Absenkung vernachlässigbar klein ist. Die DIN 19559 gibt für diesen Punkt einen Bereich vom 1- bis 2-fachen der maximalen Oberwassertiefe ($h_{o,max}$) an, gemessen vom Beginn der Verziehung. Sie lässt aber auch den im internationalen Schrifttum zitierten, in der ISO 4359 festgelegten Abstand von (3 bis 4) $\times h_{o,max}$ zu. Um bei dieser großen Spanne eine definitive Festlegung zu treffen, soll in diesem Arbeitsblatt unter leichter Einschränkung der DIN 19559 die Empfehlung gegeben werden, die Wasserstandsmessung in einem Abstand von (1,5 bis 2) $\times h_{o,max}$ anzuordnen (Abbildung 1).

3.4.4.6 Beruhigungsstrecke im Oberwasser

Damit sichergestellt ist, dass der Wasserstand eine gute Information über die Energiehöhe im Oberwasser liefert, muss die Geschwindigkeitsverteilung in der Anströmung annähernd der normalen turbulenten Geschwindigkeitsverteilung entsprechen. Dies wird erreicht, durch eine ausreichend lange, gerade Einlaufstrecke. Für diese Strecke gelten folgende Bedingungen:

- konstantes Gefälle,
- gleichbleibender Querschnitt und gerade Kanalachse,
- keine seitlichen Zu- und Ableitungen,
- keine störenden Einbauten, wie Probenahmeschläuche, Probenahmeschwimmer, Luftpfeilerrohre im Querschnitt usw.,
- keine vor- und/oder zurückspringenden Unebenheiten von Gerinnesohle und Wandung,
- keine Teilblockade des Querschnitts, z.B. durch teilgeöffnete Plattenschieber,
- keine Wandstrahlbildung durch strahlartigen Zulauf, der sich an die Wand anlegt.

Die erforderliche Länge der Einlaufstrecke hängt von der Art der Zuströmung ab. Eine rasche Vergleichmäßigung des Geschwindigkeitsprofils und eine ruhige Zuströmung werden erreicht, indem durch entsprechende Wahl des Leitungsquerschnitts oberstrom der eigentlichen Einlaufstrecke die Fließgeschwindigkeit schon früh auf die Venturi-Zulaufgeschwindigkeit verringert wird.

Sehr problematisch sind Querschnittsübergänge, bei denen das Wasser strahlartig in die Einlaufstrecke eingeleitet wird. Der Strahl legt sich dem Coanda-Effekt folgend an eine seitliche Wand an und bleibt über eine große Länge des Gerinnes erhalten. In solchen Fällen ist eine Beruhigungsstrecke mit einer Länge von $20 \times b_0$ erforderlich. Das gleiche gilt nach DIN 19559 für den Fall, dass oberstrom der Venturi-Rinne ein Wechselsprung auftritt. In normalen Fällen sieht die DIN 19559 eine Einlaufstrecke der Länge $10 \times b_0$ vor.

Beim Gefälle des Zuströmkanals ist Folgendes zu beachten (siehe auch Abbildung 1):

Abschnitt 1: Zulauf zur Beruhigungsstrecke bis Ort der Wasserstandsmessung:

In diesem Abschnitt sollte das Sohlgefälle so bemessen werden, dass für den Maximalabfluss (Q_{\max}) die Normalabflusstiefe (h_{No}) der Oberwassertiefe (h_o) entspricht. Dies führt zu geringen Gefällen und strömendem Abflusszustand.

Abschnitt 2: Ort der Wasserstandsmessung bis Ende der Wiederaufweitung:

In diesem Bereich sollte die Sohle horizontal und eben sein. Schwaches Gefälle ist für die hydrometrische Funktion nur von untergeordneter Bedeutung. Wegen der dann geringeren Fließgeschwindigkeit bei kleinen Abflüssen und der damit verbundenen Ablagerungsgefahr ist es jedoch zu vermeiden.

Abschnitt 3: Abschnitt unterstrom des Venturi-Kanals:

Hier sollte das Sohlgefälle so gewählt werden, dass die Normalabflusstiefe (h_{Nu}) deutlich kleiner ist als die oben angesprochene zulässige Unterwassertiefe. Ein spezieller Sohlabsturz ist nicht nötig, wenn sich kein anderweitig verursachter Rückstau einstellen kann.

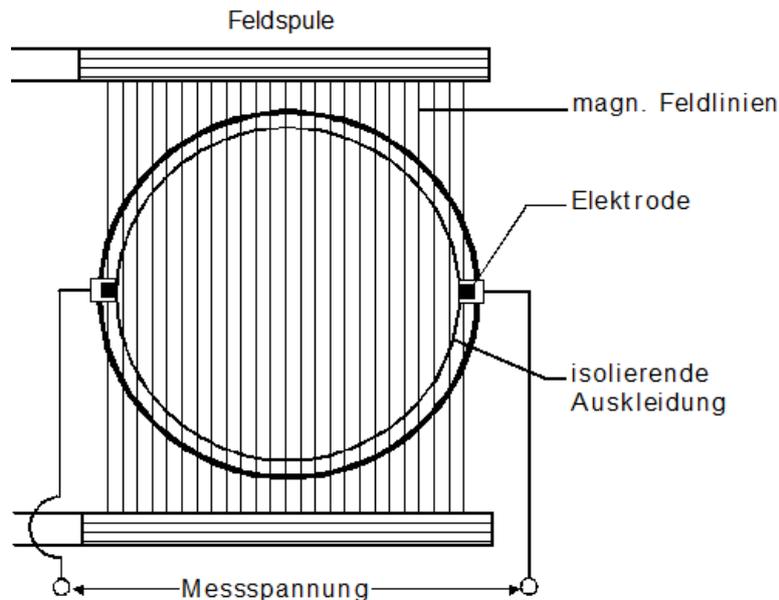


Abbildung 4: Funktionsprinzip der magnetisch induktiven Durchflussmessung
(Quelle: LUA-Merkblatt 47)

3.5.3 Hydraulische und hydrometrische Kriterien

3.5.3.1 Allgemeines

Aufgrund des Funktionsprinzips muss durch geeignete hydraulische Gestaltung dafür gesorgt werden, dass innerhalb des Messwertempfängers eine nahezu gleichförmige, turbulenzarme Strömung ohne Lufteinschlüsse vorliegt. Leichte Abweichungen vom voll ausgebildeten turbulenten Geschwindigkeitsprofil sind unschädlich, solange das Profil annähernd radialsymmetrisch ist. Zur Gewährleistung dieser günstigen hydrometrischen Bedingungen ist auf folgende Punkte zu achten, die in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert werden:

- Sicherstellung der Rohrvollfüllung / hydraulische Berechnung
- Übergangschächte
- Lufteintrag
- Durchmesserwahl
- Ablagerungen
- Sicherstellung eines günstigen Geschwindigkeitsprofils

3.5.3.2 Sicherstellung der Rohrvollfüllung/hydraulische Berechnung

Um in MID-Aufnehmern eine Vollfüllung des Messrohrs zu gewährleisten, muss eine Druckrohrströmung ohne freien Wasserspiegel vorliegen, die bei Anordnung der Messstelle in einer Freispiegelströmung durch Übergangschächte zu erzeugen ist.

Bei der Berechnung sind die Grundlagen der Rohr- und Gerinnehydraulik zu beachten, wobei die Tatsache, dass die Höhenlage der Drucklinie primär vom Unterwasserspiegel aus kontrolliert wird, besonders hervorzuheben ist. Diese Drucklinie muss im Bereich des MID-Aufnehmers deutlich über dem Rohrscheitel liegen, was durch einen Hochpunkt unterstrom des

MID-Messrohrs erreicht wird. Diese Tieferlegung des Messrohrs wird als Dükerung bezeichnet. Die hydraulische Berechnung kann nach den Methoden der stationären Rohrhydraulik (Arbeitsblatt DWA-A 110) unter Anwendung des Reibungsansatzes nach Prandtl-Colebrook erfolgen. Der eigentliche MID-Messwertaufnehmer erzeugt praktisch keine Verluste.

Um die Höhenlage der Drucklinie in gewissen Grenzen an die betrieblichen Erfordernisse anpassen zu können, ist es vorteilhaft, wenn der Hochpunkt im Unterwasser höhenverstellbar gestaltet wird. Dies kann z.B. mit Hilfe eines Dammbalkens geschehen.

3.5.3.3 Übergangsschächte

Die Übergangsschächte im Ober- und Unterwasser (OW bzw. UW) des MID müssen die Strömung in das Druckrohr überführen bzw. aus diesem in den Freispiegelabfluss überleiten. Der oberwasserseitige Übergangsschacht muss so gestaltet sein, dass die Strömung ruhig und ablösungsfrei in das Rohr überführt wird. Ablagerungen sollten im Übergangsschacht nicht entstehen.

Ein kompletter Messschacht mit Übergangsschacht, Rohreinlauf, Armaturen, Rohrauslauf, unterwasserseitigem Übergangsschacht und Rohreinlauf in die weiterführende Leitung erzeugt jedoch erhebliche Verluste, die durch eine hydraulische Berechnung nachgewiesen werden müssen.

3.5.3.4 Lufteintrag

Luft kann vom Oberwasser und vom Unterwasser her in das Messrohr gelangen. Auf Kläranlagen ist zunächst der Lufteintrag von der Oberwasserseite her von besonderer Bedeutung. Hier können zwei wesentliche Ursachen unterschieden werden:

Luftziehende Wirbel

Luftziehende Wirbel bilden sich, wenn der Zulaufquerschnitt nicht ausreichend hoch mit Wasser überdeckt ist. Als Faustwert für die erforderliche Überdeckung über der Rohrachse kann unter Bezug auf Abbildung 3 bei Zuströmung ohne Absturz gelten:

$$\frac{h_{erf}}{d} = 0,5 + 2Fr_d; Fr_d = \frac{v}{\sqrt{g \cdot d}}; h_{erf} = d/2 + 2v\sqrt{d/g}$$

Darin sind:

h_{erf} = erforderliche Überdeckungshöhe über Einlaufachse in m

d = Einlaufdurchmesser in m

Fr_d = auf Durchmesser bezogene Froudezahl (dimensionslos)

v = mittlere Einlaufgeschwindigkeit in m/s

g = Erdbeschleunigung = 9,81 m/s²

Die Überstauhöhe des Rohreinlaufs kann durch Gegengefälle des Messrohrs (Anstieg in Fließrichtung) vergrößert werden. Hierdurch wird auch die Vollfüllung (Dükerung) unterstützt und es wird die Bildung großer Luftblasen verhindert.

Lufteintrag durch Absturz

Abstürze führen vielerorts dazu, dass Luft in die Strömung und mit ihr in das Messrohr eingetragen wird. Zur Entlüftung kann je nach Turbulenzverhältnissen eine relativ lange Fließstrecke erforderlich sein, die meist nicht vorhanden ist. Deshalb sind Zuströmsituationen mit Abstürzen direkt im Übergangsschacht unbedingt zu vermeiden. Als Regel kann gelten, dass die Strömung aus der Rohrleitung in den Übergangsschacht hinein nicht mehr durch Absturz beschleunigt werden sollte.

Sollte ein Absturzschacht notwendig sein, muss dieser vom MID-Übergangsschacht getrennt sein. Die Verbindungsleitung und der OW-Übergangsschacht dienen dann auch zur Entlüftung der Strömung. Eine zu große Geschwindigkeit muss in diesem Bereich durch geringes Gefälle und großzügige Dimensionierung vermieden werden.

Bei vorhandenen Anlagen mit Luftdurchsatz kann die Entlüftung durch Leitwände im Absturzbe-
reich verbessert werden. Zur richtigen Gestaltung und Dimensionierung der Leitwände ist hydraulischer Sachverstand und Erfahrung erforderlich; in schwierigen Fällen können Laborunter-
suchungen zu funktionierenden Lösungen verhelfen.

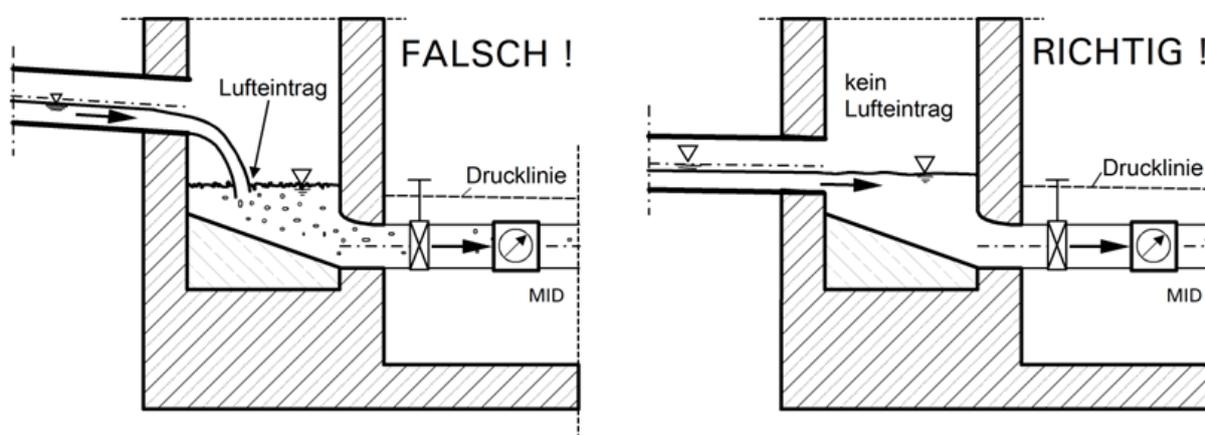


Abbildung 5: Zu vermeidender Absturz in einem OW-Übergangsschacht
(Quelle: LUA-Merkblatt 47)

Probleme mit Lufteintrag treten auch in den Abläufen von Nachklärbecken mit Sammelrinnen auf, wenn sich eine tiefer liegende Leitung zu einem Messschacht anschließt (Abbildung 6). Das abstürzende Wasser reißt Luft in die tiefer liegende Leitung mit. Dort sammelt sich bei normalem Gefälle die Luft zu größeren Blasen, die gegen die Strömung wandern und im Absturzschacht zum Ausblasen führen. Dieser Vorgang kann so große Abflussschwankungen erzeugen, dass nachfolgende Durchflussmessenrichtungen gestört werden. Wirksames Gegenmittel ist die Verlegung des liegenden Druckleitungsabschnitts mit Gegengefälle. Dann kann die eingetragene Luft im OW-Übergangsschacht ohne Anregung von starken Schwankungen austreten. Im Bestand hilft die Ausbildung des senkrechten Astes als Wirbelfallschacht, bei dem der Lufteintrag vermindert ist und in der Mitte immer ein freier Querschnitt zur Entlüftung frei bleibt.

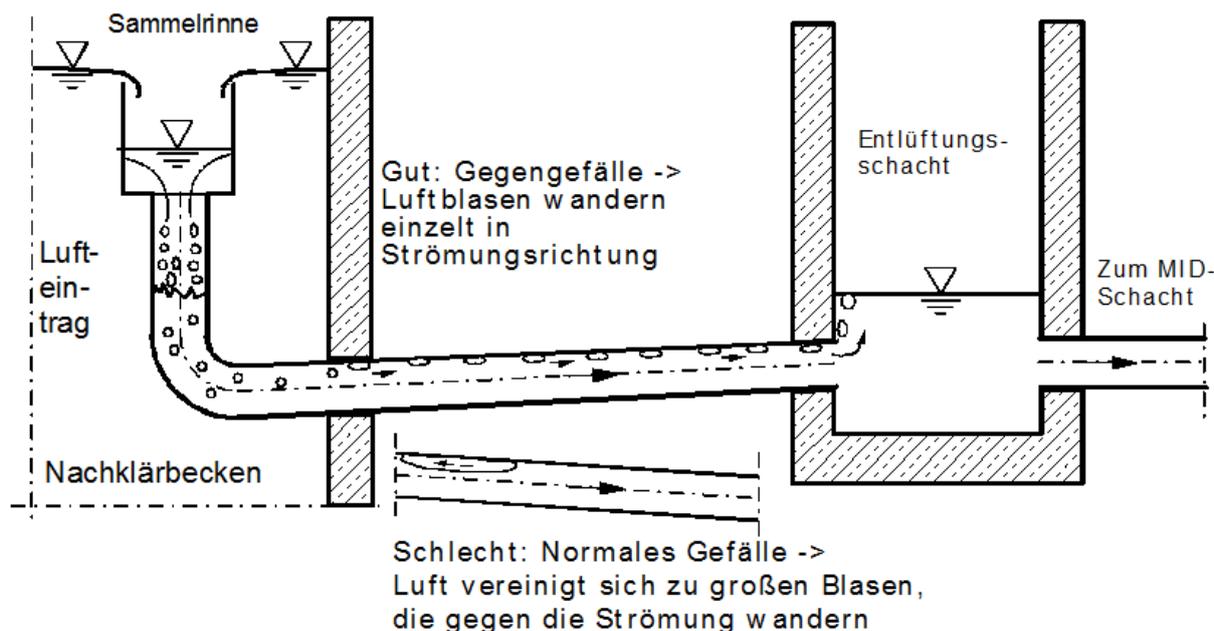


Abbildung 6: Luftereintrag durch Absturz bei überstauter Zulaufleitung zum MID-Messschacht (Quelle: Merkblatt HLNUG D 2.10)

3.5.3.5 Durchmesserwahl

Der Durchmesser des MID-Aufnehmers bestimmt maßgeblich die sich einstellende Fließgeschwindigkeit. Induktive Durchflussmesser im Abwasserbereich haben aus funktioneller Sicht ihren optimalen Betriebsbereich bei Fließgeschwindigkeiten zwischen ca. 0,25 und 2,5 m/s. Die Untergrenze des Messbereichs wird durch die bei kleinen Geschwindigkeiten zunehmenden Messfehler und die Ablagerungsgefahr markiert, während die Obergrenze durch die bei großen Geschwindigkeiten stark zunehmenden Verluste und die Abrasion durch Feststoffe bedingt ist.

Mit Ausnahme von Pumpendruckleitungen wird auf Kläranlagen der obere Teil dieses Messbereichs nicht erreicht, so dass MID in aller Regel bei Trockenwetter am unteren Rand dieses Bereiches oder auch darunter betrieben werden.

Nach unten hin wird der MID-Durchmesser durch die möglichen oder zulässigen Verluste bei den großen Abflüssen bestimmt. Eine Möglichkeit, die Verluste bei großen Abflüssen in Grenzen zu halten und bei einem kleinen Durchmesser zu bleiben, besteht darin, vor und nach dem MID konische Übergänge zu schaffen. Wenn der Unterwasser-Konus einen Aufweitungswinkel der Wand (zur Achse) von nicht mehr als 4 bis 5 Grad hat, wird ein erheblicher Teil der kinetischen Energie wieder in Druck zurückverwandelt, wodurch der Verlust spürbar reduziert wird.

Falls die Spanne der Abflussschwankungen sehr groß ist, können im Durchmesser gestaffelte induktive Durchflussmesser parallel liegend kombiniert werden.

3.5.3.6 Ablagerungen

Ablagerungen und Sielhautbildung oder Fetteinlagerungen im Messaufnehmer sind vorwiegend im Zulauf zur Kläranlage zu befürchten. Ablagerungen auf der Rohrsohle verfälschen durch Verkleinerung des Querschnitts das Messergebnis, während Ablagerungen auf den Messelektroden zu fehlerhafter Geschwindigkeitsmessung führen können.

Der Rohrdurchmesser sollte so gewählt werden, dass die Fließgeschwindigkeiten zur Ausspülung von Ablagerungen und zur Sauberhaltung der Elektroden ausreichen. Nach Juraschek et al. (1984) sollte im Rohabwasser die Fließgeschwindigkeit bei nur schwach geneigter Rohrachse den Wert 0,40 m/s nur kurzzeitig unterschreiten. Um diesen Mindestwert einzuhalten, muss das MID ggf. im Querschnitt kleiner gewählt werden als die übrige Rohrleitung (mit konischen Übergängen). In Kläranlagenausläufen ist die Ablagerungsgefahr zwar geringer, Sielhautbeläge auf den Elektroden sind hier aber auch möglich. Deshalb sollte auch im Kläranlagenauslauf eine Fließgeschwindigkeit größer 0,25 m/s angestrebt werden.

3.5.3.7 Sicherstellung eines günstigen Geschwindigkeitsprofils

Änderungen der Strömungsrichtung sowie einseitige Querschnittseinschnürungen durch Schieber, Klappen, etc. führen zu nicht radialsymmetrischer Strömung. Auf der ungestörten Seite ist die Strömungsgeschwindigkeit erhöht, im Abstrom der Querschnittsblockade treten kleine Geschwindigkeiten oder gar Rückströmungen auf. Unterstrom der Störung benötigt die Strömung eine gewisse gerade Fließlänge, bis sich die Geschwindigkeitsverteilung durch turbulenten Impulsaustausch wieder weitgehend vergleichmäßig hat.

In Abbildung 7 sind einige typische für die Radialsymmetrie der Strömung störende Leitungsführungen dargestellt. Mit angegeben sind die erforderlichen Vor- und Nachlaufängen.

Auch das hydraulische Phänomen der Ablösungen, die sich hinter Kanten in der Rohrwand, insbesondere nach plötzlichen Querschnittsveränderungen oder hervorstehenden Dichtungen bilden, kann zu Messfehlern führen, wenn die Ablösezone bis in die Nähe des MID-Aufnehmers reicht.

Die Länge bis zum Abklingen der Störungen ist sowohl vom Ausmaß der Störung als auch von der Rauheit des Rohrs abhängig. Allmähliche Querschnittsverjüngungen mit einem Verjüngungswinkel von weniger als 4 Grad zur Achse sind innerhalb der Vor- und Nachlaufstrecken unproblematisch, da sie nicht zu Ablösungen führen. Armaturen im Fließquerschnitt selbst, wie bestimmte Typen von Drosselklappen, Rückschlagventilen oder Rückschlagklappen, erzeugen turbulente Nachlaufströmungen oder Wirbelstraßen mit extrem ungleichförmigen Geschwindigkeitsverteilungen oder turbulenten Scherschichten. Zum Abbau dieser Zonen erhöhter Turbulenz ist eine längere Strecke erforderlich, die das 10-fache des Rohrdurchmessers oder mehr betragen kann.

Durch Pumpen, aufeinanderfolgende Krümmer, die nicht in einer Ebene liegen, oder tangentielle Zuströmung in das Rohr wird Drall in der Strömung erzeugt. Rotierende Strömungskomponenten im Rohr bauen sich nur sehr langsam ab und benötigen lange Beruhigungsstrecken. Bei Klarwasser können Strömungsgleichrichter, die einer durchgängigen Wabe ähnlich sind, Abhilfe schaffen. Im Abwasserbereich sind diese höchstens im Ablauf von Kläranlagen denkbar.

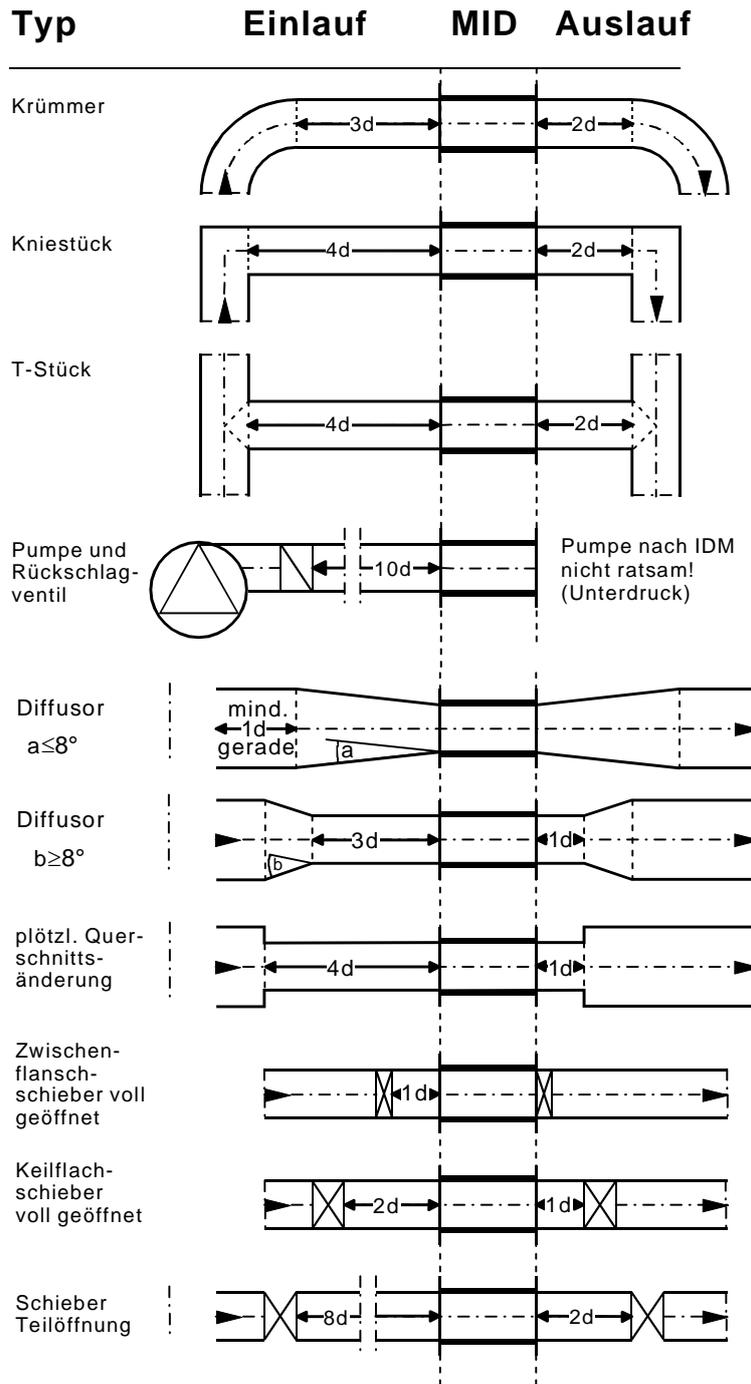


Abbildung 7: Vor- und Nachlaufängen für vollgefüllte MID-Aufnehmer (nach Hassinger, 1993) (Quelle: LUA-Merkblatt 47)

3.6 Messwehre

Messwehre müssen so gestaltet sein, dass die in der Fachliteratur angegebenen Überfallbeiwerte anwendbar sind. Deshalb werden sie oft mit scharfen Kanten ausgebildet, weil für diese Bauart die Überfallbeiwerte für unterschiedliche Formen des Überfallquerschnitts genau bekannt sind. Beim Einsatz im Abwasser kann sich die Abflusscharakteristik an den Überfallwehren durch Abrundung der Kante infolge Abschleiß, Korrosion, Sichelwachstum und Algen ändern. Dabei gilt, dass mit zunehmender Abrundung der Überfallbeiwert und somit der Abfluss zunehmen und der gemessene Wert damit systematisch zu klein ist.

Bei der Gestaltung von Messwehren sind die in einigen Standardwerken der Gerinnehydraulik (z.B. Bollrich und Preissler, 1992 und 1989) und in hydrometrischen Spezialpublikationen (Bos, 1976; Franke, 1970) aufgeführten Kriterien zu berücksichtigen. Wegen der Vielzahl der geometrischen Ausführungsformen und der Strömungsbedingungen sind nähere Angaben im Rahmen dieses Arbeitsblatts nicht möglich. Generell ist auf folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- Geometrie der Wehrkante in der Ansicht und im Längsschnitt.
- Anström- und Kontraktionsbedingungen.
- Beruhigung der Zuströmung bei Wellen.
- Schutz vor antreibenden Fremdkörpern (Gras, Schilfhalm, etc.).
- Messort für den Oberwasserstand (Abstand zum Wehr).
- korrekte höhenmäßige Justierung der Wasserstandsmessung.
- Vermeidung kleiner Überfallhöhen wegen Verfälschung durch Oberflächenspannungseffekte (z.B. Dreieckwehr: $h_o > 50$ mm).
- ausreichende Belüftung des Überfallstrahls und richtige Strahlablösung.
- Verwendung der korrekten Abflusskurve.

Zum Schutz der Messwehre vor Treibzeug haben sich poröse Wände bewährt, die aus zwei Edelstahl-Lochblechtafeln mit Edelstahlschrauben als Abstandshalter mit einer Kiesfüllung aufgebaut werden können.

3.7 Neuere Messmethoden

3.7.1 Teilfüllungs-MID

Die hydrometrischen Anforderungen für Teilfüllungs-MID beruhen auf dem Ziel, mittels kapazitivem Abgriff des induzierten Signals sowohl die Wassertiefe im Gerät als auch die Geschwindigkeit zu erfassen. Dazu muss das Strömungsprofil gleichförmig und ungestört sein. Deshalb stellen sie im Vergleich zu Vollfüllungs-MID höhere Anforderungen an die Gleichförmigkeit der Anströmung und damit auf die Länge der ungestörten Vorlaufstrecken. Besonders empfindlich reagieren sie auf schießende Strömung mit stehenden Wellen insbesondere dann, wenn an den Flanschen und Anschlüssen die Rohrsohle bzw. Rohrwand nicht absolut eben verläuft.

Eine weitere Einschränkung besteht darin, dass eine untere Grenze für die Messung der benötigten Größen bei 10% des Durchmessers liegt. Wenn auch kleine Durchflüsse zu erfassen sind, muss besonders darauf geachtet werden, dass die Messrohre mit sehr geringem Gefälle

verlegt werden. Es muss auch eine nennenswerte Nachlaufstrecke vorhanden sein, damit sich Senkungslinien aus Abstürzen nicht bis in den Messquerschnitt fortpflanzen. Unter Umständen kann eine messbare Wassertiefe bei kleinen Abflüssen durch ein leichtes Höherziehen des Messrohrauslaufs sichergestellt werden.

3.7.2 Oberflächen-Radarmessung in Gerinnen

Die kombinierten Geräte mit Wasserstands-Echolot und Oberflächen-Radar arbeiten vollkommen berührungslos und sind somit von den Abwasser-Inhaltsstoffen völlig unbeeinflusst. Der Radarsensor muss in einem bestimmten Winkel zur Oberfläche angeordnet werden, der aber in der Regel durch das Gehäuse vorgegeben ist. Bei separat montierten Sensoren muss der Winkel genau eingestellt oder gemessen und in der Gerätekonfiguration eingegeben werden. Die Radarmesstechnik ist nur dann einsetzbar, wenn die Oberflächengeschwindigkeit einen gewissen Mindestwert überschreitet. Es muss deshalb sichergestellt sein, dass die Messstelle nicht unter starken Rückstau gerät.

Weiterhin ist beim Einsatz darauf zu achten, dass die Oberflächengeschwindigkeit eine gute Information über den Querschnittsmittelwert liefert. Dazu ist bei vorhanden sein von Strahlen, Querströmungen oder Rotationen im Zulauf eine ausreichend lange Ausgleichs- und Beruhigungsstrecke vorzusehen.

Dieses Messprinzip ist weiterhin durch schießenden Abfluss mit stehenden Wellen leicht zu stören. Deshalb muss durch moderates Gefälle dafür gesorgt werden, dass der Abfluss strömend erfolgt (Froude-Zahl < 1).

Eine weitere Einschränkung ergibt sich dadurch, dass die Messlinie für die Wasserstandsmessung senkrecht nach unten und für die Geschwindigkeitsmessung schräg gegen die Strömung verläuft. Die Messpunkte für die beiden Parameter h und v_0 liegen deshalb nur deutlich auseinander. Bei Durch die Länge des prismatischen Gerinnes muss deshalb dafür gesorgt werden, dass trotz dieser verschiedenen Messorte die Werte für die Durchflussmessung in einem Querschnitt verwendbar sind. Gefällewechsel, Rauheitsveränderungen, Querschnittsveränderungen oder Stau- bzw. Absenkungslinien sind deshalb unbedingt zu vermeiden.

Aufgrund der vielfältigen Einflüsse sind solche Messsysteme vor Ort zu kalibrieren, es sei denn, es liegen übertragbare Anpassungsfaktoren vor.

3.8 Abflussmessung bei geringen Abflüssen auf kleinen Kläranlagen

3.8.1 Hydrometrische Randbedingungen

In kleinen Kläranlagen sind die hydrometrischen Randbedingungen durch folgende besonderen Umstände gekennzeichnet:

- Stärkere Ausprägung des Tagesganges durch stärkere Synchronisierung des Abwasseranfalls infolge gleichförmigerer sozialer Struktur und fehlender Industrie.
- Kleine Abflüsse in der Nacht (bis unter 1 l/s), da bei kleinen ländlichen Einzugsgebieten nachts kaum Abwasser produziert wird.
- Teilweise größere Spanne zwischen Trockenwetterabfluss und Mischwasserabfluss bei Regenwetter, da auf der Kläranlage Mischwasserbehandlung betrieben wird und die Drosselung vor der Kläranlage weniger stark und trennscharf ist.
- Je nach Zustand der Kanalisation und Jahreszeit hoher Fremdwasseranfall.
- Mitunter weniger stabile Reinigungsleistung mit der Folge von stärkerem Sielhautwachstum im Auslaufbereich.
- Abseitige Lage; seltenere Kontrolle; Betriebspersonal weniger speziell ausgebildet und eingesetzt.

Diese Bedingungen machen es nötig, einfache Messtechniken in Betracht zu ziehen, die an größere Abflussschwankungen angepasst sind. Für kleine nächtliche Abflüsse sind z.B. auch Techniken aus der Sickerwassermessung in Betracht zu ziehen. Diesen Messtechniken ist gemeinsam, dass sie nur mit feststofffreiem, also gereinigtem Abwasser funktionieren. Daraus ergibt sich die klare Empfehlung, auf kleinen Kläranlagen die Mengenummessung im Ablauf anzuordnen. Von dem Gesamtspektrum der oben beschriebenen Verfahren ist nur ein Teil unter den besonderen Bedingungen kleiner Anlagen nutzbar.

3.8.2 Hydraulische Verfahren

Diese sich für kleine Kläranlagen anbietenden Messverfahren entsprechen im Prinzip den weiter oben beschriebenen Verfahren von größeren Kläranlagen. Sie sind jedoch an die Verhältnisse in kleinen Kläranlagen speziell angepasst.

Das in Abschnitt 3.4 beschriebene hydraulische Verfahren des Venturi-Kanals ist auch bei kleinen Anlagen nutzbar, wenn die sehr kleinen Mindestabflüsse beachtet werden. Das hydraulische Verfahren des Messwehres (insbesondere scharfkantiges Dreieckwehr) erhält bei kleinen Kläranlagen eine besondere Berechtigung. Diese Verfahren können an die besonderen Verhältnisse in kleinen Kläranlagen wie folgt angepasst werden:

- a) Bei Venturi-Kanälen bietet es sich an, statt der üblichen Rechteckform eine Trapezform zu wählen. Der unten enge Trapezquerschnitt macht kleinste Abflüsse messbar, während größere Abflüsse durch den oben weiteren Querschnitt ohne zu hohen Aufstau abgeführt werden. Auch hier sind Typkalibrierungen durchzuführen, die nach einer Auswertung über dimensionslose Beiwerte für eine geometrisch ähnliche Familie von Venturi-Kanälen gilt.

- b) Bei den Messwehren bietet sich wegen der Breite des Messbereichs und der guten Auflösung bei kleinen Abflüssen das Thomson-Wehr (scharfkantiges Dreieckwehr) an. Hinweise zur Gestaltung dieser Messwehre finden sich bei Bos (1976). Die Spreizung des Messbereichs kann gesteigert werden, indem der Dreieckswinkel abgestuft wird. Der untere Teil des Dreiecks erhält einen spitzeren Winkel und löst damit kleinste Abflüsse gut auf. Bei größeren Abflüssen bietet der obere mit größerem Winkel versehene Teil des Messwehres die bei Regenabfluss nötige Abflussleistung. Die üblichen Formeln sind bei dieser gegliederten Geometrie nicht mehr anwendbar. Es müssen deshalb Laborkalibrierungen durchgeführt werden. Die dabei ermittelte Abflusscharakteristik lässt sich jedoch auf andere Größen umrechnen, wenn das Messwehr geometrisch ähnlich vergrößert oder verkleinert wird. Die scharfe Kante des Überfallquerschnitts muss wirklich scharf (keine sichtbare Spiegelung von Licht auf der Kante) sein und muss immer auf der Oberwasserseite der Stauwand liegen.

Bei den hydraulischen Verfahren darf der Kontrollquerschnitt nicht durch Fremdkörper (Pflanzenreste, Gras- und Strohhalme, etc.) oder Anlagerungen (Sielhäute) verändert werden. Bei Venturi-Kanälen ist die Verlegungsgefahr eher gering, Sielhäute wachsen jedoch hier recht schnell. Deshalb ist es dringend notwendig und im Interesse des Betreibers ratsam, Venturi-Kanäle regelmäßig zu reinigen und im Zulauf von Messwehren z.B. mit Lochblechkörben Fremdstoffe zurückzuhalten.

In Zweifelsfällen ist es vertretbar, hydraulische Labore beratend und zur Ermittlung der Abflusskurve einzuschalten.

3.8.3 Verfahren mit unterbrochenem Wasserstrom

Volumetrische Verfahren:

Die volumetrischen Verfahren beruhen darauf, den Abfluss in einem Gefäß zu sammeln, das nach Vollenfüllung schnell entleert wird. Dann sind folgende Auswertungen möglich:

- a) Die Anstiegsgeschwindigkeit des Wasserspiegels im Gefäß, z.B. in einem zylindrischen Tank oder in einem Schacht, wird mit einer registrierenden Wasserstandsmessung erfasst. Aus der Anstiegsgeschwindigkeit und der Wasseroberfläche lässt sich der Zufluss zum Gefäß präzise bestimmen. Wenn das Gefäß voll ist, muss es möglichst schnell ausgeleert werden, z.B. mit einem Heber oder einer großen Öffnung mit Verschlussorgan. Der Zufluss für die kurze Zeit der Entleerung kann dann als Mittelwert der Zuflüsse vor und nach der Entleerung rekonstruiert werden. Die Messunsicherheit dieser Methode wird von der Unsicherheit der Inhaltlinie (Funktion $V = f(h)$) bestimmt. Wegen unvermeidbarer Schwankungen des Wasserstandsmessergebnisses ist zur Bestimmung der Steiggeschwindigkeit mit einem geglätteten Signal zu arbeiten.
- b) Wenn auf eine kontinuierliche Abflussmessung verzichtet werden kann und wenn es genügt, den aktuellen Durchfluss nur näherungsweise für einen vergangenen Zeitraum zu ermitteln, kann die Datenerfassung auf das Zählen der Entleerungen des Gefäßes beschränkt werden. Zur Zählung der Entleerungsvorgänge stehen heutzutage sogenannte EVENT-Logger zur Verfügung, die auf Impulse warten und die bei Eintreffen eines Impulses nur Datum und Uhrzeit registrieren. Über eine Zählung der Entleerungen stehen sehr

genaue Mengenmesswerte (z.B. Behälterinhalte pro Tag) zur Verfügung. Für die Zeitintervalle zwischen den Entleerungen kann der mittlere Abfluss berechnet werden, wobei sich dann eine getreppte Abflussganglinie ergibt.

Für die schnelle Entleerung von Behältern sind mehrere Prinzipien denkbar:

- a) Kippwaage: Bei diesem Prinzip bekommt ein speziell geformter und gelenkig gelagerter Behälter bei Vollfüllung ein Übergewicht und kippt um, wobei der Inhalt plötzlich ausläuft. Das nachfolgende Wasser fließt in die zweite geometrisch gleiche Kammer des Behälters. Die Kippbewegungen werden über eine Impulserfassung erkannt (Lichtschranke oder magnetisches Relais) und gezählt. Das Volumen des Kippgefäßes wird dabei nach dem größten zu erwartenden Abfluss ausgewählt.
- b) Schnellschlussarmaturen: In Schächten oder Kammern angesammeltes Wasser kann z.B. über pneumatisch betriebene Schieber rasch abgelassen werden. Hierzu ist jedoch eine technisch anspruchsvollere Mess- und Steuerungstechnik nötig.
- c) Abhebern: Mit speziell gestalteten Hebern ist es möglich, einen Schacht oder einen Behälter zwischen einem Maximalwasserspiegel, bei dem der Heber anspringt, und einem Minimalwasserspiegel, wo die Heberströmung infolge Lufteintritt abreißt, rasch zu entleeren. Zur Erfassung dieser Ereignisse kann z.B. ein Schwimmerschalter benutzt werden.

Den genannten volumetrischen Verfahren ist gemein, dass sie eine vergleichsweise große Höhendifferenz zwischen Zu- und Ablauf benötigen, die im Wesentlichen durch den Hub des Wasserspiegels im Gefäß bestimmt wird.

Erhöhung kleinster Abflüsse durch unterbrochenen Betrieb:

Das auf kleinen Kläranlagen bedeutsame Problem des nach unten eingeschränkten Messbereichs von Durchflussmessgeräten in geschlossenen Rohren, wie z.B. magnetisch induktiven Messsystemen (MID), lässt sich lösen, indem der Wasserfluss unterbrochen wird. Durch den Anstau in Durchfluspausen lässt sich der Durchfluss in der verbleibenden Zeit vervielfachen. Wenn z.B. der Durchfluss in 2/3 der Zeit abgesperrt und nur in 1/3 der Zeit geöffnet wird, ist der zu messende Durchfluss dreimal so groß.

Beispiele für unterbrochenen Betrieb sind:

- Anstau in einem Pumpensumpf; Abfördern mit einer Pumpe durch ein MID.
- Anstau in einem Becken oder einem Teich; geregelter Ablass des Wassers durch eine Durchflussmessung.

Generell gilt dabei: Der Auffangraum muss dicht sein. Die Oberfläche und die Speicherinhaltslinie spielen keine Rolle. Große Oberflächen, die Sonne und Wind ausgesetzt sind, können bei kleinsten Abflüssen zu Verfälschungen durch Verdunstung führen. Unterbrechungsbetrieb erfordert elektromechanische Antriebe oder Pumpen. Letztere können jedoch mit Schwimmerschalter sehr einfach ausgestattet sein.

4 Prüfung der Durchflussmeseinrichtungen

4.1 Anforderungen und Hinweise zur Durchführung

4.1.1 Allgemeine Anforderungen

Die Prüfung der Durchflussmeseinrichtungen hat eine sach- und fachkundige Prüfstelle für die Kontrolle von Durchflussmeseinrichtungen durchzuführen. Auf der Grundlage der „Verordnung über Art und Häufigkeit der Selbstüberwachung von kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen und -einleitungen (SüwV-kom)“ benennt das LANUV Prüfstellen für die Kontrolle von Durchflussmeseinrichtungen auf kommunalen Kläranlagen. Die Benennung erfolgt auf der Basis der Feststellung der Sach- und Fachkunde von Prüfstellen für die Kontrolle von Durchflussmeseinrichtungen von Kläranlagen gem. § 5 (3) SüwV-kom. Die entsprechenden Prüfstellen führen im Auftrag der Betreiber die hydraulische Prüfung von Durchflussmeseinrichtungen bei Abwasserbehandlungsanlagen durch.

Die Prüfung soll langfristig den bestimmungsgemäßen Betrieb dieser Messeinrichtungen sicherstellen. Dabei sind in Abhängigkeit von den sehr variablen örtlichen Bedingungen die unterschiedlichsten Methoden und Geräte anzuwenden. Dies erfordert spezielle Kenntnisse der Hydraulik und Hydrometrie, spezielle Messgeräte und eine angepasste Ausstattung. Deshalb ist es rechtlich vorgeschrieben, diese Prüfungen durch die oben bezeichneten anerkannten Prüfstellen durchführen zu lassen.

Die hydraulische Prüfung umfasst die Kontrolle einer Messeinrichtung im Hinblick auf die Messgenauigkeit oder die Abflusscharakteristik und stellt fest, ob die Anforderungen an die hydraulische Funktion und die Messgenauigkeit eingehalten sind. Die Prüfung muss mit der Inbetriebnahme und bei Änderungen der Durchflussmessstelle erfolgen. Folgeprüfungen sind in einem Abstand von nicht mehr als 3 Jahren durchzuführen.

Der Betreiber ist über auffällige Veränderungen der Messergebnisse seit der letzten Prüfung sowie auf Veränderungen der Differenzen zwischen Zu- und Ablauf zu befragen. Folgende Parameter und Betriebsgrößen sind mindestens zu erheben bzw. zu kontrollieren:

- Messbereich bzw. auslegungsgemäßer Maximalabfluss an der Messstelle.
- Hydraulische und hydrometrische Bedingungen.
- Betriebsbedingungen der Anlage.
- Geometrische Abmessungen.
- Übereinstimmung mit den Vorgaben aus den einschlägigen Normen und Vorschriften.
- Bei Venturi-Kanälen: Halterung von Sensoren auf Stabilität bzw. Verformungen und Besonnungsschutz.
- Bei Venturi-Kanälen und Messwehren: Höhenmessung und Linearisierung. Die maßgebenden Abflusskurven können unter Beachtung der hydrometrischen Bedingungen aus Literaturwerten und vom Hersteller beigestellten Kalibrierungskurven ermittelt werden.
- Kontrolle der Konfiguration und/oder Programmierung auf Übereinstimmung mit den korrekten Einstellwerten.
- Signalverarbeitung und Registrierung, z.B. Integration der Momentanwerte zu Abflussmengen und Übertragung der Analogsignale und Mengenimpulse.

- Bei computergestützten Prozessleitsystemen: Übereinstimmung der Analogstromspanne (0 - 20 oder 4 - 20 mA) und Impulswertigkeit für das Messgerät und den empfangenden Computer oder die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS).

Die Durchflussmessgeräte sind ohne Unterbrechungen nach den Herstellervorschriften und den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu betreiben. Änderungen an den Geräten, die die Messergebnisse verfälschen könnten, sind zu unterlassen. Jede länger dauernde Beeinträchtigung der Funktion ist der zuständigen Wasserbehörde unverzüglich anzuzeigen.

Alle erkennbaren Beeinträchtigungen der Messgenauigkeit (auch in einzelnen Komponenten einer Messkette) sind unverzüglich zu beseitigen. Hierzu sei besonders das regelmäßige Entfernen der Sielhaut in Venturi-Kanälen und anderen Messrinnen erwähnt, dass wegen der systematischen Messfehler (Überschätzung) im Interesse des Betreibers ist.

Sind durch den Hersteller oder durch die Prüfstellen nach SÜwV-kom Methoden für Plausibilitätsprüfungen im laufenden Betrieb bereitgestellt worden, sind solche Plausibilitätsprüfungen regelmäßig vorzunehmen (z.B. Kontrolle der Wasserstandsmessung an Venturi-Kanälen mit Hilfe von Referenz-Höhenpunkten).

4.1.2 Rechtsvorschriften und Richtlinien

Die Erfassung und Registrierung des Abwasserdurchflusses bei Abwasserbehandlungsanlagen ergänzt jede Probenahme. Während bei der qualifizierten Stichprobe der Momentanwert (l/s oder m³/s) aufzuzeichnen ist, muss bei einer Mischprobe die zugehörige Durchflussmenge (m³/24h oder m³/2h) registriert werden.

Auf Abwasserbehandlungsanlagen sind in Abhängigkeit von der Bemessungsgröße (Ausbaugröße gemäß den Vorgaben in Anlage 1 der SÜwV-kom) vom Anlagenbetreiber Durchflussmessungen durchzuführen und die Daten aufzubereiten und zu speichern. Auf Kläranlagen mit einer Ausbaugröße über 500 EW sind kontinuierlich arbeitende Durchflussmeseinrichtungen zu betreiben, die den Momentanwert des Durchflusses zu Durchflusssummen integrieren. In den meisten Fällen werden vom Gerät für jede abgeflossene Mengeneinheit elektrische Impulse erzeugt. Die jedem Impuls zugeordnete Menge wird als Impulswertigkeit bezeichnet. Diese Impulse sind zu zählen; die Abflussmengen sind in den Prozessleitsystemen zu speichern und in die Betriebstagebücher einzutragen.

Bei der Einrichtung und dem Betrieb sind folgende Richtlinien zu beachten:

- DIN 19559: Durchflussmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen, Teile 1 und 2.
- DIN EN ISO 6817: Durchflussmessung von leitfähigen Flüssigkeiten in geschlossenen Leitungen - Verfahren mit magnetisch-induktiven Durchflussmessgeräten.
- DIN ISO 13359: Durchflussmessung von leitfähigen Flüssigkeiten in geschlossenen Leitungen - Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte mit Flanschen – Einbaulängen.

- DIN EN 29104: Durchflussmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen; Verfahren zur Beurteilung des Betriebsverhaltens von Magnetisch-induktiven Durchflussmessgeräten für Flüssigkeiten.

Die Messeinrichtungen sind so zu warten, dass die hydraulischen und hydrometrischen Bedingungen für die Messung konstant erhalten bleiben. Dazu gehört z.B. die Beseitigung von Ablagerungen, Sielhäuten, Erosionen und Rauheiten der Gerinnewandung. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass die geometrischen Verhältnisse nicht geändert werden. Treten eine Änderung der Geometrie oder eine unvermeidliche Beeinträchtigung der Funktion ein, ist dies der zuständigen Wasserbehörde unverzüglich anzuzeigen und eine Prüfstelle nach § 5 SÜwV-kom (3) einzuschalten.

4.1.3 Prüfbereiche

Im Rahmen der Überprüfung sollten innerhalb des Messbereiches unterschiedliche Durchflüsse erfasst werden, weil durch Nichtlinearität der Systemeigenschaften die relativen Abweichungen bei kleinen und großen Abflüssen unterschiedlich sein können. Wenn möglich, sollten während des Messzeitraumes Abflüsse unter und über 30 % des genehmigten maximalen Zuflusses bei Regenwetter eingestellt werden. Der Hintergrund ist, dass bei kleinen Momentanwerten relativ zum Gesamtmessbereich die relativen Fehler größer sein können, da die Fehler in der Regel sich aus konstanten und messwertabhängigen Anteilen zusammensetzen. Zum Beispiel könnte eine Unsicherheitsangabe eines Messgerätes lauten: $U = 0,5 \%$ vom Messbereichsendwert + $0,3 \%$ vom Momentanwert. Der konstante Anteil sorgt dafür, dass die relative Unsicherheit umso größer wird, je kleiner der Messwert ist.

4.1.4 Maßgebliche Messwerte (Auswertergebnisse)

Die der weiteren Beurteilung zugrunde zu legenden Kontrollmessergebnisse werden entweder durch die Geräte oder durch die Auswertung aus den Momentanwerten des Durchflusses abgeleitet, und zwar sowohl für den Prüfling als auch für das Prüfgerät. Dabei ist im Allgemeinen davon auszugehen, dass

- die Momentanwerte nur in einem bestimmten zeitlichen Raster erfasst werden,
- die Messsignale Schwankungen infolge Turbulenz oder infolge Instationaritäten in der Strömung aufweisen,
- die Geräte diese Schwankungen unterschiedlich stark dämpfen und somit auf Veränderungen verschieden schnell reagieren,
- die beiden Geräte manchmal nicht im gleichen Querschnitt liegen, da sie hintereinander montiert werden müssen, so dass dazwischen eine Laufzeit entsteht,
- bei offenen Gerinnen zwischen den Messorten des Prüflings und des Prüfgeräts eine Wellenlaufzeit und eine Retentionswirkung auftreten können,
- analoge Schnittstellen systematische Fehler aus der Drift von Bauteilen und aus Digitalisierungsfehler aufweisen können,
- analoge Ausgänge einer digital (Fensterfunktionen, Integrationszeiten) oder analog elektronisch erzeugten Dämpfung unterworfen sein können,
- Data-Logger ebenfalls diesen genannten Fehlereinflüssen unterworfen sind,

- die internen Zähler auch bei konstantem Durchfluss nicht zeitlich in einem festen Rhythmus springen.

Somit werden zunächst prinzipiell sowohl vom Prüfling als auch vom Prüfgerät jeweils eine Ganglinie des Durchflusses erzeugt, die entweder direkt abgespeichert werden kann (z.B. im Prüfgerät) oder auch über eine analoge Schnittstelle zu einem Data-Logger übertragen werden kann. Diese Ganglinien können in der Regel übereinander geplottet werden. Sie werden auch bei guter Übereinstimmung im Mittel lokal Abweichungen haben.

Weiterhin führen beide Geräte intern eine Integration durch und ermitteln somit aus dem Durchfluss die abgeflossene Menge. Bei Überschreitung einer Mengeneinheit, die im Gerät ausgewählt oder eingestellt werden kann, werden ein Zähler angesteuert und/oder ein Impuls ausgegeben. Wenn die Zeitpunkte registriert werden, wann diese Impulse gekommen sind, hat man eine genaue Information über den in diesem Zeitintervall im Mittel abgeflossenen mittleren Abfluss. Wenn diese Impulse für den gesamten Messzeitraum etwa gleichzeitig für den Prüfling und das Prüfgerät aufgezeichnet werden, kann für den gesamten Messzeitraum eine Mengebilanz aufgestellt werden.

Nicht festgelegt ist bisher, welches dieser Messergebnisse der Beurteilung zugrunde zu legen ist. Bisher waren dies nach SÜwV-kom die Momentanwerte, die nicht mehr als 10 % auseinanderliegen durften. So konnte es dazu kommen, dass eine Messeinrichtung mit starken Schwankungen z.B. durch eine laufende Rechenreinigung, die trotz im Mittel guter Übereinstimmung wegen unterschiedlicher Dämpfung zu momentanen Abweichungen führten, die Prüfung nicht bestand, wohingegen eine systematisch falsche Messeinrichtung mit geringen Schwankungen, bei der Prüfling und Prüfgerät z.B. 8 % auseinanderlagen, ohne Beanstandung blieb.

Da es bei den letztlich in den Betriebstagsbüchern zu registrierenden Daten nicht um den Durchfluss, sondern um die Volumina resp. Mengen geht, sollten ergänzend zur den Vorgaben der SÜwV-kom auch abgeflossene Mengen in Messzeiträumen der Beurteilung zugrunde gelegt werden. Dies können die aufgelaufenen Mengen aus Impulsen für Teilzeiträume oder auch die Mengen für den gesamten Prüfungszeitraum sein. Die Tatsache, dass aus den Mengen und den Zeitintervallen teilweise wieder mittlere Durchflüsse rückgerechnet und der Beurteilung zugrunde gelegt werden, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die integrierten Durchflüsse, also die in der Messzeit abgeflossenen Mengen beurteilt werden müssen. Die nachstehenden Ausführungen beziehen sich demnach auf mittlere Durchflüsse, die aus abgeflossenen Mengen zurückgerechnet wurden.

4.1.5 Bilanzierung von Mengen aus Zählimpulsen

Da die von Durchfluss-Messgeräten gelieferten Volumen- oder Mengeninformatio- nen, die über Zählimpulse oder Zählersprünge ausgegeben werden, die genaueste Information zu abgeflos- senen Wassermengen darstellen, ist es das Ziel dieser Auswertemethodik, eine Mengenzahlung aus diesen Zählimpulsen aufzustellen. Dabei ist Folgendes zu beachten:

1. Zählimpulse werden von den Messgeräten nicht genau dann ausgegeben, wenn eine Men- geneinheit voll ist. Vielmehr werden die Impulse zeitverzögert ausgegeben, und zwar mit schwankenden Verzögerungen. Deshalb sind auch bei absolut konstantem Durchfluss (z.B. bei einer Durchfluss-Simulation) die ausgegebenen Impulse zeitlich nicht äquidistant. Das heißt, dass die Intervalle zwischen den Impulsen schwanken. Deshalb ist es erforder- lich, einerseits Impulse über einen längeren Zeitraum zu registrieren und andererseits aus- reichend viele Impulse in die Bilanz einzubeziehen. Diese Registrierzeit sollte größer als 2 min sein und die Zahl der Impulse bzw. Zählersprünge mindestens 3 Stück umfassen.
2. Da die Impulse/Zählersprünge von Prüfling und Prüfgerät nicht zeitgleich auftreten bzw. aufgezeichnet werden, wird es zwischen dem von einem Gerät vorgegebenen Bilanzie- rungszeitpunkt und den naheliegenden Impulszeiten des anderen Gerätes eine gewisse Zeitverschiebung (Vor- oder Nachlaufzeit) geben. Deshalb ist zur Anpassung der Mengen des einen Gerätes an den vom anderen Gerät vorgegebenen Bilanzierungszeitpunkt (Start- oder Endzeitpunkt) ein rechnerischer Ausgleich nötig, sofern das Mess- und Auf- zeichnungszeitraaster des Prüfgeräts mehr als wenige Sekunden beträgt. Um bei diesem Mengenausgleich die Unsicherheiten klein zu halten, sollte die Bilanzierung zu Zeiträumen beginnen und enden, in denen die Abflüsse relativ konstant sind.

4.1.6 Messabweichungen

4.1.6.1 Zufällige Abweichungen

Die messtechnischen Normen, das Merkblatt DWA-M 181 sowie auch Richtlinien anderer Bun- desländer enthalten Ausführungen über Messabweichungen, Messfehler und Messunsicher- heiten. Die statistischen Betrachtungen dazu machen nur Sinn, wenn zufällige Fehler domi- nieren und wenn die gleiche Größe mehrfach gemessen wird. Diese Betrachtungen sind bei der Prüfung von Durchfluss-Messeinrichtungen ohne Belang, da der Abfluss zu einem be- stimmten Zeitpunkt grundsätzlich nicht mehrfach mit dem gleichen Gerät gemessen werden kann. Zudem spielen die zufälligen Abweichungen im vorliegenden Zusammenhang auch des- halb keine Rolle, weil sie sich im zeitlichen Mittel aufheben und deshalb für die abgeflossene Menge nur von geringer Bedeutung sind.

Bei der Überprüfung von Durchflussmeseinrichtungen spielen dagegen die systematischen Abweichungen die zentrale Rolle, die durch möglichst genaue Vergleichsmessungen festge- stellt werden müssen, um die Einhaltung von Grenzwerten nachzuweisen oder Korrekturmaß- nahmen auszulösen.

4.1.6.2 Messabweichungen bei Mengenzuflussbilanzierung

Wenn für den Bilanzierungszeitraum die vom Prüfling und vom Prüfgerät ermittelten Mengen vorliegen, ergibt sich die relative Abweichung nach folgender Formel:

$$\Delta V_{rel} = abs \left| \frac{V_{prüfling} - V_{prüfer}}{V_{prüfer}} \right|$$

Darin sind:

ΔV_{rel} = absolute relative Abweichung der Bilanzierungsmenge

$V_{prüfling}$ = Menge des zu prüfenden Gerätes im Bilanzzeitraum in m^3

$V_{prüfer}$ = Menge des Prüfgerätes im Bilanzzeitraum in m^3

abs = Absolutfunktion = Vorzeichen entfernen

4.1.6.3 Messabweichungen bei Momentanwerten

Auf der Basis aufgezeichneter Ganglinien des Durchflusses ist die relative Abweichung zu berechnen aus:

$$\Delta Q_{rel} = abs \left| \frac{Q_{prüfling} - Q_{prüfer}}{Q_{prüfer}} \right|$$

Darin sind $Q_{prüfling}$ der Messwert des zu prüfenden Gerätes und $Q_{prüfer}$ der Messwert des Prüfgerätes. Als Auswerteergebnisse Q sind die aus Mengen für den Kontrollzeitraum rückgerechneten mittleren Durchflüsse zu verwenden. Diese sind bei zeitlich äquidistanter Aufzeichnung identisch mit dem Mittelwert der Momentanabflüsse für den Messzeitraum.

4.1.6.4 Zulässige Messabweichung

Es gilt, dass entweder die Abweichung aus der Mengenzuflussbilanz (siehe 4.1.6.2) oder die Abweichung zwischen Momentanwerten (siehe 4.1.6.3) der Beurteilung zugrunde gelegt wird. In beiden Fällen gilt, dass die Abweichung nicht größer sein darf als 10 % vom momentanen oder mittleren Abfluss an der Messstelle. Nichtsdestotrotz wird empfohlen, bei Abweichungen von mehr als 6 % im Prüfbereich oberhalb von 30 % des Maximalabflusses, diese zum Anlass zu nehmen, nach Ursachen zu suchen, denn Abweichungen in dieser Höhe sind durch die üblichen zufälligen Unsicherheiten nicht mehr zu erklären. Die Erfahrungen in der Prüfpraxis zeigen, dass durch Analyse des Systems und Beseitigung von Störungen die Abweichungen unter 6 % gebracht werden können. Da Überschreitungen häufiger sind als Unterschreitungen gibt es dafür auch in den meisten Fällen eine wirtschaftliche Motivation im Interesse des Betreibers.

Wenn die Überprüfung der Durchflussmeseinrichtung eine über den zulässigen Bereich hinausgehende Abweichung ergibt, ist die Messeinrichtung vom Betreiber in einem von der Wasserbehörde vorzugebendem Zeitraum zu justieren oder ggf. instand zu setzen. In der Regel kann die Prüfstelle bei der Festlegung des weiteren Vorgehens beraten.

4.1.7 Messtechnische Geräteprüfung durch Hersteller vor Ort

Die von Herstellern angebotenen Prüfverfahren (z.B. FieldCheck), die sich auf eine elektrische Prüfung der Komponenten des Messsystems (z.T. mit Simulation von Messwerten) beschränken, ersetzen die Prüfungen nach SÜwV-kom nicht, da die hydrometrischen Randbedingungen hierbei möglicherweise nicht ausreichend berücksichtigt werden.

4.2 Prüfmethoden für Durchflussmesseinrichtungen

4.2.1 Überblick und Einsatzbedingungen

Zur Prüfung von Durchflussmesseinrichtungen wurden sowohl spezifische als auch geräteunabhängige Methoden entwickelt. Welche dieser Methoden auf einer Anlage zum Einsatz kommt, wird nach gründlicher Prüfung der örtlichen Situation und der Einbaumöglichkeiten durch die anerkannte Prüfstelle entschieden.

Es stehen prinzipiell folgende Methoden zur Verfügung:

- a) "Trockene" Überprüfung von Venturi-Kanälen und Messwehren: Diese Methode kommt zum Einsatz, wenn die Abflusskurven von Venturi-Kanälen oder Messwehren bekannt oder mit ausreichender Genauigkeit bestimmbar und die Einbaubedingungen eingehalten sind.
- b) Ultraschall-Laufzeitverfahren (Aufschnall-Geräte; clamp-on-Geräte): Diese Methode ist einsetzbar, wenn die zu messende Strömung in einem Rohr mit geeignetem Wandmaterial geführt wird, das Rohr stets vollgefüllt ist, keine starker Lufttransport stattfindet und dieses Rohr über eine ausreichende Länge zugänglich ist.
- c) Geschwindigkeitsprofile erfassende Messverfahren mit kombinierten oder getrennten Sensoren für Wasserstand und Geschwindigkeit.
- d) Temporärer Einbau von induktiven Durchflussmessgeräten: Diese Methode ist relativ genau und bei Abflüssen bis 100 l/s und runden Querschnitten bis DN 800 möglich. Statt mit einem MID kann eine mobile Messrohrstrecke auch mit einem aufschnallbaren Ultraschallgerät gemäß b) ausgestattet sein.
- e) Netzmessungen mit Geschwindigkeitssonden: Diese Messmethode ist angebracht, wenn große Abflüsse in großen Kanälen zu bestimmen sind. Sie entspricht den Durchflussmessungen in Bächen und Flüssen mit dem hydrometrischen Flügel, wobei im Abwasser vorzugsweise induktive Geschwindigkeitssonden verwendet werden.
- f) Einpunktmessungen mit Geschwindigkeitssonden: Falls Querschnitte mit gleichförmiger Geschwindigkeitsverteilung zugänglich sind, reichen Einpunktmessungen als Kontrollmessung aus. Hierzu ist die qualifizierte Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeit aus der lokal gemessenen Geschwindigkeit notwendig. Hierzu zählen auch Messmethoden mit Oberflächen-Schwimmer oder Oberflächen-Radar.
- g) Überfallmessungen mit Messwehren oder an vorhandenen Abstürzen mit Daten aus Modellversuchen oder mit Literaturwerten bei idealer Geometrie.

- h) Vergleich von Zu- und Ablaufmessung auf einer Kläranlage über einen ausreichend langen Zeitraum. Diese Methode reicht aus, wenn eine zweite Messeinrichtung vorhanden ist, die unter günstigen hydrometrischen Bedingungen läuft und die auf einfachere Weise, z. B. mit einem Laufzeit-Ultraschallgerät, überprüft werden kann.
- i) Volumetrische Messung: Volumetrische Messungen sind dann möglich, wenn ein größerer Speicherraum mit bekannter und erfassbarer Geometrie vorhanden ist und die Strömung für eine definierte Zeit in diesen Speicher eingeleitet werden kann. Solche Möglichkeiten bieten sich allerdings nur in den seltensten Fällen bzw. sind aufwendig in der Durchführung.
- j) Tracermessungen mit Salz oder Fluoreszenzfarbstoffen ermöglichen dort Kontrollen, wo wegen zu hoher Turbulenz oder schwierigen Randbedingungen andere Methoden versagen (siehe hierzu auch Merkblatt DWA-M 181).

4.2.2 Auswahl und Eignung von Prüfmethoden

Hinweise auf gut einzusetzende Prüfmethoden ergeben sich zunächst einmal aus dem hydraulischen System. Wenn eine Durchflussmessung in einer geschlossenen und vollgefüllten Rohrleitung zu prüfen ist, liegt es auf der Hand, eine Methode für gefüllte Rohrleitungen einzusetzen (Laufzeit-Ultraschall). Dazu muss aber ein gerades, störungsfreies Rohrstück mit genügend Vorlauf vorhanden sein. Gegebenenfalls steht ein solches auch in gewisser Entfernung, jedoch mit unverändertem Durchfluss, zur Verfügung. Falls nicht, müssen Messorte gesucht werden, an denen eine der anderen Methoden einsetzbar ist. Somit können im Prinzip unterschiedliche Kombinationen zwischen dem Messverfahren im Prüfling und der Prüfmethode zum Einsatz kommen. Eine feste Zuordnung von Messmethode und Prüfmethode gibt es demnach nicht. Es bleibt der Expertise der Prüfstelle überlassen, die jeweils bestgeeignete Prüfmethode zu bestimmen.

4.3 Bauliche Vorkehrungen zur messtechnischen Überprüfung

4.3.1 Allgemeine Anforderungen

Generell ist es empfehlenswert, bei der Planung einer Messeinrichtung die Expertise einer anerkannten Prüfstelle zu nutzen. Hinweise zu Messmethoden und den Möglichkeiten zur Sicherstellung einer ordnungsgemäßen Funktion finden sich auch im Merkblatt DWA-M 181. Im Bereich von Messeinrichtungen, die für Wartungs- und Kontrollzwecke zugänglich sein müssen, ist darauf zu achten, dass nur eine leichte Abdeckung gewählt wird, die die lokalen Verkehrsbelastungen gerade noch trägt. Die Abdeckungen sollten mit geringem Aufwand lösbar und hochzuheben sein.

4.3.2 Voraussetzungen zur trockenen Überprüfung von Venturi-Kanälen

Die Durchführung einer Prüfung wird erleichtert, wenn

- die Abflusskurve bekannt ist,
- der Venturi-Kanal oben offen ist,
- der Venturi-Kanal von einem möglichen seitlichen Auftritt gemessen nicht tiefer als 1 m und von der Seite her zugänglich ist,
- der Venturi-Kanal als typgeprüftes Rinnen-Formteil oder als Standard-Venturi-Rinne nach DIN 19559, Teil 2 ausgeführt ist und wenn
- eine berührungslose Wasserstandsmessung zum Einsatz kommt.

4.3.3 Voraussetzungen zum Einsatz von Kontrollmessgeräten

Zur Durchführung der vergleichenden Kontrollmessungen werden häufig mobile MID-Geräte und Ultraschalllaufzeitgeräte verwendet. Entsprechende Bedingungen für den Einsatz dieser Geräte werden hier erläutert.

Vergleichs-MID-Geräte:

Der Einbau von mobilen induktiven Messgeräten ist möglich unter folgenden Voraussetzungen:

- Schacht mit Mindestdurchmesser von 1,20 m, besser 1,50 m.
- Schacht mit annähernd gerader Linienführung vom ankommenden zum abgehenden Rohr.
- die Halbschale im Schacht darf nicht kleiner sein als das ankommende Rohr.
- Freispiegelabfluss im Schacht und strömender Abfluss bei mäßigen Geschwindigkeiten.
- Absperrbarkeit, zumindest weitgehende Reduzierbarkeit des Abflusses für eine Montagezeit von ca. 30 min.
- Ein mobiles MID darf durch Rückstau nicht auf das zu prüfende System rückwirken.

Ultraschalllaufzeitgeräte:

Diese Kontrollmessmethode ist besonders einfach anwendbar, wenn ein vollgefülltes Rohrstück von außen über den vollen Umfang zugänglich ist. Das Rohr sollte aus einem harten Material (vorzugsweise Metall ohne Innenbeschichtung) bestehen. Es ist auf ungestörte Vorlaufstrecken von ausreichender Länge zu achten. Nähere Hinweise finden sich im DWA-M 181. Das Rohr muss bei allen zu messenden Abflüssen vollgefüllt sein. Lufttransport ist genauso zu verhindern wie bei den Volfüllungs-MID.

Sind die drei bevorzugten Kontrollmethoden (Trockene Venturi-Prüfung oder mobiles MID bzw. Ultraschalllaufzeit-Methode) nicht anwendbar, können zum Einsatz anderer Messmethoden weitere Vorkehrungen notwendig werden. Es ist empfehlenswert, hierzu die Beratung einer Prüfstelle nach § 5 SÜwV-kom einzuholen.

4.4 Anforderungen an Messeinrichtungen und Signalübertragung

4.4.1 Ultraschall-Wasserstandsmesser für Venturi-Rinnen

An Venturi-Kanälen kommen vorzugsweise Ultraschall-Messgeräte zum Einsatz, die sowohl den Wasserspiegel messen als auch die Umrechnung in den entsprechenden Abfluss vornehmen. Weiterhin stellen sie die Messergebnisse als Klarschrift, als Analogsignal und in digitaler Form (als Messwert auf serieller Schnittstelle oder über Feldbus) zur Verfügung. Schließlich führen sie eine Integration des Abflusses zu Volumen durch und geben diese Information in Form von Impulsen aus. An die Geräte sind folgende Anforderungen zu stellen:

- Möglichkeit der Anzeige von Wasserständen, Durchflüssen und Abflusssummen.
- Anzeige des aktuellen Nullpunktabstandes.
- Anzeigemodus auf einfache Weise von außen auswählbar.
- Zähler für die geräteeigenen Summen-Impulse am Messumformer ablesbar.
- einfache Möglichkeit der Höhen-Justierung, z.B. durch Unterstellen einer Kalibrierplatte.
- freie Programmierbarkeit der Linearisierungsfunktion entweder als Funktion mit Koeffizienten (Potenzfunktion) und/oder in Form eines Polygonzuges (mindestens 10 Stützpunkte, besser aber mehr).

4.4.2 Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte

Die magnetisch-induktiven Durchflussmessgeräte geben als Messsignal den Momentanwert des Durchflusses in analoger Form (0 bzw. 4 bis 20 mA) aus. Sie führen ebenfalls eine Integration durch, erzeugen mengenabhängig Impulse, zählen diese und geben sie als Impulse aus. Auch hier ist die Wahl von seriellen Schnittstellen oder anderen Digitalausgängen für die Ergebnisübertragung empfehlenswert, weil Übertragungsfehler damit vermieden werden. Als Anforderungen an diese Geräte sind zu nennen:

- Klarschriftdisplay an einer Stelle, an der eine einfache Ablesung möglich ist.
- Möglichkeit der Anzeige von Durchflüssen und Durchflusssummen auf dem Display.
- auf einfache Weise von außen auswählbar.
- Möglichkeit der Benutzung der Tastatur ohne Öffnen von wasserdicht verschraubten Gehäusen. So genannte Kompaktgeräte mit wasserdicht verschlossenem Gehäuse auf dem Aufnehmer sind in dieser Hinsicht weniger günstig.
- Feldbusgeräte sollten auf jeden Fall noch einen analogen Ausgang haben, um mit Data-Loggern Ganglinien registrieren zu können.

4.4.3 Signalbearbeitung und Signalübertragung sowie Messwertregistrierung

Die Methoden der geräteinternen Signalbehandlung und -auswertung sind Gegenstand der Verbesserungsanstrengungen der Hersteller und damit zu einem großen Teil gerätespezifisch. Hier ist allerdings ein technischer Standard erreicht, bei dem Unterschiede nur noch in Sonderfällen zum Tragen kommen. Bei der Übertragung der Daten zur Leitzentrale bzw. zum Prozessleitreechner der Kläranlage und den Registriergeräten sind jedoch noch erhebliche Unterschiede zwischen verschiedenen Anlagen und auch unterschiedliche Standards der einrichtenden Firmen festzustellen. Hier sollten folgende Grundsätze eingehalten werden:

- Integration der Momentanwerte des Durchflusses zu Abflussmengen nur in einem einzigen Gerät. Die Übertragung von Analogsignalen zu einer Wandlerkarte des Leitrechners mit anschließender rechnerischer Integration wird mit Sicherheit Differenzen und Messabweichungen zwischen den Abflusssummen des Durchflussmessgeräts und denjenigen des Leitrechners erzeugen. Diese Fehler sind zwar klein, aber systematisch und vermeidbar. Deshalb sind nur die vom Durchflussmessgerät ermittelten Summenimpulse zu verwenden, da diese die beste verfügbare Information über die abgeflossenen Mengen enthalten.
- Analoge Ausgänge lediglich zur Anzeige, zur Registrierung von Ganglinien auf einem Schreiber und ggf. zur Ansteuerung von Probenehmern verwenden.
- Sofortige Anzeige der aktuell eingehenden Mengenimpulse im Prozessleitsystem (PLS).
- Möglichkeit des Mitschnitts von Messdaten im PLS mit hoher zeitlicher Auflösung (z.B. alle 10 Sekunden) mit anschließender computerlesbarer Ausgabe an die Prüfstelle.
- Die modernen Möglichkeiten der Signalübertragung über Digitalschnittstellen (BUS-Systeme) nutzen mit folgenden Vorteilen:
 - Keine Verfälschung der Informationen durch DA- und AD-Wandlung.
 - Einsparung von Zähler- und Wandlerkarten.
 - Möglichkeit der Übernahme von weiteren Messdaten wie Wasserstand, Durchfluss, Durchflusssumme, Temperatur etc.
- Allerdings kann es bei BUS-Architektur des Messsystems schwierig sein, Ganglinien aufzuzeichnen. Möglichkeit der Übernahme von anderen Informationen und Fehlermeldungen, z.B. Vollfüllungserkennung beim MID, schlechte Echos beim Ultraschall etc.
- Nutzung der Möglichkeiten einer auf DCF-Funkuhren gestützten Zeitbasis für das Registriergerät oder den Leitreechner. Hiermit ist immer eine eindeutige und genaue Synchronität aller Registrierungen gewährleistet, die Umstellung auf Sommer- bzw. Winterzeit in Frühjahr und Herbst erfolgt automatisch.

4.4.4 Vorkehrungen zur Erhaltung der Messgenauigkeit und zur Kontrolle

Auch zur Sicherstellung eines störungsfreien und genauen Betriebs sind bestimmte Vorkehrungen möglich und notwendig:

Venturi-Kanäle:

- Stabile und gegenüber Verstellen gesicherte Montage des Messwertaufnehmers (Ultraschallsensors).
- Die Höhenverstellung des Sensors sollte nur mit speziellem Werkzeug möglich sein. Das Stativ muss ausreichend stabil sein, damit es sich beim Anstoßen nicht verbiegt.
- Sonnenschutz-Abdeckung bei Ultraschallsensoren; zur Kompensation der Temperatureinflüsse auf die Schallgeschwindigkeit sind in den Sensoren Temperaturmessungen eingebaut. Dieser Thermosensor sollte einen für die Lufttemperatur repräsentativen Wert messen und nicht die bei Sonnenbestrahlung wesentlich höhere Sensortemperatur. Unter der Abdeckhaube darf sich die Luft nicht stauen.
- Genau eingemessene Höhenmarke im Oberwasser; misst man von dieser Höhenmarke mit einem Maßstab auf den Wasserspiegel, lässt sich die aktuelle Wasserspiegelhöhe sowie der Abfluss mit Hilfe einer die Abflusskurve berücksichtigenden Tabelle, aufzustellen vom Anlageneinrichter, leicht feststellen.

Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte:

- Einbau einer Bypassleitung zur MID-Messstrecke; eine Umleitungsmöglichkeit bei Reparaturen und Kalibrierungen ist sinnvoll; dann lässt sich auch der Nullpunkt auf einfache Weise kontrollieren.
- Schieber in der MID-Messleitung vor und hinter dem Messwertaufnehmer; hier sollten nur Plattenschieber zur Zwischenflanschmontage verwendet werden, deren volle Öffnung überprüfbar sein muss. Der Schieber oberstrom des Aufnehmers muss im Normalbetrieb vollständig geöffnet sein.
- Anschluss mit Hahn und Schlauchtülle im Rohrscheitel unterstrom des MID-Messwertaufnehmers; hiermit lassen sich die Lage der Drucklinie, die Rohrvollfüllung und der Lufttransport kontrollieren.

4.5 Planerische und betriebliche Anforderungen

4.5.1 Planerische Hinweise

Die Auswahl eines geeigneten Messverfahrens, die Sicherstellung hydrometrisch günstiger Strömungsverhältnisse sowie die Einhaltung der Einbaubedingungen sind wichtige Voraussetzungen für die genaue Funktion der Messstelle. Eine sorgfältige Planung muss deshalb folgende Punkte berücksichtigen:

- Die Baukonstruktion muss die hydrometrischen Anforderungen durch das geplante Messsystem erfüllen.
- Alle Komponenten des Messsystems sind sinnvoll aufeinander abzustimmen.
- Maßgebend für die Bemessung sind die tatsächlichen Niedrigst- und Höchstabflüsse, die für die Zeit nach der Inbetriebnahme erwartet werden.
- Sind Änderungen der hydraulischen Belastung durch zukünftige Erweiterungen abzusehen, muss die Planung auf Möglichkeiten der Anpassung des Messsystems eingehen.
- Es sind groß bemessene Einstiegs- und Lüftungsöffnungen mit leicht handhabbaren Abdeckungen vorzusehen.
- Ein sinnvolles Konzept für den Antrieb von Absperrorganen (z.B. gleichartige Antriebsvierecke mit einem mobilen elektrischen Drehgerät) erleichtert bei geringen Kosten die Bedienung.
- Bauliche Vorkehrungen für die Prüfung schaffen, wie z.B. erleichterte Zugänge, einfache Schachtentwässerung, gute Belüftung und Belichtung, ausreichend Arbeitsraum, ausreichend störungsfreie Gerinne- oder Rohrlänge für die Prüfsensorik, etc.

Um Fehler bei der Planung und Ausführung zu vermeiden, wird eine Abstimmung des Entwurfes der geplanten Durchflussmeseinrichtung mit einer anerkannten Prüfstelle empfohlen. Die Prüfstelle kann bereits während der Planungsphase auf Prüfkriterien und Voraussetzungen für eine gute Prüfbarkeit hinweisen. Sie kann dabei bei der Abstimmung der hydraulischen Bedingungen mit den Systemkomponenten und der Messtechnik beraten.

4.5.2 Unterlagen zu Durchflussmeseinrichtungen

Zu einer fachlich fundierten Beschreibung einer Durchflussmeseinrichtung gehören in der Regel folgende Unterlagen und Angaben:

Erläuterungsbericht

Der Erläuterungsbericht sollte mindestens Aussagen und Begründungen zu den nachfolgend aufgeführten Aspekten enthalten:

- Wahl der Art der Durchflussmeseinrichtung.
- Beschreibung des Messgerätes bzw. Gerinnes.
- Wahl des Messwertaufnehmers und Messwertumformers.
- vorgesehene Methoden und bauliche Vorkehrungen zur Durchführung von Wartungen.
- Funktionsüberprüfungen und Kontrollmessungen.
- Kosten der Durchflussmeseinrichtung.

Nachweise

Es sind Angaben bzw. Nachweise zu folgenden Punkten erforderlich:

- Festlegung des Messbereichs bzw. des Arbeitsbereichs der Durchflussmeseinrichtung unter Berücksichtigung sowohl des maximalen als auch des wahrscheinlich kleinsten Durchflusses (z.B. Nachtabfluss im Trockenwetterfall).
- hydraulische, konstruktive und betriebliche Anforderungen (z.B. Rückstau einfluss, Einlauf- und Auslaufstrecken etc.) und zur Einhaltung der Forderung von Normen und anderen Regelwerken.
- hydraulische Nachweise.
- Planunterlagen zur Darstellung der Durchflussmeseinrichtung und die erforderlichen Lagepläne, Bauwerkszeichnungen und hydraulischen Längsschnitte.

4.5.3 Betriebliche Erfordernisse

Im laufenden Betrieb kann durch folgende Maßnahmen und Vorkehrungen zu einer zuverlässigen und genauen Messung beigetragen werden:

- Regelmäßige Reinigung der Messstrecke ohne Verstellung der Sensoren.
- Wartung der Armaturen, wie z.B. Schiebern in Mess- und Bypassleitungen.

Für die Überprüfung der Durchflussmeseinrichtung sind folgende Unterlagen / Einrichtungen erforderlich:

- Genehmigungs- und Erlaubnisunterlagen.
- Unterlagen zu den Messgeräten mit eindeutigen Aufzeichnungen über die maßgebende und aktuelle Einstellung.
- Abflusskurve bei Venturi-Kanälen oder Messwehren.
- Prüfbericht einer vorhergehenden Kontrolle.
- Hilfsvorrichtungen wie Messwehre, scharfkantigen Wehrblenden etc. aus früheren Messungen, die sorgfältig aufzubewahren sind.

4.6 Prüfberichte und Prüfbescheinigungen

Zur Dokumentation der Prüfung von Durchflussmesseinrichtungen auf Kläranlagen ist gemäß SüwV-kom (Anlage 3) ein Prüfbericht zu erstellen. Dieser Bericht muss vollständig sein und alle notwendigen Angaben enthalten, so dass die Prüfung von einem sachkundigen Dritten ohne Einschränkung nachvollzogen werden kann. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sollten im Prüfbericht enthalten sein:

- Allgemeine Angaben:
 - Inhaltsangabe des Prüfberichts.
 - Kenngrößen der Kläranlage (Einwohnerwerte, Q_{max} , Q_{min}).
 - Bezeichnung, Typ und Lage der Durchflussmesseinrichtung.
 - Datum und Uhrzeit der Prüfung.
 - Niederschlags- und Abflussverhältnisse zur Zeit der Prüfung.
 - Namentliche Nennung der(s) Prüfer(s) und des beteiligten Personals der Kläranlage.
 - Nennung des Auftraggebers und des Auftragnehmers.
 - Eventuell erforderliche Sicherheitsmaßnahmen.

- Einzubeziehende Dokumentationen:
 - Frühere Prüfberichte.
 - Erlaubnisbescheide.
 - Verfügbare Unterlagen zur Messeinrichtung.
 - Bedienungsanleitungen des Herstellers.
 - Wartungsprotokolle.
 - Befragungen des Betriebspersonals zu Problemen, Auffälligkeiten hinsichtlich der Messeinrichtungen und der Messergebnisse.
 - Betriebstagebuch.

- Planunterlagen:
 - Lageplan der Gesamtanlage (Messstellen, Fließrichtungen, Gewässer).
 - Messeinrichtung (Grundriss, Längsschnitt, Fließrichtung).
 - Vergleich Planunterlagen mit Bestandsdaten.
 - Eigenes Aufmaß.

- Angaben zur Messeinrichtung:
 - Hersteller, Baujahr, Typbezeichnung, Seriennummer.
 - Messbereich, tatsächliche Durchflüsse.

Die Dokumentation der Prüfung und der Prüfergebnisse im Prüfbericht umfasst:

- Prüfung der hydrometrischen Randbedingungen:
 - Optische Beurteilung (Zustand, Verschmutzung, Ablagerungen, Befestigungen).
 - Einbaubedingungen (Vor- und Nachlaufstrecken, Zuströmung, Rückstau).
 - Fotodokumentation (Systeme, Typenschilder etc.).

- Trockene Überprüfung (Venturi-Kanal, Messwehr):
 - Q/h-Beziehung (Gültigkeit, Messbereichsendwert, grafische Darstellung Q/h).
 - Wasserstandssimulation (Höhenfehler).

- Prüfung der hydrometrischen Bedingungen (MID):
 - Messrohrvöllfüllung, Dükerung.
 - Lufteintrag, Fließgeschwindigkeit.

- Vergleichsmessung:
 - Wahl des Messverfahrens (Begründung, Erläuterung).
 - Verwendete Messgeräte (Seriennummern, letztes Kalibrier- oder Prüfdatum).
 - Tabellarische und grafische Darstellung der gemessenen Q- bzw. V-Differenzen mit Fehlergrenzen.
 - Fotodokumentation der Vergleichsmesseinrichtung.

- Kontrolle der Messwertübertragung und –registrierung:
 - Signalübertragung (analog, digital, Impuls).
 - Mengenregistrierung (Integration des Analogwertes, Impulzzählung, Impulsübertragung, Registrierung im PLS).

- Zusammenfassende Bewertung.
- Empfehlungen an den Betreiber.
- Prüfbescheinigung.

Wenn die Durchflussmessungen nicht den Anforderungen entspricht, sind innerhalb eines von der Wasserbehörde festzulegenden Zeitraumes geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um eine ausreichend genaue Messung sicherzustellen. Ursachen der Einschränkungen erkennen die Prüfstellen häufig bereits durch eine erste Inaugenscheinnahme vor Ort oder aus der Analyse der Messdaten. Erste Hinweise zur Behebung der Abweichung vom Sollzustand sind so bereits im Vorfeld möglich. Weitere Informationen über die Ursachen von Fehlmessungen können Zweitmessungen mit einer anderen Prüfmesstechnik oder genauere Inspektionen liefern. Die Venturi-Kanäle haben in dieser Beziehung erhebliche Vorteile, weil die Messstrecke offen ist und die gesamte Messkette mit simulierten Zuständen überprüfbar ist. So werden Mess- oder Übertragungsfehler schon während der Messung sichtbar und können ggf. direkt beseitigt werden.

Wenn die genannten Untersuchungen keine Klarheit bringen, sind die Messrohre von geschlossenen Systemen genauer zu inspizieren. Dazu sind die oben erwähnten Zugänge und Putzöffnungen zweckdienlich. Erst wenn auch hier keine Ursache ersichtlich ist, müssen die Messgeräte ausgebaut und zur Kalibrierung gegeben werden. Hier sind dann die vorgeschlagenen Bypass-Leitungen hilfreich; Einbau-Passstücke, die den MID-Aufnehmer zeitweise ersetzen, sind jedoch auch akzeptabel.

Nach der Korrektur des Messsystems ist innerhalb eines ebenfalls von der Behörde vorgegebenen Zeitraums eine Folgeprüfung durchzuführen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Durchfluss ist eine maßgebende Größe zur Bemessung und zum Betrieb von Kläranlagen. Eine möglichst genaue Durchflussmessung hat somit eine zentrale Bedeutung. Um Durchflüsse zu messen, sind inzwischen zahlreiche Messtechniken verfügbar. Neben den häufig verwendeten Venturi-Kanälen und den magnetisch-induktiven Durchflussmessern werden in diesem Arbeitsblatt auch die hydraulisch-hydrometrischen Grundlagen für seltener eingesetzte Messsysteme erläutert. Die Wahl der jeweiligen Messtechnik steht dabei den Betreibern frei. Im Regelfall erfordert die Prüfung gemäß SÜwV-kom eine Kontrollmessung der bestehenden Durchflussmessung. Hierfür sind unterschiedliche Messverfahren verfügbar. Im Arbeitsblatt sind auch die derzeitig verfügbaren Messtechniken zur Kontrollmessung vorgestellt und erläutert worden.

Häufig begrenzen die Einsatzbedingungen die Möglichkeiten der Kontrollmessung. Auch bei der Kontrollmessung sind die Sicherstellung hydrometrisch günstiger Strömungsverhältnisse sowie die Einhaltung der Einbaubedingungen wichtige Voraussetzungen. Dazu sind bereits bei der Planung die Möglichkeiten der Kontrollmessung zu berücksichtigen. Die Einbindung einer Prüfstelle bereits während des Planungsprozesses ist empfehlenswert.

Die SÜwV-kom (Anlage 3) enthält Angaben zur Durchführung und Dokumentation der Überprüfung von Durchflussmessstellen. Das Arbeitsblatt liefert hierzu weitergehende Hinweise für die Planer und Betreiber von Kläranlagen sowie für die Überwachungsbehörden und die Prüfstellen.

Die Ausführungen in diesem Arbeitsblatt belegen die hohen Anforderungen an Planung und Durchführung der Überprüfungen. Vertiefte Kenntnisse im Bereich der Hydraulik und Hydrometrie, der Messtechnik und der Datenverarbeitung sind Voraussetzung für ordnungsgemäße Prüfergebnisse. Die ständige technologische Entwicklung erfordert zudem eine kontinuierliche Fortbildung des Personals.

Industrielle Direkt- und Indirekteinleiter sind nach derzeitiger Rechtslage in NRW nicht verpflichtet, die Messgenauigkeitsüberprüfung durch eine anerkannte Prüfstelle durchführen zu lassen. Es wird trotzdem empfohlen, die in diesem Arbeitsblatt dargestellten Regeln der Technik zur Durchführung und Dokumentation sind bei jeder Messgenauigkeitsüberprüfung zu beachten.

6 Literaturverzeichnis

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2016): Merkblatt Nr. 4.7/3 - Kontrolle von Durchflussmessereinrichtungen in Abwasseranlagen. Augsburg.
- BOLLRICH G., PREISSLER G. (1989): Technische Hydromechanik. Band 2. Verlag f. Bauwesen, Berlin.
- BOLLRICH G., PREISSLER G. (1992): Technische Hydromechanik. Band 1, 3. Auflage. Verlag f. Bauwesen, Berlin.
- BOS MG (1976): Discharge Measurement Structures. Int. Inst. f. Land Reclam. and Improvement (IRLI), Wageningen, The Netherlands.
- DIN 19559-1 (1983): Durchflussmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen, Allgemeine Angaben. Beuth-Verlag Berlin.
- DIN 19559-2 (1983): Durchflussmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen, Venturi-Kanäle. Beuth-Verlag Berlin.
- DIN EN 29104 (1993): Durchflußmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen; Verfahren zur Beurteilung des Betriebsverhaltens von magnetisch-induktiven Durchflußmessgeräten für Flüssigkeiten. Beuth-Verlag Berlin.
- DIN EN ISO 6817 (1995): Durchflussmessung von leitfähigen Flüssigkeiten in geschlossenen Leitungen - Verfahren mit magnetisch-induktiven Durchflußmeßgeräten (ISO 6817:1992). Beuth-Verlag Berlin.
- DIN ISO 13359 (1998): Durchflussmessung von leitfähigen Flüssigkeiten in geschlossenen Leitungen - Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte mit Flanschen - Einbaulängen. Beuth-Verlag Berlin.
- DWA (2007): Arbeitsblatt DWA-A 112 Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Sonderbauwerken in Abwasserleitungen und -kanälen. Hennef.
- DWA (2010): Arbeitsblatt DWA-A 111 Hydraulische Dimensionierung und betrieblicher Leistungsnachweis von Anlagen zur Abfluss- und Wasserstandsbegrenzung in Entwässerungssystemen. Hennef.
- DWA (2011a): Arbeitsblatt DWA-A 110 Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserleitungen und -kanälen (korrigierte Fassung, Stand März 2011). Hennef.
- DWA (2011b): Merkblatt DWA M 181 Messung von Wasserstand und Durchfluss in Entwässerungssystemen. Hennef.
- FRANKE, P.-G. (1970): Abriss der Hydraulik. Band 3: Abfluss aus Öffnungen und Band 4: Abfluss über Wehre und Überfälle. Bauverlag Wiesbaden und Berlin.
- HASSINGER, R. (1993): Induktive Durchflussmessung in Abwasseranlagen und Kontrolle von Durchflussmessereinrichtungen mit MID. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft (Hrsg.) Magnetisch Induktive Durchflussmessung auf Kläranlagen. Hirthammer Verlag, München.
- HASSINGER, R. (1999): Messsysteme für Regenentlastungskanäle - der Rückstauventurikanal. Korrespondenz Abwasser (46), Nr. 9, S. 1360-1365.

- HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (HMULF) (2016): Merkblatt D 2.10 - Durchflussmesseinrichtungen und Drosselorgane in Abwasseranlagen. Wiesbaden
- ISO 4359 (1983): Liquid flow measurement in open channels - Rectangular, trapezoidal and U-shaped flumes. Internat. Organization for Standardization (ISO).
- JURASCHEK M., TOPAL-GÖKCELI, M. UND WESTRICH, B. (1984): Hydraulische Untersuchungen zur Auslegung von Messbauwerken in einem Abwasserableitungssystem. BMFT-FB-T83-129
- LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (2004): Merkblatt Band 47 - Durchflussmesseinrichtungen in Kläranlagen. Essen
- LWG NRW (2016): Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen – Landeswassergesetz, https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=3920070525140450679, besucht am 11.02.2018
- SÜwV-KOM (2004): Verordnung über Art und Häufigkeit der Selbstüberwachung von kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen und -einleitungen (Selbstüberwachungsverordnung kommunal) https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_text_anzeigen?v_id=10000000000000000096, besucht am 11.02.2018
- WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts – Wasserhaushaltsgesetz, https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/, besucht am 11.02.2018

Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de