
**Merjenje pretoka odpadne vode v odprtih kanalih in gravitacijskih vodih –
Splošna informacija**

Durchflußmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen –
Allgemeine Angaben

**iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)**

[SIST DIN 19559-1:2015](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5a8022bc-c66b-4191-a80c-0c0923d4b9e7/sist-din-19559-1-2015)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5a8022bc-c66b-4191-a80c-0c0923d4b9e7/sist-din-19559-1-2015>

NACIONALNI UVOD

Standard SIST DIN 19559-1 ((sl),de), Merjenje pretoka odpadne vode v odprtih kanalih in gravitacijskih vodih – Splošna informacija, 2015, ima status slovenskega standarda in je enakovreden nemškemu standardu DIN 19559-1 (de), Durchflußmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen – Allgemeine Angaben, 1983.

NACIONALNI PREDGOVOR

Nemški standard DIN 19559-1:1983 je pripravil tehnični odbor Nemškega inštituta za standardizacijo DIN NA 005-01-13 AA.

Slovenski standard SIST DIN 19559-1:2015 je z metodo ponatisa z nacionalnim predgovorom privzet nemški standard DIN 19559-1:1983.

Odločitev za privzem tega standarda po metodi ponatisa z nacionalnim predgovorom je 8. januarja 2015 sprejel Strokovni svet SIST za splošno področje.

ZVEZE S STANDARDI

S privzemom tega nemškega standarda veljajo za omejeni namen referenčnih standardov vsi standardi, navedeni v izvorniku, razen tistih, ki so že sprejeti v nacionalno standardizacijo:

SIST DIN 19559-2:2015 Merjenje pretoka odpadne vode v odprtih kanalih in gravitacijskih vodih – Venturijevi kanali

OSNOVA ZA IZDAJO STANDARDA

- privzem standarda DIN 19559-1:1983

OPOMBI

- Povsod, kjer se v besedilu standarda uporablja izraz "nemški standard", v SIST DIN 19559-1:2015 to pomeni "slovenski standard"
- Uvod in nacionalni predgovor nista sestavni del standarda.

Durchflußmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen

Allgemeine Angaben

DIN
19 559
Teil 1

Flow measurement of wastewater in open channels and gravity conduits; general information

Mesure de débit des eaux d'égout dans des caniveaux à ciel découvert et des conduites à écoulement libre; information générale

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	1	3.3.3 Volumen	6
2 Allgemeines	1	3.3.4 Tracer	6
2.1 Zweck der Durchflußmessung	2	4 Unsicherheit beim Messen (nach DIN 1319 Teil 3*)	6
2.2 Art der Durchflußmessung	2	4.1 Systematische Abweichungen	7
2.2.1 Dauermessung	2	4.1.1 Definition	7
2.2.2 Einzelmessung	2	4.1.2 Korrektur der systematischen Abweichungen ..	7
3 Ausführung der Durchflußmessung	2	4.2 Zufällige Abweichungen	7
3.1 Grundlagen	2	4.3 Meßunsicherheit (nach DIN 1319 Teil 3*)	7
3.2 Meßverfahren	2	4.4 Maximale systematische Abweichung	7
3.2.1 Durchflußbestimmung über Wasserstands- messung	2	5 Genauigkeitsanforderungen	7
3.2.2 Durchflußbestimmung über die mittlere Fließgeschwindigkeit	3	5.1 Fehlergrenzen	7
3.2.3 Volumetrische Verfahren	4	5.2 Metrologische Klassen	8
3.2.4 Verdünnungsverfahren	4	5.3 Garantiefehlergrenzen	8
3.3 Meßwertaufnehmer	4	5.4 Verkehrsfehlergrenzen unter Nennbedingungen	8
3.3.1 Wasserstand	5	5.5 Verkehrsfehlergrenzen unter Betriebs- bedingungen	8
3.3.2 Fließgeschwindigkeit	5	Zitierte Normen und andere Unterlagen	9

(standards.iteh.ai)

1 Anwendungsbereich

Diese Norm ist anwendbar für die Ermittlung des Durchflusses in Einrichtungen zur Abwasserableitung. Sie enthält eine Zusammenstellung und Wertung von Verfahren zur Durchflußmessung in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen. Für die Durchflußmessung in Druckleitungen sind DIN 1952 und VDI/VDE 2641 anwendbar. Die Norm soll den an der geordneten Abwasserbeseitigung Beteiligten (Planer, Erbauer, Betreiber, Überwachungsbehörde) als eine Grundlage für die Ermittlung der ab- und eingeleiteten Abwassermengen und damit der Schadstofffrachten dienen. 1)

2 Allgemeines

Die zunehmenden Anforderungen an die Abwasserbehandlung im Zuge eines wirksameren Umweltschutzes bedingen für z. B. Dimensionierung, Betrieb und Überwachung von Abwasseranlagen entsprechende Durchfluß- bzw. Mengenmeßverfahren.

Ursachen für die erschwerten Meßbedingungen im Abwasser sind:

- Rückstau einflüsse
- Großer Schwankungsbereich der Durchflüsse vom kleinsten Nacht-Trockenwetterabfluß bis zum Regenabfluß bei Mischsystemen
- Störeinflüsse infolge der oft ständig wechselnden Abwasserinhaltsstoffe, die zu Verschmutzungen, Ablagerungen und Verstopfung führen können

- Aggressivität und große Temperaturschwankungen, insbesondere bei Industrieabwasser

Ausreichend genaue Meßergebnisse im Abwasser können nur erzielt werden durch die Auswahl geeigneter Meßverfahren und die strikte Einhaltung der Einbau- und Betriebsvorschriften.

Bei der Auswahl der Meßverfahren sind insbesondere zu beachten:

- a) Eigenschaften des Abwassers
- b) Festlegungen des Meßbereiches Q_{\min} bis Q_{\max}
- c) Hydraulische Randbedingungen wie maximal zulässiger Energiehöhenverlust, Rückstau usw.
- d) Anforderungen an die Meßgenauigkeit
- e) Art der Messung: kontinuierlich, diskontinuierlich
- f) Möglichkeit der Durchführung von Kontroll- bzw. Kalibriermessungen
- g) Betriebssicherheit und Wartungsfreundlichkeit
- h) örtliche Gegebenheiten (Platzverhältnisse, Sicherheitsanforderungen, Umwelteinflüsse)

*) Z. Z. Entwurf

1) Siehe auch Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz) vom 13. 09. 1976, Bundesgesetzblatt Teil I (1976), Nr. 118, S. 2721

Fortsetzung Seite 2 bis 9

Normenausschuß Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

In der vorliegenden Norm werden einzelne Meßverfahren so beschrieben, daß eine Auswahl für den jeweiligen Anwendungsfall getroffen werden kann.

In weiteren Teilen dieser Normenreihe werden die einzelnen Meßverfahren so weit behandelt, daß danach Meßanlagen geplant und geprüft werden können.

2.1 Zweck der Durchflußmessung

Bei Abwasseranlagen können Durchflußmessungen an verschiedenen Stellen erforderlich werden, z. B.

- an Einleitungsstellen in das öffentliche Kanalnetz
- im Kanalnetz
- auf kommunalen oder Industriekläranlagen
- an Einleitungsstellen in ein Gewässer

An den Einleitungsstellen und im Kanalnetz werden über die Durchflußmessungen hauptsächlich die Abwasserabgaben bzw. die Kostenumlagen ermittelt.

In Kanalnetzen mit Regenabflüssen können über die Durchflußmessungen an kritischen Stellen die Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes ermittelt und Bemessungsdaten gewonnen werden. Hierzu sind jedoch synchron Niederschlagsmessungen durchzuführen. Für die Ermittlung der Abwasserabgaben nach Schmutzfracht und für die Erhebung von Bemessungsdaten für Mischwasserkanalisationen ist eine durchfluß- bzw. mengenproportionale Probenahme erforderlich.

Zudem können Durchflußmeßstellen für die Steuerung von Rückhaltebecken oder größeren Kanalnetzen zweckmäßig sein.

In Kläranlagen werden mit Durchflußmeßstellen zusätzlich folgende Zwecke verfolgt:

- Erfüllung behördlicher Auflagen zur möglichen Überprüfung und Eigenkontrolle der hydraulischen Belastung der Anlage
- Steuerung von Anlagenteilen, wie z. B. Sauerstoffzufuhr und Rücklaufschlammförderung bei Belebungsbecken, Chemikaliendosierung bei dritten Reinigungsteilen usw.
- Ermittlung statistischer Durchflußwerte, wie Extremwerte Q_{\min} : Q_{\max} , Momentanwerte, Mittelwerte, Summenwerte, Veränderung des Durchflusses mit der Zeit.

2.2 Art der Durchflußmessung

2.2.1 Dauermessung

Bei der Dauermessung wird der Durchfluß ständig angezeigt, registriert oder aufsummiert. Für Steuer- und Regelaufgaben steht das Meßsignal mechanisch, pneumatisch oder elektrisch als Analog- oder Digitalwert ständig zur Verfügung.

Aus diesem Grund soll vom Durchflußmeßgerät ein entsprechendes Signal z. B. zur Steuerung von Probenahmegeräten einfach abzugreifen sein.

Zur Anwendung sollen nur zuverlässige und wartungsfreundliche Meßeinrichtungen kommen.

Bei Dauermessungen, die für gezielte Untersuchungen nur kurzzeitig (z. B. für eine Woche) eingesetzt werden, kann auch auf wartungsintensivere Meßeinrichtungen zurückgegriffen werden.

2.2.2 Einzelmessung

Diese Verfahren werden hauptsächlich für Kontroll- und Kalibriermessungen eingesetzt. Hierfür eignen sich im Prinzip alle in Abschnitt 3.2 genannten Verfahren.

Baulich sollten die jeweils erforderlichen Einrichtungen, wie z. B. eine Stecknut für ein Meßwehr, vorgesehen werden.

Die Möglichkeit ist anzustreben, Messungen nach verschiedenen Verfahren parallel durchzuführen.

3 Ausführung der Durchflußmessung

3.1 Grundlagen

Die Bestimmung des Durchflusses erfolgt durch indirekte Verfahren, bei denen eine oder mehrere Meßgrößen erfaßt werden, die in einem eindeutigen Zusammenhang mit dem Durchfluß stehen.

Die zu erfassenden Meßgrößen müssen sich bei Änderung des Durchflusses im gesamten Meßbereich selbst signifikant und reproduzierbar ändern.

Ein geeigneter Meßumformer liefert als Ergebnis ein dem Durchfluß proportionales Signal.

3.2 Meßverfahren

Bei Gerinnen mit Querschnittsverbau wird unter Berücksichtigung hydraulischer Bedingungen ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Durchfluß und der Meßgröße Wasserstand erzeugt. Diese wird durch geeignete Meßwertaufnehmer erfaßt und über Meßgrößenumformer weiterverarbeitet.

Bei Gerinnen ohne Querschnittsverbau werden verschiedene physikalische Größen zur indirekten Bestimmung des Durchflusses herangezogen. Dazu zählen Wasserstand, mittlere Geschwindigkeit und Fließquerschnitt, Volumen und Zeit sowie Referenzdurchfluß und Verdünnung.

Durch die Tieferlegung eines Gerinneabschnittes in Form einer Dükerung ist es möglich, in diesem Abschnitt einen Abfluß unter Druck zu erzeugen. Hier können dann Meßverfahren für die Durchflußbestimmung in Druckrohren (z. B. MID, Wasserzähler) eingesetzt werden.

3.2.1 Durchflußbestimmung über Wasserstandsmessung

Bei diesen Verfahren wird ausschließlich über die Messung von Wasserständen auf den Durchfluß geschlossen.

3.2.1.1 Mit Einengung des Querschnitts

Ziel des Querschnittsverbaus ist die Herstellung eines eindeutigen Zusammenhangs zwischen dem Durchfluß und dem Wasserstand oberstrom des Querschnittsverbaus. Dieser Zusammenhang wird durch eine für den jeweiligen Querschnittsverbau spezifische Abflußkurve beschrieben. Das Unterwasser darf den Oberwasserstand nicht beeinflussen.

- a) Venturi-Kanäle (siehe DIN 19 559 Teil 2)

Wesentlicher Bestandteil des Venturi-Kanals ist eine symmetrisch angeordnete, seitliche Einschnürung des Gerinnequerschnitts mit strömungsgünstig gestalteten Verzierungen auf der Anströmseite.

Charakteristische Eigenschaften:

- geringer Verlust an Energiehöhe
- durchgehende Gerinnesohle
- geeignet zur Dauermessung von feststoffhaltigem Abwasser (geringer Wartungsaufwand)
- Auslegung auch für große Durchflüsse möglich
- Anpassung an die Meßaufgabe durch Querschnittsgestaltung möglich
- Verhältnis $Q_{\min} : Q_{\max}$ üblicherweise $\geq 0,1$
- Genauigkeit im unteren Teil des Meßbereichs eingeschränkt
- Rückstauinflüsse sind zu beachten
- relativ großer Platzbedarf

- b) Meßwehre

Meßwehre sind dünnwandige Platten, die senkrecht zur Strömungsrichtung in offene Gerinne eingebaut werden. Sie weisen je nach Aufgabenstellung unterschiedlich gestaltete Ausschnitte auf. Es muß sichergestellt sein, daß der Strahl des überfallenden Wassers vollständig belüftet ist.

Charakteristische Eigenschaften:

- geringer baulicher Aufwand und geringer Platzbedarf
- bei sachgemäßer Ausführung, Installation und Wartung ist die erzielbare Genauigkeit sehr hoch
- für Kontrollmessungen und Kalibrierung anderer Meßeinrichtungen geeignet
- im Vergleich zum Venturi-Gerinne höherer Aufstau
- Feststoffe können sich vor dem Wehr absetzen und an der Überfallkante anlagern (erhöhter Wartungsaufwand)
- Mindestwehrhöhe (Abstand zwischen Gerinnesohle und Überfallkante) und Mindestüberfallhöhe sind zu beachten

Anwendungsgrenzen der üblichen Meßwehre:**Dreieckwehre**

- Messung von Durchflüssen zwischen $\approx 0,2$ l/s und 100 l/s, je nach Wahl des Öffnungswinkels
- Verhältnis $Q_{\min} : Q_{\max} \geq 0,01$

Rechteckwehre

- Messung sehr großer Durchflüsse (abhängig von der zur Verfügung stehenden Gerinnebreite und der zulässigen Stauhöhe)
- stark eingeschränkte Genauigkeit im unteren Teil des Meßbereiches
- Verhältnis $Q_{\min} : Q_{\max} \geq 0,05$

Trapezwehre

- Messung größerer Durchflüsse als bei Dreieckwehren unter vorgegebener Maximalstauhöhe
- Genauigkeit im unteren Teil des Meßbereiches besser als bei Rechteckwehren

c) Sohlschwellen, Grundwehre

Bei diesen Einrichtungen wird der Querschnitt im Bereich der Gerinnesohle verbaut, wobei die Oberkante der Verbauung quer zur Strömungsrichtung im allgemeinen horizontal verläuft. Je nach Längenentwicklung der Verbauung können Sohlschwellen (kurze Bauform) oder Grundwehre unterschieden werden. Bei den Grundwehren ist als Voraussetzung für die Durchflußberechnung die Länge so groß zu wählen, daß über der Wehrkrone die Ausbildung paralleler Strombahnen auch bei Maximalabfluß gewährleistet ist. Bei beiden Bauformen ist auf eine strömungsgünstige Anströmung (Vermeidung von Kanten) zu achten.

Wird die Verbauung so gewählt, daß ein Fließwechsel vom Strömen zum Schießen erfolgt, dann ist die Messung des Oberwasserstandes ausreichend.

Charakteristische Eigenschaften:

- geringer baulicher Aufwand
- erzielbare Genauigkeit geringer als beim Meßwehr
- verglichen mit dem Venturi-Kanal höherer Aufstau
- Ablagerung von Feststoffen vor der Einengung verändert die Abflußcharakteristik (erhöhter Wartungsaufwand)
- wegen der guten Anpassungsmöglichkeiten bei schwierigen örtlichen Verhältnissen einsetzbar
- Sohlschwellen erfordern eine Kalibrierung
- bei der Festlegung der Höhe der Verbauung ist der Unterwassereinfluß zu beachten

3.2.1.2 Ohne Einengung des Querschnitts

Aus der Meßgröße Wasserstand wird der Durchfluß

$$Q = v \cdot A \quad (1)$$

mit Hilfe einer Abflußgleichung berechnet. Hierzu muß die mittlere Fließgeschwindigkeit v im Querschnitt A aus der Geschwindigkeitsformel

$$v = C \sqrt{RT} \quad (2)$$

ermittelt werden.

Der hydraulische Radius R folgt dabei ebenso wie der Fließquerschnitt A unmittelbar aus dem Wasserstand und der Gerinnegeometrie.

Der Geschwindigkeitsbeiwert C nach de Chézy wird in offenen Gerinnen vorzugsweise über die empirische Beziehung $C = k_{St} \cdot R^{1/6}$ nach Manning-Strickler bestimmt. In teilgefüllten geschlossenen Querschnitten wird dagegen meist der Reibungsbeiwert λ als Funktion der Wandrauheit und der Reynoldszahl herangezogen.

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \quad (3)$$

Als maßgebendes Gefälle I ist das Energiehöhengefälle zu verwenden.

a) Wasserstandsmessung in einem Querschnitt

Da nur an einer einzigen Stelle gemessen wird, muß das unbekannte Energiehöhengefälle I gleich dem Sohlengefälle I_{So} gesetzt werden.

Die bezüglich Einrichtung der Meßstelle und Durchführung sehr einfache Messung ist daher nur sinnvoll, wenn sie an einer Stelle durchgeführt werden kann, an der weitgehend stationär gleichförmiger Abfluß vorliegt.

Charakteristische Eigenschaften:

- keine Beeinflussung der Strömung durch Einengung oder Aufstau
- einsetzbar zur Dauermessung von feststoffhaltigem Abwasser, da nahezu wartungsfrei
- Genauigkeit ist u. a. von der Annahme für den Geschwindigkeitsbeiwert C abhängig
- nur brauchbar in geraden Kanälen mit konstantem Querschnitt (prismatisches Gerinne) außerhalb von Stau- oder Senkungskurven. Im Staubereich wird selbst bei $v = 0$ ein Durchfluß vorgetäuscht
- normalerweise nur zur Abschätzung anwendbar

b) Wasserstandsmessung in zwei Querschnitten

Durch die Aufnahme zweier Wassertiefen können Veränderungen im Abflußgeschehen und in der Gerinnegeometrie längs einer Meßstrecke erfaßt werden. Somit ist das Verfahren auch anwendbar, wenn kein stationär gleichförmiger Abfluß vorliegt.

Der Durchfluß kann aus der Differentialgleichung für die Spiegellinie rückgerechnet werden. Meist genügt es jedoch, einen einfachen Energiehöhenvergleich zwischen Anfang und Ende des Gerinneabschnittes vorzunehmen. Die Reibungsverlusthöhe kann dabei mit ausreichender Genauigkeit über die Geschwindigkeitsformel für mittlere Verhältnisse bestimmt werden.

Charakteristische Eigenschaften:

- keine Beeinflussung der Strömung durch Einengung oder Aufstau
- einsetzbar zur Dauermessung von feststoffhaltigem Abwasser, da nahezu wartungsfrei
- auch im Stau- oder Senkungsbereich einsetzbar
- hohe Anforderungen an Genauigkeit bei der Wasserstandsmessung, da wegen Differenzbildung empfindlich
- abhängig von der Rauheitsannahme (jedoch durch Kontrollmessung kalibrierbar)

3.2.2 Durchflußbestimmung über die mittlere Fließgeschwindigkeit

Der Durchfluß ergibt sich als Produkt aus der mittleren Geschwindigkeit senkrecht zum Fließquerschnitt und dessen Fläche.

Die Fläche wird mit Hilfe des Wasserstandes ermittelt.

Es kommen folgende Verfahren zur Bestimmung der mittleren Fließgeschwindigkeit zur Anwendung:

a) Punktmessung

Aus der Messung der Fließgeschwindigkeit in einem ausgewählten Punkt wird auf die mittlere Geschwindigkeit im Fließquerschnitt geschlossen.

Charakteristische Eigenschaften:

- empfindlich gegenüber Änderungen des Geschwindigkeitsprofils
- Kalibrierung über den gesamten Meßbereich durch genaueres Meßverfahren unbedingt erforderlich

b) Messung entlang einer Meßgeraden

Die mittlere Geschwindigkeit wird bei dieser Methode entlang einer Meßgeraden bestimmt. Möglich ist dies z. B. durch

- eine Reihe von Punktmessungen
- eine integrierende Messung während der Verschiebung eines Geschwindigkeitsfühlers
- eine Ultraschallströmungsmessung unter Ausnutzung des Mitführungseffekts

Die mittlere Geschwindigkeit entlang dieser Meßgeraden ist durch eine Kalibrierung der mittleren Geschwindigkeit des jeweiligen Fließquerschnitts zuzuordnen.

Charakteristische Eigenschaften:

- Änderungen des Strömungsprofils werden z. T. ausgeglichen
- Kalibrierung ist erforderlich
- zu erwartende Genauigkeit größer als bei der Punktmessung

c) Netzmessung

In einem Strömungsquerschnitt mit bekannten Abmessungen werden in bestimmten Punkten, die über den Querschnitt wie die Knoten eines Netzes verteilt sind, die Geschwindigkeiten gemessen. Aus diesen Geschwindigkeiten wird mittels geeigneter Auswertverfahren (siehe VDI/VDE-Richtlinie 2640 Blatt 2 und DIN 4049 Teil 1) die mittlere Geschwindigkeit bestimmt. Zur Auswertung werden graphische und arithmetische Methoden verwendet.

Werden die Geschwindigkeiten in allen Meßpunkten nicht gleichzeitig gemessen, so müssen in den Fällen, in denen der Durchfluß sich während des Meßvorganges ändert, die Meßwerte entsprechend korrigiert werden.

Charakteristische Eigenschaften:

- Änderungen des Strömungsprofils haben in der Regel keinen Einfluß auf die Meßgenauigkeit
- als Kalibrierverfahren verwendbar
- als Dauermessung nicht geeignet

d) Messung über einen Meßquerschnitt

Die mittlere Geschwindigkeit wird nach dem Faradayschen Induktionsgesetz gemessen. Durch die Strömung des Abwassers senkrecht zu einem Magnetfeld wird eine Meßspannung induziert, die an geeigneten Stellen durch Elektroden abgenommen wird.

Der unterschiedliche Beitrag der einzelnen Querschnittsflächenteile zur Meßspannung muß für jeden Wasserstand kompensiert werden.

Charakteristische Eigenschaften:

- großer Meßbereich
- Mindestfließgeschwindigkeit darf nicht unterschritten werden

- anfällig gegen elektrisch isolierende Verschmutzung bei galvanischem Abgriff
- Kalibrierung stets erforderlich

3.2.3 Volumetrische Verfahren

Die Ermittlung des Durchflusses erfolgt bei diesen Verfahren durch eine Messung des Volumens V bei gleichzeitiger Messung der Zeit t . Die volumetrische Messung kann diskontinuierlich (Behälter) oder kontinuierlich (Kippbehälter, Wasserzähler?) erfolgen. Sie wird meist nur zur Kalibrierung anderer Meßeinrichtungen oder bei kurzfristigen Messungen eingesetzt.

Charakteristische Eigenschaften:

a) Behältermessung

- Genauigkeit abhängig von der Volumen- und Zeitmessung
- Kippbehälter anfällig gegen Ablagerungen
- Kippbehälter meist nur für Durchflüsse unter 1 l/s
- nur für Kontrollmessungen geeignet

b) Wasserzähler

- hohe Genauigkeit (eichfähig)
- große Meßbereiche (bis $Q_{\min} : Q_{\max} \geq 0,002$)
- für Druckrohrleitungen bis DN 500
- nur für feststoffarmes Abwasser geeignet (z. B. Ablauf einer Kläranlage)
- Verringerung der Lebensdauer und Meßempfindlichkeit durch Abrieb und Korrosion

3.2.4 Verdünnungsverfahren²⁾

Man unterscheidet Verfahren mit Dauereingabe und Kurzzeiteingabe.

Oberhalb der Meßstelle wird ein Tracer in konstanter Dosierung (Referenzdurchfluß) bei bekannter Konzentration dem Wasser zugeführt, bis sich an der Meßstelle stationäre Verhältnisse bezüglich des gut durchmischten Tracers einstellen. Der Durchfluß wird dann über die an der Meßstelle ermittelte Gesamtkonzentration, die um die Hintergrundkonzentration vermindert werden muß, berechnet.

Sollen die stationären Verhältnisse nicht abgewartet werden, kann eine Kurzzeiteingabe des Tracers erfolgen. Hier muß dann zur Durchflußbestimmung über die am Meßort ermittelte Ganglinie der Konzentration integriert werden.

Charakteristische Eigenschaften:

- Messung bei geeigneter Tracerwahl unabhängig von Abwasserinhaltsstoffen
- geringer baulicher Aufwand, keine Einbauten im Gerinne
- anwendbar auch bei ungünstigen örtlichen Gegebenheiten oder außergewöhnlichen Abflußquerschnitten
- vollständige Durchmischung unabdingbar
- als Dauermessung wenig geeignet
- große Erfahrung in der Anwendung, insbesondere in der Analytik erforderlich
- ausreichende Genauigkeit nur bei sorgfältiger Handhabung
- wasserrechtliche Vorschriften sind zu beachten

3.3 Meßwertaufnehmer

Der Meßwertaufnehmer ist den besonderen Anforderungen der Abwassermeßstelle anzupassen. Ein idealer Meßwertaufnehmer ist robust und wartungsarm und mißt ohne zusätzliche Beeinträchtigung des Fließquerschnittes mit hoher Langzeitkonstanz unbeeinflusst von extremen Umweltbedingungen mit guter Genauigkeit in einem relativ großen Meßbereich den Meßwert.

Aus dem Meßsignal des Meßwertaufnehmers muß der Durchfluß eindeutig bestimmbar sein. Das Meßsignal kann

²⁾ Siehe DIN ISO 4064 Teil 1

³⁾ Siehe auch British Standard BSI, Dokument 79/25 781

durch geeignete Umformer bzw. Umsetzer in ein durchflußproportionales Ausgangssignal umgewandelt werden.

3.3.1 Wasserstand

Für die in den Abschnitten 3.2.1 und 3.2.2 genannten Verfahren zur Durchflußbestimmung ist eine geeignete Wasserstandsmessung nötig. Die gängigsten Meßeinrichtungen werden hier beschrieben und gewertet.

3.3.1.1 Schwimmer

Die Stellung eines auf der Wasseroberfläche schwimmenden Körpers gegenüber einem Bezugspunkt wird mittels mechanischer Einrichtungen wie Hebel oder Seilzug auf ein Anzeigergerät oder einen Meßumformer übertragen.

Charakteristische Eigenschaften:

- Meßeinrichtung hat mechanisch bewegte Teile, die durch Umwelteinflüsse schwergängig werden können,
- Meßfehler durch Anlagern von Stoffen (z. B. Fett, Bewuchs)
- eventuell Störung des Strömungsprofils durch den Schwimmer
- einfache Überprüfbarkeit

3.3.1.2 Automatischer Stechpegel

Der Stechpegel tastet die momentane Lage des Wasserspiegels periodisch ab. Der nachgeschaltete Meßumformer liefert ein diskontinuierliches Signal.

Charakteristische Eigenschaften:

- Meßeinrichtung hat mechanisch bewegte Teile
- erreichbare Meßgenauigkeit sehr hoch
- keine Störung des Strömungsprofils
- empfindlich gegenüber Anlagerungen

3.3.1.3 Einperlung

Durch ein Tauchrohr wird Luft in das Wasser eingepert. Bei sachgemäßem Einbau (hydrostatische Druckverteilung) und unter der Annahme konstanter Dichte des Wassers ist der sich im Tauchrohr aufbauende Druck direkt ein Maß für den Wasserstand.

Die Meßwertaufnahme kann auch in größerer Entfernung vom Meßort mit Referenzdruckmeßgeräten erfolgen.

Charakteristische Eigenschaften:

- Wartung des Tauchrohres, insbesondere der Einperloffnung, erforderlich
- Störung des Strömungsprofils vernachlässigbar
- Meßgenauigkeit von der Güte des Druckmeßgerätes abhängig
- Eine Mindestüberdeckung der Einperloffnung ist erforderlich

3.3.1.4 Druckmeßdose

Die Messung des hydrostatischen Druckes kann direkt mit Druckmeßdosen erfolgen, die entweder in der Sohle oder in der Gerinnwand bündig eingebaut sein können.

Charakteristische Eigenschaften:

- keine Störung des Strömungsprofils
- je nach Bauart anfällig für mechanische Beschädigung
- hohe Empfindlichkeit
- Temperaturabhängigkeit, Nullpunktstabilität und Langzeitdrift sind zu beachten

3.3.1.5 Kapazitive Wasserstandsmessung

Die Kapazität eines Kondensators ist abhängig von der Größe der sich gegenüberliegenden Kondensatorflächen und vom Dielektrikum. Der Kondensator zur kapazitiven Messung des Wasserstandes wird gebildet aus einem Stab oder einer Platte, einer als Dielektrikum wirkenden Kunststoffbeschichtung und dem mit der Masselektrode verbundenen Abwasser als leitender Flüssigkeit. Mit wechselndem Wasserstand ändert sich die Kapazität dieses Kondensators.

Charakteristische Eigenschaften:

- keine beweglichen Teile
- keine oder geringe Störung des Strömungsprofils
- Ablagerungen und anhaftende Feuchtigkeit können den Meßwert verfälschen
- nicht linear im unteren Teil des Meßbereiches

3.3.1.6 Echolot

Von einem oberhalb des Wasserspiegels angeordneten Schall- bzw. Ultraschallsender wird ein kurzer Impuls ausgesandt, der nach Reflexion an der Wasseroberfläche von einem Empfänger als Echo aufgenommen wird. Aus der Laufzeit ergibt sich der Abstand zwischen Sender/Empfänger und Wasserspiegel und daraus der Wasserstand.

Charakteristische Eigenschaften:

- Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit von der Temperatur und Feuchte der Luft ist zu beachten
- Schaum kann insbesondere bei Verwendung von Ultraschall zu Störungen führen
- im allgemeinen ist ein Mindestabstand zwischen Sensorkopf und höchstem Wasserstand erforderlich
- kein Einfluß auf das Strömungsprofil, da berührungslose Messung

3.3.2 Fließgeschwindigkeit

Die Fließgeschwindigkeit soll sowohl nach ihrem absoluten Wert, als auch nach ihrer Richtung gemessen werden. Im allgemeinen wird bei den beschriebenen Verfahren die Geschwindigkeitskomponente in Hauptströmungsrichtung erfaßt. Von den möglichen Methoden zur Messung der Fließgeschwindigkeit werden hier mechanische, elektromagnetische und akustische Meßverfahren behandelt.

3.3.2.1 Meßflügel

Wesentlicher Bestandteil des Meßflügels ist eine Schaufel mit schraubenförmig gekrümmten Flächen, die leicht drehbar auf einer horizontalen Achse gelagert ist. Die Achse ist während der Messung gegen die Strömung, welche die Schaufel in Rotation versetzt, gerichtet.

Die Drehzahl ist ein Maß für die Fließgeschwindigkeit.

Die Schaufel des Meßflügels muß gegen mechanische Beanspruchungen ausreichend stabil und in ihrer geometrischen Form treibzeugabweisend sein.

Charakteristische Eigenschaften:

- für Kurzzeitmessungen einsetzbar bei Abwasser mit geringem Anteil an zopfbildenden Inhaltsstoffen⁴⁾
- einfache Handhabung
- Anlaufgeschwindigkeit ≈ 3 cm/s.

3.3.2.2 Staurohre

Mit Staurohren wird der Staudruck einer strömenden Flüssigkeit als Differenz zwischen Gesamtdruck und statischem Druck ermittelt. Die örtliche Geschwindigkeit kann dann aus dem Staudruck errechnet werden.

Zur Messung des Gesamtdruckes benutzt man ein der Strömung entgegengerichtetes offenes Rohr (Pitot-Rohr). Der statische Druck wird mit Öffnungen senkrecht zur Strömungsrichtung erfaßt. Beim Prandtl-Rohr sind die Aufnehmer für den Gesamtdruck und den statischen Druck zu einer Einheit verbunden.

Charakteristische Eigenschaften:

- Richtungsempfindlichkeit
- Gefahr von Verstopfungen
- Mindestgeschwindigkeit $\approx 0,5$ m/s
- geringer Platzbedarf
- leichte Handhabung
- nachträglicher Einbau möglich

⁴⁾ Siehe auch VDI/VDE-Richtlinie 2640 Blatt 2

3.3.2.3 Magnetisch-Induktive Durchflußmeßgeräte (MID)⁵⁾

a) Düker-MID

Zur Messung des Durchflusses muß das Meßrohr ständig mit Flüssigkeit gefüllt sein.

Bei der Anwendung in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen wird daher der MID zur Vermeidung von Teilfüllung in einen Düker eingesetzt. Der Düker soll so gestaltet sein, daß Ablagerungen und Mitführen von Luftblasen weitgehend vermieden werden.

Charakteristische Eigenschaften:

- Meßbereich begrenzt durch zulässigen Druckhöhenverlust infolge Dükerung
- Mindestfließgeschwindigkeit ist zu beachten
- hohe Meßgenauigkeit
- Strömungsrichtung erfaßbar
- rückstauunabhängig
- erheblicher baulicher Aufwand

b) Eintauch-MID

Bei einem Eintauch-MID sind die Elektroden und der Elektromagnet in einem Gehäuse zusammengefaßt, das an einem Stab in die Strömung eingetaucht wird. Die Fließgeschwindigkeit wird punktförmig gemessen.

Charakteristische Eigenschaften:

- Strömungsrichtung erfaßbar
- Mindestfließgeschwindigkeit $\approx 0,3$ m/s
- für Kurzzeitmessungen einsetzbar

c) Gerinne-MID

Ein elektrisch-isolierter Gerinneabschnitt mit an der Außenseite angebautem Elektromagneten und an der Innenwand liegenden Elektroden wird als Einheit in das Gerinne eingebaut. Die über den Fließquerschnitt gemittelte Fließgeschwindigkeit wird gemessen.

Charakteristische Eigenschaften:

- Strömungsrichtung erfaßbar
- keine Verengung der Meßstelle
- rückstauunabhängig
- erheblicher baulicher Aufwand bei nachträglichem Einbau

3.3.2.4 Ultraschallmeßgeräte

Prinzipiell sind hierbei zwei Verfahren zu unterscheiden. Das eine Verfahren benutzt den Mitführungseffekt eines Schallsignals durch die Strömung, das andere Verfahren den Doppler-Effekt, verursacht durch Streuteilchen im Abwasser.

a) Meßgeräte nach dem Mitführungseffekt

Hier wird die Laufzeit von Signalen zwischen zwei Meßköpfen diagonal zur Strömung zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit benutzt. Dabei unterscheidet sich die Laufzeit des Signals in Strömungsrichtung von der entgegen der Strömungsrichtung (Mitführungseffekt). Die mittlere Fließgeschwindigkeit im Gerinne längs des Weges des akustischen Signals ist dann über die Entfernung zwischen den Meßköpfen, den Winkel zwischen der Verbindungslinie zwischen den Meßköpfen mit der Strömungsrichtung und den Laufzeiten des Schallsignals für beide Richtungen zu berechnen.

Charakteristische Eigenschaften:

- nachträglicher Einbau der Meßköpfe in bestehende Gerinne möglich
- keine Störung des Strömungsprofils
- empfindlich gegenüber mitgeführten Feststoffen und Gasblasen
- bei Verwendung nur einer Meßstrecke empfindlich gegenüber Querströmung

b) Meßgeräte auf der Grundlage des Doppler-Effekts

Beim Ultraschallmeßgerät, das nach dem Prinzip des Doppler-Effekts arbeitet, wird durch suspendierte Partikel im Bereich der Überdeckung von Sender- und Empfängerkeule eine Frequenzverschiebung verursacht, die geschwindigkeitsproportional ist.

Die Geschwindigkeit im Meßvolumen ist dann abhängig von der Schallgeschwindigkeit im Meßmedium, der Empfänger- und Senderfrequenz und den Winkeln zwischen Strömung und Sender bzw. Empfänger.

Charakteristische Eigenschaften:

- erzielbare Genauigkeit vom konstruktiven Aufwand abhängig
- nachträglicher Einbau der Meßköpfe in bestehende Gerinne möglich
- keine Störung des Strömungsprofils
- suspendierte Teilchen im Meßvolumen erforderlich, bei zu hoher Konzentration Störungen

3.3.3 Volumen

Im allgemeinen kommen kalibrierte Behälter und Wassermesser zum Einsatz. Charakteristische Eigenschaften siehe Abschnitt 3.2.3.

3.3.4 Tracer

Zur Durchflußbestimmung mit Hilfe der Verdünnungsverfahren benötigt man einen Tracer (Indikator). Es eignen sich hierfür Substanzen, die in Spurenmengen nachweisbar sind und keine Veränderungen auf der Fließstrecke erleiden. Verwendet werden vor allem Salze, Farbstoffe oder radioaktive Stoffe. Je nach Art der Substanz wird anhand der Konzentration, der Strahlung, der Leitfähigkeit u. a., der Indikator quantitativ nachgewiesen und daraus der Durchfluß bestimmt.

Die Anforderungen an den Tracer werden im wesentlichen von der Art des Abwassers bestimmt. Dabei sollte die Substanz normalerweise im Abwasser nicht enthalten sein. In Zweifelsfällen empfiehlt sich ein Vorversuch. Auf eine vollständige Durchmischung des Tracers im Abwasser ist zu achten. Wird das Abwasser anschließend in ein Gewässer eingeleitet, darf dies zu keiner Beeinträchtigung des Vorfluters führen.

Charakteristische Eigenschaften:

- auf leichte Einmischbarkeit des Tracers ist zu achten
- quantitative Nachweisbarkeit des Tracers nach der Verdünnung erforderlich
- stabile Substanz, d. h. keine Reaktion mit dem Abwasser
- Erfahrungen im Umgang mit dem gewählten Tracer notwendig

4 Unsicherheit beim Messen

(nach DIN 1319 Teil 3)*)

Die Eigenschaften von Durchfluß-Meßeinrichtungen ergeben sich aus dem Zusammenwirken vieler Einflußgrößen. Es treten im allgemeinen vier Quellen für die Unsicherheit beim Messen in Erscheinung.

- a) Geräteinflüsse (z. B. durch Material, Fertigung, Konstruktion),
- b) Umwelteinflüsse (z. B. durch magnetische oder elektrische Fremdfelder, Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit),
- c) Verfahrenseinflüsse (z. B. falsche Meßanordnung, unsachgemäßer Einbau),
- d) persönliche Einflüsse (z. B. Ablese- und Schätzfehler).

*) Z. Z. Entwurf

⁵⁾ Siehe auch VDI/VDE-Richtlinie 2641

Hierdurch entstehen Abweichungen zufälliger oder systematischer Art. Systematische Abweichungen sind meßtechnisch erfaßbar, das Ergebnis kann korrigiert werden. Zufällige Abweichungen sind dagegen in Größe und Vorzeichen nicht vorhersehbar.

Als Abweichung wird die Differenz zwischen dem aus den gemessenen Signalen ermittelten Durchfluß und dem tatsächlich vorhandenen Durchfluß (Sollwert) bezeichnet.

4.1 Systematische Abweichungen

4.1.1 Definition

Systematische Abweichungen entstehen oft durch Gerätefehler, mangelhafte Meßanordnungen oder Einflüsse der Umwelt. Sie verfälschen das Meßergebnis einseitig, d. h. sie haben einen bestimmten Wert und ein bestimmtes Vorzeichen. Dadurch sind sie rechnerisch und meßtechnisch erfaßbar, wodurch eine Korrektur des Ergebnisses möglich wird.

Die systematische Abweichung Δx_i ist als Abweichung eines Meßwertes x_i^* vom wahren Wert $x_{i\mu}$ definiert:

$$\Delta x_i = x_i^* - x_{i\mu} \quad (4)$$

Der Durchfluß Q kann im allgemeinen nicht direkt gemessen werden, sondern kann als Funktion einer oder mehrerer unabhängiger Meßgrößen x_i beschrieben werden (z. B. Abflußformel bei Venturi-Kanälen)

$$Q = Q(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5)$$

Sind die einzelnen Meßwerte x_i mit systematischen Abweichungen Δx_i behaftet, so ergibt sich die Abweichung des Durchflusses bei voneinander unabhängigen Meßgrößen x_i zu:

$$\Delta Q = \frac{\partial Q}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1 + \frac{\partial Q}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial Q}{\partial x_n} \cdot \Delta x_n$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{\partial Q}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \quad (6)$$

(Fortpflanzungsgesetz der systematischen Abweichungen)

4.1.2 Korrektur der systematischen Abweichungen

Zur experimentellen Untersuchung der systematischen Abweichungen wird im allgemeinen eine Einflußgröße geändert und die Auswirkung dieser Änderung auf das Meßergebnis festgestellt. Die gleichzeitige Änderung mehrerer Einflußgrößen sollte durch geeignete Meßanordnungen vermieden werden.

Aufgrund der unvermeidbaren Fertigungsstreuungen bei Durchfluß-Meßeinrichtungen ist es erforderlich, diese einzeln zu kalibrieren. Die Kalibrierung wird im allgemeinen im Herstellerwerk auf einem geeigneten Prüfstand mit Wasser durchgeführt. Die Kalibrierung der gesamten Meßanordnung vor Ort kann nur mit Hilfe eines genaueren Meßverfahrens vorgenommen werden.

Wenn eine experimentelle Korrektur nicht möglich ist, sollte eine rechnerische Korrektur des Zusammenhanges von Durchfluß und Signalausgang erfolgen. Hierzu muß der mathematische Zusammenhang der einzelnen Einflußgrößen und Toleranzen auf den Signalausgang bekannt sein, um mit Hilfe des Fortpflanzungsgesetzes der systematischen Abweichungen eine Korrektur vornehmen zu können.

4.2 Zufällige Abweichungen

Zufällige Abweichungen schwanken regellos in Größe und Vorzeichen und können nicht beeinflußt werden.

Unregelmäßig schwankende Umweltgrößen und Unzulänglichkeiten des Menschen sind häufig die Ursache. Vermin-

dern läßt sich der Einfluß von Abweichungen dieser Art um so besser, je häufiger die gleiche Messung unter möglichst unveränderten Bedingungen wiederholt wird. Die vielen, zufällig streuenden Meßwerte gehorchen dennoch im Sinne der Wahrscheinlichkeit gewissen Gesetzen. Verschiedene Verteilungsfunktionen beschreiben den Zusammenhang zwischen dem Meßwert x_i^* und der Häufigkeit des Auftretens dieses Einzelwertes. Hierdurch ist eine statistische Mittelwertbildung möglich.

4.3 Meßunsicherheit

(nach DIN 1319 Teil 3)*)

Die Meßunsicherheit u hat zwei Komponenten. Die eine Komponente betrifft die zufälligen Abweichungen (Zufallskomponente u_z); es wird empfohlen, mit einem Vertrauensbereich von 95% zu rechnen.

Die andere Komponente betrifft die unbekannt systematischen Abweichungen (systematische Komponente u_s); sie kann nur anhand ausreichender experimenteller Erfahrung abgeschätzt werden. Hilfsweise ist eine Abschätzung mit dem Fortpflanzungsgesetz der systematischen Abweichungen möglich.

4.4 Maximale systematische Abweichung

Die maximale systematische Abweichung ergibt sich, wenn alle systematischen Abweichungen in eine Richtung zeigen, d. h. das gleiche Vorzeichen haben.

Es gilt:

$$\Delta Q_{\max} = \left| \frac{\partial Q}{\partial x_1} \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\partial Q}{\partial x_2} \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial Q}{\partial x_n} \Delta x_n \right|$$

$$= \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial Q}{\partial x_i} \Delta x_i \right| \quad (7)$$

Im allgemeinen wird die relative maximale systematische Abweichung, bezogen auf den Sollwert des Durchflusses, angegeben.

$$\frac{\Delta Q_{\max}}{Q} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{1}{Q} \frac{\partial Q}{\partial x_i} \Delta x_i \right| \quad (8)$$

Die Berechnung der maximalen systematischen Abweichung ist nur möglich, wenn die maßgeblichen unabhängigen Meßgrößen als Funktion des Durchflusses (z. B. Abflußformel bei Venturi-Kanälen) berücksichtigt werden können. Es ist daher zweckmäßig, Abweichungen aus vorgegebenen Toleranzen über die theoretischen Durchflußgleichungen zu berechnen.

Wenn keine direkte Bestimmung der maximalen systematischen Abweichung möglich ist, wird am besten für jede der zulässigen Abweichungen ein getrennter Wert $\Delta Q(x_i)/Q$ berechnet und durch Addition die maximale systematische Abweichung ermittelt.

5 Genauigkeitsanforderungen

5.1 Fehlergrenzen

Wird für eine Meßeinrichtung angegeben, daß deren Abweichungen bestimmte Grenzen nicht überschreiten, so werden diese Grenzen Fehlergrenzen genannt.

Die Fehlergrenze G gibt die maximal zulässige positive bzw. negative Abweichung vom Sollwert an. Sie wird relativ zum Sollwert mit dem gleichen Betrag angegeben. Die Angabe der Fehlergrenzen erfolgt unter Nennbedingungen für die vollständige Durchfluß-Meßeinrichtung. Die Nennbedingungen sind anzugeben, z. B. vom Hersteller oder Betreiber der Meßeinrichtung.

*) Z. Z. Entwurf