

# MÖGLICHKEITEN UND VARIANTEN DER DURCHFLUSSMESSUNG

W. Frey, Korneuburg

## 1. Zweck der Durchflußmessung

Eine genaue Volumenstrommessung ist zur Berechnung von Schmutzfrachten sowie zur Steuerung durchflußproportionaler Probenahmegeräte unabdingbar. Die in das Kanalnetz eingeleiteten Abwassermengen werden häufig zur Berechnung der Kostenaufteilung zwischen den Einleitern herangezogen.

## 2. Definition des Volumenstromes

Es können zwei Definitionen für den Durchfluß angegeben werden:

- Volumen das pro Zeiteinheit in ein Becken oder Behälter fließt

$$Q = \frac{\text{Volumen [m}^3\text{]}}{\text{Zeit [s]}}$$

- Produkt der durchströmten Fläche und der **mittleren** Stömungsgeschwindigkeit

$$Q = A \text{ [m}^2\text{]} \cdot v \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Wie diese Definitionen zeigen ist der Durchfluß also **keiner unmittelbaren Messung zugänglich**. Er ist vielmehr nur aus mehreren Meßgrößen berechenbar.

## 3. Meßwertaufnehmer

Bei den meisten Meßverfahren sind der **Wasserstand** und/oder die **Fließgeschwindigkeit** eine unverzichtbare Meßgrößen zur Bestimmung des Durchflusses. Im Folgenden werden daher zunächst Methoden zur Wasserstands- und Geschwindigkeitsmessung erörtert. Die anschließende Behandlung verschiedener Durchflußmeßeinrichtungen erfolgt dann ohne weitere Erklärung dieser Grundprinzipien.

### 3.1 Wasserstand

Wenn der **Meßfühler in das Abwasser** eintaucht besteht grundsätzlich die Gefahr von Anlagerungen, Bewuchs oder Verhängen des Fühlers durch zopf bildende Stoffe, so daß eine Wartung unabdingbar ist. Außerdem ist durch das Eintauchen in den Meßquerschnitt mit einer zusätzlichen Störung der Strömung zu rechnen (z.B.: Schwimmer).

Bei den **akustischen Verfahren** wird zur Wasserstandsmessung das Echolot eingesetzt. Von einem oberhalb des Wasserspiegels angeordneten **Ultraschallsender** wird ein kurzer Impuls ausgesandt, der nach der Reflexion an der Wasseroberfläche von einem Empfänger als Echo aufgenommen wird. Aus der Laufzeit des Signals kann der Abstand zwischen Sender/Empfänger und dem Wasserspiegel und damit der Wasserstand im Gerinne ermittelt werden. Es ist anzumerken, daß die Meßwerte maßgeblich von den am Meßort herrschenden Bedingungen ab-

hängen (Störung der Strömung durch Umlenkungen bzw. Einbauten, Wellen an der Oberfläche, Schaum, etc.).

Bei der **Einperl-Messung** wird durch ein Tauchrohr Gas (Luft, Stickstoff) in das Wasser ein-geblasen. Der sich im Tauchrohr aufbauende Druck ist direkt ein Maß für den Wasserstand über dem Fühler. Wegen der Gefahr des Zuwachsens der Einperlöffnung ist das Tauchrohr zu warten. Die Meßwertaufnahme kann auch in größerer Entfernung vom Meßort mit Druckmeßgeräten erfolgen. Die Genauigkeit der Wasserstandsmessung wird in erster Linie durch die Güte des ein-gesetzten Druckmeßgerätes bestimmt.

**Drucksensoren** formen die Eingangsgröße Druck in ein elektrisches Signal um, das mit dem Wasserstand korreliert werden muß. Die heute eingesetzten Meßfühler auf der Basis der **Dehn-meßstreifen**-Technik weisen sehr günstige Eigenschaften in Bezug auf Temperatureinflüsse und Signaldrift auf.

## 3.2 Fließgeschwindigkeit

Es gibt mechanische, elektromagnetische und akustische Meßverfahren. Die Meßwertaufnehmer werden **im durchströmten Querschnitt** angeordnet oder **am Umfang** angebracht.

Zu unterscheiden ist zwischen Geräten die die Geschwindigkeit

- **punktförmig**
- **streckenförmig** oder
- **flächenhaft** erfassen.

**Aufnehmer im Meßquerschnitt** werden für Punkt- bzw. Netzmessungen eingesetzt. Damit dienen sie ausschließlich Kontrollzwecken. Dauermessungen sind nur in Ausnahmefällen bei gereinigtem Abwasser denkbar. Im Rohabwasser ist grundsätzlich nur ein kurzfristiger Meß-betrieb möglich, da durch Anlagerung von mitgeführten Stoffen die Betriebsbereitschaft sehr schnell unterbunden wird.

Bei **Aufnehmern an der Berandung** des Meßquerschnittes gibt es sowohl Ausführungen bei denen der Meßfühler direkten Kontakt mit dem Meßmedium hat als auch solche wo kein direkter Kontakt gegeben ist. Stehen die Sensoren nicht mit dem Meßmedium in Berührung, so durch-läuft das Schallsignal zunächst die Rohrwand. Bei den Ultraschallmeßgeräten werden Sensoren, die als Ultraschallsender bzw. -empfänger wirken, in die Rohrleitung eingebaut oder auch auf der Rohrleitung befestigt.

### 3.2.1 Punktmessung

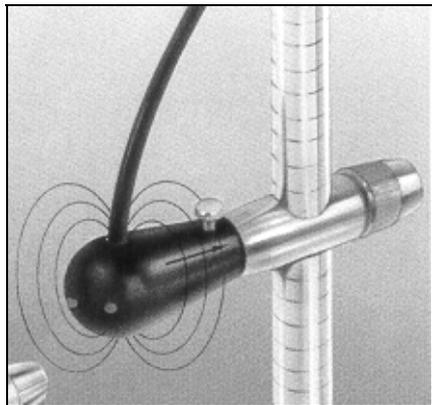
Die Messung erfolgt mit einem geeigneten Meßwertaufnehmer nur für **einen ausgewählten Punkt** im Fließquerschnitt. Normalerweise kann die punktförmige Messung nur für Einzel-messungen herangezogen werden, bei denen eine größenordnungsmäßige Abschätzung des Durchflusses vorgenommen werden soll.

Die **Zuordnung** der gemessenen **punktuellen Geschwindigkeit zur mittleren Ge-schwindigkeit** im Meßquerschnitt ist eine schwierige Aufgabe. Je nach durchströmtem Profil, Füllungsgrad (Wassertiefe) und sonstigen hydraulischen Randbedingungen stellt sich eine spezi-fische Geschwindigkeitsverteilung ein. Die Geschwindigkeitsverteilung bestimmt den **Um-**

**rechnungsfaktor.** Zur Umrechnung der gemessenen punktuellen Geschwindigkeit bei veränderlichen Wasserständen auf die mittlere Geschwindigkeit im Meßquerschnitt müssen die Umrechnungsfaktoren als Funktion des Wasserstandes für das jeweilige Profil bekannt sein. Eine Kalibrierung ist unumgänglich.

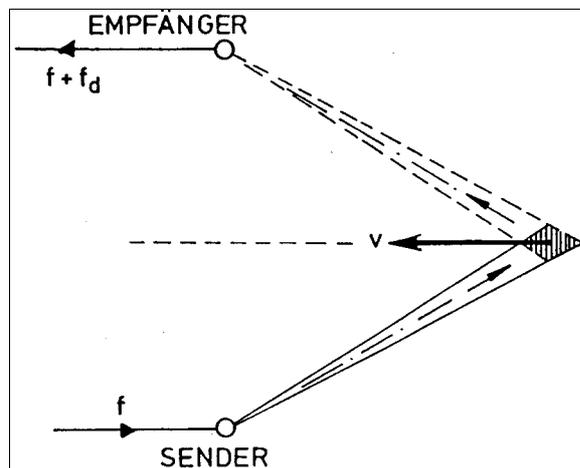
Wesentlicher Bestandteil des **Meßflügels** ist eine Schaufel mit schraubenförmig gekrümmten Flächen, die leicht drehbar auf einer horizontalen Achse gelagert ist. Die Achse ist bei der Messung parallel zur Gerinneachse ausgerichtet. Durch die Strömung wird die Schaufel in Rotation versetzt, wobei aus der Drehzahl mit Hilfe einer Eichkurve auf die Anströmgeschwindigkeit geschlossen werden kann.

Bild 1: Offener magnetisch induktiver Geschwindigkeitsmesser



Die **magnetisch induktive Geschwindigkeitsmessung** ist die Sonderform eines Magnetisch-Induktiven Durchflußmeßgerätes (MID), bei dem die Elektroden zum Abgriff der Meßspannung und der Elektromagnet in einem Gehäuse zusammengefaßt sind. Er stellt das elektromagnetische Gegenstück ohne bewegliche Teile des mechanischen Meßflügels dar. Die Meßspannung wird durch das vorbeifließende Wasser erzeugt, so daß letztendlich auch mit diesem Gerät eine Punktmessung vorgenommen wird. Dem Eintauch-MID müssen daher die gleichen betriebstechnischen Eigenschaften wie dem Meßflügel beigemessen werden.

Bild 2: Punktförmige Messung nach dem Doppler-Effekt



Bei Meßgeräten die nach dem **Doppler-Verfahren** arbeiten wird ein Ultraschallsignal in das Medium abgestrahlt. Die Anwesenheit von Feststoffteilchen im Meßmedium ist Voraussetzung dafür, dass Reflexionen auftreten (siehe Bild 2). Im Bereich der Überdeckung der Schallkegel von Sender und Empfänger, die bei diesem System an der Gerinnewand angebracht sind, wird durch die dort bewegten Partikel eine geschwindigkeitsproportionale Frequenzverschiebung verursacht. Letztendlich wird auf diese Weise in einem vom Meßwertempfänger abhängigen Bereich im Innen-

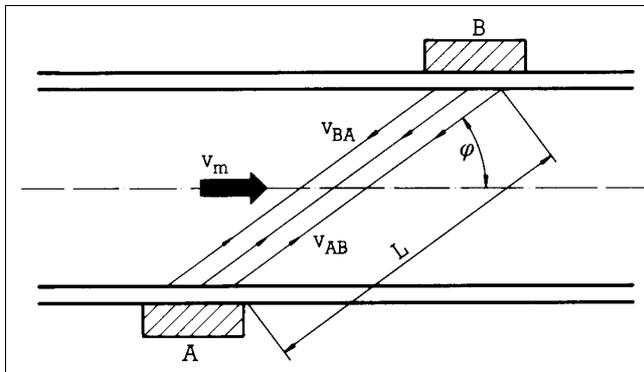
ren der Flüssigkeit die örtliche („punktförmige“) Geschwindigkeit der mitgeführten Partikel gemessen (Schlupf zwischen Partikel – Flüssigkeit?).

### 3.2.2 Streckenmessung

Der Mittelwert der Geschwindigkeit längs der Meßgeraden ist der mittleren Geschwindigkeit des gesamten Fließquerschnittes zuzuordnen. Es ist einleuchtend, daß durch den größeren Informationsgehalt über die Geschwindigkeitsverteilung eine gegenüber der Punktmessung verbesserte

Genauigkeit zu erwarten ist, aber gegenüber einer flächenhaften Erfassung immer noch Nachteile bestehen.

Bild 3: Geschwindigkeitsmessung mit dem Mitführeffekt



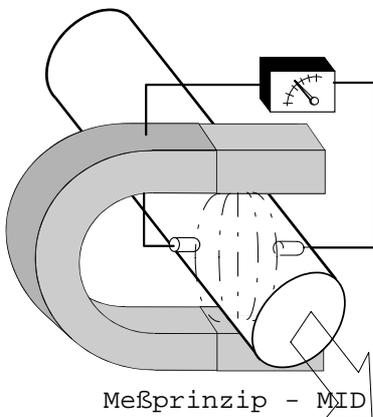
Bei Meßgeräten die mit dem **Mitführungseffekt** arbeiten wird zwischen zwei Meßköpfen die Laufzeit der Schallimpulse diagonal zur Strömung gemessen. Wegen der Überlagerung mit der Fließgeschwindigkeit unterscheiden sich die Laufzeit bzw. die Phasenlage des Signals in Strömungsrichtung von der entgegen der Strömungsrichtung (Mitführungseffekt). Die

mittlere Fließgeschwindigkeit des Meßmediums längs der durch Sender und Empfänger begrenzten Meßstrecke kann über diese Entfernung, dem Winkel zwischen Meßstrecke und Hauptströmungsrichtung und den Einzellaufzeiten des Schallsignals berechnet werden.

Das Meßprinzip setzt voraus, daß der vom Sender abgestrahlte Schallimpuls nach dem Durchlaufen der Meßstrecke den Empfänger erreicht. Stören können dabei im Meßmedium mitgeführte Feststoffe oder Gasblasen, welche die Schallsignale vorzeitig reflektieren bzw. **absorbieren**.

### 3.2.3 Flächenmessung

Bild 4: Magnetisch Induktive Geschwindigkeitsmessung



Ein wesentlicher Fortschritt für die Durchflußmessung wurde durch die Anwendung des **Faraday'schen Induktionsgesetzes** zur Bestimmung der mittleren Fließgeschwindigkeit erzielt. Ausgenützt wird dabei das Phänomen, daß durch die Bewegung eines Leiters in einem Magnetfeld eine Spannung induziert wird. Jedes Volumenelement des durch den Querschnitt strömenden Abwassers liefert einen Anteil an der induzierten Spannung. Dadurch repräsentiert die abgegriffene Spannung einen Mittelwert der Fließgeschwindigkeit über die Fläche. Ganz so einfach ist die Wirkungsweise aber doch nicht, denn die Anteile der

einzelnen Volumenelemente an der Gesamtspannung sind nicht konstant, sie hängen von der Lage zu den Elektroden ab. Zur Umrechnung der abgegriffenen Spannung auf die mittlere Strömungsgeschwindigkeit ist die Berücksichtigung der sogenannten Wertigkeitsfunktion notwendig.

## 4. Meßverfahren

Grundsätzlich existieren in der Hydraulik eine Vielzahl von Möglichkeiten den Volumenstrom zu messen. Aufgrund der speziellen Eigenschaften von Abwasser sind die tatsächlich anwendbaren Verfahren deutlich eingeschränkt.

## 4.1 Direkte Verfahren

Diese lassen eine Bestimmung des Volumenstromes aus den **Meßgrößen** ohne die Verwendung von Beiwerten oder anderen Hilfsgrößen zu. Aufgrund dieser Eigenschaft werden sie häufig zu Kalibrierzwecken eingesetzt. Als Beispiel ist die Behältermessung anzuführen, wo aus einem bekannten Volumen eines Vorlagebehälters und der erforderlichen Füllzeit des Behälters der Volumenstrom berechnet werden kann.

Das Verfahren ist für Dauermessungen nicht einsetzbar, eignet sich aufgrund seiner Einfachheit und Genauigkeit aber gut zu **Kontrollzwecken** bestehender Betriebsmeßeinrichtungen.

## 4.2 Indirekte Verfahren

Die Ermittlung des Durchflusses erfolgt durch Multiplikation der durchflossenen Querschnittsfläche mit der **mittleren Fließgeschwindigkeit**.

Beim Abfluß mit freier Oberfläche ist zusätzlich eine Wasserstandsmessung im Meßquerschnitt für die Flächenbestimmung erforderlich. Nur im vollgefüllten Kreisrohr kann daher auf einen Meßwert für die Querschnittsfläche verzichtet werden. Grundsätzlich kann die Messung im **Druckrohr** oder im **Freispiegelgerinne** stattfinden.

### 4.2.1 Doppler-Verfahren

Die Messung der Geschwindigkeit erfolgt bei den meisten Geräten in der Nähe des Sensors oder einem nicht klar definierten Bereich über dem Sensor. Eine Umrechnung der örtlichen Geschwindigkeit auf die mittlere Geschwindigkeit für die Durchflußberechnung ist nicht immer zuverlässig möglich.

Die Sensoren werden häufig als kombinierte Druck- und Geschwindigkeitssensoren ausgeführt. Sie werden entweder direkt an der Gerinnesohle oder an der Gerinnewand angeordnet. Der Meßwertaufnehmer befindet sich in der Abwasserströmung, dies bewirkt zwangsläufig eine Querschnittsverengung. Je nach Gerinnequerschnitt und Fließtiefe wird dadurch das Meßsignal verfälscht. Das Sondenkabel ist sorgfältig zu verlegen, so dass Störungen durch das Kabel und **Zopfbildungen** möglichst gering gehalten werden. Auch ist im Freispiegelgerinne auf eine **Mindestwassertiefe** zu achten, da sonst die Funktion nicht gewährleistet ist bzw. die Fehler sehr groß werden können.

Bild 5: Geschwindigkeitsmessung mit dem Dopplereffekt im Freispiegelgerinne

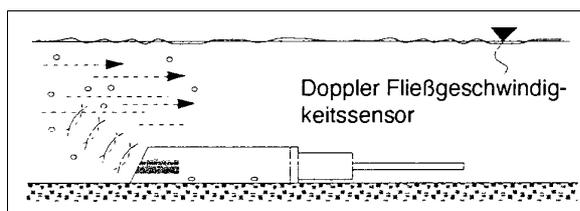
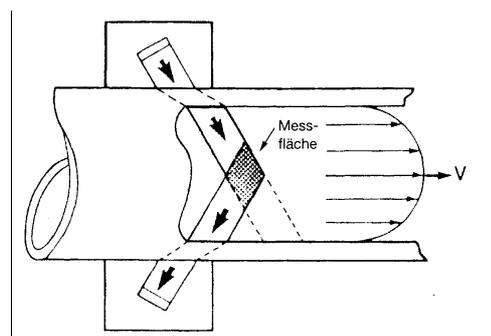


Bild 6: Geschwindigkeitsmessung mit dem Dopplereffekt im vollgefüllten Rohr



#### 4.2.2 Mitführeffekt

Die Messung der mittleren Fließgeschwindigkeit erfolgt nur auf der durch die Sensoren vorgegebenen Meßstrecke; die **Zuordnung zur mittleren Fließgeschwindigkeit** im Gesamtquerschnitt muß erst noch vorgenommen werden. Hierbei ist dann entscheidend, ob auf bekannte Gesetzmäßigkeiten wie bei der Rohrströmung (im vollgefüllten Rohr) zurückgegriffen werden kann, oder ob durch Punktmessung eine Kalibrierung für das Geschwindigkeitsfeld im Querschnitt mit freier Oberfläche vorgenommen werden muß. Zur Erhöhung der Meßgenauigkeit können die Schallwege vervielfacht werden (Bild 8).

Bild 7: Geschwindigkeitsmessung mit dem Mitführeffekt im Freispiegelgerinne

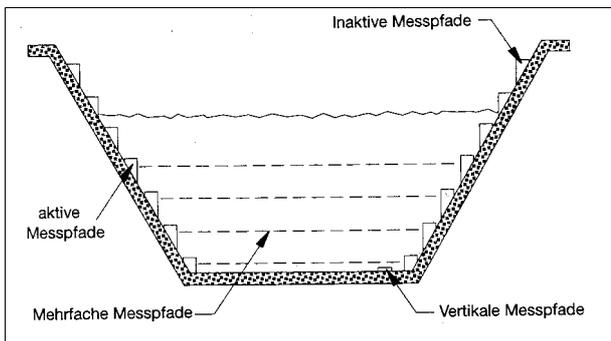


Bild 8: Geschwindigkeitsmessung im vollgefüllten Rohr

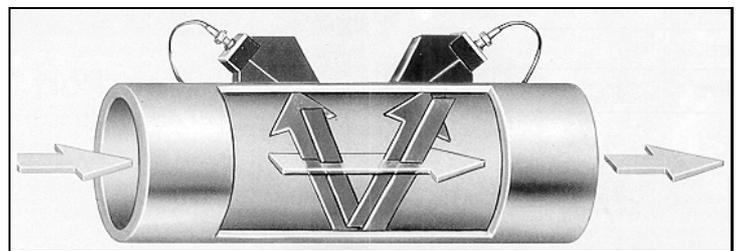
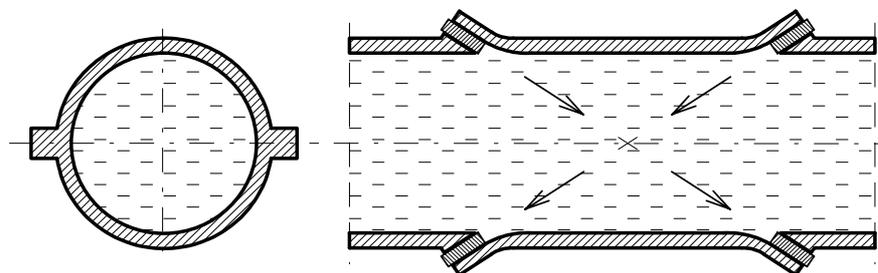
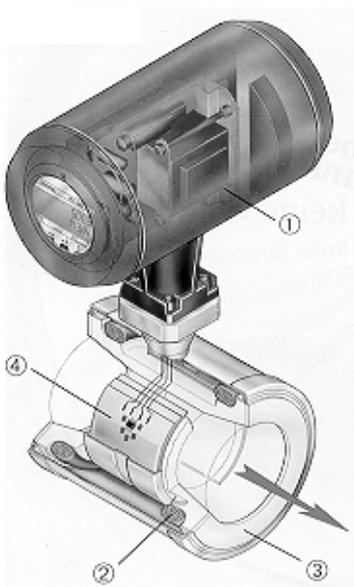


Bild 9: Geschwindigkeitsmessung mit dem Mitführeffekt im vollgefüllten Rohr



#### 4.2.3 Druckrohr - MID



Hier kommt das Prinzip des **Magnetisch Induktiven** Geschwindigkeitsmessung zum Einsatz.

Bedeutsam sind insbesondere die hohe erzielbare Genauigkeit über große Meßbereiche und der hydraulisch neutrale Einbau.

Bild 10: Magnetisch Induktiver Durchflußmesser

1 Meßumformer 2 Feldspulen 3 Meßrohr 4 Elektroden

Für den Einbau von induktiven Durchflußmessern sei darauf hingewiesen, daß es wichtig ist, daß die **Rohrleitung stets voll gefüllt** (z.B. Düker) ist, das keine **Ablagerungen** (isolierend oder leitend) auf den Elektroden liegen, keine **Lufteinschlüsse** im Meßquerschnitt enthalten sind und eine **Mindestströmungsgeschwindigkeit** (0,3 m/s) eingehalten wird. Bevorzugte Ein-

baulage ist daher vertikal von unten nach oben durchströmt. Außerdem sind entsprechende **Vorlauf-** und **Nachlaufstrecken** erforderlich. In der Praxis wird man mit einer Vorlaufstrecke von größer 3 x Nenndurchmesser und einer Nachlaufstrecke größer 2 x Nenndurchmesser das Auslangen finden. Wenn in der Rohrleitung ein Wasser-Luft-Gemisch strömt, so wird die Messung verfälscht. Es wird zwar die mittlere Geschwindigkeit korrekt gemessen aber der Rohrquerschnitt ist nicht ständig gefüllt (Gasblasen).

Der unter Vollfüllung arbeitende MID verbindet die Vorteile der Messung der mittleren Geschwindigkeit über den Meßquerschnitt mit der relativ **hohen Meßgenauigkeit** dieses Verfahrens, die zudem über einen **großen Meßbereich** garantiert wird. Von Nachteil ist der konstruktive Aufwand, der zur Erzielung des vollgefüllten Zustandes im Kanalnetz getrieben werden muß. Dies bedingt nicht zuletzt die Einordnung unter den Meßstellen mit Querschnittseinengung.

Bild 11: Mobile MID –Einheit zur Messung im Kanal



Im Kanal können **mobile Einheiten** bestehend aus einer Kanalblase, Rohren und Formstücken für Kontrollmessungen eingesetzt werden. Zum Lieferumfang gehören noch Akkus, ein Kompressor zum Füllen der Kanalblase und ein Datenlogger zur Datenaufzeichnung.

Eine Der Einbau in den Kanal kann auch mit einer Trichterförmigen Gummimanschette erfolgen. Diese

Einbaumethode erlaubt eine asymmetrische Anordnung des Rohres und ist besonders für große Rohrdurchmesser geeignet.

#### 4.2.4 Freispiegel - MID

Auch für den Abfluß mit freier Oberfläche ist das Meßprinzip einsetzbar. Der unterschiedliche Beitrag der einzelnen Querschnittsflächenanteile zur Meßspannung muß für jeden Wasserstand kompensiert werden. Wegen der Verbindung mit einer Wasserstandsmessung sind die erzielbaren Genauigkeiten geringer als beim vollgefüllten Querschnitt.

Der im Druckrohr eingesetzte MID bringt ein Meßsignal, so lange die Elektroden mit dem Meßmedium Berührung haben. Dies ist bei direktem Abgriff bis etwa zur halben Füllhöhe im Kreisrohr der Fall. Da nur durch den bewegten Leiter die Spannung induziert wird, im Luftraum unter Teilfüllungsbedingungen demnach kein Beitrag erbracht werden kann, ist vom Wirkungsprinzip her der MID auch unter Teilfüllungsbedingungen einsetzbar.

### 4.3 Hydrodynamische Verfahren

Diese Methoden nutzen die Tatsache, daß sich die in einem Wasservolumen enthaltene Energie zwischen "Energie der Lage" und "Energie der Bewegung" aufteilt. Das Aufteilungsverhältnis ist durch bauliche Rahmenbedingungen bestimmt. Prinzipiell ist zwischen **reibungs-**

**kontrollierter Strömung**, mit der für sie charakteristischen großen Längsentwicklung (stationärer gleichförmiger Abfluß), und **querschnittskontrollierter Strömung** (z.B. Meßwehr, Venturi) zu unterscheiden. Beide Methoden ermöglichen, unter der Voraussetzung bekannter Gerinnegeometrie bzw. Abmessung der Einschnürung, durch die Messung der **Wassertiefe** den Durchfluß zu berechnen. Eigentlich sind sie eine Sonderform der indirekten Verfahren.

Eine oder mehrere Wasserstandsmessungen sind nur dann aussagefähig für die Wassermengenbestimmung, wenn die strömungstechnischen Randbedingungen gleichzeitig Rückschlüsse auf die Fließgeschwindigkeit zulassen.

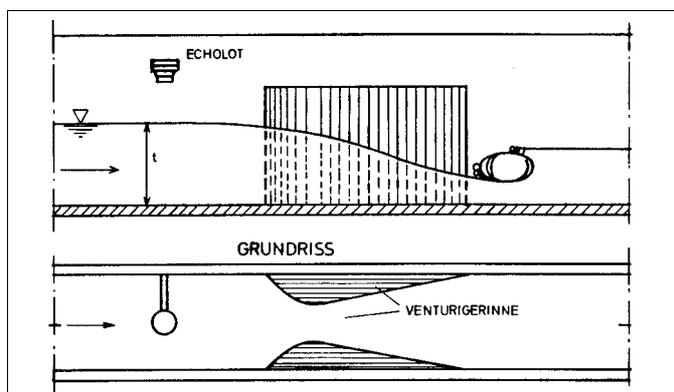
#### 4.3.1 Querschnittkontrollierte Strömung

Durch den Einbau einer Verengung soll ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Durchfluß und dem Wasserstand unmittelbar oberhalb der Einschnürung hergestellt werden. Möglich ist dies nur bei strömendem Zufluß und einem **Durchlaufen der Grenzverhältnisse** (Schießen) im Bereich der Verengung. Unter den Grenzverhältnissen besteht für jede beliebige Querschnittsform ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der dort auftretenden Grenztiefe und der zugehörigen Geschwindigkeit, d.h. es kann eine direkte Beziehung der Wassertiefe oberhalb der Verengung und dem Durchfluß hergestellt werden .

Das Verfahren setzt voraus, daß die Verhältnisse unterhalb der Verengung keinen Einfluß auf den Wasserstand vor der Verengung haben, der Durchfluß also rückstaufrei bleibt. Charakteristisch für dieses Verfahren ist der Aufstau und damit die Verzögerung der Fließgeschwindigkeit vor der Einengung, der Übergang zum Schießen hinter der Einengung und damit ein erzwungener Energiehöhenverlust im Wechselsprung beim **Fließwechsel Schießen-Strömen**. Die nachstehend genannten Verfahren unterscheiden sich im wesentlichen durch die Gestaltung der Verengung.

##### 4.3.1.1 Venturi-Kanäle

Wird in einem offenen Gerinne eine Einengung eingebaut, so daß im Oberwasser ein gewisser Aufstau erfolgt und im Meßprofil der Übergang von strömendem Abfluß in schießenden Abfluß erfolgt, so kann durch Messung des Wasserspiegels oberhalb des Fließwechsels die Wassermenge bestimmt werden. Solch ein System bedarf bestimmter Geometrie. Nachfolgende Skizze gibt darüber Auskunft.



Als Meßgröße wird die Wassertiefe vor der Einschnürung zweckmäßigerweise berührungslos, d.h. mit Hilfe einer Echo-Lotmessung, aufgenommen.

Bild 12: Venturi

Als Meßgröße wird die Wassertiefe vor der Einschnürung zweckmäßigerweise berührungslos, d.h. mit Hilfe einer Echo-Lotmessung, aufgenommen.

Dieses System wird auch als mobile Meßeinrichtung zum Einbau im Kanal angeboten. Die Vorteile von Venturi-Meßstellen sind:

- **geringer Gefälleverlust**
- **Sohlbereich unverbaut**
- **gute Genauigkeit** ab ca. 10% der Auslegungswassermenge

Wegen der großen Bedeutung wurden Venturi-Kanäle in der DIN 19559, Teil 2, genormt. Der Herstellung der Meßrinne (Fertigungs- und Montagegenauigkeiten) kommt besonderes Augenmerk zu. Eine häufig anzutreffende Form des Venturis ist der sogenannte "Khafagi-Venturi". Der Vorteil des Khafagiventuris liegt in der Tatsache, daß er im Hinblick auf die Energieverluste optimiert ist.

Wartungsabhängig ist der Zustand des Gerinnes oberstrom des Venturi-Kanals. Hier müssen mögliche **Ablagerungen entfernt** werden, damit die Anströmbedingungen unverändert bleiben.

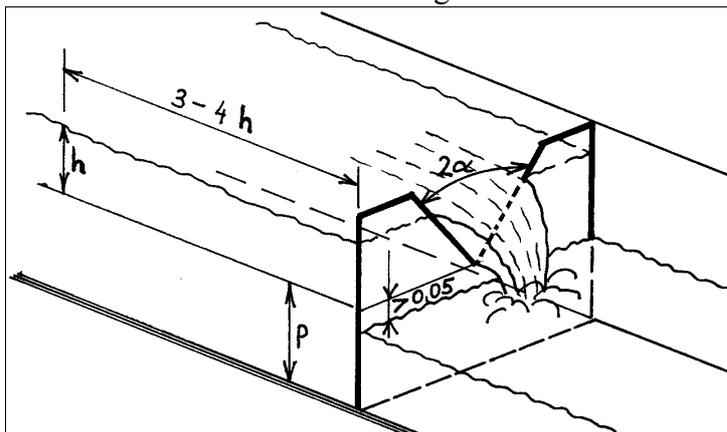
#### 4.3.1.2 Meßwehre

Meßwehre werden aus dünnwandigen Platten mit genau definierten Überfallkanten hergestellt. Je nach Meßaufgabe werden dabei dreieckige, rechteckige oder trapezförmige Ausschnitte gewählt. Der Einbau der Wehre erfolgt senkrecht zur Anströmrichtung im offenen Gerinne. Da der Überfallstrahl vollständig belüftet sein muß, ist eine Mindestwehrröhe zu beachten. Die Wehrkrone liegt höher als der Unterwasserspiegel. Der Abstand zwischen Gerinnesohle und dem Beginn der Überfallkante bedingt einen Aufstau. Bei ungeklärtem Abwasser können Meßwehre deshalb nur für **Kurzzeitmessungen** herangezogen werden. Dabei ist darauf zu achten, daß der Raum vor dem Meßwehr ablagerungsfrei bleibt und keine **Anlagerungen von Feststoffen an der Überfallkante** erfolgen. Unter günstigen Voraussetzungen, z.B. feststofffreiem, gereinigten Abwasser, können unter Beachtung der Einbaubedingungen sehr hohe Genauigkeiten erzielt werden. Das Dreieckwehr ist für stark schwankende Überfallmengen sehr gut geeignet. Beim Dreieckwehr sind Verhältnisse  $Q_{\min}/Q_{\max}$  bis 0,01 zu erzielen. Wegen des geringen baulichen Aufwandes (Stecknut) sind Meßwehre für Kontrollmessungen und zur Kalibrierung anderer Meßeinrichtungen geeignet.

Allen Überfallwehren ist gemeinsam, daß der Überfallstrahl nicht an der Meßwand "kleben" darf. Die Überfallkrone muß also jetzt stets scharfkantig sein, so daß das Wasser frei überstürzen kann. Voraussetzung für eine freie Strahlenbildung ist jedenfalls der allseitig freie Luftzutritt. Bei der Wehrmessung wird ein relativ großes hydraulische Gefälle benötigt.

Stellvertretend für die Meßwehre soll das Prinzip an Hand des Dreieckwehres erklärt werden.

Bild 13: Abfluß über ein dreieckiges Meßwehr



Die Abflußformel für diesen Typ des Meßüberfalls lautet:

$$Q = \frac{8}{15} * C_e * \tan \alpha * \sqrt{2g} * h^{5/2}$$

Der Durchflußbeiwert kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$C_e = 0,565 + 0,0087 * \frac{1}{\sqrt{h}}$$

Die Niveauhöhe  $h$ , sollte wegen der sich einstellenden Niveauabsenkung beim Überfall ca.  $4 \times h$  stromaufwärts gemessen werden. Die Wehrkante muß scharf ausgeführt werden (2 mm). Der Unterwasserstand sollte mindestens 50 mm unter der Wehröffnung liegen. Weiter Details zu Meßwehren findet man in einschlägigen Handbüchern der Hydraulik (z.B. HAGER 1994)

#### 4.3.2 Reibungskontrollierte Strömung

Wird auf die Querschnittseinengung verzichtet, so geht der eindeutige Bezug zwischen Abfluß und minimaler Energiehöhe verloren. Dies bedeutet vom Grundsatz her, daß diese eindeutige Beziehung in einem Kontrollquerschnitt ersetzt werden muß durch eine Zuordnung, bei der über die Längenentwicklung des Gerinnes ein Zusammenhang zwischen Wassertiefe und mittlerer Fließgeschwindigkeit in einem betrachteten Gerinneabschnitt gefunden werden muß (reibungskontrolliert). Die Durchflußbestimmung ist in diesen Fällen mit großen Toleranzen behaftet und als Grundlage für **Abrechnungen nicht brauchbar**.

### 5. Anforderungen an Durchflußmesseinrichtungen auf Kläranlagen

*„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“.*

Dieser Definition aus DIN 19559 Teil 1 ist lediglich hinzuzufügen, daß es den idealen Meßwertaufnehmer nicht gibt, sondern daß abhängig von Meßaufgabe und -stelle für den jeweiligen Fall Meßwertaufnehmer verfügbar sind, die den Eigenschaften eines idealen Meßwertaufnehmers mehr oder weniger nahe kommen.

Ganz allgemein sind bei der Auswahl des geeigneten Meßverfahrens die Eigenschaften des **Meßmediums**, der **Meßbereich** mit den Anforderungen an die **Meßgenauigkeit**, die **Betriebssicherheit** und **Wartungsfreundlichkeit** sowie **Rückwirkungen** auf das Abflußvermögen bei Querschnittsverengungen zu beachten. Bei Einsätzen im Bereich von Klärwerken steht in der Regel eine Stromquelle zur Verfügung, so daß die Meßwertanzeige und Speicherung der Daten in beliebiger Form erfolgen kann. Anders sind die Verhältnisse im Kanalnetz. Hier ist eine Installation mit eigener Stromversorgung unter Beachtung der entsprechenden Sicherheitsvorschriften wünschenswert.

Wird eine punktförmige oder streckenhafte Geschwindigkeit gemessen und handelt es sich um einen Freispiegelabfluß, so ist die Kenntnis der weiteren Signalverarbeitung (**Umrechnungsfaktoren** für die **mittlere Fließgeschwindigkeit** im Meßquerschnitt) unbedingt erforderlich.

Im Rohabwasser sind ungelöste Stoffe (**verzopfendes Material**) enthalten. Verfahren bei denen Sensoren im Wasserkörper angeordnet werden oder eine Einschnürung erfordern sind daher störanfällig.

Vor allem für die Durchflußmessung in **Kanalstrecken** ist für die wartungsarme Dauermessung eine Meßmethode anzustreben, die **rückstaufrei** bleibt.

Vom Meßprinzip her ist die Geschwindigkeitsmessung über den gesamten Querschnitt mit Hilfe des **Induktionsverfahrens** (MID) das genaueste Verfahren. Es ist als einziges Meßverfahren auch eichfähig!

## 6. Genauigkeit und Fehlerquellen

Die Praxis zeigt, daß die Durchflußmessungen häufig weder über die erforderliche Genauigkeit noch über die notwendige Zuverlässigkeit verfügen. Tatsache ist, daß einwandfrei arbeitende Durchflußmeßeinrichtungen in der Abwassertechnik eher die Ausnahme als die Regel sind.

Die Ursachen für falsche Meßergebnisse bei Durchflußmeßeinrichtungen kann man grob in drei Gruppen gliedern:

- ungünstige **Einbaugeometrie** und **Baufehler** (ungenügende hydraulische Randbedingungen)
- **Sensorfehler, Übertragungs- und Auswertefehler**
- **Bedienungs- und Wartungsfehler**

Herstellerangaben über die Meßgenauigkeit von Systemen können naturgemäß nur die zweite Gruppe berücksichtigen.

Jeder Meßmethode sind physikalische Grenzen in Bezug auf die erzielbare Genauigkeit gesetzt, die zudem mit dem Meßbereich veränderlich sind. Ganz allgemein sind an der oberen Bereichsgrenze, bei der Durchflußmessung also bei maximalem Durchfluß, die prozentualen Abweichungen des Meßwertes vom Sollwert am kleinsten, an der unteren Bereichsgrenze am größten.

Bei der Angabe von Fehlergrenzen ist zu beachten, auf welche Bedingungen hierbei Bezug genommen wird. Nach der DIN 19559, Teil 1, werden Garantie- und Verkehrsfehlergrenzen unterschieden. Die **Garantiefehlergrenzen** gelten dabei für die Kalibrierung auf einem Prüfstand unter Nennbedingungen. Die **Verkehrsfehlergrenzen** können ebenfalls auf die **Nennbedingungen** oder auf die davon abweichenden **Betriebsbedingungen** abgestellt sein. Dies ist z.B. dann gegeben, wenn das Meßmedium unter Nennbedingungen Reinwasser, unter Betriebsbedingungen dagegen Abwasser ist.

Auf Basis einer Zusammenstellung von DALLWIG ( 1988), Betrachtungen von UHL (1996) und einer Untersuchung von HAMILTON/WILLIAMSON (1987) erhält man folgende Tabelle mit Verkehrsfehlergrenzen verschiedener Durchflußmeßverfahren.

	VERRKEHRSFEHLER UNTER BETRIEBSBEDINGUNGEN		
	0,1 – 0,3 Q <sub>max</sub>	0,3 – 1,0 Q <sub>max</sub>	Literatur
Venturimeßstrecke	20%	12%	12 – 16%
Rechteckmeßwehr	12%	7%	4 – 6%
Dreieckmeßwehr	10%	6%	1 – 2%
MID bei Vollfüllung	4%	2%	4 – 8%
Geschwindigkeitsmessung			
Einpunktmessung	14 – 18%	14 – 18%	15%
Linienmessung	1 – 4%	1 – 4%	3 – 7%

Grundsätzlich sind für den **Anwender** die **Verkehrsfehlergrenzen** über den gesamten Meßbereich von besonderem Interesse. Nur dadurch stehen Angaben über die unter Betriebsbedingungen zu erzielenden Genauigkeiten zur Verfügung. Von den Herstellern können jedoch nur

Garantiefehlergrenzen angegeben werden, da ihnen der Einsatzort zumeist unbekannt ist und Einbauvorschriften nicht immer überwacht werden können. Durch Kontrollmessungen können Abweichungen von den Verkehrsfehlergrenzen vor Ort festgestellt werden. Jedoch ist hierzu ein Meßgerät mit einer höheren Genauigkeit zu verwenden als das zu überprüfende Gerät.

## 7. Schlussbemerkungen

Die Messung des Volumenstromes in Reinwasser ist eine klassische Ingenieuraufgabe die in vielen Bereichen als „gelöst“ betrachtet werden kann. Abwasser unterscheidet sich als Meßmedium von Reinwasser durch eine Reihe störender Inhaltsstoffe, wie Sand, Fasern, Schaum, Fett, schleimbildende Substanzen usw.. Weiter zu nennen sind die großen Schwankungsbereiche der Durchflüsse, z.B. zwischen Trocken- und Regenwetterabfluß, zwischen Tagesspitze und Nachtminimum.

Eine Vielzahl von Meßmethoden verursacht einen Rückstau im Oberwasser, der mit einer Verminderung der Fließgeschwindigkeit gekoppelt ist, wodurch die Neigung zum Absetzen von Feststoffen aus dem Abwasser verstärkt wird. Dies kann zu Störungen in der Abwasseranlage aber auch der Meßstelle führen

Für den erfolgreichen Einsatz mobiler Durchflußmengenmessungen ist nicht nur deren erreichbare Genauigkeit sondern auch die prinzipielle Eignung für den Einsatz im Rohabwasser (zopf-bildendes Material!) zu beachten. Insbesondere ist zu prüfen:

- Meßbereich: erforderlicher Mindestwasserstand im Kanal; Rückstau bei Maximaldurchfluß
- Betriebssicherheit und Wartungsintensität: ein System, dass durch zopfbildendes Material in kurzen Abständen gesäubert werden muß eignet sich nicht zum Einsatz in Rohabwasser

Alle Systeme benötigen regelmäßige **Wartung** und **Kontrollen**, erst dadurch können **zuverlässige Meßergebnisse** erhalten werden.

## Literatur

- : *Magnetisch-Induktive Durchflußmessung auf Kläranlagen Grundlagen und Anwendung*. Herausgeber Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft Universität - Gesamthochschule Kassel; Hirthammer Verlag München (1993)
- ATV (1987): *Qualitative Durchflußmessung. Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.5. KA 34 (1987) Nr. 11, S. 1205-1214*
- ATV (1996): *Durchflußmessung in Abwasseranlagen; ATV Schriftenreihe Band 1*
- DIN 19559, Teil 1: *Durchflußmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen; Allgemeine Angaben*
- DIN 19559, Teil 2: *Durchflußmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen; Venturi-Kanäle*
- DALLWIG H.-J.(1988): *Abwasserdurchflußmessung: Anforderungen, Möglichkeiten und Realität. Techn. Ber. über Ingenieurhydrologie und Hydraulik. TH Darmstadt Nr. 40 , S. 283-298*
- ERB H.G.. (1996): *Kontinuierliche Durchflußmessung zur Optimierung der Kanalnetzbewirtschaftung in Mischwassersystemen. KA 43 Nr.12, S. 2147-2154.*
- ERB H. G. (1997): *Durchflußmesstechnik für die Wasser und Abwasserwirtschaft; Vulkan Verlag Essen*
- HAGER W.H. (1994): *Abwasserhydraulik, Springer Verlag*
- HAMILTON I.M.; WILLIAMSON K. (1987): *Evaluation of Closed Pipe Flowmeters at Sewage Treatment Works, Summary Research Report ER 241/IE, Great Britain: WRc Engineering*  
zitiert bei UHL M.(1996): *Durchflußmessung in Abwasseranlagen; ATV Schriftenreihe Band 01, S. 105 - 152*
- HASSINGER R. (1992) : *Überprüfung von Durchflußmeßeinrichtungen im Abwasserbereich. Wasser-Abwasser-Abfall Band 8; Kassel, S. 107-112*
- MARCHEWKA W.(1992): *Magnetisch-Induktive Durchflußmessung in der Abwassertechnik. Wasser-Abwasser-Abfall Band 8; Kassel, S. 71-106*
- UHL M.(1996): *Durchflußmessung in Abwasseranlagen; ATV Schriftenreihe Band 01, S. 153 - 176*
- WAHLEN U.(1989): *Praktische Erfahrungen mit Abflußmessungen bei Indirekteinleitern. GWA 111, S. 245-274.*
- VALENTIN F.(1989): *Stand der Entwicklung der Durchflußmessung bei der Indirekteinleiterkontrolle. GWA 111 , S. 189-212.*
- VALENTIN F. (1990): *Einsatz kombinierter Meßwertaufnehmer für die Durchflußmessung. KA 37 (1990) Nr.6, S. 696-699.*
- VALENTIN F. (1992): *Hinweise zur Zuverlässigkeit der Durchfluß- und Wasserstandsmessungen auf Kläranlagen. Wasser-Abwasser-Abfall Band 8; Kassel 1992, S. 53-70.*

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey  
Ingenieurkonsulent für Maschinenbau  
**A**bwassertechnische **A**usbildung und **B**eratung  
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2  
A-2100 Korneuburg

Telefon: 0043 2262 68173

Fax: 0043 2262 66385

e-mail: aab.frey@aon.at