

Qualitätskontrolle von Durchflussmessungen

Wilhelm Frey

Hofgartenstrasse 4/2, 2100 Korneuburg/Leobendorf

Kurzfassung: In einer einleitenden Betrachtung wird versucht eine Definition der „Qualität“ von Durchflussmessungen zu geben. Anschließend wird das Funktionsprinzip häufig eingesetzter Messmethoden kurz dargestellt. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf den, dass Messergebnis beeinflussenden Parametern. Für jedes System werden auch Messbereiche, Stärken und Schwächen sowie auch typische Fehlergrenzen unter Betriebsbedingungen angegeben. In einem Allgemeinen Punkt „Genauigkeit – Messabweichung“ werden Hinweise zum Verständnis von Literaturangaben gegeben. Den Abschluss bilden Ausführungen zur Überprüfung von Durchflussmeseinrichtungen ergänzt durch zwei Fallbeispiele.

Key-Words: Durchflussmessung, Massendurchflussmesser, Messabweichung, Messblende, magnetisch-induktive Durchflussmessung, Venturi

1 Einleitung

Bei der Beschäftigung mit dem Thema „Qualitätskontrolle von Durchflussmessungen“ denkt man zunächst an

- Die Festlegung des Messbereichs
- Die Auswahl des Messsystems
- Den geeigneten Messort
- Die Dimensionierung der Systemkomponenten
- Den richtige und sorgfältige Einbau
- Die sorgfältige Inbetriebsetzung und Justierung
- Die Schulung des Bedienpersonals
- Die erforderliche Wartung
- Die Kontrollmöglichkeiten
- Usw. usw.

Der zweite Blick zeigt aber, dass im Vorfeld Überlegungen zu den Fragen

- Müssen alle Parameter die gemessen werden können auch gemessen werden?
- Welche Messungen sind verfahrenstechnisch notwendig und technisch sowie wirtschaftlich sinnvoll?
- Ist der Messwert, der Parameter der mich eigentlich interessiert (z.B. Faulgasvolumenstrom - Eigenenergieproduktion)?

Es steht außer Zweifel, dass die Volumenstrommessung des Abwassers eine zentrale Größe für den Betrieb einer Kläranlage ist. Der Durchfluss wird z. B. zur Berechnung von Schmutzfrachten, zur Steuerung durchflussproportionaler Probenahmegeräte und zur Kostenaufteilung zwischen den Einleitern benötigt. Eine sorgfältige Planung, die regelmäßige Wartung und die Überprüfung der Messeinrichtungen sind daher unbedingt erforderlich.

Ebenso kommt der Messung des Luftvolumenstroms, speziell bei großen Anlagen mit Druckbelüftungssystemen, hohe Bedeutung zu. Hier stellt sich in der Regel die Aufgabe, den von einem Gebläse erzeugten Luftstrom auf mehrere Becken aufzuteilen.

Im vorliegenden Beitrag kann nur einen kurzen Überblick der häufig zum Einsatz kommenden Systeme gegeben werden. Für umfassende Darstellungen wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (z. B. BONFIG 2002; ERB 1997; ATV 1996; DIN Taschenbuch 229).

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 Strömungsgeschwindigkeit

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

Wie diese Definitionen zeigen ist der Durchfluss also keiner unmittelbaren Messung zugänglich. Er ist vielmehr nur aus mehreren Messgrößen berechenbar.

3 Messeinrichtungen für Flüssigkeiten

Für die Messung des Zu- und Ablaufvolumenstromes kommen auf Kläranlagen bevorzugt Verfahren zum Einsatz bei denen der Durchfluss aus dem Produkt durchströmter Querschnitt mal Fließgeschwindigkeit gebildet wird.

Bei den meisten Messverfahren sind der Wasserstand und/oder die mittlere Fließgeschwindigkeit unverzichtbare Messgrößen zur Bestimmung des Durchflusses. Die Messung der Wassertiefe wird häufig mittels Ultraschallmessung durchgeführt, Druckmessungen, Einperlmessungen und Schwimmermessungen trifft man selten an. Arbeitet das System mit voll gefüllten Rohrleitungen, so entfällt die Messung und es wird die Querschnittfläche des Fließquerschnittes direkt berechnet.

Die Fließgeschwindigkeit kann punktförmig, linienförmig oder flächig ermittelt werden. Es kommen magnetisch induktive, Ultraschall-Laufzeit(Phasenverschiebung)- und Ultraschall-Doppler- sowie Radarmessgeräte zum Einsatz.

Der bekannteste Vertreter der Messverfahren bei denen die Strömungsgeschwindigkeit zur Berechnung des Volumenstroms genutzt wird ist der Magnetisch Induktive Durchflussmesser (MID).

Einen Sonderfall stellen die Verfahren mit Staukörpern im Gerinnequerschnitt dar (querschnittkontrollierte Strömung). Durch den Einbau einer Verengung wird ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Durchfluss und dem Wasserstand oberhalb der Querschnittverminderung hergestellt. Möglich ist dies nur bei strömendem Zufluss und Durchlaufen der Grenzverhältnisse (Wechselsprung) im Bereich der Verengung. Unter den Grenzverhältnissen besteht für jede 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. Für die Berechnung des Volumenstroms ist dann nur die Messung der Wassertiefe erforderlich. Typische Vertreter dieser Verfahren sind Venturikanäle und Messwehre.

Im Folgenden werden für einige ausgewählte Messeinrichtungen wichtige Gesichtspunkte zur Sicherstellung der Funktion besprochen. Viele der getroffenen Aussagen sind direkt auch auf andere nicht im Detail besprochene Messeinrichtungen übertragbar. Auf eine Darstellung der Entwurfskriterien und Bemessungsmethoden wird bewusst verzichtet.

3.1 Allgemeines

Die Auswahl eines geeigneten Messverfahrens, die Sicherstellung hydrometrisch günstiger Strömungsverhältnisse sowie die Einhaltung der Einbaubedingungen sind wichtige Voraussetzungen für die störungsfreie Funktion der Messeinrichtung. Eine sorgfältige Planung muss deshalb folgende Fragen beantworten:

- Exakte Formulierung der Aufgabenstellung Ist eine Messung überhaupt erforderlich?
- Welche Genauigkeit der Messeinrichtung ist notwendig (Kosten-Nutzen)?
- Welcher Messbereich ist erforderlich (Auslegung auf die tatsächlich auftretenden Volumenströme!)? Die richtige Auslegung des Messbereiches ist entscheidender als hohe Anforderung an die Fehlergrenzen.
- Sind Änderungen der hydraulischen Belastung durch zukünftige Erweiterungen abzusehen? Wie kann das Messsystem angepasst werden?
- Sind die Komponenten des Messsystems sinnvoll aufeinander abgestimmt?
- Ist die Zugänglichkeit der Messstelle (Sichtkontrolle, Reinigung, etc.) gewährleistet?
- Wurden konstruktive und bauliche Erfordernisse für eine spätere Kontrolle des Messsystems berücksichtigt?

3.2 Venturikanal

Um den Rahmen des Beitrages nicht zu sprengen, wird nur auf die einfachste Form des Venturikanals eingegangen. Spezielle Gerinneformen, eingestaute Ausführungen und Sohlschwellen werden ausgeklammert.

3.2.1 Funktionsprinzip

Durch eine Querschnittseinschnürung in einem offenen Gerinne wird ein Fließquerschnitt mit Grenzabfluss erzeugt, in dessen Abstrom eine kurze Strecke mit schießendem Abfluss auftritt. Diese schießende Strömung verhindert, dass sich Störungen aus dem Unterwasser stromaufwärts fortpflanzen, womit eine feste Beziehung zwischen Wasserstand im Oberwasser und Abfluss durch das Venturi-Gerinne sichergestellt ist (Abflusskurve). Aus dem gemessenen Oberwasserstand lässt sich, unter Anwendung der Abflusskurve, der Durchfluss berechnen.

Man unterscheidet Standard-Rinnen deren Abflusskurve nach DIN 19 559 theoretisch berechenbar ist und Fertigteil-Rinnen die auf hydraulischen Prüfständen kalibriert werden. Ihre Durchflusscharakteristik ist innerhalb einer Modellfamilie auf die gesamte Baureihe übertragbar.

In Abbildung 1 ist der Aufbau einer Venturimesstrecke dargestellt.

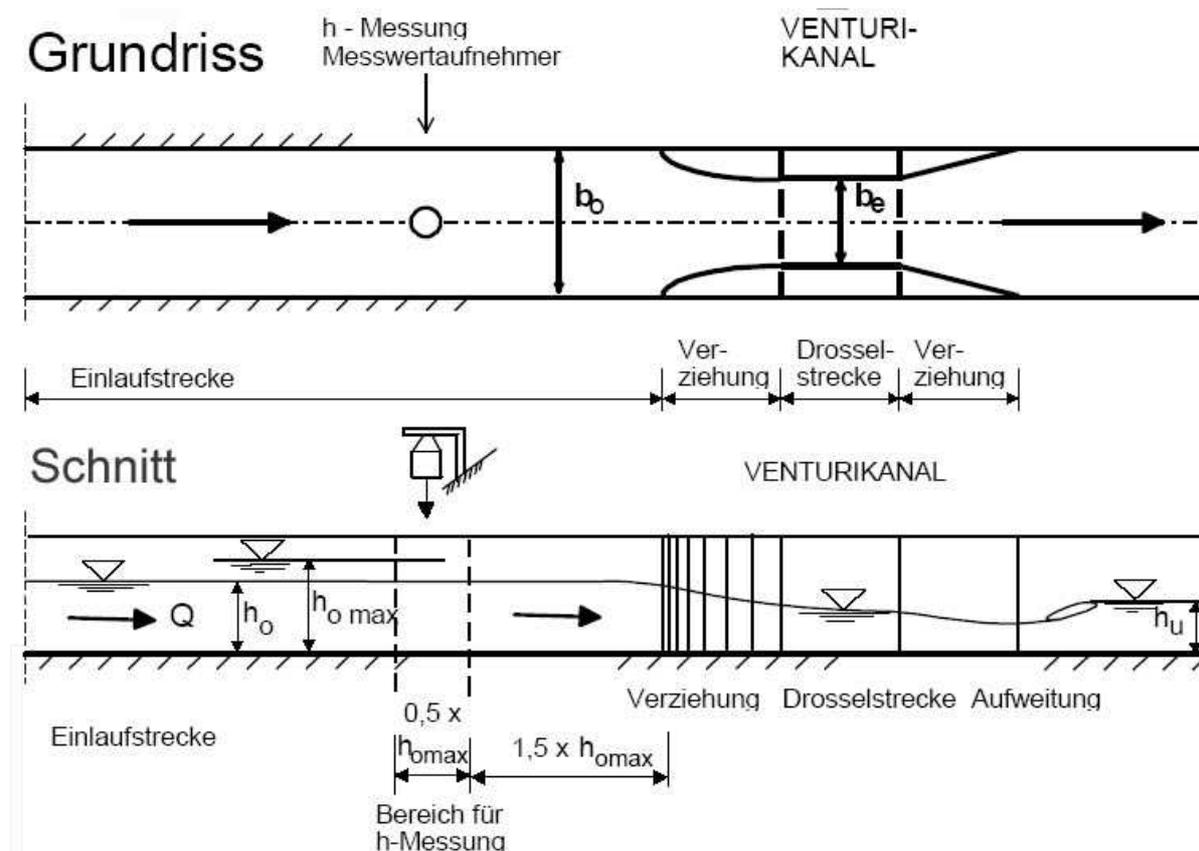


Abbildung 1: Aufbau Venturimesstrecke

Nach DIN 19 559 gelten folgende Rahmenbedingungen für den Einsatz von Venturikanälen:

- Kleinster messbarer Volumenstrom (im Rohabwasser) ca. 5 L/s
- Zulässige Mindestwassertiefe 3 cm
- Messbereich ca. $Q_{\min} : Q_{\max} = 1 : 10$

3.2.2 Einlaufstrecke

Ideal ist der Normalabfluss im Oberwasser, bei dem Druck- und Energiehorizont parallel verlaufen, d.h. der Wasserspiegel verläuft parallel zum Sohlengefälle. Dies setzt ein ausreichend langes gerades Kanalstück gleich bleibender Geometrie voraus. Dadurch wird eine Vergleichmäßigung der Geschwindigkeitsverteilung im zuströmenden Wasser erreicht.

Um Normalabfluss zu erreichen gelten folgende Bedingungen für den Einlaufbereich:

- Konstantes Gefälle
- Geradliniger Verlauf der Gerinneachse und der Messstrecke
- Keine vor- und/oder zurückspringenden Unebenheiten von Gerinnesohle und -wandung
- Keine Veränderung des Volumenstroms durch seitlichen Zu- und/oder Ableitungen
- Keine störenden Einbauten (Probenahmeschlauch, Lufteinperlrohr, etc.)

Die erforderliche Länge der Einlaufstrecke hängt von der Art der Zuströmung ab. In normalen Fällen sieht die DIN 19 559 eine 10xGerinnebreite lange Einlaufstrecke vor. In ungünstigen Fällen kann eine bis 20xGerinnebreite lange Einlaufstrecke erforderlich werden (Hessisches Landesamt 2001).

3.2.3 Verziehung, Drosselstrecke und Aufweitung

Die Verziehung muss strömungsgünstig ausgebildet sein und tangential in die Drosselstrecke einmünden. Die Länge beträgt üblicherweise das 1,5 fache der Breitenänderung.

Das Gefälle der Gerinnesohle darf im Bereich der Verziehung und bis zum Ende der Drosselstrecke nicht negativ und nicht größer als in der Einlaufstrecke sein (DIN 19 559). Günstigerweise wird der Bereich vom Ort der Wasserstandsmessung bis zum Ende der Wiederaufweitung horizontal und eben ausgeführt.

3.2.4 Zulässiger Unterwasserstand

Der Unterwasserstand muss so niedrig bleiben, dass der Fließwechsel (Grenztiefe) in der Einschnürung nicht eingestaut wird. Bei Venturi-Kanälen, die sich wieder allmähliche 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 nicht, da dieser durch die Höhenlage nachfolgender Gerinneabschnitte ebenfalls eingestaut sein kann.

3.2.5 Bezugsniveau für Wasserstandsmessung

Das Nullniveau befindet sich aus hydraulischen Gründen in der Höhe der Rinnsensole an dem Punkt, an dem sich die Grenztiefe einstellt. Der Ort des Auftretens der Grenztiefe kann innerhalb des eingeschnürten Bereichs nicht exakt angegeben werden, woraus sich die Forderung ergibt, dass die Sohle hier horizontal liegen muss. Fälschlicherweise wird die Sohle unter dem Höhensensor in der Praxis oft als Null-Niveau verwendet.

3.2.6 Lage der Messstelle für die Wasserstandmessung

Die durch die Einschnürung des Querschnitts verursachte Wasserspiegelabsenkung beginnt in Gerinnemitte bereits oberhalb der Verziehung. Die Messstelle für die Wasserspiegelhöhe muss deshalb soweit oberhalb liegen, dass die Absenkung vernachlässigbar klein ist. Geringer Durchfluss erfordert eine möglichst nahe Messstelle während für größere Volumenströme größere Abstände günstiger sind. Die DIN 19 559 gibt für diesen Punkt einen Bereich vom 1- bis 2-fachen der maximalen Oberwassertiefe 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, der zur Erfassung des Maximalabflusses besser geeignet ist.

Eindeutige Strömungsverhältnisse bei glattem Wasserspiegel sind hinsichtlich Genauigkeit wichtiger als eine möglichst kostengünstige Halterung und Kabelführung.

Gute Zugänglichkeit der Messstelle und freie Sicht auf den Messwertaufnehmer sind von großem Vorteil. Auch eine direkte Anzeige der Messgröße (Fliesstiefe h) am Messort, d.h. vor der Übertragung ins Betriebsgebäude, ist sehr empfehlenswert. Eine permanente einfache Pegelskala an der Kanalwand dient der täglichen Grobkontrolle. Witterungseinflüsse wie Regen, Schnee und Wind sind fernzuhalten.

3.2.7 Hinweise zur Wasserstandmessung

Die Messung der Fließtiefe erfolgt häufig mit Ultraschallsensoren vereinzelt werden auch Druckmessdosen und die Lufteinperlung eingesetzt.

Der Druck an der Gerinnesohle und die Wassertiefe sind nur bei stehendem Wasser oder Normalabfluss identische Größen. Bei asymmetrischen Strömungen bietet die direkte Spiegelmessung Vorteile. Um Asymmetrien möglichst aus dem Wege zu gehen sind Messungen in Kanalmitte, d.h. über der Mittelachse, vorzuziehen.

Messwertaufnehmer im Wasser, wie Drucksonden und Lufteinperleinrichtungen, sind grundsätzlich sensibel auf Ablagerungen, und zwar sowohl wegen direktem Verschmutzen als auch wegen lokaler Strömungsverfälschung.

Lufteinperlen setzt einen gewissen, wenn auch geringen, relativen Überdruck gegenüber dem hydrostatischen Druck voraus. Kleine Wassertiefen unterliegen eventuell einem systematischen Fehler. Häufig sind die Austrittsöffnungen an der Wand angeordnet und nicht entlang der Achse.

Ablagerungen im Gerinne verfälschen sowohl die zu messende Fliesstiefe als auch das Geschwindigkeitsprofil bis hin zur Asymmetrie. Die Wahrscheinlichkeit von Ablagerungen ist bei $v_0 < 0.5$ m/s deutlich erhöht.

Berührungsloses Messen von oben, üblicherweise mittels Ultraschall (Echolot) kann bei Schaumbildung, Wellenbildung oder Schwimmstoffen an der Oberfläche Fehlmessungen nach sich ziehen.

Zur Sicherstellung eines störungsfreien und genauen Betriebs sind folgende Vorkehrungen sinnvoll und hilfreich:

- 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 ohne Referenzbügel; 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.
- Höhenmäßig genau eingemessene Höhenmarke im Oberwasser; misst man von dieser Höhenmarke mit einem Maßstab auf den Wasserspiegel, lässt sich die aktuelle Wasserspiegelhöhe sowie der Volumenstrom mit Hilfe der Abflusskurve (vorzugsweise in Form einer Tabelle) leicht kontrollieren.

3.2.8 Vor- und Nachteile Venturi

Die Vor- und Nachteile verstehen sich immer bei sorgfältiger Planung, Errichtung und Betrieb.

Vorteile:

- Auf internationaler Ebene genormte Ausführungen verfügbar
- Keine beweglichen Teile
- Gute Eignung für ungereinigtes Abwasser
- Einfach zu reinigen

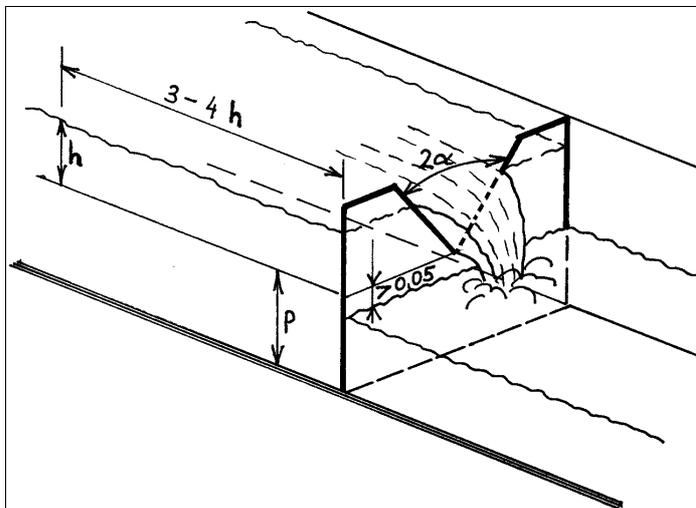
Nachteile:

- Hoher Bauaufwand
- Großer Platzbedarf

- Kontrolle auf Ablagerungen erforderlich (ungereinigtes Abwasser)
- Relativ geringer Messbereich (typisch 1:10)
- Fehlmessungen bei Einstau

3.3 Messwehr

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. 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. 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 stets scharfkantig sein (2mm), so dass das Wasser frei überstürzen kann. Voraussetzung für eine freie Strahlbildung ist jedenfalls der allseitig freie Luftzutritt (Abbildung 2). Bei der Wehrmessung wird ein relativ großes hydraulisches Gefälle benötigt.

Abbildung 2: Abfluss über ein dreieckiges Messwehr

Die Niveauhöhe h , sollte wegen der sich einstellenden Niveauabsenkung beim Überfall ca. $4 \times h$ stromaufwärts gemessen werden. Der Unterwasserstand sollte mindestens 50 mm unter der Wehröffnung liegen.

3.3.1 Vor- und Nachteile Messwehr

Vorteile:

- Auf internationaler Ebene genormte Ausführungen verfügbar
- Verschiedenste Typen, zum Teil mit großem Messbereich (Dreieckwehr) verfügbar (bis 1:100)
- Geringe Kosten für die Messtechnik
- Geringe Messwertabweichungen
- Einfache Kontrolle möglich

Nachteile:

- Keine durchgehende Sohle, Aufstau erforderlich
- Großer hydraulischer Verlust
- Für ungereinigtes Abwasser (Sedimente, Grobstoffe) nicht geeignet

3.4 Ultraschall-Laufzeitverfahren, -Phasendifferenzverfahren

Bei diesen Messgeräten 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, den Winkel zwischen Messstrecke und Hauptströmungsrichtung sowie 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.

Die Messung der mittleren Fließgeschwindigkeit erfolgt nur auf der durch die Sensoren vorgegebenen Messstrecke. Üblicherweise wird davon ausgegangen, dass das Strömungsprofil radialsymmetrisch ist (Einlauf und Auslaufstrecken erforderlich). Die gemittelte linienförmige Geschwindigkeit entspricht dann einer flächenhaft gemessenen Geschwindigkeit. Zur Erhöhung der Messgenauigkeit können die Schallwege vervielfacht werden. Die Berechnung des Volu-

menstromes erfolgt wieder durch Multiplikation der Geschwindigkeit mit dem Rohrquerschnitt.

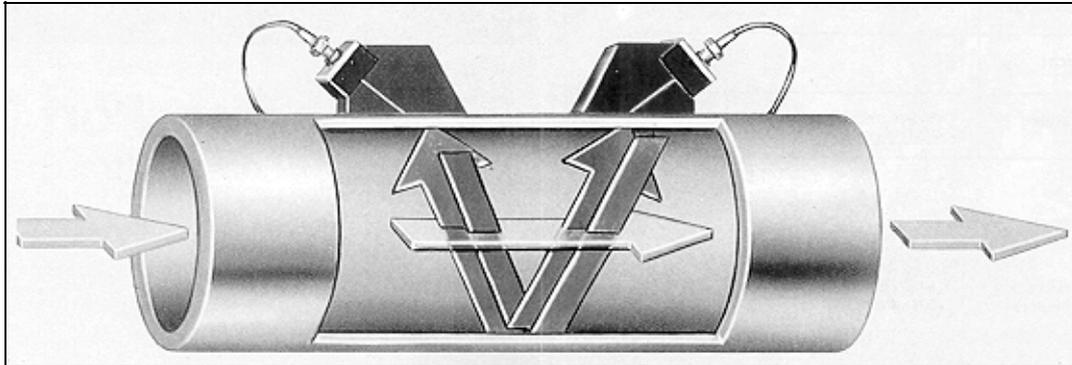


Abbildung 3: Geschwindigkeitsmessung im voll gefüllten Rohr

Die Messung kann für Parallelmessungen an MID Messeinrichtungen eingesetzt werden. Voraussetzungen sind: voll gefüllte Rohrleitung, nicht zu hohe Feststoffgehalte und eine ungestörte, radialsymmetrische Rohrströmung. Einige der angebotenen Geräte erlauben eine Anpassung des Signals an das Medium. So kann beispielsweise die Leistung und/oder die Frequenz variiert werden.

Die mobilen Geräte werden außen auf das Rohr „aufgeschnallt“. Die Befestigung an den Rohren erfolgt mittels Bändern, Schellen oder Ketten. Die Positionierung der kombinierten Sende- und Empfangsköpfe muss sehr exakt erfolgen, so dass die Signale den Empfänger auch erreichen. Bei Rohrdurchmessern bis ca. 300 mm funktioniert die Justierung der Köpfe mittels Positioniergestänge relativ einfach. Bei größeren Rohrdurchmessern ist in der Regel ein Helfer sowie einige Erfahrung und Geschick erforderlich um die Köpfe am Rohr zu befestigen.

3.4.1 Vor- und Nachteile Ultraschall-Laufzeit, Phasendifferenz

Vorteile:

- Nachträgliche Anbringung möglich
- Keine wasserberührenden Teile (bei Aufschnallmethode)
- Keine Druckverluste
- Einfache Montage (bei nicht zu großen Durchmessern)
- Keine Mindestleitfähigkeit erforderlich

Nachteile:

- Hohe Feststoffkonzentrationen stören die Messung
- Ablagerungen an den Wänden stören die Messung
- Justieren der akustischen Pfade erfordert Erfahrung
- Nicht einsetzbar bei Teilfüllung
(Sonderkonstruktionen für Gerinne verfügbar)

3.5 Ultraschall-Dopplerverfahren

Bei diesen Messgeräten wird ein Ultraschallsignal in das Medium abgestrahlt. Die Anwesenheit von Feststoffteilchen im Messmedium ist Voraussetzung dafür, dass Reflexionen auftreten. Im Bereich der Überdeckung der Schallkegel von Sender und Empfänger, die bei diesem System an der Gerinnesohle angebracht sind, wird durch die dort bewegten Partikel eine geschwindigkeitsproportionale Frequenzverschiebung verursacht. Letztendlich wird auf diese Weise in einem vom Messwertempfänger abhängigen Bereich im Inneren der Flüssigkeit die örtliche („punktförmige“) Geschwindigkeit der mitgeführten Partikel gemessen.

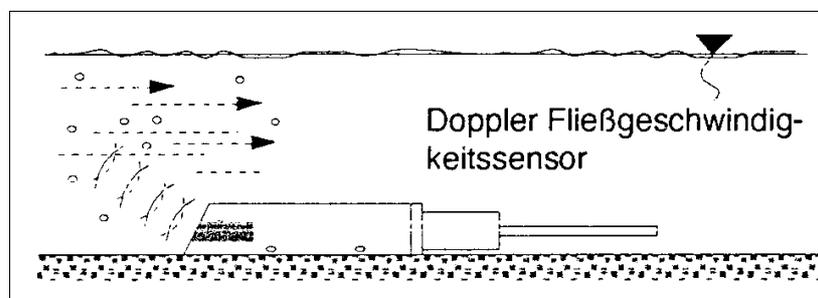


Abbildung 4: Ultraschall-Doppler-Geschwindigkeitsmessung (Kanalrinne)

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.

Neuere Systeme erlauben in verschiedenen Abständen über dem Sensor die örtlichen Geschwindigkeiten zu messen und diese Signale zu einer mittleren Geschwindigkeit umzuformen.

3.5.1 Vor- und Nachteile Ultraschall-Dopplerverfahren

Vorteile:

- Keine (nur geringe) Einengung des Strömungsquerschnittes
- Nachträglicher Einbau möglich
- Kein Aufstau erforderlich
- Rückstau ist kein Problem

Nachteile:

- Geringe Wassertiefen nicht messbar
- Verzopfungen an Sensor und Kabel
- Sensormontage aufwändig
- Kalibrierung vor Ort (vor allem bei einfachen Systemen) erforderlich

3.6 Radarmessung

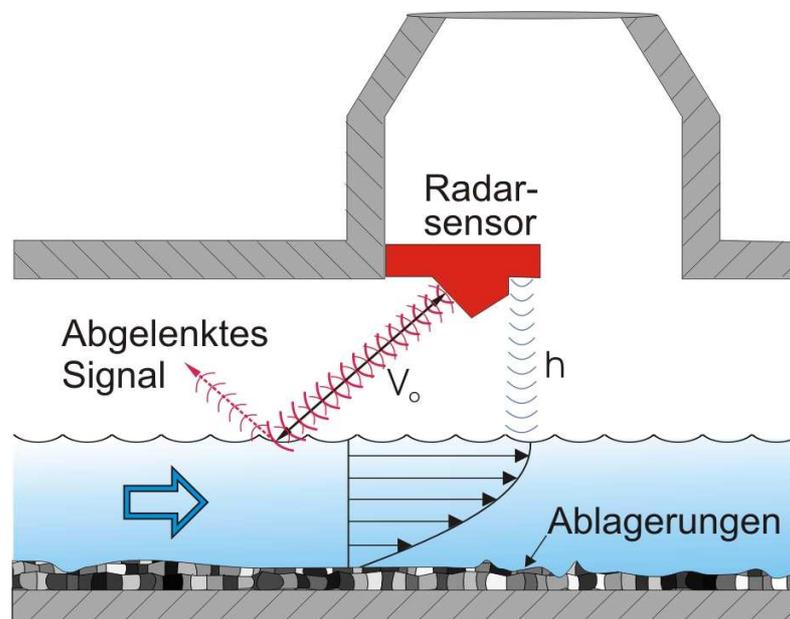


Abbildung 5: Funktionsprinzip Radarmessung (*Quelle: Utek*)

Der Radarstrahl ist auf den abfließenden Wasserstrom gerichtet. Aus dem zurückgestreuten Signal wird mittels Dopplerverschiebung die Oberflächengeschwindigkeit berechnet (Abbildung 5). Der Wasserstand wird mittels Ultra-

schall gemessen. Der Radarstrahl erfasst einen relativ großen Oberflächenbereich. Voraussetzung für die Funktion ist ein leichter Wellenschlag an der Oberfläche.

3.6.1 Vor- und Nachteile Radarmessung

Vorteile:

- Keine Beeinflussung der Strömung durch die Messeinrichtung
- Keine wasserberührenden Teile
- Keine zusätzlichen Druckverluste

Nachteile:

- Kalibrierung vor Ort erforderlich
- Ablagerungen verursachen Messabweichungen
- Einstau verursacht Messabweichungen
- Geschwindigkeit und Wassertiefe wird an verschiedenen Orten gemessen

3.7 Magnetisch Induktive Durchflussmessung (MID)

3.7.1 Funktionsprinzip

Bei der magnetisch-induktiven Durchflussmessung wird durch die Wechselwirkung zwischen Strömungsgeschwindigkeit einer elektrisch leitfähigen Flüssigkeit und einem Magnetfeld eine elektrische Spannung erzeugt. Mit zwei in der Wand des Messrohrs angeordneten Messelektroden kann die geschwindigkeitsproportionale Spannung abgegriffen werden (Abbildung 6).

Diese Spannung wird im Messwertumformer verstärkt, auf den Volumenstrom umgerechnet und auf der Anzeige dargestellt. Zur Umrechnung der abgegriffenen Spannung auf die mittlere Fließgeschwindigkeit im Messquerschnitt muss die Wertigkeitsfunktion berücksichtigt werden. Die Wertigkeitsfunktion gibt an welchen Anteil einzelne Volumenelemente, in Abhängigkeit der Lage und Form der Elektroden, an der gemessenen Spannung haben (BONFIG 2002). Liegt ein stark unsymmetrisches Strömungsprofil vor, so kommt es durch die

stark unterschiedliche Wichtung der Teilgebiete des Querschnittes zu Messfehlern.

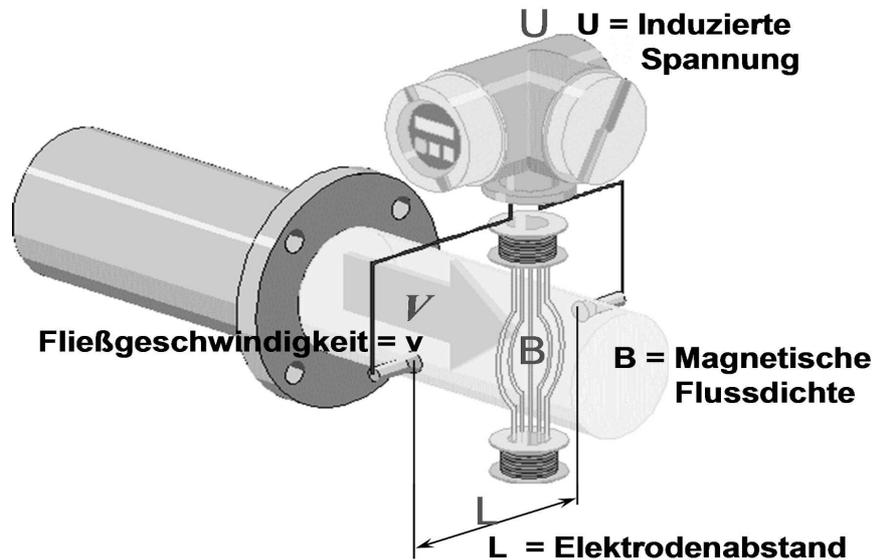


Abbildung 6: Messprinzip MID (Quelle: Endress+Hauser)

Wird eine Mindestleitfähigkeit (typisch 5 mS/m) überschritten, so ist die induzierte Spannung nicht von Dicke und Material des Leiters, also der Art der Flüssigkeit, abhängig. Bei Abwasser und Schlamm ist die erforderliche Mindestleitfähigkeit immer überschritten.



In Abbildung 7 ist die Wertigkeitsfunktion für zwei gegenüberliegende punktförmige Elektroden dargestellt. Die Höhe über der Grundebene entspricht der Wertigkeit mit der ein Volumenelement zur Gesamtspannung beiträgt.

Abbildung 7: Wertigkeitsfunktion für Punktelektroden nach SHERCLIFF (1955)

Magnetisch-induktive Durchflussmesser arbeiten nach dem Prinzip einer Geschwindigkeitsmessung in einem bekannten Fließquerschnitt, wobei durch Vollfüllung des Rohres dafür gesorgt werden muss, dass der Fließquerschnitt bekannt ist. Neu sind induktive Durchflussmesser für Teilfüllung, über deren Eignung für Abwasser-Durchflussmessung, insbesondere im Kläranlagenzulauf, erst wenige Betriebserfahrungen vorliegen.

Folgende Ausführungen beschränken sich auf die voll gefüllte MID, spezielle Lösungen für teilgefüllte Rohrleitungen und offene Gerinne werden nicht behandelt.

Die Geräte bestehen in der Regel aus einem Messwertaufnehmer, der in die Rohrleitung eingebaut wird und einem Messwertumformer. In Abbildung 8 ist der Aufbau einer MID-Messstrecke dargestellt.

Zur Sicherstellung der Funktion ist dafür zu sorgen, dass innerhalb des Messaufnehmers eine nahezu gleichförmige, turbulenzarme Strömung ohne Lufteinschlüsse vorliegt. Leichte Abweichungen vom voll ausgebildeten turbulenten Geschwindigkeitsprofil sind unschädlich, solange das Profil radialsymmetrisch ist (Wertigkeitsfunktion!).

3.7.2 Sicherstellung der Rohrvollfüllung

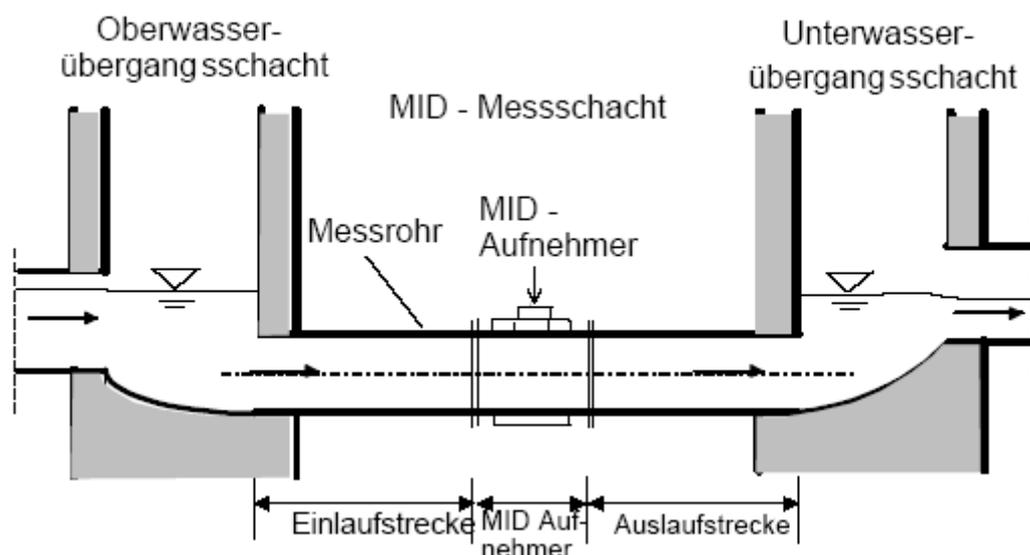


Abbildung 8: Aufbau einer MID – Messstrecke (Quelle: Hessisches Landesamt 2001)

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 Übergangsschächte zu erzeugen ist. Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt eine typische Anordnung.

Die vom Unterwasserspiegel bestimmte Drucklinie muss im Bereich der MID über dem Rohrscheitel liegen, was durch einen Hochpunkt unterstrom des MID-Messrohrs erreicht wird. Diese Tieferlegung des Messrohrs wird als Dükerung bezeichnet.

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

Die Übergangsschächte im Ober- und Unterwasser der MID müssen die Strömung beruhigen. Der oberwasserseitige Übergangsschacht muss so gestaltet sein, dass die Strömung ruhig und ablösungsfrei in das Rohr übergeführt wird. Ablagerungen müssen vermieden werden. Die hydraulische Berechnung kann nach den Methoden der stationären Rohrhydraulik (ATV Arbeitsblatt A 110) unter Anwendung des Reibungsansatzes nach Prandtl-Colebrook erfolgen.

An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass der eigentliche MID-Messwertaufnehmer praktisch keine Verluste erzeugt. 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.

In manchen Fällen genügt es die Rohrleitung nach unten zu verschwenken um Vollfüllung sicher zu stellen (Abbildung 9). Sinnvollerweise wird der untere Bogen mit einem T-Stück ausgerüstet, durch das Ablagerungen entfernt werden können und eine Reinigung des Messrohres möglich ist. Für Kontrollzwecke wäre es sehr zweckmäßig eine Möglichkeit der Sichtkontrolle in das Innere des Messrohres zu schaffen (z.B. T-Stück oben).

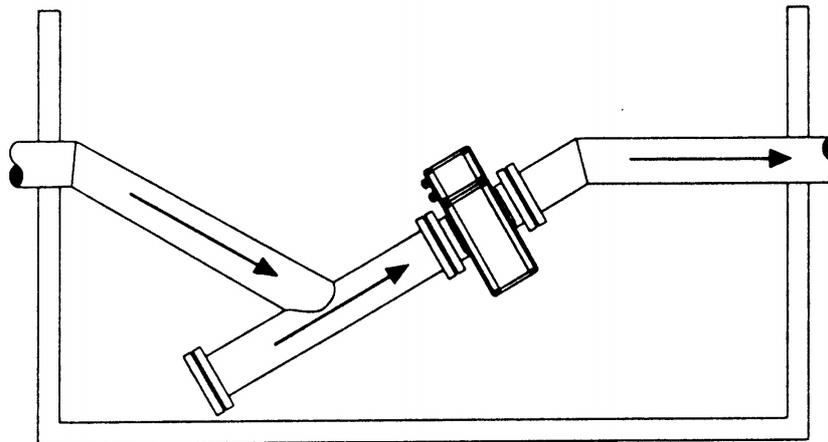


Abbildung 9: Konstruktive Maßnahme zur Sicherstellung der Vollfüllung

3.7.3 Lufteintrag und Gasbildung

Der MID ist ein Volumendurchflussgerät, d.h. in der Flüssigkeit dispergiertes Gas wird als Volumen mit gemessen. Es wird das Gesamtvolumen angezeigt, der tatsächliche Flüssigkeitsvolumenstrom ist entsprechend kleiner.

Beim Einsatz in Pumpleitungen sollte die Messstelle grundsätzlich im Druckbereich der Pumpe liegen, um Luft und/oder Gasblasen zu vermeiden.

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 (h_{erf}) über der Rohrachse kann gelten (Hessisches Landesamt 2001):

$$h_{\text{erf}} = \frac{d}{2} + 2v \sqrt{\frac{d}{g}}$$

Darin ist v [m/s] die Fließgeschwindigkeit im Rohr, d [m] der Rohrdurchmesser und g [m/s²] die Erdbeschleunigung.

Die Überstauhöhe des Rohreinlaufs kann durch Neigung des Messrohrs (Anstieg in Fließrichtung) vergrößert werden. Hierdurch wird auch die Vollfüllung (Dükerung) unterstützt und mitgeführte Luft wird ausgetragen.

Lufteintrag durch Absturz:

Abstürze führen dazu, dass Luft 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. Auch eine zu große Geschwindigkeit muss in diesem Bereich durch großzügige Dimensionierung verhindert werden. Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt eine richtige und eine falsche Anordnung.

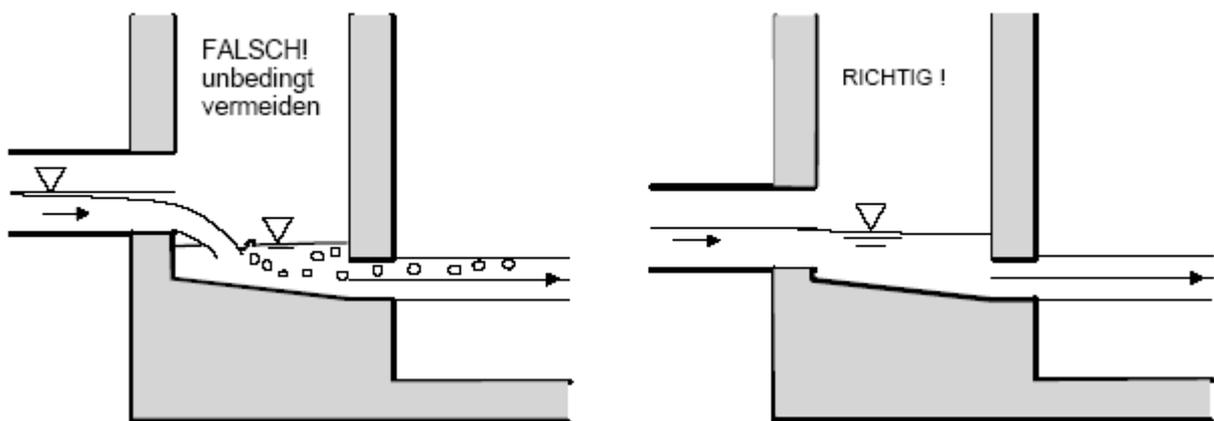


Abbildung 10: Absturzbauwerk (Quelle: Hessisches Landesamt 2001)

3.7.4 Durchmesserwahl

Der Durchmesser des MID-Aufnehmers bestimmt maßgeblich die sich einstellende Fließgeschwindigkeit, die Strömungsverluste, die Gefahr von Ablagerungen und die Investitionskosten. In der Tabelle 1 sind die Abhängigkeiten qualitativ dargestellt.

Tabelle 1: Einfluss der Durchmesserwahl

	Durchmesser klein	Durchmesser groß
Fließgeschwindigkeit	hoch	niedrig
Gefahr von Ablagerungen	niedrig	hoch
Strömungsverluste	hoch	niedrig
Investitionskosten	niedrig	hoch

Nach unten hin wird der Durchmesser durch die maximal zulässigen Verluste bestimmt.

Ablagerungen

Ablagerungen 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 fehlerhaftem Spannungsabgriff und damit fehlerhafter Geschwindigkeitsberechnung führen können.

Der Rohrdurchmesser sollte so gewählt werden, dass die Fließgeschwindigkeit zur Ausspülung von Ablagerungen und zur Sauberhaltung der Elektroden ausreicht. Für Rohrabwasser werden in der Literatur mindest Fließgeschwindigkeiten von 0,3-0,5 m/s genannt. Zur Einhaltung dieser Mindestwerte, muss der MID manchmal im Querschnitt kleiner gewählt werden als die übrige Rohrleitung. In Kläranlagenausläufen ist die Ablagerungsgefahr zwar geringer, aber es sind Sielhautbeläge auf den Elektroden möglich. Deshalb sollten auch im Auslauf größere Fließgeschwindigkeiten angestrebt werden.

Induktive Durchflussmesser haben aus funktioneller Sicht ihren optimalen Betriebsbereich bei Fließgeschwindigkeiten zwischen ca. 0,25 und 10 m/s. Die Untergrenze des Messbereichs wird durch die bei kleinen Geschwindigkeiten zunehmenden Messfehler und die Ablagerungsgefahr festgelegt, während die Obergrenze durch die bei großen Geschwindigkeiten stark zunehmenden Verluste und die Abrasion durch Feststoffe bedingt ist.

An der TU Darmstadt wurden systematische Untersuchungen zur Abschätzung des zu erwartenden Messfehlers bei Sedimentablagerungen durchgeführt (www.tu-darmstadt.de/fb/bi/wb/prfst/veroeff/abl-mid/veroeff3.htm). Bei einer Ablagerungsstärke von ca. 30% des Rohrdurchmessers, entsprechend einer Querschnittsabnahme von ca. 25%, wurde ein Minderbefund des Durchflusses von ca. 11% festgestellt. Die Abweichung des Messwertes war praktisch unabhängig vom Volumenstrom. Dieses Ergebnis kann durch die geringe Wertigkeit des Querschnittsbereiches an der Rohrsohle erklärt werden (siehe auch Abbildung 7).

Bei Ablagerungen über den gesamten Umfang wurden von HOFMANN (1993) ähnliche Beobachtungen gemacht.

3.7.5 Sicherstellung eines radialsymmetrischen Geschwindigkeitsprofils

Änderungen der Strömungsrichtung sowie einseitige Querschnittseinschnürungen durch Schieber, Klappen, etc. führen zu nicht radialsymmetrischer Strömung. Die Strömung benötigt nach solchen Störungen eine gewisse gerade Fließlänge, bis sich die Geschwindigkeitsverteilung durch turbulenten Impulsaustausch wieder weitgehend gleichmäßig hat.

Nach einer Zusammenstellung von HASSINGER (1993) sind bei gerader Rohrleitungsführung mit gleich bleibendem Durchmesser und voll geöffneten Schiebern eine Vorlaufstrecke von $2d$ und eine Nachlaufstrecke von $1d$ ausreichend. Sind vor und hinter der Messstrecke Bögen in einer Ebene angeordnet erhöht sich die Vorlaufstrecke auf $3d$ und die Nachlaufstrecke beträgt $2d$ ($d = DN$ des MID's; gemessen von der Mitte des Messohres)

In VSA (2003) sind typische, die Radialsymmetrie der Strömung störende, Leitungsführungen dargestellt. Für viele Fälle wird eine Vorlaufstrecke von $5d$ und eine Nachlaufstrecke von $3d$ als ausreichend erachtet.

Eine direkt vor dem MID installierte Reduzierung glättet das Strömungsprofil. Der kleinere Innendurchmesser des MID's bestimmt die Einlaufstrecke. Mit einer solchen Reduzierung reichen auch hinter einem Krümmer oder T-Stück $3d$ als Einlaufstrecke ohne wesentliche Genauigkeitsverluste aus (HOFFMANN 2003).

Durch plötzliche Querschnittsveränderungen (z.B. unterschiedliche Rohrdurchmesser) bilden sich Ablösungen, die, wenn sie in der Nähe des Messwertempfängers auftreten, zu Messfehlern führen.

Durch Pumpen, aufeinander folgende Krümmer, die nicht in einer Ebene liegen, oder tangentialer Zufluss in das Rohr wird Drall in der Strömung erzeugt. Rotierende Strömungskomponenten im Rohr bauen sich nur sehr langsam ab und benötigen lange Beruhigungsstrecken.

3.7.6 Elektrotechnische Gesichtspunkte

Die entstehende durchflussproportionale Signalspannung wird von elektrochemischen Stör-Gleichspannungen überlagert. Diese entstehen an der Grenzschicht zwischen Elektroden und Flüssigkeit (Bildung galvanischer Elemente).

Aufgrund der Vielzahl an Einflussfaktoren sind die Störspannungen nicht reproduzierbar und müssen von der Nutzspannung getrennt werden.

Zur Beherrschung dieser Probleme wird heute von den meisten Anbietern das Prinzip des „geschalteten Gleichfeldes“ eingesetzt (BONFIG 2002; HOFMANN 2003). Dieses ergibt, speziell in ungünstigen Anwendungsfällen, genauere Messwerte als das früher übliche Wechselfeld. Insbesondere wird eine hohe Nullpunktstabilität, eine größere Unempfindlichkeit gegen Leitfähigkeits-Inhomogenitäten und wechselnde Erdungsverhältnisse erreicht.

Eine der größten Fehlerquellen beim Betrieb eines MID's stellt die mangelhafte Erdung der Anlagenkomponenten dar. Sind die Rohrleitungen aus Kunststoff oder sind die Erdungsmaßnahmen unzureichend empfiehlt sich jedenfalls der Einbau von Erdungsringen. Diese werden zwischen die beiden Anschlussflansche gesetzt und mit dem Umformergehäuse und dem Erdpotential verbunden.

3.7.7 Mechanische Hinweise

Das Messrohr darf nicht als tragendes Element in die Rohrleitung eingesetzt werden. Die von den Rohrleitungen übertragenen Kräfte sind durch geeignete Haltekonstruktionen abzufangen. Keinesfalls darf der MID als letztes Glied in die Rohrleitung eingesetzt werden und dabei die Aufgabe des Ausrichtens der Rohrleitungen übernehmen.

Der Messumformer ist empfindlich gegen Vibrationen. Ist mit Schwingungsübertragung durch die Rohrleitungen zu rechnen, so müssen diese durch geeignete Maßnahmen (stabile Lagerung, Kompensatoren) vom Messgerät ferngehalten werden. Vorteilhaft ist hier eine getrennte Anordnung des Messumformers in „ruhiger Lage“.

3.7.8 Vor- und Nachteile magnetisch-induktive Durchflussmessung

Vorteile:

- Rückstau spielt keine Rolle.
- Auch Schlämme können gemessen werden.
- Keine bewegten Teile in der Strömung.
- Großer Messbereich: $Q_{\min} : Q_{\max}$ bis 1 : 20

- Geringe hydraulische Verluste des eigentlichen Messwertaufnehmers; die Verluste durch den Messwertaufnehmer sind minimal. 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 geringe Wartungsaufwendungen (stabiler Gerätenullpunkt ist durch die automatische Nullpunktkorrektur moderner Geräte gewährleistet)
- Geringe Manipulationsmöglichkeiten
- Hohe Messgenauigkeit

Nachteile:

- Aufwändige Überleitung von Freispiegelströmungen in Druckrohrströmung und zurück.
- hohe Investitionskosten für Messschacht nebst Zubehör. Hierzu zählen neben den Tiefbauten Prallwände, Rohrleitungen, Schieber, Schachtabdeckungen, Schachtentwässerungspumpe, Entlüftungen etc...,
- Strömung nicht zugänglich, schlechte Kontrollmöglichkeiten, - unsichtbare Elektrodenbeläge, insbesondere Fett, können den Messwert verfälschen.
- In der Regel schlecht zu reinigen, Sichtkontrolle nicht möglich.

4 Messeinrichtungen für Gase

Die Dichte gasförmiger Medien ist vom Druck und der Temperatur abhängig. Diese Kompressibilität ist bei der Durchflussmessung von Gasen zu beachten. Bei Gasen ist daher nicht der Volumenstrom sondern der Massenstrom von Bedeutung. Üblicherweise wird bei Gasen der Volumenstrom im Normzustand angegeben, d.h. es wird der Volumenstrom auf die Normtemperatur (0° Celsius) und den Normdruck (1,013 bar absolut) umgerechnet. Mit dieser Angabe ist der Massenstrom des Gases eindeutig festgelegt.

Mit den in Punkt 2 angegebenen Definitionen wird nur der Volumenstrom bestimmt. Bei vielen Messverfahren für Gase ist daher auch die Messung des Systemdruckes und der Mediumtemperatur erforderlich.

Zur Messung von Gasvolumenströmen auf Kläranlagen kommen häufig Wirkdruckmessgeräte (Blenden, Düsen, Venturirohr) und thermische Massendurchflussmesser zum Einsatz. Auch Verdrängungsmessgeräte (Drehkolbenzähler), Turbinenradzähler sowie Ultraschall-, Coriolis- und Wirbelablösefrequenzmessgeräte sind anzutreffen.

Die besprochenen Methoden eignen sich zur Bestimmung des Luftvolumenstrommessung und für die Bestimmung des Faulgasanfalls.

Viele der für Flüssigkeiten getroffenen Aussagen haben auch für Gase Gültigkeit. Aufgrund der Kompressibilität von Faulgas und Luft sind weitere Punkte zu berücksichtigen.

Bei der Durchflussmessung von Gasen auf Abwasserreinigungsanlagen ist keine so ausgeprägte Dominanz weniger Systeme gegeben wie bei Abwasser. Trotzdem werden die Erläuterungen auf wenige Methoden eingeschränkt.

Wie schon bei Wasser wird auch bei Gas auf eine Darstellung der Entwurfskriterien und Bemessungsmethoden für die dargestellten Verfahren verzichtet und auf die Literatur verwiesen (z. B. DIN-Taschenbuch 229, BONFIG 2002).

4.1 Verdrängungsdurchflussmesser

Dieser Messgerätetyp ist der einzige, der den Volumendurchfluss direkt misst. Es gibt zahlreiche verschiedene Bauarten und Größen dieser Messgeräte. Insgesamt sind sie der Inbegriff für höchste Messgenauigkeit bei der Volumenmessung. Sie lassen sich nur für die Messung sauberer Medien verwenden und sind - im Gegensatz zu vielen anderen Durchfluss-Messgeräten - hinsichtlich Nennweite und Durchflussrate eingeschränkt.

4.1.1 Funktionsprinzip

Das Gerät besitzt bewegliche Kammern, in denen die zu messende Stoffmenge portionenweise "abgemessen" und gleichzeitig weitertransportiert wird. Durch Abzählen der Einzelvolumina bzw. -portionen ergibt sich der Gesamtdurchfluss. Die Messkammer-Elemente (Zahnräder, Kolben, Schraubenspindeln, Taumelscheiben, usw.) werden vom Druck in der Leitung bewegt. Die Anzahl Umdrehungen sind ein Maß für das beförderte Volumen.

4.1.2 Vor- und Nachteile Verdrängungsdurchflussmesser

Vorteile:

- Messprinzip allgemein bekannt und anerkannt.
- Sehr geringe Fehlergrenzen.
- Großer Messbereich.
- Für eine Vielzahl von Medien einsetzbar.
- Ein- und Ausströmbedingungen haben keinen Einfluss auf das Ergebnis.

Nachteile:

- Nicht geeignet für verschmutzte und inhomogene Medien.
- Zusätzlicher Druckverlust.
- Pulsierende Strömung wird induziert.
- Bewegte Teile in der Strömung – Einfrier- und Vereisungsgefahr.
- Tendenziell teurer als andere Verfahren.

4.2 Messblenden, Düsen und Venturirohr

Die Messungen von Gasvolumenströmen mittels Drosselgeräten nach EN ISO 5167-1 (früher DIN 1952) sind seit langem erprobte und bewährte Methoden.

Das Messprinzip beruht auf dem Energieerhaltungssatz und der Kontinuitätsgleichung. Danach muss, wenn durch eine Verengung die Strömungsgeschwindigkeit (kinetische Energie) erhöht wird, eine andere Energie, im vorliegenden Fall die Druckenergie, verringert werden. Für eine reale Gasströmung sind Reibungseffekte und die Kompressibilität des Fluids zu berücksichtigen.

Durch Messung des Differenzdrucks (Abbildung 11) lässt sich bei bekannter Querschnittsgeometrie der Volumenstrom berechnen.

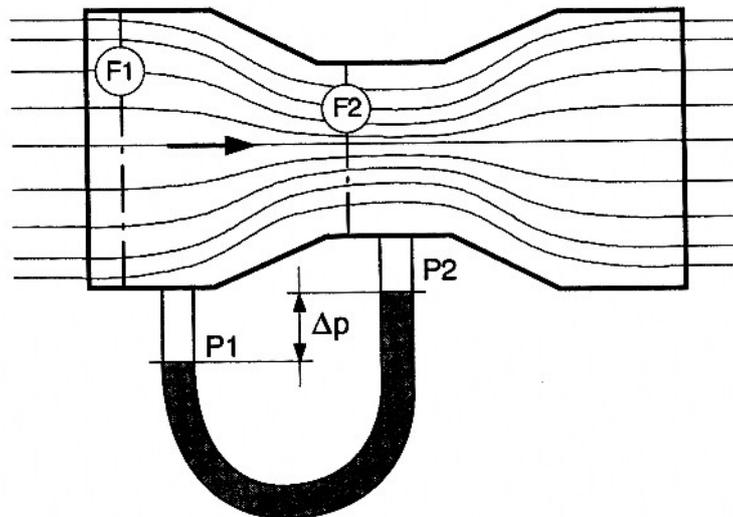


Abbildung 11: Differenzdruckmessung an einem Drosselgerät

Jede Anordnung besitzt eine spezielle Expansionszahl, die in die Berechnungsformel für den Volumenstrom einfließt. Zur Umrechnung des Volumenstroms auf Normbedingungen ist auch die Messung der Zustandsgrößen des Gases an der Messstelle (Absolutdruck, Temperatur, ggf. Feuchte) erforderlich. So einfach die Prinzipien auch sind, setzen sie doch definierte Strömungsverhältnisse voraus. Durch die reale Rohrleitungsführung und Einbauten werden die Strömungsprofile verzerrt. Die Güte der Messung hängt weitgehend von diesen Strömungsverhältnissen ab.

4.2.1 Durchmesser Verhältnis

Die Gebrauchseigenschaften eines Drosselmessgerätes werden wesentlich vom Durchmesser Verhältnis bestimmt. Das Durchmesser Verhältnis d/D wird aus dem kleinsten Durchmesser d der Drosselöffnung und dem Innendurchmesser D des Einlaufrohres berechnet. Durch die Wahl des Durchmesser Verhältnisses werden der sich einstellende Differenzdruck und der bleibende Druckverlust in Abhängigkeit des Volumenstroms festgelegt.

Bestimmt wird dieses Verhältnis durch den minimal zu messenden Durchfluss und die Gestaltung der Einlaufstrecke unter Beachtung der dabei gewünschten Genauigkeit. Um hohe Genauigkeiten zu erzielen, sind grundsätzlich stark ausgeprägte Einengungen mit einem Durchmesser Verhältnis d/D von 0,25 - 0,3 erforderlich. Bei solch starken Einschnürungen ist jedoch ein hoher Energieverlust (bleibender Druckverlust) in Kauf zu nehmen. Die dabei erforderlichen

Beruhigungsstrecken bewegen sich je nach Gestaltung der Einlaufseite zwischen 10 und 34 D. Sind sehr lange, gerade und störungsfreie Rohrstrecken möglich (40-80 D), so lässt sich das Durchmesser Verhältnis d/D bis auf ca. 0,75-0,8 erhöhen, Dies ergibt einen wesentlich kleineren Energieverlust.

Präzise Angaben bezüglich den erforderlichen Einlauf- und Auslaufstrecken bei der Durchflussmessung mit Blenden, Düsen und Venturi-Rohren sind in der EN ISO 5167 - 1 zu finden.

4.2.2 Temperatur-, Absolutdruck- und Differenzdruckmessung

Das Messprinzip ermöglicht die Erfassung des Volumenstroms unter Betriebsbedingungen. Zur Bestimmung des Volumenstroms unter Normbedingungen ist bei Gasen zusätzlich die Messung der Gastemperatur und des Absolutdruckes erforderlich.

Die am Drosselgerät anstehenden Drücke werden jeweils mittels einer einzelnen Bohrung oder über eine Ringkammer abgegriffen. Messstellen mit einer das Messrohr umgebenden Ringkammer, sind wesentlich weniger störungsanfällig und liefern genauere Messresultate als solche mit Einzelanbohrung. Um ausreichend hohe Differenzdrücke zu erhalten, sind relativ hohe Strömungsgeschwindigkeiten notwendig. Daraus resultiert auch, dass das Verfahren keine Erfassung von Kleinstmengen (Schleichmengen) ermöglicht.

In Folge der quadratischen Abhängigkeit des Wirkdrucks vom Durchfluss ergeben sich bei kleinen Durchflüssen hohe Fehler. Ein Drittel des Volumenstroms ergibt nur mehr 1/9-tel des Differenzdrucks. Daraus ist ersichtlich, dass nur ein kleiner Messbereich (z.B. $Q_{\min} : Q_{\max} = \text{ca. } 1 : 3$) bei guter Messgenauigkeit zur Verfügung steht. Für die erforderliche Güte der Messgeräte bedeutet das, dass der Differenzdruckaufnehmer die beste Genauigkeit haben muss. Der Absolutdruckaufnehmer und die Temperaturmessung haben wesentlich geringeren Einfluss auf das Messresultat (Volumenstrom im Normzustand).

Der Differenzdruckaufnehmer sollte über einen Ventilblock angeschlossen werden, der eine Nullpunktkontrolle ermöglicht. Auch Anzeigen vor Ort und Anschlussstutzen für mobile Messgeräte sind für Überprüfungszwecke hilfreich.

Die Bohrungen innerhalb von Einschnürungen erfordern auch bei leicht verschmutzten Gasen einen entsprechenden Wartungsaufwand.

Für Wartungsarbeiten sind zusätzliche Absperrorgane und Passstück notwendig, evt. ist eine Bypass-Verrohrung sinnvoll.

Bei der Durchflussmessung von Luft und Gasen in horizontalen Leitungen ist das Drosselgerät so anzuordnen, dass sich die Anschlüsse für den Abgriff des Differenzdruckes oberhalb der Leitung befinden. Bei Messungen in senkrechten Leitungen ist die Einbaulage beliebig.

4.2.3 Kondensat

Die Druckentnahmerohrleitungen bzw., Schläuche sind so zu verlegen, dass anfallendes Kondensat wieder in das Rohr zurückfließen kann. Bei Kondensationsgefahr ist vor und nach der Messung ein Kondensatablass vorzusehen.

Die Entfernung des Druckmessgerätes zur Messstelle sollte möglichst gering sein um Fehler durch Kondensat in den Rohren zu vermeiden. Besteht die Möglichkeit, dass Kondensat im Winter in den Rohren einfriert ist eine Begleitheizung vorzusehen.

4.2.4 Vor- und Nachteile von Drosselgeräten

Vorteile

- Weltweit genormt und allgemein anerkannt.
- Einfache und robuste Konstruktion
- Einbaulage (fast) beliebig.
- Gute Langzeitstabilität; deshalb für permanente Messungen geeignet
- Kontinuierliche Messung möglich
- Keine beweglichen Teile

Nachteile

- Kleiner Messbereich.
- Bleibender Druckverlust. Bei Blenden deutlich größer als bei Venturirohren.
- Verschmutzungen und Kondensat verursacht Störungen. Venturirohre sind wesentlich unempfindlicher als Blenden.
- Venturirohre benötigen große Einbaulängen und sind deutlich aufwendiger in der Handhabung (Gewicht) als Blenden.

4.3 Thermische Massendurchflussmesser

Strömt Gas an einem beheizten Sensor vorbei, so wird dieser abgekühlt. Die Wärmeabgabe ist von der Strömungsgeschwindigkeit der Gasmoleküle, den physikalischen Eigenschaften des Gases (spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, Gaszusammensetzung) und der Differenz zwischen Sensor- und Gastemperatur abhängig.

Üblicherweise werden zwei, ein beheizter und ein unbeheizter Sensor nebeneinander angeordnet. Die messtechnische Erfassung erfolgt durch Abgriff der Differenztemperatur ΔT , die sich zwischen dem beheizten und dem unbeheizten Fühler einstellt. Die nachfolgende Abbildung 12 zeigt den Aufbau einer Messeinrichtung.

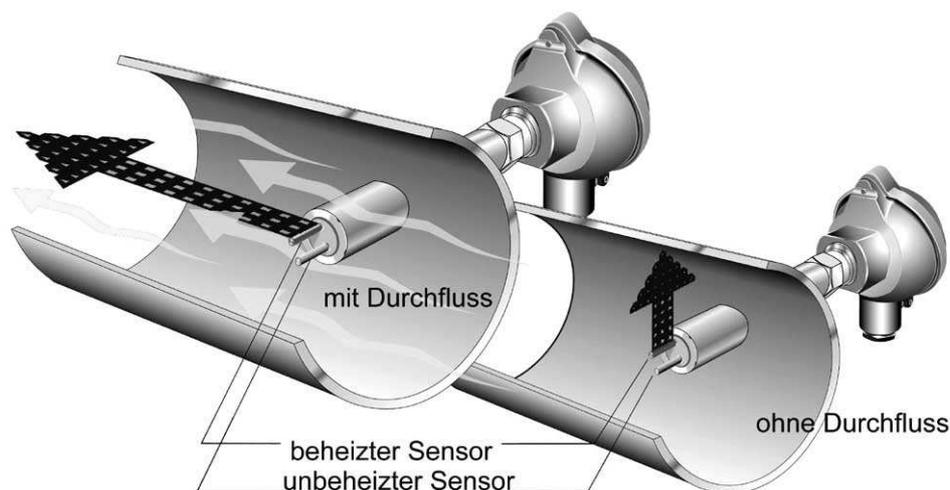


Abbildung 12: Prinzip des Thermischen Massendurchflussmessers
(Quelle : Binder Engineering)

Details zur elektrotechnischen Beschaltung und Messwertumsetzung verschiedener auf dem Markt befindlicher Geräte können der Literatur entnommen werden (z.B. BONFIG 2002; ENDRESS+HAUSER 2003)

Der Energietransport erfolgt durch Gasmoleküle, je mehr Gasmoleküle pro Zeiteinheit an den Sensor stoßen umso größer ist die Wärmeabgabe. Die Temperaturdifferenz ist also ein Maß für die Anzahl der Gasmoleküle pro Zeit. Den Gasmolekülen kann eine Masse zugeordnet werden, daher erklärt sich der Name Massendurchflussmessung (Gasmasse pro Zeit z.B. in kg/h). Für die Berech-

nung des Massenstromes ist die Gaszusammensetzung von Bedeutung. Die Gasmoleküle haben je nach Gasart andere Eigenschaften und Molekülmassen.

Da, wie oben ausgeführt, die Anzahl der Moleküle bestimmt wird ist die Messung des Gasdruckes und der Gasdichte nicht erforderlich. Auch die getrennte Erfassung der Gastemperatur kann entfallen, weil die Bildung der Differenztemperatur ΔT bereits im Gerät stattfindet und somit eventuelle Temperaturschwankungen des Gases berücksichtigt werden. Mit dieser Messmethode ist eine direkte, also alleine über die Temperaturdifferenz, erfassbare Gasmassendurchflussmessung möglich.

4.3.1 Gaszusammensetzung

Das System weist eine hohe Empfindlichkeit auf. Diese, an sich sehr positive Eigenschaft, ist gleichzeitig auch ein Nachteil. Zur Sicherstellung des Messergebnisses muss das Medium mit all seinen Eigenschaften genau bekannt sein und sollte keinen Schwankungen in der Zusammensetzung unterliegen.

Bei Luft ist die einzige Unsicherheit durch die Luftfeuchte (Wassergehalt) gegeben. Für Anwendungen zur Luftvolumenstrommessung (Belüftung von Belebungsbecken) ist der Einfluss relativ gering.

Bei der Messung von Faulgas mit schwankender Zusammensetzung sind größere Messunsicherheiten zu erwarten.

4.3.2 Messort im Rohr

Die Messung wird fast ausschließlich als Einpunktmesssystem eingesetzt. Bei diesem System wird der Messwertempfänger seitlich über ein Gewinde oder einen Flansch in die Rohrleitung eingebracht, so dass dabei der Sensor zentrisch in der Rohrleitung positioniert wird.

Wie auch schon bei anderen Systemen ausgeführt, setzt die Umrechnung des punktförmigen Messwertes auf die Verhältnisse im gesamten Querschnitt, ein möglichst radialsymmetrisches und gleich bleibendes Strömungsprofil in der Rohrleitung voraus. Änderungen des Strömungsprofils haben Messwertabweichungen zur Folge. Zur Vergleichmäßigung der Strömung sind auch bei diesem System Vorlauf- und Nachlaufstrecken einzuhalten. Die Angaben liegen etwa in der gleichen Größe wie bei Blenden, Düsen und Venturirohren. Bei beengten

Platzverhältnissen und zur Steigerung der Genauigkeit, werden Strömungsgleichrichter in die Rohrleitung eingebaut.

Der Einbau der Messsensoren hat jedenfalls so zu erfolgen, dass der unbeheizte Sensor nicht durch den beheizten Sensor beeinflusst wird (Abbildung 12).

4.3.3 Vor- und Nachteile thermischer Massendurchflussmesser

Vorteile

- Keine beweglichen Teile
- Vernachlässigbarer Druck- und Energieverlust
- Weitgehend schmutzunempfindlich
- Einbaulage beliebig
- Großer Messbereich: $Q_{\min} : Q_{\max} = 1 : 50$
- Erlaubt das Erfassen von Kleinstmengen (Schleichmengen),
- Wenig Wartung und Verschleiß
- Weitgehend vibrationsunempfindlich

Nachteile

- Aufwändige Justierung durch den Hersteller.
- Bei Änderung der Messstellengeometrie ist eine Nachkalibrierung durch den Hersteller erforderlich. (Neuermittlung der Kalibrierparameter)
- Beim Nichteinhalten der notwendigen Einbaulängen sind Strömungsgleichrichter erforderlich
- Messwertkontrolle nach dem Einbau aufwändig
- Relativ hohe Investitionskosten

5 Genauigkeit von Volumenstrommesseneinrichtungen

Genauigkeit ist einer der am meisten verwendeten Begriffe in der Messtechnik. Gemeint ist damit der Übereinstimmungsgrad von Messergebnis und dem „wahren Wert“ dieser Messung. Das bedeutet, dass die Genauigkeit eine qualitative und keine quantitative Aussage ist (siehe auch DIN 1913 Teil 1 bis 4).

Zur quantitativen Festlegung des Übereinstimmungsgrades wird der Begriff der Mess(wert)abweichung verwendet. Man unterscheidet grundsätzlich absolute und relative Abweichungen. Üblicherweise werden zwei Arten relativer Abweichungen verwendet, als Prozentsatz vom Messwert (% v. M.) oder als Prozentsatz vom Messbereichsendwert (% v. E.).

Zur Einteilung von Messgeräten nach ihrer „Genauigkeit“ bedient man sich der Fehlergrenzen. Unter der Fehlergrenze wird die höchste zu erwartende positive oder negative prozentuelle Abweichung des Messwertes (bezogen auf den Soll-Messwert) verstanden.

Bei der Angabe von Fehlergrenzen ist zu beachten, auf welche Bedingungen hierbei Bezug genommen wird. Nach DIN 19559, Teil 1, werden Garantie- und Verkehrsfehlergrenzen unterschieden. Die Garantiefehlergrenzen gelten dabei für die Kalibrierung auf einem Prüfstand unter Nennbedingungen. Verkehrsfehlergrenzen treten unter realen Einbauverhältnissen am Einsatzort auf. 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.

Unter den in diesem Artikel genannten Prozentwerten für die „Genauigkeit“ ist, wenn nichts anderes angegeben ist, immer die Verkehrsfehlergrenze unter Betriebsbedingungen zu verstehen.

Messeinrichtungen weisen innerhalb des gesamten Messbereiches in der Regel unterschiedliche relative Messabweichungen auf. Im Allgemeinen sind bei maximalem Durchfluss die prozentualen Abweichungen des Messwertes vom Sollwert am kleinsten, an der unteren Grenze des Messbereichs am größten.

Das hat zweierlei zur Folge:

- Bei der Planung der Messeinrichtung ist sorgsam zu beachten, dass der Hauptmessbereich mit den real auftretenden Messwerten übereinstimmt.
- Fehlergrenzen müssen abhängig vom Messbereich festgelegt werden.

5.1 Venturikanal

Bei Venturikanälen wird der Messbereich nach DIN 19 559 Teil 1 in zwei Belastungsbereiche eingeteilt. Volumenströme $Q < 0,1 Q_{\max}$ sind nicht oder nur mit unakzeptabel großen Messabweichungen messbar.

In der Tabelle 2 sind die Verkehrsfehler unter Betriebsbedingungen für eine Gerinnebreite > 300 mm nach DIN 19 559 Teil 1 ausgewertet.

Tabelle 2: Verkehrsfehler unter Betriebsbedingungen für eine Gerinnebreite > 300 mm

	Bauartkalibrierung	Bauartkalibrierung nach Aufmaß korrigiert	Einzelkalibrierung
$0,1Q_{\max} < Q < 0,3Q_{\max}$	20 %	15 %	10 %
$0,3Q_{\max} < Q < Q_{\max}$	12 %	9 %	6 %

Ausdrücklich sei nochmals darauf hingewiesen, dass bei der Auswahl von Messeinrichtungen der Messbereich den real auftretenden Verhältnissen möglichst gut angepasst sein muss. Die **richtige Auslegung des Messbereiches** ist entscheidender als eine sehr hohe Anforderung an die Fehlergrenzen. Siedlungswasserwirtschaftliche Anlagen werden meist auf einen zukünftigen Bemessungszufluss ausgelegt. Sehr oft wird der Fehler gemacht, auch die Durchflussmesseinrichtungen bereits für den künftigen, deutlich größeren Durchfluss auszulegen. Große Fehler oder vollständiges Versagen der Messeinrichtung im aktuellen Auslastungszustand (der oft Jahre dauert!) der Anlage können die Folge sein.

In der Literatur (KREKEL u. DALLWIG 1998) werden folgende Erfahrungen bei der Überprüfung von 34 Venturi-Kanälen beschrieben.

- Venturikanälen weisen eine große Bandbreite von Messabweichungen auf. Etwa die Hälfte der Einrichtungen haben die zulässigen Fehlergrenzen (nach Tabelle 2 – Einzelkalibrierung) überschritten.
- Die bauliche Ausführung, die Einstellung des Messwertaufnehmers und die Pflege der Messstelle sind für die Qualität der Messergebnisse von ausschlaggebender Bedeutung.

- Bei sehr vielen, der im Ausgangszustand nicht hinreichend genauen Messstellen, konnte die erwünschte Fehlergrenze durch wenig aufwändige Maßnahmen (z. B. Umprogrammierung der Q-h Beziehung, Ersatz des Messwertaufnehmers) unterschritten werden.
- Fertigteilrinnen sind der Ortbetonbauweise überlegen (geringere Fehlermöglichkeiten). Obwohl auch bei Ortbetonrinnen bei Einhaltung aller Rahmenbedingungen geringe Messabweichungen festgestellt wurden.

5.2 Magnetisch Induktive Durchflussmessung

Wenn über die Messabweichungen von MID's berichtet wird, werden häufig nur Garantiefehler genannt, da Parallelmessungen oder gar Kontrollmessungen (bessere Messmethode erforderlich) aufwändig und damit teuer sind. Garantiefehler unter Nennbedingungen liegen bei MID's für kleine Durchflüsse bei ca. 1% und bei großen Volumenströmen bei ca. 0,3%.

Ich habe an einem MID in einer Trübwasserleitung und einem MID in einer Rücklaufschlammleitung Parallelmessungen mit einer Ultraschall-Phasendifferenzmessung (mit Aufschnallsensoren) durchgeführt. Es ergaben sich Messwertunterschiede von maximal 5%. Eine Zuordnung welcher Wert als „wahr“ und welcher fehlerbehaftet ist konnte nicht getroffen werden. Trotzdem gibt eine solche Vergleichsmessung eine hilfreiche Information über den Zustand der Messeinrichtung.

Von KREKEL u. DALLWIG (1998) werden Ergebnisse von Vergleichsmessungen an 38 MID beschrieben. Darin wird den magnetisch-induktiven Durchflussmessern eine geringe Messabweichung bestätigt. Nur etwa 15 % der Untersuchten Einrichtungen konnten die verlangten Fehlergrenzen von 6% bzw. 10% bei geringem Volumenstrom ($0,1Q_{\max} < Q < 0,3Q_{\max}$) nicht einhalten.

5.3 Drosselgeräte für Gase

Die Garantiefehler unter Nennbedingungen können nach EN 5167-1 für normale Anwendungen zu ca. 2% abgeschätzt werden. Wird besonders sorgfältig gearbeitet und erfolgt eine Bestimmung des Durchflusskoeffizienten in einer Prüf-anstalt, so sind Werte um 1% möglich. Wie bei allen Durchflussmessungen sind

dabei die notwendigen Einlauf- und Auslaufstrecken zu berücksichtigen, damit sich optimale Strömungsverhältnisse ergeben.

Am Einbauort unter realen Betriebsbedingungen ist auch bei Drosselgeräten mit deutlich größeren Abweichungen zu rechnen (z.B. 5%).

Die Messabweichung ergibt sich aus den Fehlern der einzelnen Messwerte sowie den Fertigungs- und den Einbautoleranzen. Die Fertigungs- und Einbautoleranzen (Maßhaltigkeit der Konstruktion, Oberflächenrauigkeit, Grate an Bohrungen und Staukörpern, usw.) haben Einfluss auf die Berechnungsparameter.

Die Genauigkeit wird zusätzlich beeinflusst durch:

- Die überproportionale Zunahme der Messfehler bei Durchflussgeschwindigkeiten $< 0,5$ bis 1 m/s (je nach Gerät)
- Die mangelnde hydraulische Gestaltung der Messstrecke
- Nicht funktionsgerechten Einbau der Geräte
- Den Einschluss von Kondensaten
- Schmutzpartikel im Gasstrom
- Ablagerungen an der Messeinrichtung und im Rohr

5.4 Thermische Massendurchflussmesser

Nach Herstellerangaben können Garantiefehler unter Nennbedingungen von 1-2% erreicht werden. Typische maximale Messabweichungen vor Ort betragen 3-5%. Diese Geräte sind in besonderem Ausmaß von der Strömungsbildung und den Fluideigenschaften beeinflusst. Bei schlechter Auswahl des Messortes und ungünstigen (wechselnden) Fluideigenschaften können große Messabweichungen auftreten.

Die im Betrieb erreichbare Fehlergrenze wird zusätzlich beeinflusst durch

- Strömungseinflüsse in Folge von Pulsationen.
- Die Bildung von Kondensaten.
- Ablagerungen an den Sensoren und Korrosion.
- Äußere Temperatureinflüsse.

Zur Sicherstellung einer geringen Messabweichung sind Prüfstandmessungen sehr empfehlenswert. Zweck der Prüfstandsmessungen:

- Durch den Einsatz der realen Gasmischungen kann der Einfluss unterschiedlicher Stoffdaten auf das Messergebnis ermittelt werden (feuchte Luft, Faulgas, ..).
- Es können Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung schwankender Gaszusammensetzung abgeschätzt werden.
- Durch Aufbau der Rohrleitungsführung entsprechend den Verhältnissen vor Ort, kann die Ausbildung des Strömungsprofils und dessen Einfluss auf das Messergebnis, bereits auf dem Prüfstand, ermittelt werden.

Durch Implementierung der Ergebnisse der Prüfstandsmessungen in die Auswertelektronik des Messgerätes lassen sich auch für schwierige Aufgabenstellungen sehr genaue Messergebnisse erzielen.

6 Überprüfung von Durchflussmeseinrichtungen

Anregungen und Hinweise zur Kontrolle von Durchflussmeseinrichtungen können aus dem Internet bezogen werden (<http://www.gsa.bve.be.ch/d/documentation/>). Auch dem Merkblatt des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (2001) sind viele Anregungen zur Kontrolle von Durchflussmeseinrichtungen zu entnehmen.

In Österreich wird derzeit intensiv von einem Arbeitsausschuss des ÖWAV unter der Leitung von DI Ertl (Universität für Bodenkultur) an einem Regelblatt mit dem Titel „Überprüfung von Durchflussmeseinrichtungen von Abwasseranlagen“ gearbeitet. Teile der folgenden Ausführungen sind dem ersten Entwurf des Regelblattes entnommen.

6.1 Vorgangsweise bei der Überprüfung

Die Überprüfung einer Durchflussmeseinrichtung sollte folgende Tätigkeiten umfassen:

Beurteilung der Messstelle: Strömungsverhältnisse, Ablagerungen, defekte Einrichtungen (verbogene Halterungen, usw.), Einstau (Fließwechsel), Abmes-

sungen und Einbaugeometrie der Messeinrichtungen (z. B. Beruhigungsstrecken), etc.

Funktionsprüfung: Hier wird kontrolliert, ob die Messwertverarbeitung richtig eingestellt ist (z.B. Nullpunkt, Wasserstandsmessung, H-Q-Linie) und die Signalübertragung funktioniert (Anzeige vor Ort - Signalausgang - Schaltwarte - Registrierung)

Vergleichsmessung: Bei Parallelmessungen ist der Durchfluss mit einem unabhängigen Messverfahren zu ermitteln. Die Auswahl des Messverfahrens richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten und der erforderlichen Genauigkeit.

6.2 Messmethoden für Vergleichsmessungen

Grundsätzlich sollte für Kontrollmessungen an einer bestehenden Einrichtung ein Messverfahren mit einer größeren Genauigkeit zum Einsatz kommen. Diese Forderung ist in der Regel mit hohen Kosten verbunden. Häufig ist hier eine Parallelmessung mit gleichwertigen Methoden die einzige Vergleichsmöglichkeit. Man erhält bei dieser Vorgangsweise zwar keine Kalibrierung des untersuchten Systems, aber doch eine Information über die Größenordnung der Messwertabweichung. An Methoden kommen derzeit zum Einsatz:

6.2.1 Wehrmessungen

Wurden schon in Punkt 3.3 besprochen.

6.2.2 Ultraschall-Laufzeitdifferenz, Phasendifferenz

Wurden schon in Punkt 3.4 besprochen.

6.2.3 Ultraschall-Doppler

Wurden schon in Punkt 3.5 besprochen.

6.2.4 Volumetrische Messungen (Behältermessung)

Dabei wird aus dem bekannten Volumen eines Behälters (z.B. Pumpenschacht) und der erforderlichen Füll- oder Ausflusszeit der Volumenstrom berechnet werden kann. Diese Methode wird auch zur Kalibrierung von MID's angewendet.

Gemessen werden in der Regel die Veränderung des Wasserspiegels im Behälter und die Dauer. Die erzielbare Genauigkeit hängt wesentlich von der tatsächlichen Wasserspiegelveränderung ab, da die Genauigkeit der Abstandsmessung praktisch unabhängig vom absoluten Wert ist. In der praktischen Anwendung eignen sich daher Schächte mit kleiner Querschnittsfläche und großer Wasserspiegelveränderung besser als Becken mit großer Oberfläche und kleiner Wasserspiegelveränderung.

Das Resultat stellt immer einen Mittelwert des Beobachtungszeitraumes dar. Bei schwankenden Durchflüssen (Kreiselpumpen, Entleerungsvorgänge, etc.) wird man häufig nur den Summenwert nicht aber Momentanwerte überprüfen können.

Die Methode kann grundsätzlich bei jeder Größenordnung des Volumenstromes zum Einsatz kommen, Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein eines geeigneten Behälters.

6.2.5 Netzmessung (Vielpunktmessung)

Bei der Netzmessung kommt die Definition: „*Der Volumenstrom ist Produkt der durchströmten Fläche mal der **mittleren** Strömungsgeschwindigkeit*“ zur Anwendung.

Die Ermittlung des Volumenstromes erfolgt durch punktförmige Messung der Fliessgeschwindigkeit, Multiplikation mit der zugeordneten Querschnittsfläche und Summierung über den gesamten Fliessquerschnitt. Günstig ist es die Messpunkte so auszuwählen, dass die Querschnittfläche in flächengleiche Teile zerlegt wird. So kann man aus den einzelnen Geschwindigkeiten direkt die mittlere Strömungsgeschwindigkeit berechnen.

In der folgenden Abbildung 13 ist ein typischer Aufbau einer Messanordnung dargestellt. Die Anordnung des Kontrollquerschnittes richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten. Günstigerweise wird die Messstelle vor der Betriebsmesseinrichtung angeordnet. Die Methode kommt in Freispiegelkanälen bei größeren Anlagen mit Durchflüssen ab ca. 100 l/s zum Einsatz.

Voraussetzungen:

- zugänglicher Gerinnebereich mit Messbrücke
- beruhigte Strömung

- konstante Abflusszustände. Diese Zustände müssen über einen Zeitraum von mindestens 20 min, besser 30 min gehalten werden können.

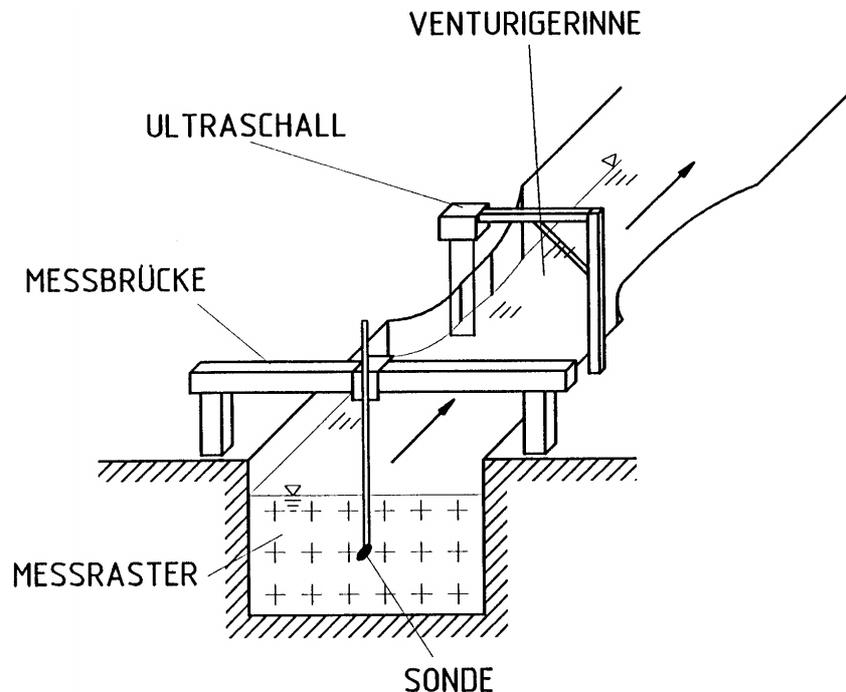


Abbildung 13: Prinzip der Netzmessung

Das größte Problem bei dieser Methode, ist es den Durchfluss über einen entsprechend langen Zeitraum näherungsweise konstant zu halten. Am exaktesten wäre die Messung, würde man an einer Haltekonstruktion alle Messpunkte gleichzeitig mit Geschwindigkeitssensoren versehen. Dies ist in der Regel aus Kostengründen unrealistisch (ein Sensor kostet je nach Hersteller und Ausstattung. 6.000 - 9.000 €). Ein brauchbarer Kompromiss ist es, die über die Tiefe erforderlichen Messpunkte (vier Sensoren reichen in der Regel) an einer Stange anzuordnen und so die Messzeit zu verkürzen.

Eigene Untersuchungen (FREY 2001) an 3 Venturikanälen mit Gerinnebreiten von 1,8, 2,0 und 3m haben die in Tabelle 3 zusammengefassten Messabweichungen ergeben. Die Vergleichsmessungen wurden mittels Netzmessung durchgeführt. Für die Wasserstandsmessung wurde ein mobiles Ultraschallmessgerät eingesetzt.

Tabelle 3: Messabweichungen unter Betriebsbedingungen an Venturikanälen mittels Netzmessung (FREY 2001)

	Anlage A Zulauf: 1,8m	Anlage B Zulauf: 3,0m	Anlage B Ablauf: 2,0m
$0,1Q_{\max} < Q < 0,3Q_{\max}$	22 %	4 %	18 %
$0,3Q_{\max} < Q < Q_{\max}$	11 %	18 % (!)	14 %

In allen Fällen konnte durch Korrektur der Q-h Beziehung eine deutliche Verbesserung der Fehlergrenzen erreicht werden (Bauartkalibrierung Einzelkalibrierung).

6.2.6 Mobiler MID

Der unter Vollfüllung arbeitende MID hat einen großen Messbereich und geringe Fehlergrenzen. Im Kanal können mobile Einheiten bestehend aus einer Kanalblase, Rohren und Formstücken für Kontrollmessungen eingesetzt werden.

Beim Einsatz im Kanalnetz ist jedenfalls auf den erzeugten Rückstau zu achten. Ist mit Regen zu rechnen wird vom Einsatz des Verfahrens abgeraten – Gefahr von zu großem Rückstau, auch ein Entfernen des Systems ist dann nicht möglich.



Abbildung 14: Mobile MID –Einheit zur Messung im Kanal

Aufgrund der Abmessungen und des Gewichtes der Messeinrichtung ist für die Installation entsprechende Ausrüstung (Hebezeug) erforderlich.

Diese Methode scheint als einzige für eine Kontrollmessung an einem stationären MID geeignet zu sein, da sie eine gleichwertige Messgenauigkeit hat.

6.3 Vergleichsmessungen bei Gasvolumenstrommeseinrichtungen

Zur Anwendung sollten auch hier gleichwertige Verfahren kommen. Es ist wenig zielführend eine Blendenmessung mit einer Staudrucksonde zu überprüfen.

Häufig werden indirekte Methoden eingesetzt z.B. Laufzeit von Gasmotoren oder Energiebilanzen (Eigenstromerzeugung – Gasproduktion). Damit können in der Regel grobe Fehler erkannt werden, eine Bestimmung von Fehlergrenzen ist jedoch nur sehr eingeschränkt möglich.

Bei Gebläsen für die Drucklufterzeugung bietet die Berechnung des Luftvolumenstromes aus den Gebläsedaten, unter Berücksichtigung von Prüfprotokoll-daten des Herstellers, einen gangbaren Weg für eine Plausibilitätsprüfung der Luftvolumenstrommessung.

Echte Parallelmessungen erfordern in der Regel eine geeignete Rohrleitungsführung, die den Einsatz eines zweiten Messsystems erlaubt. Am Beispiel der Hauptkläranlage Wien soll die praktische Durchführung einer Vergleichsmessung erläutert werden (Abbildung 15).

Als Betriebsmesssystem ist eine thermische Massendurchflussmessung installiert. Die Vergleichsmessungen wurden mit einem klassischen Venturirohr mit bearbeitetem Konus nach EN ISO 5167-1 durchgeführt.

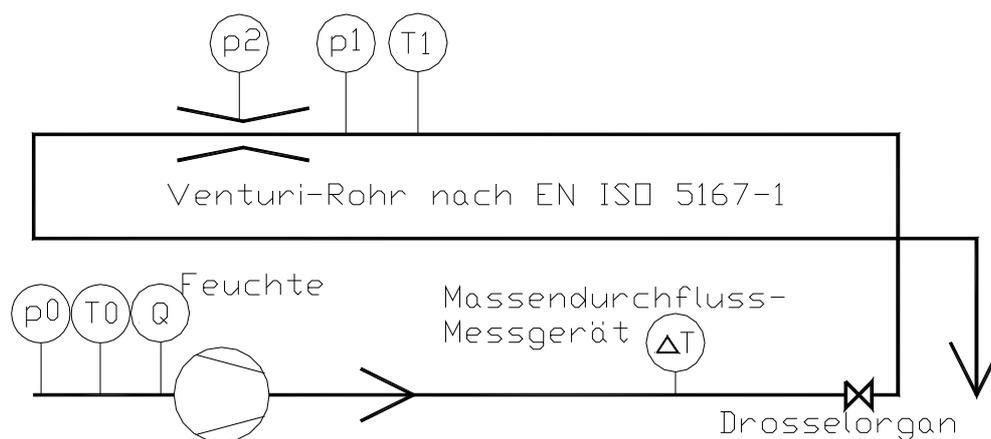


Abbildung 15: Messstellenaufbau HKA Wien

Für den Einbau des Venturi-Rohres wurde die Rohrleitung nach dem Betriebsmessgerät aufgetrennt und eine Rohrleitungsschleife eingesetzt. Alle Daten

wurden mittels 4-20mA Signalen registriert. Die Erfassung der Zustandsgrößen der angesaugten Luft, und der Venturi-Parameter (Absolutdruck, Differenzdruck, Lufttemperatur) ist mit einem Aufzeichnungsintervall von 3 Sekunden über ein Notebook erfolgt. Für die Datenerfassung des Massendurchflussmessers wurde ein 4-20 mA Signal entsprechend 0 – 10.000 m_N³/h zur Verfügung gestellt.

Nach einer Warmlaufphase, wurden über einen Zeitraum von mindestens 40 Minuten alle Messsignale registriert.

Es wurden 4 Luftvolumenströme zwischen 2500 und 7500 m_N³/h überprüft. Die Messabweichung wurde für jede Einstellung in zwei Einzelmessungen (Halbstundenmittelwert) ermittelt. Bei diesen 8 Versuchsläufen lag die typische Fehlergrenze bei ca. 2%, ein Ausreißer (leichter Regen, Windeinfluss) lag bei 3%. Dieses Ergebnis dokumentiert, dass bei sorgfältiger Planung und Ausführung einer Messstelle sehr zufrieden stellende Ergebnisse erreicht werden können.

7 Literatur

- Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern (2001):
Durchflussmessungen auf Abwasserreinigungsanlagen: Dokumentation und Kontrolle, Dokumentation der Abteilung Abwasser
(Bezug über <http://www.gsa.bve.be.ch/d/documentation/>)
- ATV (1996): Durchflußmessung in Abwasseranlagen; ATV Schriftenreihe Band 1
ATV A 110: Arbeitsblatt 110, Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und-leitungen Hennef September 2001
- BONFIG K.W. (2002): Technische Durchflussmessung, Vulkan Verlag, 3. Auflage
DIN 19559, Teil 2: Durchflußmessung von Abwasser in offenen Gerinnen und Freispiegelleitungen; Venturi-Kanäle
- DIN Taschenbuch 229 (1998) : Durchflussmessungen von Fluiden in geschlossenen Leitungen mit Drosselgeräten, Beuth Verlag
- ENDRESS + HAUSER (2003): Durchfluss-Handbuch, Endress+Hauser Flowtec AG, CH-4153 Reinach/BL
- ERB H. G. (1997): Durchflußmesstechnik für die Wasser und Abwasserwirtschaft; Vulkan Verlag Essen
- FREY W. (2001): Erfahrungen mit der Überprüfung von Durchflussmesseinrichtungen, Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen; KAN Folge 9
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2001): Durchflussmesseinrichtungen und Drosselorgane in Abwasseranlagen, , Merkblatt Nr. D2.00, Stand Oktober 2001

- HASSINGER R. (1993): Magnetisch-Induktive Durchflußmessung auf Kläranlagen
Grundlagen und Anwendung. Herausgeber Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Universität - Gesamthochschule Kassel; Hirthammer Verlag München
- HOFMANN F. (1993): Magnetisch-Induktive Durchflußmessung auf Kläranlagen
Grundlagen und Anwendung. Herausgeber Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Universität - Gesamthochschule Kassel; Hirthammer Verlag München
- HOFFMANN F. (2003): Grundlagen Magnetisch-Induktive Durchflussmessung,
3. Auflage, KROHNE Messtechnik GmbH & Co. KG, Duisburg, 2003
(Bezug über http://www.krohne.com/html/dlc/HB_MID_d_72.pdf)
- SHERCLIFF J.A. (1955): Experiments on the dependence of sensitivity on velocity
profile in electromagnetic flowmeters. J. Sci. Instr. 32
- VSA (2003): Messtechnik in der Siedlungsentwässerung, Ausgabe 2003, Verband der
Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Zürich

Korrespondenz an:

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey
2100 Korneuburg/Leobendorf
Hofgartenstrasse 4/2
Tel: ++43 (0)2262 68173
Fax: ++43 (0)2262 66385
Mail: aab.frey@aon.at