

ERFAHRUNGEN MIT DER ÜBERPRÜFUNG VON DURCHFLUSSMESSEINRICHTUNGEN

W. Frey, Korneuburg

1. Einleitung

Eine genaue Volumenstrommessung ist eine zentrale Größe für den Betrieb einer Kläranlage. Der Durchfluss wird zur Berechnung von Schmutzfrachten, zur Steuerung durchflussproportionaler Probennahmegeräte und zur Kostenaufteilung zwischen den Einleitern benötigt. Eine regelmäßige Wartung der Messeinrichtungen und Kontrolle der Messwerte ist daher unbedingt erforderlich. In der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser wird daher eine periodischen Überprüfung der Einrichtungen zur Abwassermengenmessung gefordert.

Am häufigsten findet man auf Kläranlagen Venturimesstrecken und Magnetisch Induktive Durchflussmesser.

2. Methodik der Überprüfung

Die Überprüfung einer Durchflussmesseinrichtung umfasst folgende Tätigkeiten:

Beurteilung der Messstelle: Ablagerungen; defekte Einrichtungen (verbogene Halterungen von Messgeräten, usw.); Einstau; Abmessungen 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 – Schaltwarte – Protokollierung)

Kontrollmessungen: Bei Kontrollmessungen ist der Durchfluss mit einem unabhängigen Messverfahren zu ermitteln. Die Auswahl des Messverfahrens richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten und der erforderlichen Genauigkeit. 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 Kontrollmöglichkeit. Man erhält bei dieser Vorgangsweise zwar keine Kalibrierung des untersuchten Systems aber doch eine Information über die Größenordnung des Messfehlers. Je genauer die Messung sein soll, desto größer wird der zu treibende Aufwand und desto höher werden die Kosten.

3. Messverfahren für Überprüfungsmessungen

Eine allgemeine Darstellung der Durchflussmesstechnik soll hier nicht gegeben werden. Eine Zusammenstellung findet sich in der KAN Folge 2. Im Folgenden sollen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, Verfahren die für Überprüfungen eingesetzt werden aufgezeigt werden.

3.1 Volumetrische Messung

Als Beispiel ist die Behältermessung anzuführen, wo aus dem bekannten Volumen eines Behälters (z.B. Pumpenschacht) und der erforderlichen Füll- oder Ausflusszeit der Volumenstrom berechnet werden kann.

Gemessen wird in der Regel die Veränderung des Wasserspiegels im Behälter. 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.

3.2 Netzmessung

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. Die Wasserstandsmessung kann mit einem Maßstab erfolgen. 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 1 ist ein typischer Aufbau einer Messanordnung dargestellt. Die Anordnung des Kontrollquerschnittes richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten. Günstigerweise wird die Messstelle vor dem Venturi 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. Je nach der Zahl der einstellbaren Abflusszustände ist es dann möglich, einen oder mehrere Punkte der Abflusskurve einer Venturi-Messeinrichtung zu bestimmen

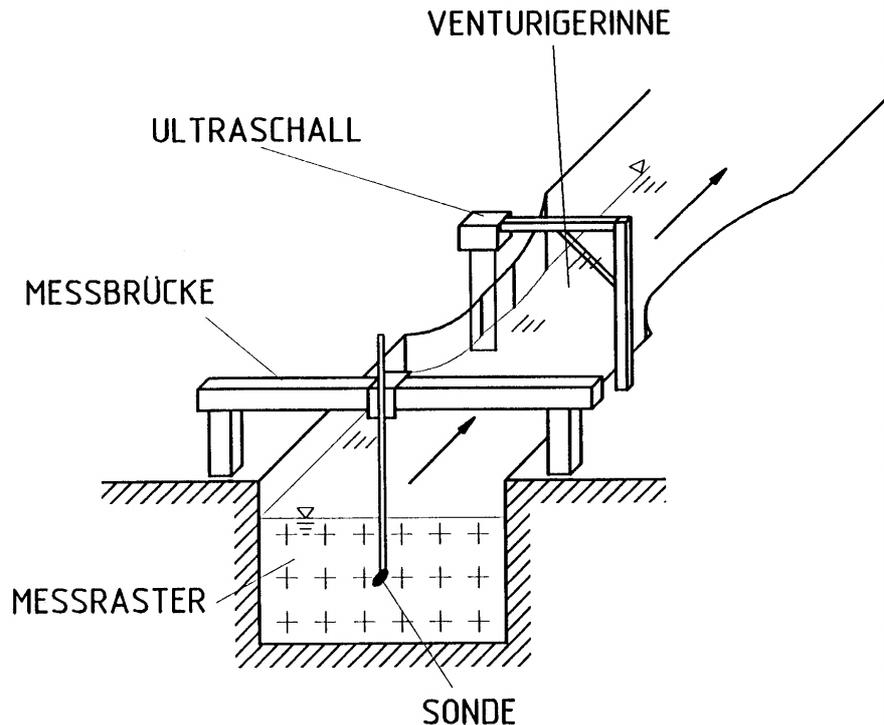


Abbildung 1: Netzmessung

3.2.1 Fallbeispiel A

Auf der **Kläranlage A** wird der Zulauf mit einem Venturi mit trapezförmigem Stauwangenpaar und Sohlschwelle gemessen. Aufgrund von Abweichungen der Tagessummen der Zulauf und der Ablaufmessung wurde eine Überprüfung in Auftrag gegeben. Gegenstand der Untersuchungen sollte der Zulaufventuri sein. Die Gerinnebreite beträgt 1,8 m und der maximale Durchfluss wurde mit 2100 l/s angegeben. Tatsächlich lag der Trockenwetterzufluss bei 100-500 l/s. Die Messstelle wurde durch den Betrieb von Pumpen im Kanalsystem stark beeinflusst. Wenn sich die Pumpen einschalteten stieg die Zulaufmenge kurzfristig um 350-400 l/s.

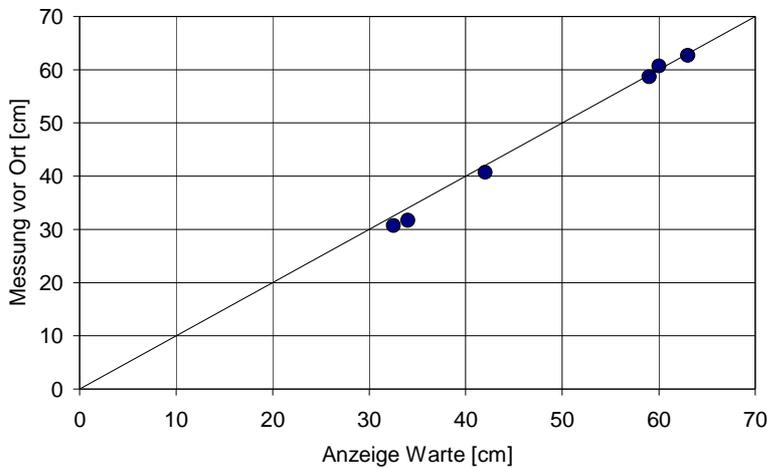
Einstau: Aufgrund der Höhenlage des Venturigerinnes musste als mögliche Ursache für Störungen der Zulaufmengenmessung auch ein Einstau angenommen werden. Zur Überprüfung, ob das Venturi eingestaut werden kann, wurde eine hydraulische Nachrechnung beginnend mit dem gegebenen Wasserspiegel in den Belebungsbecken bis zum Venturi durchgeführt. Die hydraulische Nachrechnung wurde auf Basis der vorhandenen Planunterlagen ausgeführt und durch eine Naturaufnahme (Nivelment der Anlage) überprüft. Die Abweichungen zwischen den im hydraulischen Längenschnitt angegebenen und in der Natur festgestellten Höhen von Gerinnesohlen, Überfallkanten etc. lagen im Bereich von 1 bis 2 cm, also im Bereich der üblichen Bauungenauigkeiten.

Die hydraulischen Berechnungen haben gezeigt, dass es ab einem Durchfluss von 2000 l/s zu einem Einstau des Venturis kommen kann. Bei den auftretenden Werten von maximal 900 l/s aber sicher keine Beeinträchtigung durch Rückstau gegeben ist.

Funktionsprüfung: Die Kontrolle des Nullpunktes wurde seitens des Betriebspersonals regelmäßig selbst vorgenommen und auch geringfügige Korrekturen durchgeführt. Der in der mechanischen Auswertung hinterlegte Q-H-Zusammenhang konnte nicht eruiert werden. Da eine Veränderung des Zusammenhanges nur durch die Anfertigung neuer Kurvenscheiben realisierbar

gewesen wäre, wurde auf weitere Anstrengungen zur Beschaffung der aktuellen Q-H-Linie verzichtet.

Wasserstandsmessung: Die Wasserstandsmessung erfolgt mit dem Luftenperlverfahren. Die Gegenüberstellung der mittels Einperlung gemessenen Wasserspiegellagen und der direkt bei der



Venturimesstelle mit einem Maßstab gemessenen Wassertiefen ist in der Abbildung 2 dargestellt. Im Rahmen der erzielbaren Überprüfungsgenauigkeit wurde eine sehr gute Übereinstimmung erzielt.

Abbildung 2: Kontrolle Wasserstandsmessung

Kontrollmessung:

Durch händische Eingriffe (Einstau von Kanälen; Entleeren von Regenbecken auf der Anlage und im Kanalnetz) konnten mehrere Zulaufmengen simuliert und Netzmessungen der Strömungsgeschwindigkeit im Zulaufgerinne vor dem Venturi durchgeführt werden. Die Vorbereitungen und die tatsächliche Durchführung wurde wesentlich vom Wetter beeinflusst und zog sich über mehrere Monate(!).

Trotz häufiger Reinigung der Gerinnesohle im Bereich der Messstelle kam es durch das Vorhandensein der Sohlschwelle immer wieder zu massiven Ablagerungen. Die Ablagerungen füllten den Sohlbereich keilförmig bis auf Höhe der Sohlschwelle aus. Nach Beobachtung der Entwicklung der Ablagerungen wurde beschlossen die Aufnahme der Q-H-Linie mit den Ablagerungen durchzuführen. Der Strömungsquerschnitt wurde durch Abtasten der Gerinnesohle ermittelt. Die Fließgeschwindigkeit wurde mit einem Magnetisch induktiven Strömungsmessgerät (Fabrikat MARSH&McBIRNEY FLOW-MATE/Mod.2000) gemessen.

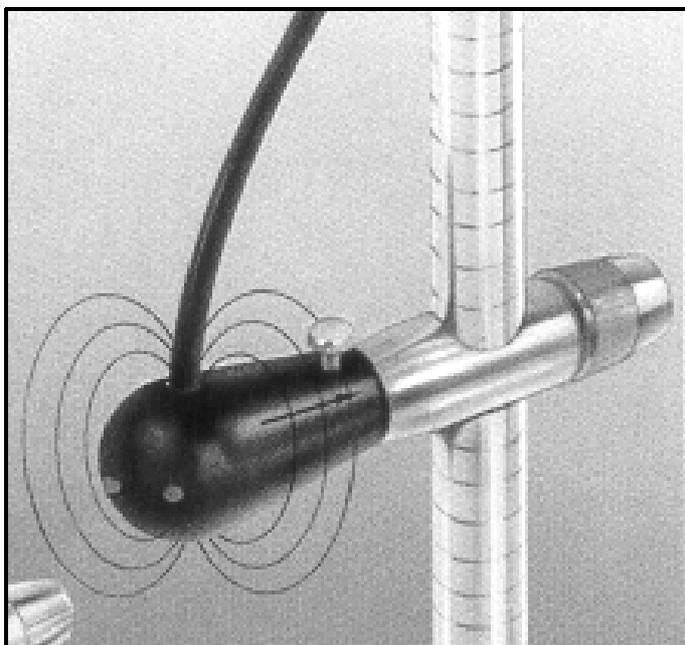


Abbildung 3: Magnetisch induktive Geschwindigkeitsmessung

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 des mechanischen Messflügels dar.

Netzmessung: Wenn die Wasserspiegeldifferenz während einer Netzmessung größer 5 mm war wurde die Messung ausgeschrieben. Die Resultate der gültigen

Messungen sind im Diagramm als volle Punkte dargestellt.

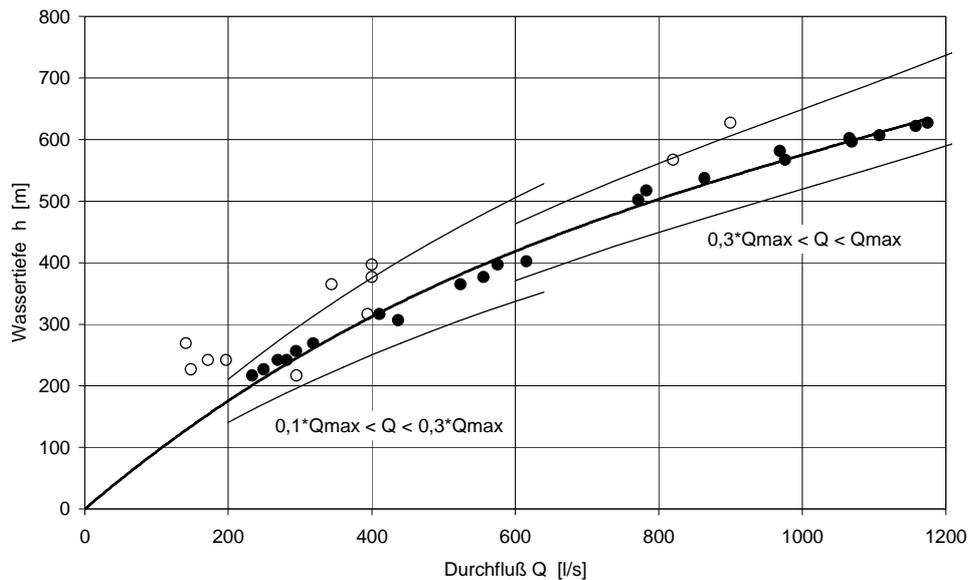


Abbildung 4: Q-H- Kennlinie Kläranlage A

Zum Vergleich sind einige in der Warte registrierten Werte in das Diagramm als Kreise eingetragen. Man erkennt tendenziell niedrigere Werte und eine große Streuung. Aus den Ergebnissen der Netzmessungen kann die Abhängigkeit des Volumenstromes Q von der Fließtiefe H mit folgendem Zusammenhang berechnet werden:

$$Q \text{ [l/s]} = 10^{-6} H^3 + 0,0007 H^2 + 0,9576 H \text{ [mm]}$$

Darin ist H in Millimeter anzugeben dann erhält man Q in Liter pro Sekunde.

Genauigkeitsbetrachtungen: Das Venturi ist für maximal 2100 l/s ausgelegt. Im Trockenwetterfall beträgt die Zulaufmenge 100-500 l/s. Dieser Wert entspricht 5-25% des Maximalwertes. Im Normalfall beginnt der Messbereich eines Venturis bei einer Minimalmenge von $0,1 Q_{\max}$.

In der DIN 19559 Teil 2 werden für Bauartkalibrierung für Gerinnebreiten größer 300 mm folgende Verkehrsfehler als zulässig angegeben:

F	$Q < 0,1 Q_{\max}$	nur mit <u>unakzeptabel großen Abweichungen</u> messbar!!
F	$0,1 Q_{\max} < Q < 0,3 Q_{\max}$	Verkehrsfehler 20%
F	$0,3 Q_{\max} < Q < Q_{\max}$	Verkehrsfehler 12%

Der Verkehrsfehler gibt die maximal zulässige positive bzw. negative Abweichung des Messwertes vom „richtigen“ Wert an.

Im vorliegenden Fall waren alle Durchflusswerte bei Trockenwetter als $0,3 Q_{\max}$ und auch ein erheblicher Teil kleiner als $0,1 Q_{\max}$. Die festgestellten Abweichungen der Wassermengen im Zu- und Ablauf sind damit erklärbar.

Die Umsetzung des Einperldruckes in einen Durchflusswert erfolgte auf der Anlage A mechanisch mittels Kurvenscheiben. Zur Ertüchtigung des Systems wurde vorgeschlagen, die Wassertiefenmessung auf Ultraschall umzurüsten und die ermittelte Q-H-Linie zur Berechnung des Volumenstromes, zu verwenden.

3.2.2 Fallbeispiel B

Auf der Kläranlage B wird die Zulauf- und Ablaufmenge mit Venturi-Messstrecken gemessen. Die Tagessummen der beiden Messstellen sind nicht gleich. Zur Klärung der Frage, ob die Zulaufmengen- oder Ablaufmessung richtige Messwerte ergibt, wurde die Überprüfung der Messstellen veranlasst.

ZULAUFVENTURI: Der auf der Kläranlage B installierte Venturi im Zulaufgerinne ist mit einer trapezförmigen Einschnürung ausgeführt. Das Gerinne war 3 m breit und die Fliesstiefe lag zwischen 0,5 – 1,0 m. Aufgrund der hydraulischen Verhältnisse konnte ein Einstau nicht ausgeschlossen werden. Die Messstelle ist mit einer zweiten Ultraschall-Wasserstandsmessung zur Kompensation eines Einstaus ausgeführt. Der maximale Durchfluss wurde mit 4800 l/s angegeben. Der Trockenwetterzufluss lag bei 500-800 l/s. Das Gerinne vor dem Venturi war vollständig abgedeckt. Die GFK-Abdeckungen wurden für die Kontrollmessungen teilweise entfernt.

Funktionsprüfung: Bei der Durchsicht der Dokumentation der Messstelle fiel auf, dass der Messbereich der Datenregistrierung auf 100% = 4096 l/s und nicht wie vorgegeben auf 4800 l/s eingestellt war (ein Minus von 15%!). Eine Kontrolle des Nullpunktes wäre nur mit großem Aufwand (Abpumpen der Vorklärbecken) möglich gewesen – es wurde darauf verzichtet. Aufgrund fehlender Dokumentation der Visualisierungseinrichtung konnte auch keine Kontrolle der Höhenstandsmessung durchgeführt werden.

Im Gerinne waren keine Ablagerungen feststellbar. Die Strömung war bei Trockenwetter unauffällig. Bei Regenwetter jedoch kam es zu unkontrollierbaren Rückwirkungen aus dem Rundverteiler auf die Messstelle. Das Stauwangenpaar saß in unmittelbarer Nähe zur Einströmung in den Rundverteiler. Die Umlaufströmung im Rundverteiler erreichte eine beträchtliche Geschwindigkeit. Es bildete sich eine zentrale Trombe von mindestens 1m Tiefe und eine Überhöhung des Wasserstandes am Bauwerksumfang aus. Eine Quantitative Abschätzung dieses Einflusses konnte vom Lieferanten des Messsystems nicht gegeben werden.

Kontrollmessungen: Die Geschwindigkeiten in den Netzpunkten wurden mit zwei an einer Stange befestigten magnetisch induktiven Messgeräten durchgeführt. Durch den Einsatz von zwei Geräten konnte die Dauer für einen Messdurchgang auf ca. 15 Minuten reduziert werden. Die Messung des Wasserspiegels erfolgte mit einem Hand-Ultraschallmessgerät, zusätzlich wurden Kontrollen mit einem Maßstab durchgeführt.

Die Netzmessungen bei Trockenwetter zeigten eine sehr gute Übereinstimmung mit der installierten Messung. Nach Beobachtungen des Betriebspersonals waren die Abweichungen bei Regenwetter deutlich größer als bei Trockenwetter. Nach den Netzmessungen bei Trockenwetter sollte daher auch ein Durchfluss im Bereich von 4000 l/s nachgemessen werden.

Da es im Einzugsgebiet der Kläranlage B von August 1999 bis März 2000 kein länger dauerndes Niederschlagsereignis gegeben hatte, wurde beschlossen durch einen vollständigen Einstau der Stauraumkanäle und entsprechend verzögerte Öffnung der Teilabschnitte ein Regenereignis zu simulieren. Es wurden einige Probeläufe durchgeführt bei denen der Ablauf ermittelt wurde. Es wurde dabei berücksichtigt, dass eine Abweichung der installierten Messeinrichtung nur erkannt werden konnte, wenn sich in den Vorklärbecken stationäre Verhältnisse (Rückstau zum Verteiler und damit zur Messeinrichtung) einstellen.

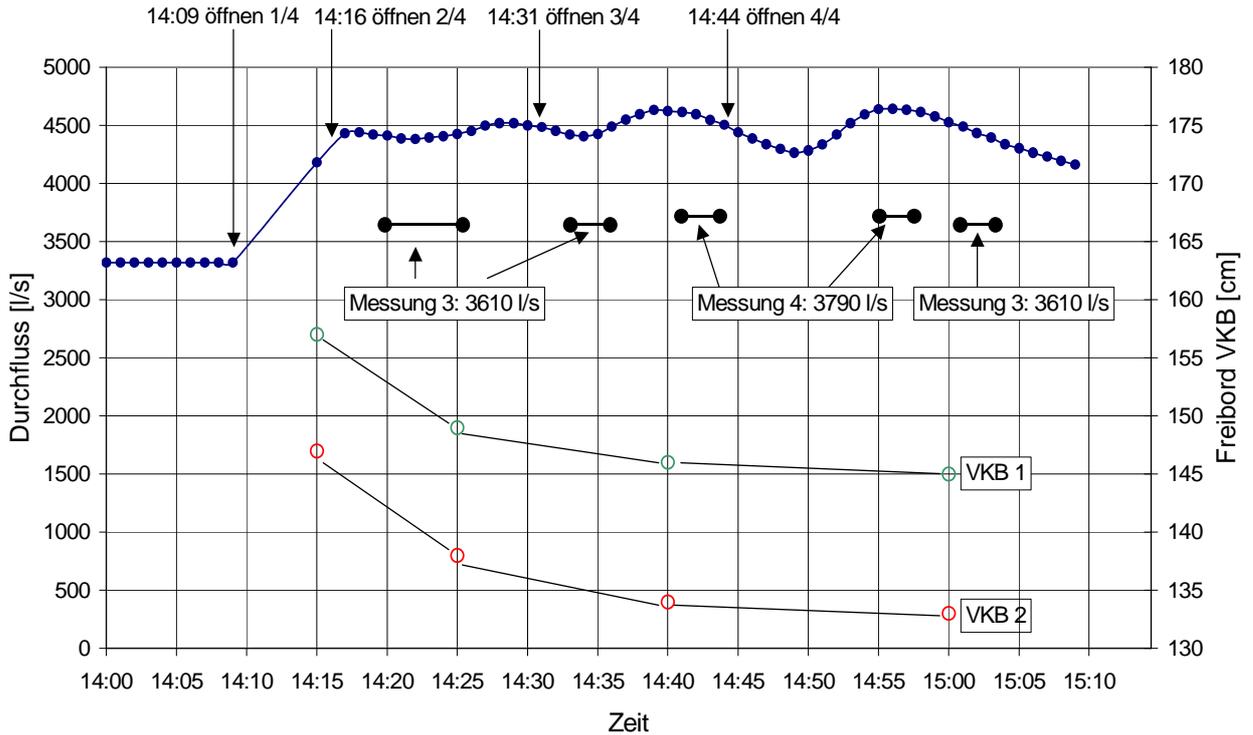
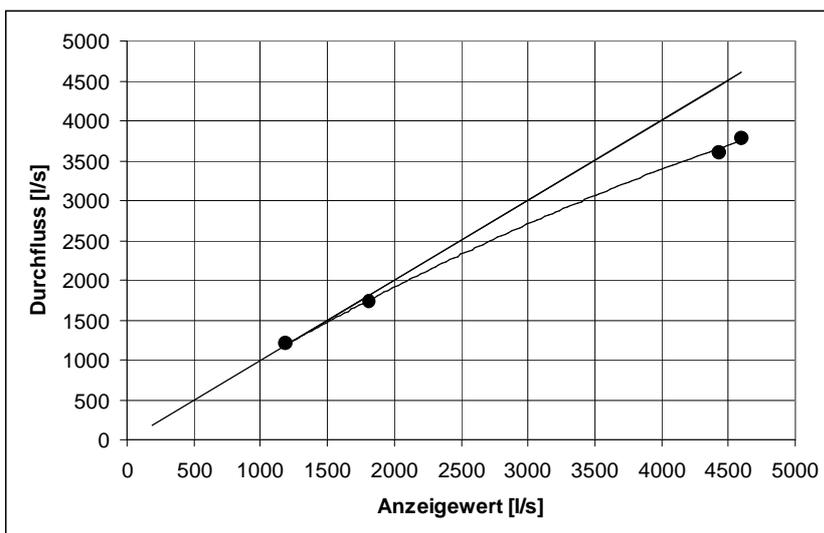


Abbildung 5: Zulaufsituation Kläranlage B

Die Abbildung 5 zeigt die Ablesewerte vor Ort, die Freibordhöhe in den beiden Vorklärbecken und die Mittelwerte der zusammengefassten Ergebnisse der Netzmessung. Der gemessene Volumenstrom war ca. 18 % kleiner als der vor Ort abgelesene Volumenstrom.

Abbildung 6: Zusammenhang Anzeige - Netzmessung Kläranlage B Zulauf



Aus den vorliegenden Messdaten wurde eine empirische Korrekturfunktion abgeleitet. In der Abbildung 6 ist der Zusammenhang zwischen dem gemessenen Volumenstrom und den Anzeigewerten dargestellt.

Bis ca. 1500 l/s stimmt die Messung sehr gut, dh. der Trockenwetteranfall wird richtig erfasst. Ab 1500 l/s kann man mit der untenstehenden

Formel aus dem Ablesewert (AW) den tatsächliche Zulaufvolumenstrom (Q_{zu}) berechnen.

$$Q_{zu} = 1,0638 \text{ AW} - 0,00005 \text{ AW}^2$$

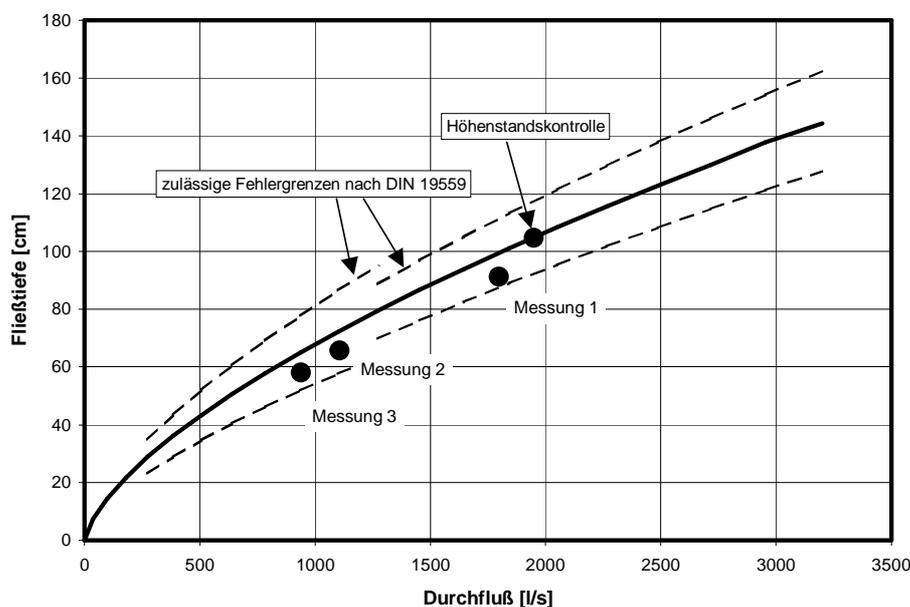
ABLAUFVENTURI:

Der auf der Kläranlage B installierte Venturi im Ablaufgerinne ist mit einer konventionellen Einschnürung ausgeführt. Das Gerinne war 2 m breit und die Fliesstiefe lag zwischen 0,5 – 1,0 m. Die Rinne war vollständig mit Fliesen ausgekleidet. Aufgrund der hydraulischen Verhältnisse konnte ein Einstau ausgeschlossen werden. Der maximale Durchfluss wurde mit 3200 l/s angegeben. Der Trockenwetterablauf lag bei 500-800 l/s. Die Fliesstiefe wurde mit der Einperlmethode gemessen. Das Auswertesystem funktioniert teilmechanisch.

Das Gerinne vor dem Venturi war vollständig mit Fertigbetonteilen abgedeckt und begrünt. Als Vorarbeiten mussten die Begrünung entfernt und ein Betonteil abgehoben werden.

Funktionsprüfung: Bei einer angezeigten Fließtiefe von 110 cm wurden exakt 110 cm im Gerinne gemessen. Ein weiterer Kontrollpunkt wurde mit $H=76\%$ (=110,2 cm) und $Q=72,2\%$ (=1936 l/s) abgelesen. Dieses Wertepaar lag exakt auf der theoretischen H-Q-Linie und bestätigt somit die richtige Einstellung des Messgerätes (nicht aber des absoluten Messwertes). Da gezeigt werden konnte, dass die Q-H-Linie richtig implementiert ist, wurde für weitere Auswertungen die Q-H-Linie verwendet.

Kontrollmessungen: Die Geschwindigkeiten in den Netzpunkten wurden mit einem an einer Stange befestigten magnetisch induktiven Messgerät durchgeführt. Die Messung des Wasserspiegels erfolgte mit einem Hand-Ultraschallmessgerät, zusätzlich wurden Kontrollen mit einem Maßstab durchgeführt. In der folgenden Abbildung sind die drei Messungen und die verwendete



H-Q Linie eingetragen. Zusätzlich ist das Wertepaar aus der Wasserstandshöhenmessung eingetragen, es liegt exakt auf der H-Q-Linie. Die strichlierten Linien sind die nach DIN 19559 Teil 2 zulässigen Verkehrsfehler für bauartkalibrierte Venturimesseinrichtungen.

Abbildung 7: Q-

H- Kennlinie Kläranlage A Ablauf

In der Abbildung 7 sind die drei Messungen und die zur Verfügung gestellte H-Q Linie eingetragen. Zusätzlich ist das Wertepaar aus der Wasserstandshöhenmessung eingetragen, es liegt exakt auf der H-Q-Linie. Die strichlierten Linien sind die nach DIN 19559 Teil 2 zulässigen Verkehrsfehler von Venturimesseinrichtungen. Der gemessene Volumenstrom war um ca. 17 % größer als der aus der H-Q-Linie ermittelte Volumenstrom.

Die Kontrollmessungen haben gezeigt, dass die Zulaufmengenmessung zu große Werte und die Ablaufmessung zu kleine Werte angezeigt hat. Aufgrund der gegenläufigen Abweichungen der beiden Messstellen sind die Messfehler deutlich aufgefallen und es konnte eine Korrektur vorgenommen werden.

3.3 Mitführeffekt

Bei Messgeräten die mit dem **Mitführeffekt** 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**.

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 Volumenstromes erfolgt wieder durch Multiplikation der Geschwindigkeit mit dem Rohrquerschnitt.

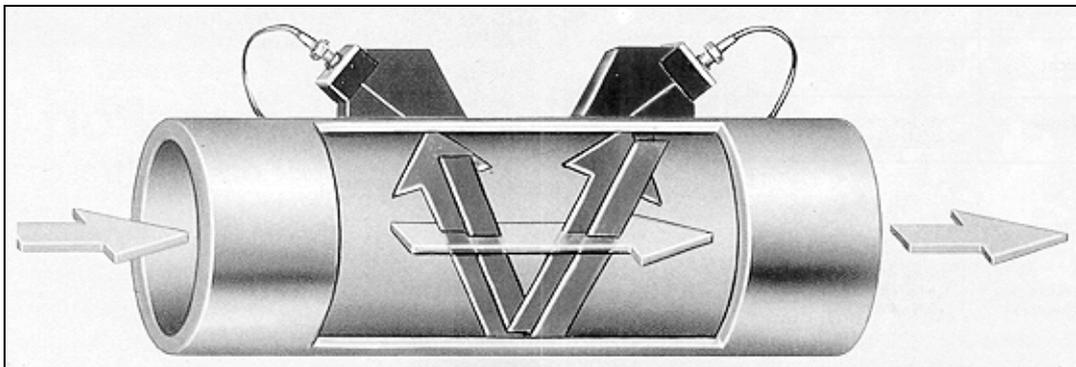


Abbildung 8: Geschwindigkeitsmessung im vollgefüllten Rohr

Die Messung kann für Parallelmessungen an MID Messeinrichtungen eingesetzt werden.

Anwendungsbereich:

- vollgefüllte Rohrleitung
- nicht zu hohe Feststoffgehalte
- ungestörte, radialsymmetrische Rohrströmung

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 auch den Empfänger 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.

Einige der angebotenen Geräte erlauben eine Anpassung des Signals an das Medium. So kann beispielsweise die Leistung und/oder die Frequenz variiert werden.

3.3.1 Fallbeispiele

Auf einer **Kläranlage C** ist zur Messung des Rücklaufschlammes ein MID (DN 100) installiert. Im Rahmen einer Geräteüberprüfung wurde in unmittelbarer Nähe des MID mit einem „Ultraschall-Mitführeffekt“ Messsystem eine Parallelmessung durchgeführt. Durch den Feststoffgehalt im Medium musste die Leistung der Signalgeber erhöht werden. Nach dieser Umstellung wurden hervorragende Übereinstimmungen (Abweichung kleiner 5%) festgestellt. Zur Verifikation der Ergebnisse wurde als Kontrollmessung eine Behältermessung (Füllen eines Schlammstillens) durchgeführt. Aufgrund von Problemen bei der Füllstandsmessung (Wellenbildung und Spritzwirkung) konnten die Ergebnisse aber keine zusätzliche Information liefern.

Im Kanalnetz der **Kläranlage D** befindet sich eine Pumpstation mit 6 Kreiselpumpen mit einer Nenn-Förderleistung von insgesamt 2250 l/s. Im Gerinne nach der Pumpstation ist eine Messstelle, die auf Basis einer reibungskontrollierten Strömung aus der Fliesstiefe den Durchfluss ermittelt, installiert. Da bei Betrieb der Pumpen an dieser Messstelle nur etwa 60% der Nennleistung der Pumpen angezeigt wurde, wurde eine Überprüfung durchgeführt. Zum Einsatz kam ein „Ultraschall-Mitführeffekt“ Messsystem. Die Messung wurde an der Druckseite im aufsteigenden Rohr angebracht. Die Montage der kombinierten Sende- und Empfangsköpfe an den DN 250 und DN 500 Leitungen war, trotz eines vorhandenen Steges, sehr aufwendig. Die gesamte Rohrlänge war um etwa 30% zu kurz um die erforderlichen Beruhigungsstrecken einhalten zu können. Der Betriebsfehler des Messgerätes wurde daher hoch, mit $\pm 10\%$, angesetzt. Die Ablesungen wurden nach einer Einlaufzeit von jeweils ca. 10 Minuten vorgenommen.

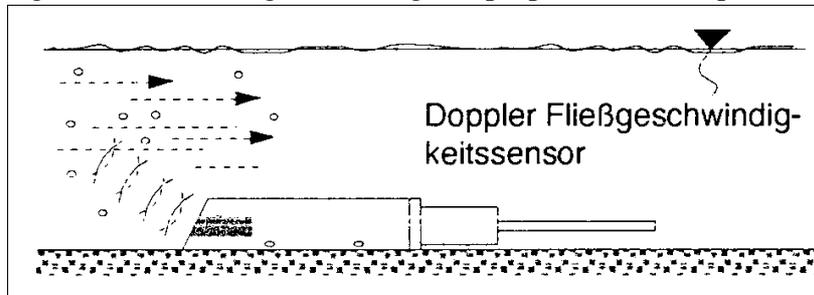
Bei den kleineren Pumpen (250 l/s) wurde mit der vor Ort Messung 230 l/s und mit der Kontrollmessung 210 l/s gemessen. Die Abweichung lag daher unter 10% und damit im Rahmen der Messgenauigkeit des Parallelsystems. Die Fördermenge entspricht den Erwartungen und war mit den vorliegenden Pumpenkennlinien in Übereinstimmung. Auch die ermittelte elektrische Leistungsaufnahme stimmte mit dem aus der Kennlinie abgenommenen Wert gut zusammen. Anhand dieser Messungen konnte keine Fehlfunktion der installierten Messeinrichtung festgestellt werden.

Bei den großen Pumpen (500 l/s) wurde mit der vor Ort Messung 240 l/s und mit der Kontrollmessung 220 l/s gemessen. Die Abweichung lag ebenfalls unter 10% und damit auch im Rahmen der Messgenauigkeit des Parallelsystems. Der gemessene Wert lag aber mit ca. 220 l/s bei knapp 50% des erwarteten Wertes! Die Pumpen hatten keine Typenschilder.

Hier konnte durch die Kontrollmessung die Funktion der vor Ort Messeinrichtung bestätigt und gleichzeitig ein Mangel an anderer Stelle entdeckt werden.

3.4 Doppler Verfahren (Kanalratte)

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. 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 Messwertnehmer abhängigen Bereich im Inneren der Flüssigkeit die örtliche („punktförmige“) Geschwindigkeit der mitgeführten Partikel gemessen.

Abbildung 9: Kanalratte

Die **Zuordnung** der gemessenen **punktuellen Geschwindigkeit zur mittleren Geschwindigkeit** im Messquerschnitt ist eine schwierige Aufgabe. Je nach durchströmtem Profil, Füllungsgrad (Wassertiefe) und sonstigen hydraulischen Randbedingungen stellt sich eine spezifische Geschwindigkeitsverteilung ein. Die Geschwindigkeitsverteilung bestimmt den **Umrechnungsfaktor**. 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, nach Herstellerangaben, in verschiedenen Abständen über dem Sensor die örtlichen Geschwindigkeiten zu messen und diese Signale zu einer mittleren Geschwindigkeit umzuformen.

Die Sensoren werden häufig als kombinierte Druck- und Geschwindigkeitssensoren ausgeführt. Sie werden entweder direkt an der Gerinnesohle oder an der Gerinnewand angeordnet. Der Messwertnehmer 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.

3.5 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. Unter günstigen Voraussetzungen, z.B. feststofffreiem, gereinigtem Abwasser, können unter Beachtung der Einbaubedingungen sehr hohe Genauigkeiten erzielt werden. Beim Dreieckswehr sind aufgrund der Geometrie 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 Dreieckswehres erklärt werden. Das Dreieckswehr ist für stark schwankende Überfallmengen sehr gut geeignet.

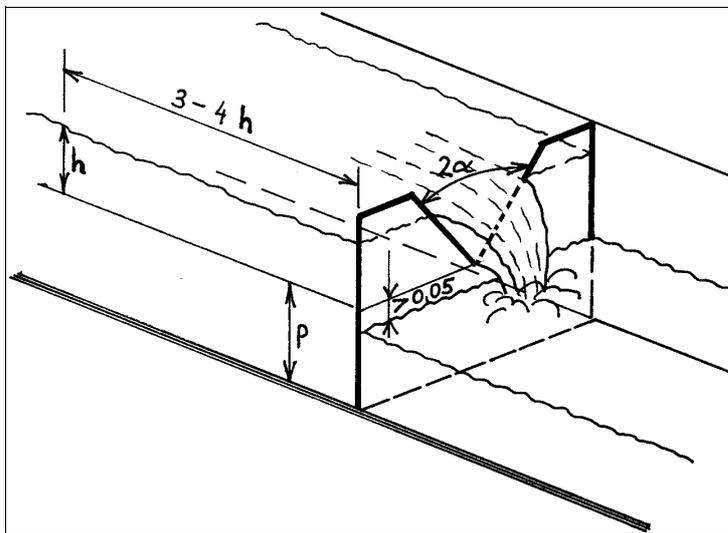


Abbildung 10: Abfluss über ein dreieckiges Messwehr

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.

3.6 Mobiler MID

Die Messung der Fließgeschwindigkeit erfolgt mittels des **Faraday'schen Induktionsgesetzes**. Ausgenutzt wird dabei die Tatsache, dass durch die Bewegung eines Leiters in einem Magnetfeld eine Spannung induziert wird. Jedes Teilchen 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.

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

Für den Einbau von induktiven Durchflussmessern sei darauf hingewiesen, dass es wichtig ist, dass die **Rohrleitung stets voll gefüllt** (z.B. Düker) ist, dass 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.

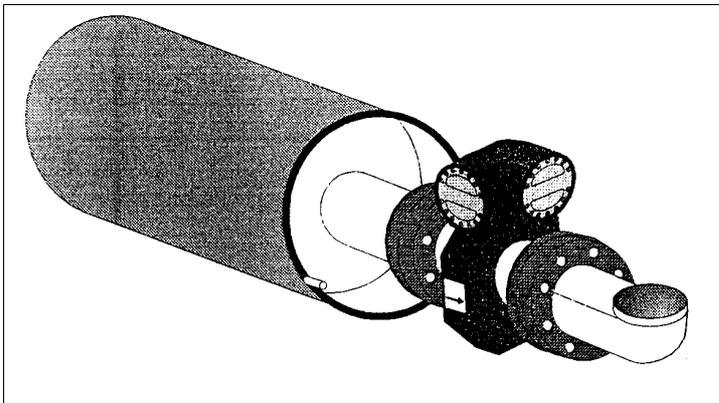


Abbildung 11: Mobile MID – Einheit zur Messung im Kanal

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.

Dem Autor sind mit Ausnahme des Amtes der Burgenländischen Landesregierung, die über ein solches Gerät verfügt, keine Anwendungen dieser Methode in Österreich bekannt. Aufgrund der Abmessungen und des Gewichtes der Messeinrichtung ist für die Installation entsprechende Ausrüstung (Hebezeug) erforderlich. Beim Einsatz im Kanalnetz ist jedenfalls auf den erzeugten Rückstau zu achten.

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

4. Schlussbemerkungen

„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 Messstelle für den jeweiligen Fall Messwertaufnehmer verfügbar sind, die den Eigenschaften eines idealen Messwertaufnehmers mehr oder weniger nahe kommen.

5. Literatur

- : *Magnetisch-Induktive Durchflussmessung auf Kläranlagen Grundlagen und Anwendung*. Herausgeber Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft Universität - Gesamthochschule Kassel; Hirthammer Verlag München (1993)
- : *Merkblatt „ Durchflussmessung auf Abwasserbehandlungsanlagen und ihre Kontrolle“* Herausgeber: Hessisches Ministerium für Umwelt-, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, März 1996
- 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
- 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
- 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
Abwassertechnische Ausbildung und Beratung
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2
A-2100 Korneuburg

Telefon : ++43 (0) 2262 68173
Fax: ++43 (0) 2262 66 385
e-mail: aab.frey@aon.at