

Überprüfung von stationären Durchflussmesseinrichtungen auf Abwasserreinigungsanlagen - Vergleichsmessung und planerische Aspekte

Wilhelm Frey

1. Einleitung

Der Durchfluss ist eine zentrale Größe für die Überwachung und den Betrieb einer Kläranlage. Eine regelmäßige Wartung der Messeinrichtungen und Kontrolle der Messwerte ist daher unbedingt erforderlich. In der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser wird eine periodische Überprüfung der Einrichtungen zur Abwassermengenmessung gefordert. Solche Überprüfungen wurden bisher, wenn überhaupt, nach sehr unterschiedlichen Standards durchgeführt.

Um die Vorgangsweise und Dokumentation der Kontrolle von Durchflussmesseinrichtungen zu vereinheitlichen, wurde das ÖWAV Regelblatt 38 „Überprüfung stationärer Durchflussmesseinrichtungen auf Abwasseranlagen“ erstellt.

Im vorliegenden Beitrag werden die, bei der Durchführung von Vergleichsmessungen, gesammelten Erfahrungen dargestellt. Darauf aufbauend, werden Hinweise zur Gestaltung von Messstellen, im Hinblick auf eine einfache Durchführung von Kontrollen gegeben.

2. Überprüfung nach ÖWAV Regelblatt 38

Im ÖWAV Regelblatt 38 „Überprüfung stationärer Durchflussmesseinrichtungen auf Abwasseranlagen“ wird zwischen Erst- bzw. Vollprüfung und Vereinfachter Prüfung unterschieden. Bei der Erstprüfung werden alle Abmessungen und die Einbaugeometrie des Messsystems vor Ort erfasst und die Vergleichsmessung ist für drei deutlich unterschiedliche Durchflüsse durchzuführen. Die Vereinfachte Prüfung greift auf die bei der Erstprüfung erfassten Daten der Messeinrichtung zurück und für die Ver-

gleichsmessung genügt ein Durchfluss im üblichen Bereich. Im Folgenden werden nun die Methoden und die Vorgangsweise bei der Vergleichsmessung besprochen.

2.1 Vergleichsmessung

Ziel der Vergleichsmessung ist es, über einen möglichst langen Zeitraum, sowohl Momentanwerte als auch Summenwerte der stationären Messeinrichtung mit den Messwerten einer mobilen Messeinrichtung, zu vergleichen.

Im Rahmen einer Vollprüfung muss die Vergleichsmessung mindestens für drei deutlich unterschiedliche Durchflüsse durchgeführt werden (z.B. 15%, 30% und 50% von Q_{\max}). Bei der vereinfachten Prüfung reicht ein Durchfluss im üblichen Bereich. Das Merkblatt 38 nennt für die Dauer der Vergleichsmessung einen Zeitraum von mindestens 3 Stunden.

Die für die Vergleichsmessung eingesetzte Messeinrichtung darf einen Garantiefehler von 2% nicht überschreiten. Bei technischen Prüfmitteln ist ein Kalibrierschein nicht älter als 15 Monate vorzulegen. Diese Festlegung ist eine Maßnahme zur Qualitätssicherung. Die dadurch entstehenden Kosten sind, je nach Messsystem, erheblich (bis 20% vom Anschaffungspreis des Messgerätes).

Eine installierte Messeinrichtung ist „in Ordnung“, wenn die Abweichung der Messwerte des installierten Messsystems zum Vergleichs-Messsystem maximal 10% beträgt. Bei der Auswertung der Messdaten ist auf allfällige Fehler, durch Datenverdichtung bei der Registrierung im Prozessleitsystem der Kläranlage, zu achten.

2.2 Methoden zur Vergleichsmessung

Für Vergleichsmessungen werden u.a. folgende Verfahren eingesetzt:

- Behältermessung
- Netzmessung
- Messwehr
- Ultraschall: Doppler, Kreuzkorrelation, Laufzeit
- Magnetisch Induktiv (MID)

Behältermessungen sind immer dann anwendbar, wenn die Baulichkeiten vorhanden sind und ein entsprechend großer Aufstau (mindestens 50 cm) möglich ist. In offenen Gerinnen mit großem Querschnitt sind Vergleichsmessungen praktisch nur mittels Netzmessung zu bewerkstelligen. Für mittlere und kleine offene Gerinne hat sich der Einsatz von Wehrmessungen, Ultraschall-Kreuzkorrelationsmessgeräten und mobilen MID's bewährt. Bei geschlossenen Rohrleitungen bietet sich die Ultraschall-Laufzeitmethode an.

2.2.1 Volumetrische Messung

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

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

Abschätzung der Messunsicherheit bei einer volumetrischen Vergleichsmessung

Anhand eines Beispiels soll aufgezeigt werden mit welchen Messunsicherheiten bei der Anwendung einer volumetrischen Vergleichsmessung (Behältermessung) zu rechnen ist. Für den Gesamtfehler gilt das Fehlerfortpflanzungsgesetz. Dieses besagt, dass der relative Gesamtfehler gleich der Wurzel aus der Summe der (relativen) Einzelfehler zum Quadrat ist.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die Abmessungen des Behälters können mit einer Genauigkeit von $\pm 3\text{cm}$ bestimmt werden.
- Die Wasserspiegellage wird mit einer Genauigkeit von $\pm 1\text{cm}$ gemessen.
- Die Zeitmessung erfolgt mit einer Ablesegenauigkeit von $\pm 0,5$ Sekunden.

In der Tabelle 1 ist für einen Durchfluss von 40L/s der zu erwartende relative Fehler in Prozent (Messunsicherheit) für verschiedene Beckenabmessungen berechnet.

Tabelle 1: Messunsicherheit volumetrische Vergleichsmessung

Länge	m	20	15	10	5
Breite	m	5	5	5	5
Zulaufvolumenstrom	L/s	40	40	40	40
Zeit	min	10	10	10	10
Aufstau	m	0,24	0,32	0,48	0,96
rel. Fehler L	%	0,15	0,20	0,30	0,60
rel. Fehler B	%	0,60	0,60	0,60	0,60
rel. Fehler Aufstau	%	4,17	3,12	2,08	1,04
rel. Fehler Zeit	%	0,08	0,08	0,08	0,08
ges. Fehler	%	4,21	3,19	2,19	1,35

Man erkennt, dass der entscheidende Punkt der Fehler bei der Messung der Wasserspiegelveränderung ist. Da die Genauigkeit der Messung der Wasserspiegelveränderung kaum unter 1 cm liegen wird, ist die Genauigkeit der gesamten Messung daher von der absoluten Aufstauhöhe und somit von der Wahl des Beckens abhängig.

Unabhängig vom Durchfluss und der Beckengeometrie wird daher empfohlen eine Aufstauhöhe von mindestens 0,5 m zu erreichen um den Gesamtfehler unter 2% zu halten.

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.

2.2.2 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 Querschnittsfläche 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 bei größeren Anlagen in Freispiegelkanälen zum Einsatz.

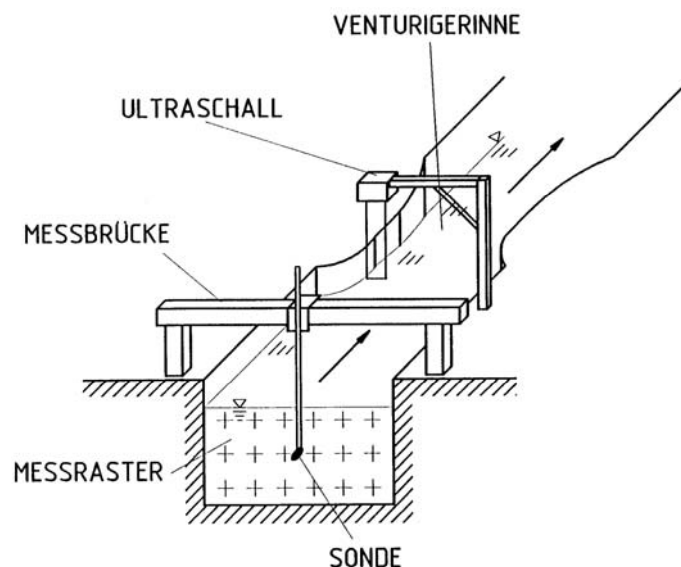


Abbildung 1: Netzmessung

Voraussetzungen:

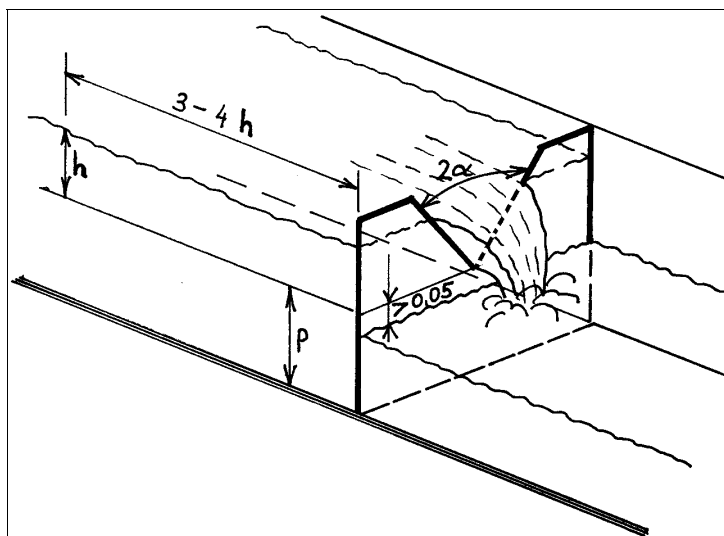
- zugänglicher Gerinnebereich mit Messbrücke
- beruhigte Strömung
- konstante Abflusszustände - diese Zustände müssen über einen langen Zeitraum (60 min) gehalten werden können. Je nach der Zahl der einstellbaren Abflusszustände ist es dann möglich, einen oder mehrere Punkte der Abflusskurve einer Venturi-Messeinrichtung zu bestimmen

2.2.3 Messwehr

Messwehre werden aus dünnwandigen Platten mit genau definierten Überfallkanten hergestellt. Je nach Messaufgabe werden dabei dreieckige, rechteckige oder trapez-

förmige 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 hydraulisches Gefälle benötigt.



Stellvertretend für die Messwehre soll das Prinzip an Hand des Dreieckswehres (Abbildung 2) erklärt werden. Das Dreieckswehr ist für stark schwankende Überfallmengen sehr gut geeignet.

Abbildung 2: Dreieckswehr

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 Überströmhöhe 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.

2.2.4 Kreuzkorrelation

Der Sensor sendet ein kurzes Ultraschallsignal in das Medium aus, schaltet auf Empfangsmodus um und empfängt die durch Partikel verursachten Reflexionen. Dieser Vorgang erfolgt in mehreren Messfenstern über dem Sensor. Die empfangenen Reflexionen werden abgespeichert und anschließend der Scanvorgang wiederholt. Die empfangenen Echomuster der Signale werden nun miteinander verglichen. Unter Berücksichtigung der Laufzeit kann daraus die Geschwindigkeit der Partikel in den unterschiedlichen Ebenen ermittelt und daraus eine mittlere Geschwindigkeit über die Fließtiefe berechnet werden.

2.2.5 Laufzeitverfahren

Bei Messgeräten die nach dem Laufzeitverfahren arbeiten wird zwischen zwei Messköpfen die Laufzeit der Schallimpulse (oder die Phasenlage) 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 (Abbildung 3) 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.

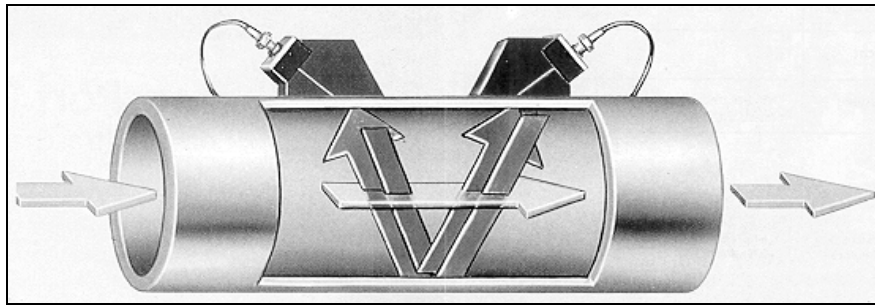


Abbildung 3: Laufzeitverfahren

Anwendungsbereich:

- voll gefüllte Rohrleitung
- saubere Rohrwand
- 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.

2.2.6 Magnetisch Induktive Durchflussmessung

Die Messung der Fließgeschwindigkeit erfolgt mit Hilfe des Faraday'schen Induktionsgesetzes. Ausgenützt 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.

2.3 Vorbereitung und Durchführung einer Vergleichsmessung

Zur Vorbereitung einer Vergleichsmessung ist zu klären, ob die Messstelle bzw. das Gerinne oder die Rohrleitung zugänglich ist. Aufgrund der vorliegenden örtlichen Gegebenheiten, muss das einzusetzende Vergleichsmesssystem ausgewählt und die Einbauposition festgelegt werden. Bei der Auswahl der mobilen Messeinrichtung ist darauf zu achten, dass keine gegenseitige Beeinflussung der stationären Einrichtung durch die mobile Einrichtung erfolgt. Die Angemessenheit der erforderlichen Maßnahmen für eine Vergleichsmessung sollte jedenfalls berücksichtigt werden.

Die Vorgabe, drei verschiedene Durchflüsse von denen einer in der Größenordnung von 50% des Maximalwertes liegen sollte eine Stunde lang zu prüfen, ist nicht immer erfüllbar. Viele Anlagen werden im Normalfall bei 10 – 20 % des Maximaldurchflusses betrieben. Ohne Eingriffe (Zwischenspeicherung im Kanalnetz, Füllen von Regenbecken und Entleeren, etc.) in das Abflussgeschehen ist die Steigerung der Zulaufmenge selten realisierbar. Diese Maßnahmen müssen sorgfältig vorgeplant werden, da sonst unnötigerweise Regenentlastungen ansprechen oder eine Beeinträchtigung von angeschlossenen Objekten auftreten kann. Wird Oberflächenwasser zur Steigerung der Durchflussmenge in das Kanalsystem eingeleitet, ist das Einvernehmen mit der Gewässeraufsicht herzustellen.

Die Realisierung von Durchflüssen in der Größe des Maximaldurchflusses ist nur in Einzelfällen (z.B. Regenereignis genau während der Überprüfung) möglich.

Zusätzliche Probleme sind bei Anlagen mit einer Beschickung über ein Pumpwerk zu erwarten. Starke Schwankungen im Zulaufgeschehen während der Vergleichsmessung sind jedenfalls zu vermeiden.

2.3.1 Beispiel einer Vergleichsmessung an einer Venturimessstrecke im Anlagenzulauf

Das Gerinne war vollständig abgedeckt, die Venturimessstrecke war nur im Bereich des Stauwangenpaares zugänglich. Als Messsystem wurde die Kreuzkorrelations-Methode gewählt. Die Positionierung des Sensors war daher nur vor der Einschnürung möglich.

Der Durchfluss am Messtag betrug 10-20% des Maximalwertes. Es wurde daher eine Rezirkulationsleitung mit einer mobilen Pumpe (ca. 160L/s) aufgebaut. Das Wasser wurde nach der Venturimessstelle (aus der Vorklärung) wieder in den Sandfang zurückgepumpt.

Im Messbereich von 30% bis 70% von Q_{\max} sind Abweichungen von maximal 5,1 % aufgetreten. Der Vergleich der Durchflusssummen des Venturi und der mobilen Messung über die gesamte Versuchsdauer von ca. 4 Stunden ergab eine Abweichung von 2,3 %.

2.3.2 Beispiel einer Vergleichsmessung an einer Magnetisch Induktiven Durchflussmesseinrichtung

Die Magnetisch Induktive Durchflussmessung war im Rücklaufschlammkreislauf eingebaut. Der Einbauschacht war zu klein um ein Aufschnallgerät zu montieren. Die Rücklaufschlammleitung war im Erdreich verlegt und daher nicht zugänglich. Die einzige Möglichkeit die Rücklaufschlammmenge zu kontrollieren, war nach dem MID an der Einleitung in die Pumpvorlage der Schneckenpumpen.

Für die Vergleichsmessung wurde an der Ausströmöffnung ein Verlängerungsrohr montiert. In dieses Kunststoffrohr wurde ein Kreuzkorrelationssensor eingebaut.

Die unterschiedlichen Durchflüsse wurden durch die Anzahl und Drehzahl der Rücklaufschlamm Schnecken eingestellt.

Im Messbereich von 30% bis 70% von Q_{\max} sind Abweichungen von maximal 1,9 % aufgetreten. Der Vergleich der Durchflusssummen des Venturi und der mobilen Messung über die gesamte Versuchsdauer von ca. 4 Stunden ergab eine Abweichung von 0,5 %.

3. Hinweise zur Planung von Durchflussmessstellen aus der Sicht einer späteren Überprüfung

Es ist sinnvoll bereits im Planungs- und Errichtungsstadium einer Kläranlage Überlegungen zur Überprüfung von stationären Durchflussmesseinrichtungen anzustellen. Ist eine Messstelle ungünstig gebaut sind Vergleichsmessungen oft nur mit großem Aufwand realisierbar.

Als wesentliche Punkte sind zu nennen:

- Die Zugänglichkeit der Messstelle muss gegeben sein (z.B. leicht entfernbar Gitterroste; bei tief liegenden Gerinnen und Rohrleitungen einfache Abstiegsmöglichkeit)
- Eine optische Beurteilung der hydraulischen Verhältnisse sowie die Kontrolle, ob Ablagerungen vorhanden sind, erleichtern die Prüfaufgabe erheblich.
- Für den Einbau von Vergleichsmesssystemen müssen die, an die Messstelle angrenzenden, Gerinneabschnitte bzw. Rohrleitungen frei zugänglich sein.
- Die Vorbereitung einer Messstelle, für den temporären Einbau eines Vergleichsmesssystems, kann den Zeit- und Kostenaufwand für Überprüfungen des stationären Systems stark senken.
- Um den gesamten Messbereich des stationären Systems prüfen zu können, sind Möglichkeiten zu schaffen Wasser zwischen zu speichern und/oder zu rezirkulieren.

Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Frey
Ingenieurkonsulent für Maschinenbau
Abwassertechnische Ausbildung und Beratung
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2
A-2100 Korneuburg
e-mail: aab.frey@aon.at