

# Venturikanäle und messtechnische Anforderungen für genaue Abwassermengenmessungen

Autor(en): **Züllig, Hans**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **69 (1977)**

Heft 5

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-941490>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Hans Züllig

## 1. Problemstellung

Die meisten Verfahren zur Messung von Wassermengen haben ihre optimalen Arbeitsbereiche, das heisst sie liefern zum Beispiel im unteren, mittleren oder oberen Teil des Messbereichs die grösste Präzision. Charakteristisch für jedes Durchflussmess-System ist auch der Dynamikbereich, das heisst die Verhältniszahl von  $Q_{\max}$  /  $Q_{\min}$ , in welchem eine geforderte Genauigkeit erzielt werden kann.

Der Venturikanal als Freispiegelgerinne wird in der Abwassertechnik, Hörler [2], wohl deshalb am häufigsten angewendet, weil er nur eine seitliche Einschnürung aufweist und die mit dem Wasser transportierten und suspendierten Stoffe solange ungehindert durchtreten und durchrollen lässt, als die erforderliche Fliessgeschwindigkeit vorhanden ist.

Bei Abwassermessanlagen wird durch die Wahl des Freispiegelventuris der Forderung nach freiem Durchtritt zwar zu Recht Genüge getan, dabei aber oft übersehen, dass der Venturi in seiner «klassischen» Form als Gerinne mit Rechteckquerschnitt und rechteckförmiger Einschnürung von der Durchflusscharakteristik her für den unteren Messbereich an Präzision zu wünschen übrig lässt. Dies besonders, wenn man die baulichen Fehler miteinbezieht, die auf Baustellen leider oft beobachtet werden.

Im Kläranlagebetrieb erfolgt ein sehr grosser Teil des Reinigungsprozesses zu Trockenwetterzeiten. Dann fliesst oft nur sehr wenig Wasser zu, das heisst nur  $1/3$  bis  $1/5$ , in Extremfällen sogar nur  $1/20$  oder weniger der Gesamtkapazität eines Messgerinnes.

Der optimale Messbereich eines Venturikanals sollte für den Kläranlagebetrieb vom mittleren Messbereich bis  $Q_{\min}$  reichen. In der Praxis werden Genauigkeiten über den ganzen Messbereich von  $\pm 2$  bis  $3\%$ , bezogen auf den Momentanwert und nicht auf den Endwert, gefordert.

Im folgenden soll nun gezeigt werden, wie sich die rein hydraulische Genauigkeit, das heisst jene der Durchflusscharakteristik und der apparativen Fehler, bezogen auf den Endwert, der üblichen Genauigkeitsangabe, auf die Verhältnisse im Trockenwetterbereich einer Abwassermengemessung auswirken, wie eine Optimierung der Gerinne erzielt werden kann und welche Toleranzen für die Wasserstandsabtastung zulässig sind.

## 2. Der Durchfluss im Venturikanal mit und ohne Strömungswechsel

Ein Venturikanal besteht aus einem Gerinne mit einer seitlichen Verengung des Kanalquerschnittes. Diese kann so weit vorgetrieben werden, dass der grösste Teil des Wassers durch die kritische Tiefe gezwungen wird, wodurch das Wasser von strömenden in schiessenden Zustand übergeht.

Durch die Verengung wird der Wasserspiegel oberwasserseits angehoben und die Fliessgeschwindigkeit vermindert. Diese ist im schiessenden Bereich grösser als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Störwellen unterwasserseits und der Oberwasserspiegel allein wird so lange eine eindeutige Funktion von  $Q$ , als die kritische Tiefe  $h_{kr}$  im Venturi unterwasserseits nicht überschritten wird.

$$\text{Die Formel für } h_{kr} \quad h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

lässt erkennen, dass in einem Rechteckkanal mit einer Rechteckeinschnürung auf die Durchlassbreite  $b$  und bei durchgehender Sohle kleine Wassermengen nicht durch  $h_{kr}$  gehen können, sondern ähnlich den Gesetzmässigkeiten für freien Abfluss folgen, wie sie beispielsweise in der Stricklerschen Formel [3]

$$V = k R^{2/3} J^{1/2}$$

zum Ausdruck kommen.

Der Durchfluss wird in diesem untersten Bereich durch Kanalreibung und Gefälle sowie durch störende Einflüsse unterwasserseits beeinflusst.

Aus der in Bild 1 wiedergegebenen Darstellung des Durchflusses im Venturi in Abhängigkeit von  $h_{kr}$  geht deutlich hervor, dass kleine Wassermengen ohne Fliesswechsel abfliessen. In der Abwassertechnik ist es oft der Bereich der sogenannten Schleichwassermengen, die wegen der Beeinflussung des  $k$ -Wertes, durch unterschiedliche Ablagerungen auf der Kanalsohle, nach wechselnden Durchflusscharakteristiken abfliessen.

Zur Erhöhung der Messgenauigkeit sind folgende Zielsetzungen anzustreben:

- Fliesswechsel in möglichst weitem Abwassermengenbereich;
- Erzeugung möglichst grosser Wasserstandsschwankungen im Trockenwetterbereich für die exakte Erfassung der Wassermengen durch Abtastung der Wasserspiegellagen;
- Einhaltung einer minimalen Fliessgeschwindigkeit für den Sand- und Fäkalientransport;
- Minimaler Energieverlust, da bei  $Q_{\max}$  das zur Verfügung stehende hydraulische Gefälle oft knapp ist.

## 3. Optimierung von Venturigerinnen

Die mathematische Behandlung des Venturikanals mit verschiedenen Gerinne- und Querschnittsformen, wie sie von Weinmann [4] durchgeführt worden ist, lässt erkennen, dass Venturieinschnürungen mit Trapez- und Parabelprofilen diese Bedingungen am besten erfüllen.

Aufgrund experimenteller Studien an Versuchsmodellen und der rechnerischen Ermittlung der kritischen Tiefen wird im Bild 2 am Beispiel je eines 40 cm breiten Venturigerinnes mit ebener bzw. halbkreisförmiger Sohle gezeigt, dass bei Verwendung von Staukörpern mit gleichen Trapezquerschnitten, deren Basisbreiten nur 0,4 der Gesamtbreite betragen, bei ungefähr gleichen Oberwasserhöhen

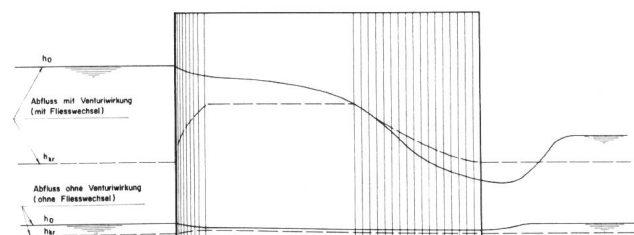


Bild 1. Venturikanal, Abflusshöhen und kritische Tiefen mit und ohne Fliesswechsel.

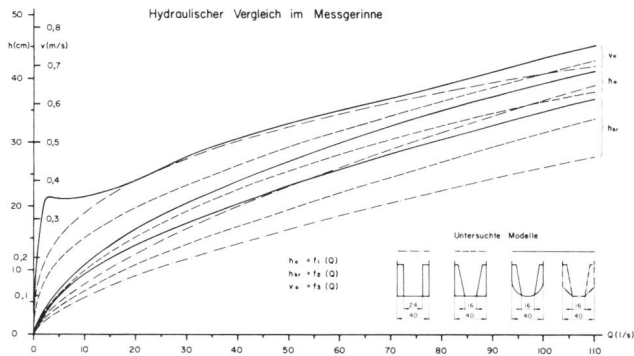


Bild 2. Venturikanäle mit verschiedenen Messprofilen. Oberwasserhöhen, Geschwindigkeiten und kritischen Tiefen in Abhängigkeit der Wassermengen.

von 38 bis 40 cm eine Wassermenge durchfließen kann, für welche ein anderer weitgeöffneter Venturi mit Rechteckquerschnitt ein Einschnürungsverhältnis von 0,6 aufweisen müsste.

Gegenüber der Rechteckeinschnürung wird bei den Trapezquerschnitten  $h_{kr}$  für kleine Wassermengen angehoben und die Fließgeschwindigkeiten zeigen sich beim Venturi mit halbkreisförmiger Sohle trotzdem günstig.

Sowohl in bezug auf Steilheit der  $Q/h$ -Charakteristik als auch hinsichtlich der Durchflussgeschwindigkeit für kleinste Wassermengen erweisen sich U- und im Vergleich nicht dargestellte 6-Eck-Kanalprofile als besonders günstig. Bei kreisrunden Kanalsohlen konzentrieren sich die mitgeführten leichten Schwemmstoffe am Boden, während der Sand gerne «zusammenbackt». Beim 6-Eck-Profil, mit ähnlich hydraulischem Verhalten wie das U-Profil, rollt der Sand wesentlich besser auf der Kanalsohle und sein Weitertransport wird besser gewährleistet als bei kreisförmiger Sohlenausbildung. Während Gerinneformen mit U- und

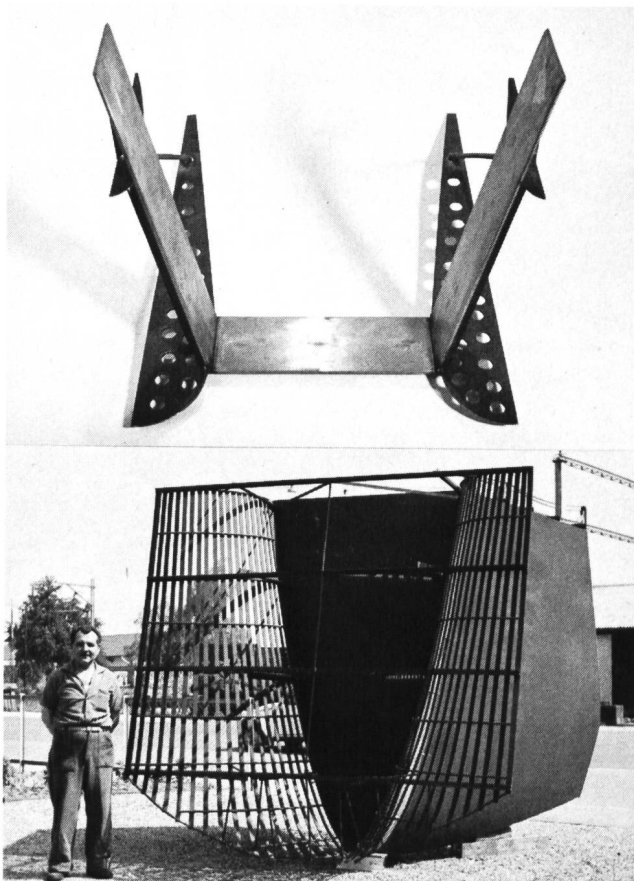


Bild 3. Venturilehren für individuell berechnete Staukörper.

Kreisprofilen handelsüblich sind, müssen 6-Eck-Profile meistens an Ort und Stelle betoniert werden.

Bei frühzeitiger Einplanung einer Messstelle zur Ermittlung des Rohabwasser-Anfalles in einer Kläranlage, können die Bauwerke oft so disponiert werden, dass die Messung nach dem Sandfang erfolgen kann.

Anders bei Messungen in Kanalsystemen, beispielsweise zur laufenden Messung des Abwasseranfalles an Gemeindegrenzen eines Abwasserverbandes oder nach Regenentlastungsbauwerken zur mengenabhängigen Regelung eines Schiebers. Hier müssen die Gerinne im Bereich der Messstellen aus Grundmodellen nach Froude rechnerisch optimiert werden.

Zur Gewährleistung des Sandtransportes im strömenden Bereich, das heisst bei Gefällen  $< 5\text{‰}$ , wird man zwar primär darauf achten müssen, ab welchen minimalen Wassermengen eine Geschwindigkeit  $\geq 0,5$  m/s zu erwarten ist, andererseits ist in bezug auf die Kaliberwahl auch die Lage der kritischen Höhe bei Minimalzufluss und die Steilheit der  $Q/h$ -Charakteristik für die Beurteilung der zu erwartenden Messgenauigkeit zu überprüfen.

Man wird dabei gelegentlich zur Einsicht kommen, in bezug auf die erforderliche Geschwindigkeit nicht allein den von der Kapazität her gegebenen kleinsten Kaliberquerschnitt wählen zu können.

Venturianlagen lassen sich im allgemeinen mit normierten, vorgefertigten Venturi-Staukörpern und standardisierten Kernmodellen nicht so ideal optimieren wie mittels eines, dem einzelnen Objekt individuell berechneten Staukörpers, welcher dann mit Hilfe beispielsweise einer Eisenlehre an Ort und Stelle in Beton hergestellt werden kann (Bild 3).

#### 4. Ermittlung der Durchflusscharakteristik

Für normierte Venturi-Staukörper stellt der Lieferant des Staukörpers die Durchflusscharakteristik üblicherweise zur Verfügung. Sie gilt aber nur, wenn die Kanalgeometrie und besonders das Gefälle genau nach Vorschrift ausgeführt worden ist. Dies ist, wie Erfahrungen zeigen, selten.

Für einzelne nach Modell hergestellte Venturi-Staukörper wird eine am Modell aufgenommene und nach Froude auf Natur umgerechnete Durchflusscharakteristik mitgeliefert.

Sie gilt für die Verhältnisse in der Natur nur dann, wenn die bauliche Ausführung genau den umgerechneten Modellabmessungen entspricht. Insbesondere müssen die Parallelstrecke an der engsten Stelle, die Diffusorlänge bei unmittelbar folgendem Absturz und das Kanalgefälle strikte eingehalten werden.

Die aus Modellversuchen auf Natur umgerechneten Charakteristiken mit  $\lambda \leq \sim 4$  ergeben aufgrund von Nacheichungen in der Natur Fehler von weniger als  $\pm 2$  bis  $3\%$  des Momentanwertes.

Die beste Genauigkeit liegt ungefähr zwischen 20 und 60% des Gesamtbereiches.

Es ist empfehlenswert, Venturianlagen wenigstens im Trockenwetterbereich an Ort und Stelle zu eichen, wobei die hydraulischen Verhältnisse mindestens oberwasserseits nicht verändert werden dürfen.

Eichungen mit Frischwasser lassen sich selbst in ungünstigsten Fällen durch Messüberfälle oder Behältermessungen wenigstens im Bereich der Minimalmengen, oft aber doch innerhalb des ganzen Trockenwetterbereiches durchführen.

Bild 4 zeigt an einem Beispiel die gute Übereinstimmung der aus dem Modell umgerechneten Durchflusscharakteristik mit den Messwerten einer Nacheichung.

### 5. Genauigkeitsanforderungen an die apparativen Messeinrichtungen

Entsprechend den Bestrebungen des Ingenieurs, von seiten der Gestaltung des Messgerinnes und mittels Eichungen eine möglichst hohe Messgenauigkeit zu erzielen, sollten nur Abwassermessgeräte mit vergleichbarer Präzision eingesetzt werden.

Anhand einer Durchflusscharakteristik (Bild 5) sollen die Auswirkungen einer Wasserstandsabtastung durch Messgeräte der Genauigkeitsklassen 1 und 0,25, also einer Präzision von  $\pm 1\%$ , und  $\pm 0,25\%$ , bezogen auf den Endwert einer Durchflussmenge für  $Q_{max}$ ,  $Q_{mittel}$ ,  $Q_{min}$ , diskutiert werden.

Die Wasserstandshöhen der hydraulisch hier gegebenen Durchflusscharakteristik können bei Genauigkeitsklasse 1 über den gesamten Messbereich nur mit einer Genauigkeit von  $\pm 7\text{ mm}$  (bei 70 cm Maximalhöhe) abgetastet werden. Dieser Höhenmessfehler bedingt, ohne Einbezug des apparativen Umwandlungsfehlers der Abflusshöhe in Wassermenge, bei maximalem Durchfluss von 100 l/s, einen Mengemessfehler von etwa  $\pm 1,5\%$ , bezogen auf den Momentanwert im Bereiche von 100 l/s. Bei 50 l/s beträgt der Mengenfehler  $\pm 2,5\%$  und bei 10 l/s, einem Zehntel des Gesamtbereiches, rund  $\pm 7\%$ , wiederum bezogen auf den momentanen Durchfluss.

Bei der Präzision einer Wasserstandsabtastung von  $\pm 0,25\%$  Prozent, bezogen auf den Endwert, entsprechend  $\pm 2\text{ mm}$  Wassersäule, ergibt sich bei  $Q_{max}$  ein Mengemessfehler von  $\pm 0,5\%$ , bei 50 l/s von  $\pm 1\%$  und bei 10 l/s einen solchen von nur  $\pm 2\%$ , bezogen auf den Momentanwert. Aus diesen Betrachtungen geht hervor, dass ein Einklang zwischen hydraulischer und apparativer Genauigkeit nur dann besteht, wenn eine Abtastung des Wasserspiegels auf  $\pm 0,25\%$ , bezogen auf den Endwert des ganzen Messbereichs, möglich ist. Dies insbesondere, wenn man berücksichtigt, dass die Umrechnung des Wasserstandes im Messgerät auf Wassermenge und Zählimpulse nochmals fehlerbehaftet ist.

### 6. Die Verfeinerung bestehender apparativer Messmethoden

Von den drei bekanntesten Verfahren zur Wasserstandsabtastung, der Messung mit Schwimmer, Luftperlverfahren und Echolot, haben in der Abwassertechnik besonders die beiden letztgenannten Anwendung gefunden, offenbar eher von der faszinierenden Einfachheit der Gebereinrichtungen aus als hinsichtlich der üblicherweise erzielten Genauigkeiten, die offensichtlich zu wenig kritisch unter die Lupe genommen werden.

Beim pneumatischen Luftperlverfahren wird eine Fühlerleitung bis unter den minimal zu messenden Wasserspiegel geführt und Luft eingepert. Die der Austrittsöffnung überlagerte Wassersäule erzeugt einen wasserstandsabhängigen, linearen Gegendruck, welcher am oberen Ende der Fühlerleitung abgenommen und zur sehr genauen Umwandlung des pneumatischen Signales an einer selbstabgleichenden Kompensationsdruckwaage (Bild 6), einer Weiterentwicklung der Kelvinwaage, angezeigt und meistens über einen mechanischen oder elektrischen Linearisator in wassermengenproportionale Signale oder Auslenkungen umgewandelt wird.

Die Genauigkeit dieses Mess-Systems wird praktisch nur durch eine kleine Wellenbildung an der Austrittsöffnung begrenzt, das heisst durch Wasserstandsschwankungen von etwa 2 mm. Die elektromechanische Auswertung des pneumatischen Signales lässt sich bei einer gut durchdachten

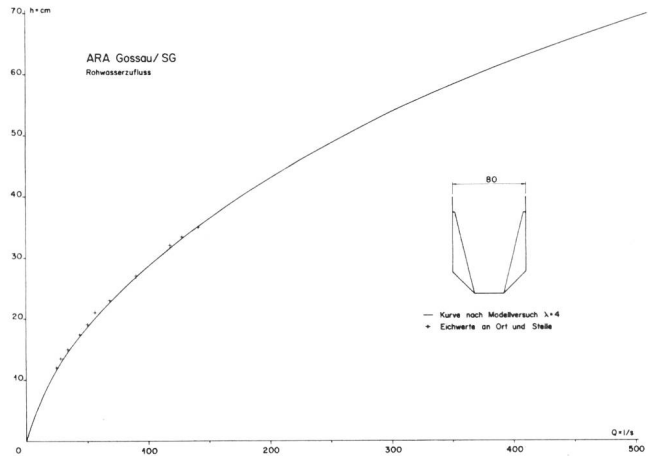


Bild 4. Venturikanal einer Kläranlage, Uebereinstimmung der aus Modellwerten nach Froude umgerechneten Durchflusskurve und Messwerten einer Kontrollleichtung für den Trockenwetterbereich an Ort und Stelle.

Konstruktion der Druckwaage bis auf etwa  $\pm 0,2\%$  des Endwertes verfeinern. Die Fühlerleitung kann leicht und unauffällig montiert und das pneumatische Signal bis zur Auswertung auf mehr als 200 m übertragen werden. Dabei beeinflussen elektrische und magnetische Störfelder auf der Uebertragungstrecke das Mess-Signal nicht.

Als elektronische Alternative gelangte in neuerer Zeit auch das Echolotverfahren zur Anwendung, bei welchem ein Schallwellengeber und Empfänger als Messkopf über dem maximal zu messenden Wasserspiegel montiert wird. Zur Höhenmessung werden vom Schallwandler Schallwellen ausgesendet, von der Messfläche reflektiert und vom Schall-

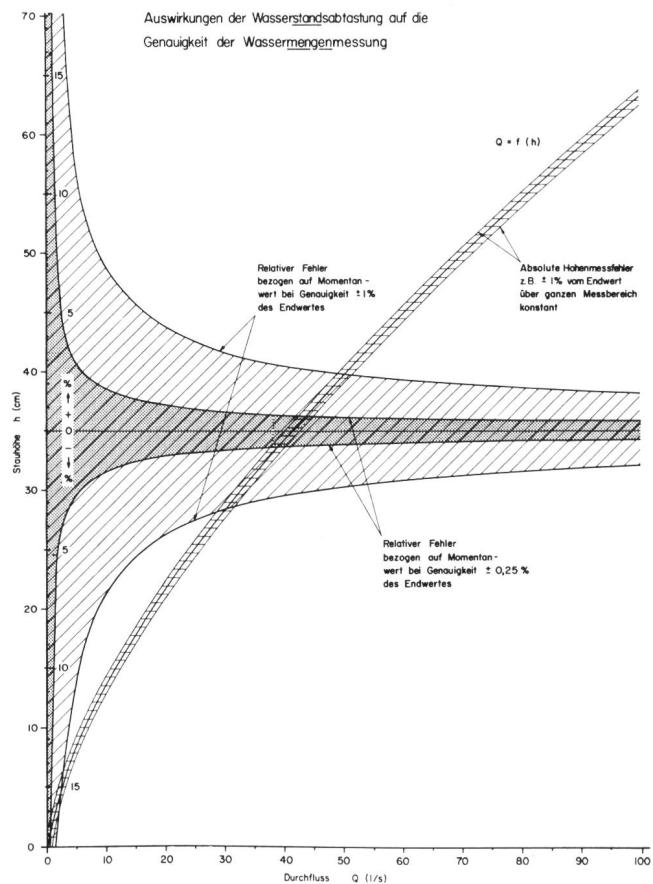


Bild 5. Auswirkung der Präzision einer Wasserstandsabtastung auf die Genauigkeit der Wassermengen bei verschiedenen Messbereichen.

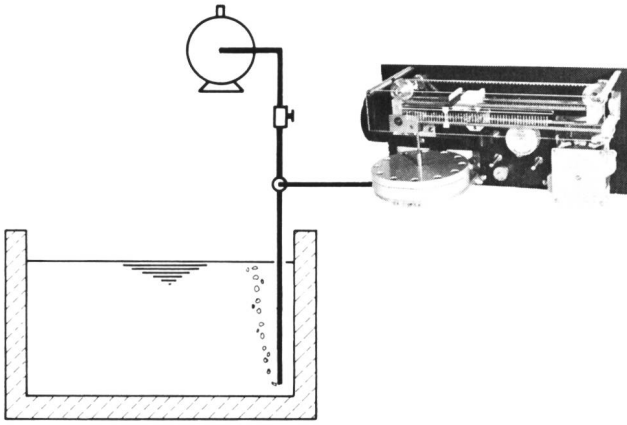


Bild 6. Niveauabstastung mit einer Präzisions-Membrandruckwaage.

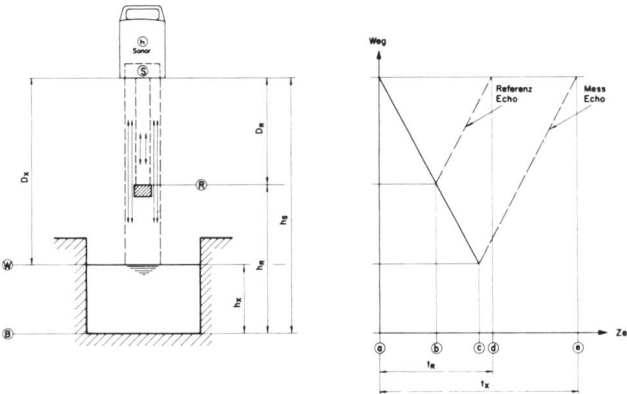


Bild 7. Messprinzip eines selbstausgleichenden Referenz-Echolots. Links der Aufbau der Messeinrichtung und rechts das Weg-Zeit-Diagramm der Ultraschallwellen.

- S Ultraschallwandler
- R Referenzfläche
- W Wasserspiegel
- B Bezugsfläche Null
- D x Distanz zwischen Schallwandler und Wasserspiegel
- D R Distanz zwischen Schallwandler und Referenzfläche
- h x zu messende Wasserhöhe
- h R Höhe der Referenzfläche über Bezugsfläche
- h s Höhe des Schallwandlers über Bezugsfläche
- a Schallwellen werden ausgesendet
- b Teilreflexion der Schallwellen an der Referenzfläche
- c Reflexion der Schallwellen vom Wasserspiegel
- d Referenzecho trifft auf Schallwandler
- e Messecho trifft auf Schallwandler
- t R Laufzeit Referenzecho
- t x Laufzeit Messecho

wandler wieder empfangen. Aus der Laufzeit der Schallwellen kann die Wasserhöhe am Messort als berührungslose Abstichmessung ermittelt werden.

Das schallleitende Medium besteht üblicherweise aus atmosphärischer Luft, in welcher die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von verschiedenen Parametern wie Temperatur, Dichte, Gasdruck und Wärmekapazität bestimmt wird.

Die Beziehungen werden in der Formel  $c = \sqrt{\kappa p / \rho}$  ausgedrückt.

- c Schallgeschwindigkeit m/s
- $\kappa = cp/cv$  Adiabatenexponent
- p Gasdruck kp/m<sup>3</sup>
- $\rho$  Gasdichte kg/m<sup>3</sup>
- cp spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck
- cv spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen

Die bisher bekannten Echolot-Fabrikate kompensieren lediglich den Temperatureinfluss durch punktuelle Messung

der Temperatur mittels Temperaturfühler, wobei stets das Problem einer Fehlmessung besteht, da die Temperatur beispielsweise durch Sonneneinstrahlung beeinflusst werden kann. Bei der Justierung eines solchen Gerätes werden die genannten Parameter einmal fest miteingeeicht, eine nachfolgende Änderung derselben wird aber ausser einer ungenügenden Temperaturkorrektur nicht automatisch kompensiert.

Diese physikalischen Verknüpfungen verfälschen besonders dann die Messung, wenn der Schallgeber aus ebenfalls physikalischen Gründen um einen beachtlichen Abstand über dem maximal zu messenden Wasserspiegel befestigt werden musste. Bei Abwassermengenmessungen befindet sich der Fühler oft der Witterung ausgesetzt im Freien unter andern Temperaturverhältnissen als das zu messende Abwasser, das oft in tiefliegenden Kanälen mit ganz andern Umgebungstemperaturen durchfließt.

Aehnlich wie in der Mikroskopie durch Wellenlängen Grenzen in der optischen Auflösung gesetzt werden, kann theoretisch und experimentell nachgewiesen werden, dass auch beim Echolotverfahren für die Ermittlung von millimeterweisen Wasserstandsunterschieden Frequenzen grösser > 40 kHz benötigt werden, und dass bisher für die Messung solcher kleiner Niveauunterschiede mit niedrigeren Frequenzen quasi «mit Kanonenmunition auf Mäuse geschossen» wurde.

Einen neuen Gedanken und eine experimentell durchgeführte Lösung brachte *Bänziger* [1] in dem Sinne, als die von einem Schallwandler abgegebene Schallwelle von einer in der Mess-Strecke eingebauten Referenzfläche, mit definiertem Abstand zum Schallwandler, zum Teil zurückgeworfen und zum andern Teil um die Laufzeit verschoben, von der Messfläche reflektiert wird.

Die beiden Echosignale werden dabei vom Schallwandler, der als Schallsender und -empfänger dient, in elektrische Signale umgewandelt.

Die Messdistanz  $D_0$  ergibt sich unabhängig von der Schallgeschwindigkeit nach der einfachen Beziehung:

$$D_0 = D_R t_0 / t_R$$

$D_R$  bekannte Distanz, Sensor-Referenzfläche

$t_0, t_R$  Laufzeiten der Schallwellen zwischen Sensor und Messfläche bzw. Referenzfläche

Durch Einbezug dieser Referenzstrecke wird der grösste Teil der sich verändernden Störeinflüsse innerhalb der Mess-Strecke automatisch kompensiert. Bei einer unter-

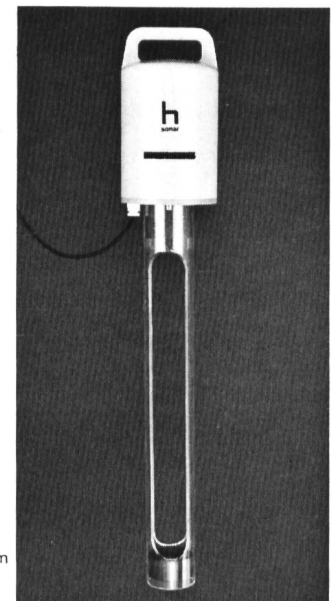


Bild 8. Selbstgleichendes Referenz-Echolot, Kopf mit Schallwandler, Referenzstrecke in halbgeöffnetem Rohr mit ringförmigem Referenzkörper.

irdischen Montage wird das Mess- und Referenzsignal über eine abgewinkelte Messanordnung geleitet und dabei die sich verändernden Störparameter in der Kanalatmosphäre allein kompensiert. Eine Messanordnung sowie die reflektierten Signale gehen aus Bild 7 hervor. Die Ausführung des neuen selbstabgleichenden Referenz-Echolots wird in Bild 8, der Einsatz an einem Venturikanal in Bild 9 dargestellt. Mit der neuen Ausführungsart wird eine erstaunliche Messgenauigkeit von etwa  $\pm 1$  mm in einem Schwankungsbereich von  $\leq 1,3$  m erreicht.

Inskünftig hat man die Wahl, zwischen den genannten verfeinerten Mess-Systemen wählen zu können, zwischen Verfahren, die bezüglich ihrer Messgenauigkeit ähnlich liegen wie die hydraulischen Durchflusscharakteristiken.

Beim Echolotsystem ist aus physikalischen Gründen eine völlige Eliminierung des Schaumeinflusses kaum möglich, weshalb man dem Luftperlverfahren noch eine grössere Betriebssicherheit zusprechen möchte.

### 7. Zusammenfassung

Die bauliche Gestaltung von Staukörpern und der Einsatz messtechnischer Einrichtungen für Venturimessanlagen, welche häufig in Kläranlagen zur Messung von rohem und geklärtem Abwasser sowie für Rücklaufschlamm Anwendung finden, werden einer kritischen Betrachtung hinsichtlich der Genauigkeit unterzogen.

Für die Erfassung kleiner Trockenwettermengen, welche für die Betriebsüberwachung und allfällige Abwassermengenverrechnung von grosser Bedeutung sind, werden Empfehlungen über die Optimierung von Staukörpern und Messrinnen sowie die Ermittlung der Durchflusscharakteristiken abgegeben.

Die dadurch erzielbaren hydraulischen Genauigkeiten dürfen durch Messgeräte, die der Wasserstandsabtastung und Mengenermittlung dienen, nicht wesentlich beeinträchtigt werden.

Anhand eines Vergleiches über die Genauigkeit einer Wasserstandsabtastung, bezogen auf den Endwert (maximaler Messwert), und der resultierenden Genauigkeit bezüglich

Bild 9.  
Venturikanal  
mit eingesetztem  
Referenz-Echolot.



der Wassermenge, bezogen auf den jeweiligen Momentanwert im mittleren und unteren Messbereich, ergibt sich die Forderung nach einer Wasserstandsmessung auf  $\pm 0,25$  %, bezogen auf den Endwert.

Es werden Möglichkeiten aufgezeigt, wie mit verfeinerten Methoden des Luftperlverfahrens und eines selbstabgleichenden Referenz-Echolotsystems diese Genauigkeiten erzielt werden können.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Bänziger Th.: Elektronische Messeinrichtung insbesondere zum Messen der Wasserhöhe in Freispiegelkanälen zwecks Bestimmung der Durchflussmengen. Unveröffentlichtes Manuskript, Mai 1977.
- [2] Hörler A.: Probleme bei der Planung von Abwasseranlagen. «Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie» 19, Januar 1957.
- [3] Strickler, in Schmidt M.: «Gerinnehydraulik», Bauverlag Wiesbaden, 1957.
- [4] Weinmann H. J.: Die hydraulische Bedeutung von Venturikanälen in der Abwassertechnik. «Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie» 29, Januar 1967.

#### Adresse des Verfassers:

Hans Züllig, Dr. sc. nat., Züllig AG Rheineck,  
Apparatebau für die Wasserwirtschaft, 9424 Rheineck

## Das Unterwerk Katz des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich

DK 621.311.42

Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, EWZ, versorgte den Stadtkern links der Limmat bisher vom Unterwerk Selnau aus. Dieser Bau stammt aus dem Jahre 1914 und beherbergte nebst einem Unterwerk ursprünglich voluminöse Batterien und Gleichstromgeneratoren zur Speisung des seinerzeitigen Lichtnetzes. Heute ist es ein reines Unterwerk mit einer installierten Leistung von 57 MVA.

Der in den letzten Jahrzehnten sehr stark angestiegene Strombedarf in der City brachte dieses Unterwerk an den Rand seiner Kapazität und viele Randgebiete seines Versorgungsraumes mussten vorübergehend auf Nachbarunterwerke umgeschaltet werden.

Die auch jetzt noch anhaltende Zunahme im Stromkonsum zwang das EWZ, ein neues, leistungsfähigeres Quartierunterwerk für diesen Stadtteil zu planen. In einem solchen Unterwerk wird die ankommende Energie von 150 kV auf die Mittelspannung von 11 kV transformiert zur Weiterleitung in dieser Spannung zu den Transformatorstationen im Quartier. Mit dem Standort unter dem Botanischen Garten wurde eine Lösung gefunden, welche allen baulichen,

technischen und Umwelt-Anforderungen in optimaler Weise entspricht. Dieses neue Unterwerk Katz steht nun vor der Inbetriebnahme und wird das bestehende Unterwerk Selnau zwar nicht ersetzen, aber wesentlich entlasten.

Neben dem Schanzengraben wurden zwei rechteckige Tunneln unter dem Areal zur Katz (siehe Bild 1) so vorgetrieben, dass darin die erforderlichen Ausrüstungen in kompakter Bauweise untergebracht werden konnten. Bei einem Innenprofil von 8,8 x 9 m betragen die Tunnellängen je 88 m. Der wertvolle Baumbestand des Botanischen Gartens sowie Ueberreste von historischen Stadtbefestigungen blieben dank dem bergmännischen Bauvorgang unangetastet. Die für den Pressvortrieb nötige Baugrube von 13 x 27 m Grundfläche wurde nach Fertigstellung des Unterwerkes überdeckt. Es bleibt lediglich eine gut getarnte Einfahrt am Badweg sichtbar. Bei einem Volumen von rund 24 000 m<sup>3</sup> belaufen sich die Baukosten, einschliesslich Teuerung, auf etwa 15 Mio Franken.

Die beiden Kavernen für das Unterwerk Katz dürften die bisher grössten mit dem Pressvortriebverfahren erstellten