

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 85 (1993)
Heft: 1-2

Artikel: Messtechnik in der Wasserwirtschaft : Gedanken zur Auslegung und Anordnung von Stand- und Durchflussmessungen
Autor: Wimmer, Wilfried
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-939951>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Messtechnik in der Wasserwirtschaft

Gedanken zur Auslegung und Anordnung von Stand- und Durchflussmessungen

Wilfried Wimmer

Zusammenfassung

Die technische Entwicklung hat uns neue Verfahren und Möglichkeiten bei der Messtechnik in der Wasserwirtschaft gebracht. Es gibt heute Messgeräte, die einen Druck mit einer Genauigkeit von 0,01% FS erfassen können, und es gibt Durchflussmessgeräte mit einer Genauigkeit von 0,5 bis 1% vom Messwert. Dies sind im Vergleich zu früheren Geräten enorme Verbesserungen. Genaue Messgeräte allein sind aber nicht genug, um genaue Stand- oder Durchflussmessungen zu erhalten. Ein wesentlicher Einfluss auf die Messgenauigkeit geht auch heute noch von der Anordnung und Auslegung der Messstellen aus. D.h., die Messgenauigkeit einer Stand-, Durchfluss- oder anderen Messung wird nicht allein durch die Wahl des Messgerätes bestimmt, sondern ganz erheblich auch durch die Wahl des Messverfahrens und die Anordnung und Auslegung der Messstellen selbst.

Wer heute die Auslegung von Messstellen unsorgfältig und oberflächlich ausführt, vergeudet ein Vielfaches der Messgenauigkeit, die wir mit den neuen Messgeräten gewonnen haben. Der folgende Artikel will anhand einiger Beispiele aufzeigen, was bei der Planung von Messstellen berücksichtigt werden muss, um funktionierende und genaue Messungen zu erhalten.

Einführung

Jede Messung, egal ob Pegel, Füllstand, Druck oder Durchfluss, besteht aus einem Messgerät und einer Messstelle.

Das Messgerät ist derjenige Teil, der die Messgrösse (z.B. Wasserstand, Druck, Differenzdruck, Fließgeschwindigkeit usw.) erfasst und in ein für die Fernmeldung und Weiterverarbeitung geeignetes Signal umformt (z.B. Analogsignal 4...20 mA, Digitalsignal BCD- oder Graycode usw.). Beide Funktionen, Erfassen und Umformen, können in einem einzigen Gerät zusammengefasst sein. Sie sind bei modernen Geräten jedoch meist in zwei Teile getrennt, den Messwertaufnehmer und den Messumformer.

Der Messwertaufnehmer muss immer an der Messstelle selbst oder zumindest in deren Nähe installiert werden. Er ist damit vielfach sehr rauen Umgebungsbedingungen ausgesetzt und oft nur schwer zugänglich. Deshalb wird der Messumformer häufig getrennt an einem Ort aufgestellt, wo er geschützt und zugänglich ist für Bedienung, Service und Kontrolle. Die Messstelle ist der Ort, an dem ein Pegel, Füllstand oder Durchfluss gemessen werden soll. Sie kann nicht irgendein Ort sein, sondern sie muss entsprechend der Messaufgabe sorgfältig ausgewählt und gestaltet werden.

Für Pegelmessungen stellen sich dabei die folgenden Fragen:

- Wo ist der richtige Messort?
 - Wo soll das Messgerät aufgestellt werden?
 - Welche baulichen Massnahmen sind am Messort notwendig?
 - Was muss am Messort eingebaut werden?
- Bei Durchflussmessungen geht es um die Fragen:
- Welches Messprinzip soll angewendet werden?

- Wo ist die Messstelle anzuordnen?
- Wie muss die Messstelle baulich gestaltet werden?
- Was muss an der Messstelle eingebaut werden?
- Wo ist das Messgerät aufzustellen?

Beispiel Pegelmessungen

Bedeutung von Pegelmessungen

Pegelmessungen sind in allen Bereichen der Wasserwirtschaft vertreten. Sie erfüllen eine Vielzahl von wichtigen Aufgaben und haben grosse Wichtigkeit und Bedeutung, wie zum Beispiel bei:

- der Bewirtschaftung von Stauseen, Stauräumen, Ausgleichsbecken, Hochwasserrückhaltebecken, Trinkwasserreservoirs, Grundwasservorkommen
- dem Betrieb von hydraulischen Kraftwerken
- der Ermittlung von Speichereinhalten in Stauseen
- der Gefahrerkennung an Gewässern aller Art, z.B. Hochwasser
- der Sicherheitsüberwachung von Stauseen, z.B. zur Verhinderung von Überlauf und Dammbbruch
- dem Hochwasserschutz an Meeresküsten, z.B. Nordsee
- der Schifffahrt auf Binnenwasserstrassen
- Schleusensteuerungen
- der Ermittlung hydrographischer Daten
- dem Betrieb von Abwasserkanalisationen.

Pegelmessgeräte

Für die Pegelmessung stehen heute eine Reihe hervorragender Messgeräte auf der Basis verschiedenster Messprinzipien zur Verfügung. So liefert z.B. die Firma Rittmeyer folgende Geräte:

- das Präzisionsdruckmessgerät W1Q auf Schwingquarzbasis, Genauigkeitsklasse 0,01%
- das Druck- und Füllstandmessgerät MPI auf piezoresistiver Basis, Genauigkeitsklasse 0,1%
- den Drucktransmitter WRA1 auf kapazitiver Basis, Genauigkeitsklasse 0,25%
- die Echolotmessung MPE auf Ultraschallbasis
- die Schwimmermessungen.

Für jede Pegelmessung muss das der Aufgabe am besten entsprechende Gerät ermittelt werden. Jedes Mess-

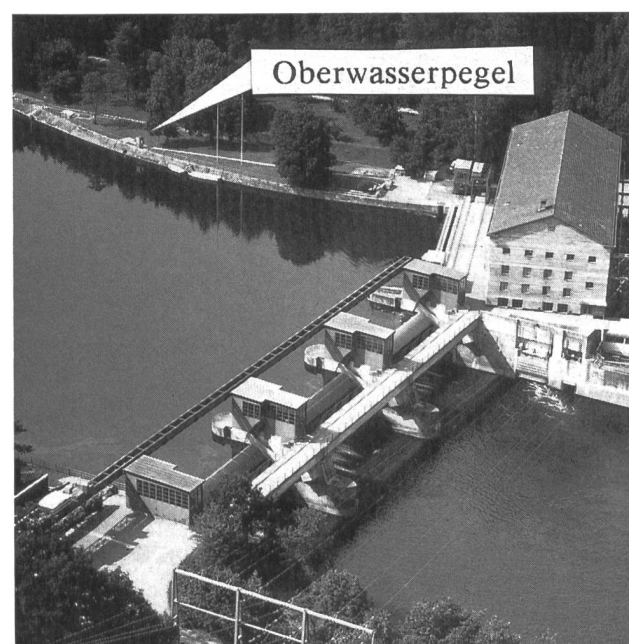


Bild 1. Aarekraftwerk Rapperswil-Auenstein (CH).

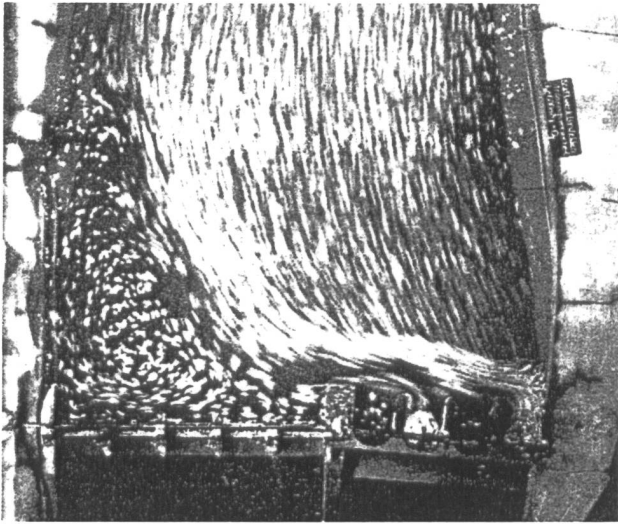


Bild 2. Strömungsverteilung vor einem Stauwehr im Modell sichtbar gemacht.

gerät oder Messprinzip hat seinen spezifischen Einsatzbereich und ganz spezielle Anwendungsgrenzen. So wäre es z. B. falsch, das obengenannte Präzisionsdruckmessgerät W1Q für Pegelmessbereiche kleiner als 5 m oder das Gerät MPI für Messbereiche kleiner als 0,5 m einzusetzen, wenn es darum geht, optimale Messergebnisse zu erhalten.

Auswahl Messort

Die richtige Auswahl des Messortes und die richtige Gestaltung der am Messort einzubauenden Teile ist wohl der bei Planern und Systemlieferanten am meisten vernachlässigte Teil bei der Festlegung von Messungen. Dabei entscheidet genau dieser Bereich über einen grossen Teil der im Betrieb erreichbaren Messgenauigkeiten.

Was ist bei der Wahl des Messortes zu beachten?

Mit einer Pegelmessung soll in der Regel nicht der Wasserspiegel an einem ganz bestimmten Punkt, sondern repräsentativ für eine ganze Fläche (z. B. Stausee, Ausgleichsbecken) oder einen Querschnitt (Fluss, Kanal) ermittelt werden. Eine Pegelmessung kann jedoch nie eine ganze Fläche oder Linie erfassen, sondern immer nur einen einzelnen Punkt, nämlich den Pegel am Messort. Der Messort muss deshalb so ausgewählt werden, dass er für die Fläche oder den Querschnitt repräsentativ ist.

Wer sich an die Beziehungen von Bernoulli erinnert, weiss, dass in einem Freispiegelsystem eine Änderung der Fliessgeschwindigkeit immer auch eine Änderung der Wasserspiegellhöhe zur Folge hat.

Das bedeutet folgendes: Setzt man eine Pegelmessung an einen Ort, an dem die Fliessgeschwindigkeit lokal anders ist als in dem Bereich, für den die Pegelmessung gültig sein soll, so wird man falsche Messwerte erhalten. Lokale Änderungen der Fliessgeschwindigkeiten treten z. B. auf bei:

- Änderungen des Fliessquerschnittes infolge einer Erweiterung, Verengung, Sohlschwelle oder eines Wehres
- Strömungsumlenkungen an Mauervorsprüngen, Pfeilern (Bild 3), Kanten, Schützen, Klappen, Überfällen
- Ein- und Auslaufbauwerken.

Solche Bereiche sind als Messorte für Pegelmessungen zu meiden.

Als Beispiel sei hier die Oberwasser-Pegelmessung in einem Laufkraftwerk aufgeführt (Bild 1). Die OW-Pegel-

messung dient der Pegelregelung, der Stauraumbewirtschaftung und dem Hochwasserschutz.

Bei der Pegelregelung wird heute oft die Einhaltung des Stauzieles mit einer Toleranz von ± 2 cm gefordert. Um dies zu ermöglichen, ist eine optimale Position des Pegelmessortes Voraussetzung.

Wenn man ein Stauwehr mit seinen verschiedenen Teilen (Maschinenhaus, Wehrbrücke, Schiffschleuse) genauer betrachtet, dann wird sehr schnell klar, dass in der näheren Umgebung des Wehres örtlich sehr unterschiedliche Strömungsverhältnisse vorliegen (Bild 2), ganz speziell bei Hochwasser. Es wird auch klar, dass die örtlichen Strömungsverhältnisse nicht stabil sein können, sondern je nach Betriebsart und Abflussverteilung auf die einzelnen Wehrelemente starke Änderungen erfahren.

Das bedeutet, dass eine Pegelmessung von der Strömungsverteilung stark beeinflusst wird, wenn sie zu nahe beim Stauwehr angeordnet ist.

Um Messfehler, die aus solchen Einflüssen entstehen, sicher zu vermeiden, wird man idealerweise die Pegelmessung eine Wehr- oder Flussbreite oberhalb des Stauwehres, möglichst an einer parallel zur Strömung verlaufenden Ufermauer oder befestigten Uferböschung, anordnen (Bild 1).

Oft trifft man Messungen an, die diese Regeln missachten und dann auch entsprechende Probleme bereiten.

Es kommt aber auch vor, dass sich die ideale Lösung nicht realisieren lässt. Z. B. weil an der richtigen Stelle die befestigte Uferböschung fehlt und weil das natürliche Ufer ungeeignet ist für den Einbau der Messeinrichtungen oder weil ein Konzessionsvertrag eine ganz bestimmte Stelle vorschreibt.

Das Eingehen von Kompromissen ist dann unausweichlich. Man muss sich dabei aber bewusst sein, dass es schon bei der Hälfte der idealen Distanz zum Wehr zu spürbaren Beeinflussungen der Pegelmessung durch die Strömungsverteilung kommen kann und dass bei noch kleineren Abständen die Störungen meist so gross sind, dass die Pegelmessung ihren Zweck nicht mehr erfüllt.

Aufstellort für die Messgeräte

Zur Entscheidung für das richtige Messgerät gehört auch die Entscheidung für den richtigen Aufstellort. Dabei geht es hier um den Aufstellort für den Messwertaufnehmer und nicht für das Auswertegerät, das vom Aufnehmer getrennt sein kann. Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten:

- Montage des Messwertaufnehmers am Messort selbst (Messort ist die Stelle, an der z. B. ein Pegel gemessen

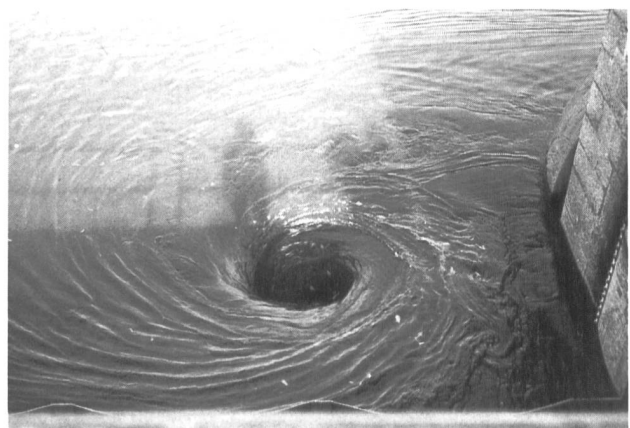


Bild 3. Einlaufwirbel bei Wehrpfeiler.

werden soll, Bild 1). Hierfür eignen sich z.B.: Eintauchsonden, Echolotgeräte, Schwimmergeräte.

- Montage in einem geschützten Lokal in der Nähe des Messortes (Bild 5). Hierfür eignen sich alle Druckaufnehmer, Drucktransmitter, Schwimmergeräte. Der zu messende Pegelstand muss dafür aber in geeigneter Form vom Messort zum Messgerät übertragen werden und darf dabei nicht verfälscht werden.

Es gibt dafür die hydrostatische Methode (Bild 7) und die pneumatische Methode (Einperlmethode, Bild 8).

Bei der hydrostatischen Methode ist darauf zu achten, dass das Messgerät höchstens gleich hoch oder tiefer als der dem Messanfang ($H = 0\%$) entsprechende Wasserstand aufgestellt werden muss. Die Leitungen für die Druckübertragung sind so zu dimensionieren und zu verlegen, dass sie nicht verstopfen und dass sich darin keine Luftansammlungen bilden können (Luft in hydrostatischen Messleitungen bedeutet Messfehler).

Bei der pneumatischen Druckübertragung spielt die Aufstellhöhe des Messgerätes keine Rolle. Die Leitungen dafür müssen aber so verlegt und dimensioniert werden, dass:

- die Fühlermündung (Austritt der Luftblasen am Messort) möglichst gleich hoch oder tiefer liegt als der dem Messanfang ($H = 0\%$) entsprechende Wasserstand.
- die durch die Messleitung strömende Luft keinen spürbaren Druckabfall verursacht.
- in die Leitungen kein Wasser eindringen und sich darin ansammeln kann (Wasser in pneumatischen Messleitungen bedeutet Messfehler).

Man mag jetzt versucht sein, die vom Messort getrennte Geräteaufstellung wegen der aufwendigeren oder komplizierteren Druckübertragungsleitungen generell abzulehnen. Dem muss aber entgegnet werden, dass genaue Messgeräte auch empfindliche Geräte sind und dass am Messort selbst oft äusserst raue Umgebungsbedingungen vorherrschen (Hochwasser mit Geröll und Treibholz, Eis, aggressive, oft explosionsgefährliche Atmosphäre, Lumpen, Papiere, Fäkalien im Abwasser usw.).

Vielfach gibt es am Messort auch gar keine Möglichkeit, ein Messgerät aufzustellen oder unterzubringen. Es bleibt daher häufig keine andere Lösung als die vom Messort getrennte Geräteaufstellung. Auch die mancherorts schon als altmodisch belächelte pneumatische Messmethode hat noch eine Reihe von Anwendungsgebieten, für die es keine bessere Lösung gibt.

Einbauten am Messort

Auch Einbauten am Messort wie Druckaufnehmer, Druckentnahmen, Fühlerrohre, Schutzrohre, Schutzabdeckungen können Messfehler verursachen, wenn sie nicht richtig ausgelegt und installiert sind.

Aufputz (auf die Wand) montierte Teile (Bild 4) sind bei Messungen in stehendem Wasser keine Ursache für

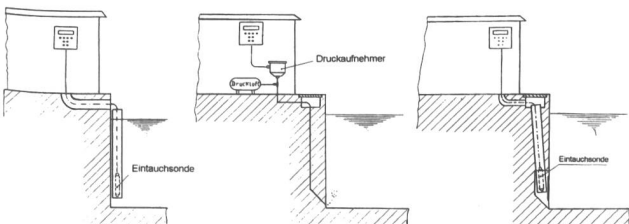


Bild 4, links. Messwertaufnahme (Eintauchsonde) am Messort, aufputz.

Bild 5, Mitte. Messwertaufnahme getrennt vom Messort angebracht.

Bild 6, rechts. Messwertaufnahme am Messort, unterputz.

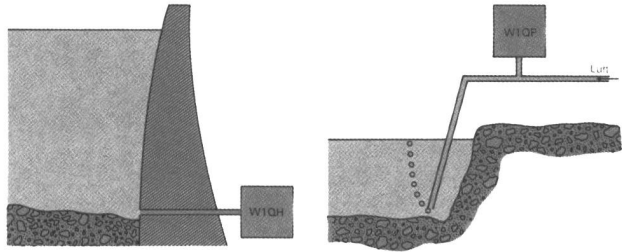


Bild 7, links. Hydrostatische Füllstandsmessung, und Bild 8, rechts. pneumatische Füllstandsmessung.

Messfehler. Sie sind höchstens gefährdet, von Eis oder Schwimmgut beschädigt oder von der Wand gerissen zu werden.

In fließenden Gewässern können aufputz montierte Teile jedoch erhebliche Messfehler erzeugen, indem sie in ihrer unmittelbaren Umgebung, d.h. am Messort selbst, Strömungsumlenkungen und damit örtliche Geschwindigkeitsänderungen verursachen. Ferner ist die Gefahr der Beschädigung sehr viel grösser, weil Fließgewässer vor allem bei Hochwasser oft viel und schweres Treibgut mit sich führen.

Die saubere Lösung ist die Unterputzmontage aller Teile in Verbindung mit wandbündigen Öffnungen für den Druckeingang (Bilder 5 und 6). Die Unterputzmontage bietet auch einen optimalen Schutz gegen Beschädigungen aller Art.

Diese Montageart muss aber bei der Planung der Bauwerke bereits berücksichtigt werden, denn das nachträgliche Anbringen von Aussparungen und Schutzrohren ist meist mit grossem Aufwand verbunden oder gar unmöglich.

Höhenlage Messanfang

Ein weiterer Problempunkt ist die Höhenlage des Messanfanges (Nullpunkt des Messbereiches). Meist soll die Wasserspiegelhöhe in bezug auf die Kanal-, Fluss- oder Beckensohle erfasst werden. D.h., der Messanfang soll auf Sohlenhöhe liegen.

Wasserströme transportieren aber oft auch grosse Mengen von Schlamm, Sand und Geröll mit sich und lagern diese irgendwo wieder ab.

Wird die Eintauchsonde oder Druckentnahme einer Messung von Sand und Geröll überdeckt, dann kann die Messung ihre Funktion nicht mehr erfüllen.

Hier kann abgeholfen werden, indem der Messanfang auf einer Höhe festgelegt wird, auf der es keine Ablagerungen mehr gibt, oder indem der Messort an eine Stelle gelegt wird, wo keine Ablagerungen entstehen. Dies kann z.B. auf der Aussenseite einer Flusskrümmung sein oder im Einlaufbereich eines Auslaufbauwerkes, trotz den Einschränkungen, die im Abschnitt «Auswahl Messort» gemacht werden; selbstverständlich im Bewusstsein des Kompromisses und seiner Folgen.

Beispiel Rechenverlustmessung

Bedeutung von Rechenverlustmessungen

In Wasserkraftwerken ist praktisch bei jedem Einlauf von einem offenen Gewässer in eine Rohrleitung oder in einen Kanal ein Rechen installiert, der die Aufgabe hat, grobe Schwimmstoffe zurückzuhalten, um an den nachfolgenden Anlagen (Turbinen, Pumpen usw.) Störungen und Beschädigungen zu vermeiden. Das gleiche gilt im Abwasserbereich beim Einlauf in Kläranlagen.

Weil Schwimmstoffe (Holz, Laub, Papier, Plastik usw.) am Rechen hängenbleiben, wird der freie Durchgang für

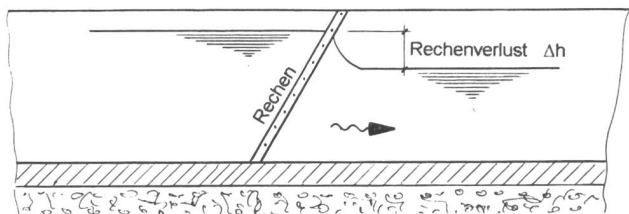


Bild 9. Definition Rechenverlust.

das Wasser immer mehr eingeeengt, und es entsteht mit zunehmender Verlegung ein grösser werdender Druckverlust über dem Rechen, der mit Rechenverlust bezeichnet wird (Bild 9).

Der Rechenverlust muss überwacht werden,

- weil er ein Mass für die Behinderung des Wasserdurchtrittes durch den Rechen ist;
- weil er einen Druck-, d.h. Energieverlust darstellt;
- weil ein Rechen beschädigt werden kann, wenn der Rechenverlust zu gross wird.

Messmethode

Zunächst muss man sich entscheiden, ob der Rechenverlust über je eine einzelne Stand- oder Druckmessung vor und nach dem Rechen (Bild 10) oder eine Differenzdruckmessung (Bild 11) ermittelt werden soll.

Für die Einzelstandmessung werden heute Eintauchsonden oder Echolotgeräte eingesetzt. Sie haben den Vorteil, dass sie preisgünstig sind und oft problemlos montiert werden können.

Sie haben aber auch den Nachteil, dass der Rechenverlust, der als Differenz zwischen den beiden Einzelmessungen berechnet wird, auch die Messfehler der beiden Einzelmessungen enthält und damit sehr ungenau werden kann.

Beispiel: Soll der Rechenverlust im Beispiel Bild 10 aus zwei Einzelstandmessungen bestimmt werden, dann muss jede Messung für einen Messbereich von 10 m ausgelegt sein. Bei einer Genauigkeit von $\pm 0,5\%$ vom Messbereich ist ein Fehler von ± 5 cm pro Messung oder ± 10 cm für die Differenz möglich. Weil der zulässige Rechenverlust bei den meisten Anlagen unter 1 m liegt, ist diese Toleranz als grob zu bezeichnen.

Eine wesentlich höhere Genauigkeit ($\pm 0,5$ cm) ist beim gleichen Beispiel ohne weiteres möglich, wenn der Rechenverlust mit einer Differenzdruckmessung bestimmt wird. Die Differenzdruckmessung (Bild 11) ist eindeutig die bessere Methode, weil ihre Messtoleranz nicht vom maximalen Wasserstand abhängt, sondern nur vom Messbereich des Rechenverlustes. Und dieser Messbereich ist praktisch nie grösser als 2 m.

Die Differenzdruckmessung benötigt aber eine andere Installation als die Einzelmessungen. Die Drücke oder Wasserstände vor und nach dem Rechen müssen pneumatisch oder hydrostatisch erfasst und zum Messgerät übertragen werden, d.h., die dafür notwendigen Druckentnahmen und Messleitungen müssen möglichst schon bei der Planung der Bauwerke vorgesehen werden.

Wahl der Plus- und Minus-Messorte

Unter Messort sind hier diejenigen Stellen zu verstehen, an denen die Einzelstandmessungen oder die Druckentnahmen für die Differenzdruckmessung oder Einzeldruckmessungen eingebaut werden.

Die Plus- und Minus-Messorte müssen so gewählt werden, dass die Fliessgeschwindigkeiten des Wassers in den zugehörigen Querschnitten möglichst gleich gross

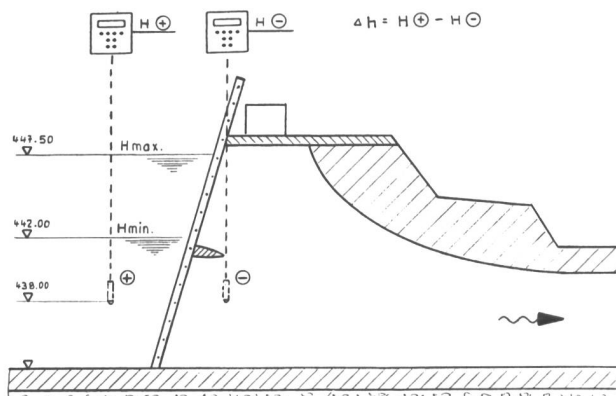


Bild 10. Rechenverlustmessung mit Einzelmessungen.

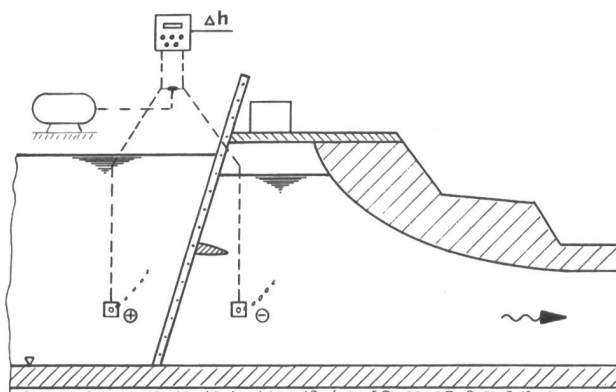


Bild 11. Rechenverlustmessung mit Differenzdruckmessung.

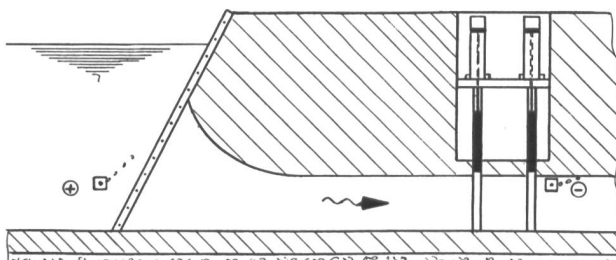


Bild 12. Beispiel für falsche Anordnung der Rechenverlustmessung.

sind. Jede Geschwindigkeitsänderung zwischen den beiden Messorten bewirkt eine Stand- oder Druckänderung (Bernoulli), die nichts mit dem Rechenverlust zu tun hat, aber mit in die Messung eingeht.

Im Bereich von 2 m vor bis 2 m nach dem Rechen ist die obige Bedingung meistens einigermassen erfüllt. Wirklich gleiche Fliessgeschwindigkeiten an beiden Messorten sind jedoch nur selten möglich. Die aus einer Geschwindigkeitsänderung entstehende Druckdifferenz, lässt sich nach Bernoulli aus $\Delta h = (v_2^2 - v_1^2)/2g$ berechnen. In diesem Sinn ist es ein grober Fehler, wenn man versucht, den Minus-Messort soweit stromabwärts zu verlegen, dass er z.B. auch noch für die Messung des Druckausgleiches über den Absperrschützen verwendet werden kann (Bild 12). Dadurch kommt der Minus-Messort an einen Querschnitt, in dem die Fliessgeschwindigkeit erheblich grösser ist als beim Plus-Messort, und man erhält bei der Rechenverlustmessung den entsprechenden Fehler.

Bei einer Geschwindigkeitsänderung von 0,5 m/s am Plus-Messort auf 2,5 m/s am Minus-Messort beträgt der Fehler schon 0,3 m, ohne dass die Druckverluste der

Rohrleitung berücksichtigt sind. Einer sorgfältigen Standortwahl bedarf aber auch der Plus-Messort. Neben der Geschwindigkeitsbedingung ist zu beachten, dass dieser Messort in Richtung der Strömung gesehen nicht hinter Mauervorsprüngen, Ecken, Kanten, Pfeilerköpfen (Bild 3) usw. liegt, weil diese Elemente durch Strömungsumlenkungen und Beschleunigung der Strömung lokal die Wasserspiegelhöhe oder den Druck verändern.

Einbauten am Messort

Hier gilt es die selben Punkte zu beachten, die beim Beispiel Pegelmessungen schon erwähnt sind.

Beispiel Durchflussmessung

Bedeutung von Durchflussmessungen

Durchflussmessungen sind wie die Pegelmessungen in allen Bereichen der Wasserwirtschaft vertreten und haben ebenso grosse Bedeutung. Einige Beispiele sind:

- Ermittlung des Wasserverbrauches
- Kontrolle und Sicherstellung von Liefer- oder Bezugsvereinbarungen
- Überwachung von Bezugsrechten
- Bewirtschaftung von Staubecken und -seen
- Sammlung hydrographischer Daten
- Erkennung von Gefahren, z. B. Hochwasser
- Erkennung von Lecks oder Rohrbrüchen in Wasserleitungen
- Wirkungsgradermittlung oder Überwachung an Turbinen und Pumpen
- Regulierung oder Verteilung von Wasserströmen.

Die grösste Bedeutung aber haben Durchflussmessungen dort, wo es um die Gebührenverrechnung (Wasserzins, Konzessionsgebühren usw.) oder um die Verteilung des Wassers geht. Hier gibt es am häufigsten Streit. Wasser ist heute nicht mehr überall gratis vorhanden. Verbrauchtes oder genutztes Wasser muss bezahlt werden. Um für Lieferanten und Bezüger gerechte Gebührenrechnungen erstellen zu können, müssen Durchflussmessungen gebaut werden, die die Wasserströme zu jeder Zeit und möglichst fehlerfrei erfassen.

Fehlerfreie Durchflussmessungen sind aber aus physikalischen Gründen nicht möglich. Die Grösse der Messgenauigkeit hängt stark vom Messverfahren und von der Art und Lage der Messstelle ab. Es muss deshalb in jedem Fall genau überlegt werden, wie eine anstehende Messaufgabe am sinnvollsten gelöst werden kann, welche Messmethode sich am besten eignet und welche Voraussetzungen an der Messstelle vorhanden sein müssen, um das gewünschte Resultat zu erhalten. Jedes Messprinzip hat seine speziellen Eigenheiten, die beachtet werden müssen.

Grundprinzip von Durchflussmessungen

Ein Durchfluss kann, ausser mit der volumetrischen Methode, nicht direkt gemessen werden. D.h., es können nicht direkt Volumeneinheiten (z.B. genau abgemessene Wasserpartikel, Tropfen, Literpackungen, Eimerinhalte oder andere abgegrenzte Volumen) pro Zeiteinheit gezählt werden. Die volumetrische Messmethode bietet zwar, z.B. mit Ovalradzählern oder Behälterwippen, solche Möglichkeiten. Deren Einsatz ist aber sehr beschränkt und vermag die vielfältigen Messaufgaben in der Wasserwirtschaft nicht zu lösen.

Um Volumenströme im Bereich von 0,1 l/s bis mehrere 1000 m³/s in den Bereichen Trinkwasser, Rohwasser (See-, Flusswasser), Abwasser kontinuierlich messen zu können, braucht es andere Methoden.

Diese bestehen darin, dass man eine Messstelle so gestaltet, dass eine messbare physikalische Grösse eine eindeutige Beziehung zum Durchfluss der Messstelle hat.

Messbare Grössen in diesem Sinn sind z. B.:

- die Wasserspiegelhöhe über der Kanalsohle bei Normalabflussmessungen
- die Überfallhöhe bei Überfallmessungen
- die Oberwasserhöhe bei Venturikanälen
- der Differenzdruck bei Blenden, Düsen usw.
- die Laufzeitdifferenz von Ultraschallimpulsen mit und gegen die Strömung bei Ultraschallmessungen
- die induzierte Spannung bei magnetisch-induktiven Messungen.

Durch die eindeutige Beziehung zwischen messbarer Grösse und Durchfluss besteht die Möglichkeit, z.B. einen gemessenen Wasserstand nach den physikalischen Grundlagen in einen Durchfluss umzusetzen. Um die eindeutige Beziehung zwischen messbarer Grösse und Durchfluss sicherzustellen, und dies möglichst auch noch mit einer Genauigkeit von besser als 1%, muss die Messstelle ganz bestimmte Bedingungen erfüllen. Diese Bedingungen sind für jedes Messverfahren anders. Sie sind in den einschlägigen Normen und in der Literatur ausführlich dokumentiert.

Für Anwender und Lieferanten von Durchflussmessungen gilt es gleichermassen, diese Bedingungen zu beachten, wenn die Messungen ihren Zweck erfüllen sollen. Im folgenden werden als Beispiele die Besonderheiten der Ultraschallmessung und der Überfallmessung beschrieben.

Durchflussmessung mit Ultraschall

Neben der magnetisch-induktiven Messmethode gehört die Ultraschallmethode (Bild 13) auf der Basis der Laufzeitdifferenz von Schallimpulsen mit und gegen die Strömung zu den modernen Lösungen.

Ultraschallmessungen in vollgefüllten Rohren gibt es mit einer oder mehreren Messebenen. Die Mehrebenenmessung erfasst einen grösseren Teil der Fließgeschwindigkeiten an der Messstelle und wird daher von der örtlichen Geschwindigkeitsverteilung weniger beeinflusst als die Einebenenmessung.

Die Einebenenmessung ist aber wesentlich billiger als die mit mehreren Messebenen. Also lohnt es sich, etwas Zeit und Sorgfalt in die Auslegung und Anordnung dieser Messungen zu investieren, denn auch sie können Genauigkeiten von $\pm 1\%$ vom Messwert erreichen, wenn man die Voraussetzungen dafür schafft. Welche Voraussetzungen sind aber notwendig?

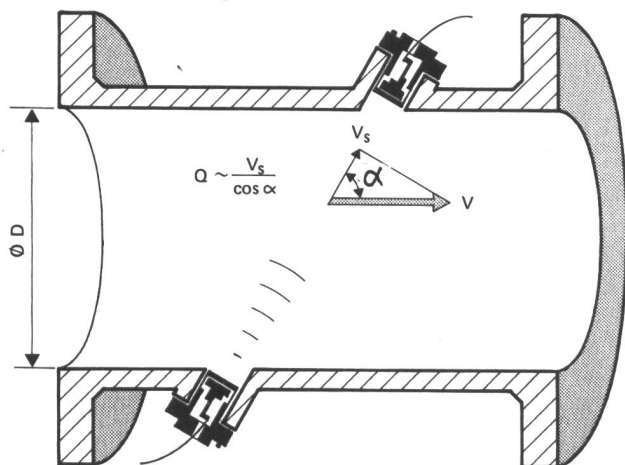


Bild 13. Prinzip der Ultraschallmessung.

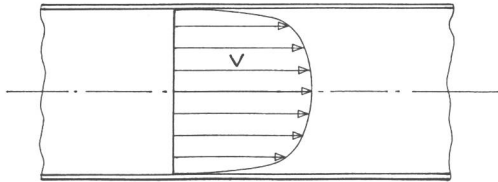


Bild 14. Normale Geschwindigkeitsverteilung in einer Rohrleitung.

Um dies zu erklären, müssen die Grundlagen dieses Messprinzips erläutert werden.

In einem Flüssigkeitsstrom in einer Rohrleitung hat jeder Stromfaden seine eigene Fließgeschwindigkeit. Setzt man diese Einzelgeschwindigkeiten zusammen, dann entstehen die bekannten Bilder der Geschwindigkeitsprofile oder -verteilungen (Bild 14).

Weil aber das Rohr ein räumlicher Körper ist, stellt auch die Geschwindigkeitsverteilung über der Querschnittsfläche gesehen einen räumlichen, rotationssymmetrischen Körper dar. Die Ultraschallimpulse, die vom Sende- zum Empfängerkopf schräg durch den Wasserstrom laufen, erfassen alle Einzelfliessgeschwindigkeiten auf dieser Verbindungslinie. Das bedeutet, dass die ermittelte Laufzeitdifferenz der Impulse mit und gegen die Strömung linear ist zur mittleren Fließgeschwindigkeit über dem Schallpfad (Bild 13).

Der Durchfluss durch die Rohrleitung berechnet sich aber aus $Q = v A$.

Dabei ist $A =$ Fließquerschnitt $D^2\pi/4$
und $v =$ mittlere Fließgeschwindigkeit über der Querschnittsfläche

D.h.; dass die von der Ultraschallmessung ermittelte Fließgeschwindigkeit (Liniengeschwindigkeit) noch in v (Flächengeschwindigkeit) umgesetzt werden muss.

Diese Umsetzung verlangt eine feste Beziehung zwischen Linien- und Flächengeschwindigkeit. Voraussetzung für diese feste Beziehung ist eine ausgeglichene rotationssymmetrische Geschwindigkeitsverteilung an der Messstelle. In jeder Rohrleitung gibt es aber die verschiedensten Störungen, die die Geschwindigkeitsverteilung verzerren (z. B. Klappen, Schieber, Abzweigungen, Krümmer, Kaliberwechsel, Pumpen).

Die ausgeglichene, rotationssymmetrische Geschwindigkeitsverteilung stellt sich erst nach einer längeren Beruhigungsstrecke (gerade ungestörte Rohrstrecke) ein. Um genaue Ultraschallmessungen zu erhalten, ist es deshalb notwendig, die Messstellen so zu platzieren, dass die geforderten Beruhigungsstrecken gewährleistet sind.

Zwar läuft eine Ultraschallmessung auch mit verkürzter Beruhigungsstrecke. Die Konsequenz ist aber eine deutlich schlechtere Messgenauigkeit, ohne dass man exakt angeben kann, um wieviel der Messfehler dadurch grösser wird.

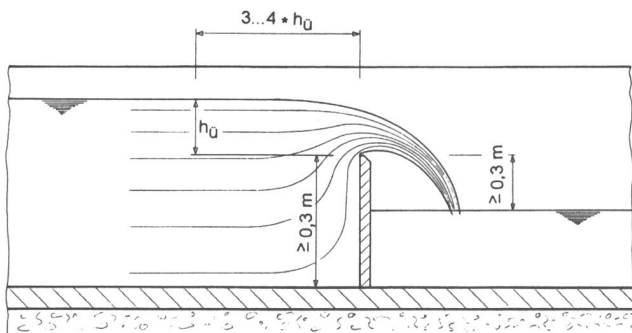


Bild 15. Messüberfall.

Mehrebenenmessungen reagieren weniger empfindlich auf hydraulische Störungen. Aber auch ihre Anordnung muss genau überlegt werden, wenn eine optimale Messgenauigkeit erreicht werden soll.

Durchflussmessungen mit Überfall

Eine weitere, oft angewendete Messmethode ist die Überfallmessung. Ihr Prinzip ist einfach, und die Berechnungsformeln stehen in vielen Büchern und Zeitschriften. Vielleicht deshalb wird diese Methode oft auch angewendet, ohne dass die Grundlagen im ganzen verstanden sind.

Die Überfallmessung (Bild 15) ist eine sehr genaue und zuverlässige Methode, die auch zur Kontrolle und Eichung anderer Messungen verwendet werden kann, wenn die dafür notwendigen Bedingungen an der Messstelle konsequent erfüllt sind.

Die allgemeine Formel für einen Rechtecküberfall lautet

$$Q = 2/3 \mu B \sqrt{2g} \cdot h_u^{3/2}$$

Sie kann auch

$$Q = 2/3 \mu B h_u \sqrt{2gh_u}$$

geschrieben werden.

$B h_u$ ist darin ein Fließquerschnitt A ,

$\sqrt{2gh_u}$ eine Fließgeschwindigkeit v ,

$2/3 \mu$ ein Korrekturwert K .

Damit ist das Grundprinzip, das hinter dieser Messmethode steckt, erklärt. Es lautet

$$Q = K A v$$

Die Überfallhöhe h_u ist dabei die messbare Grösse, die in einer klaren, eindeutigen Beziehung zum Durchfluss steht (vergl. Abschnitt Grundprinzip von Durchflussmessungen).

Der Wert K ist das Verhältnis vom theoretischen Wert $A v$ zum wirklichen Wert, so wie er sich im Bereich der Überfallkante einstellt. Hier muss man wissen, dass die eigentliche Beziehung zwischen Überfallhöhe und Durchfluss durch den Verlauf der Stromlinien im Überfallstrahl bestimmt wird.

Das im Korrekturwert K enthaltene μ ist der sogenannte Überfallbeiwert und berücksichtigt die dynamischen Einflüsse, die auf den Überfallstrahl einwirken.

μ ist berechenbar. Die Grundlagen dazu wurden aufgrund von Versuchen ermittelt. Genaue Angaben sind z. B. in der schweizerischen SIA-Norm Nr. 109 (1924) enthalten.

Der Überfallbeiwert ist abhängig von

- der Überfallhöhe
- der Zulaufgeschwindigkeit im Oberwasser

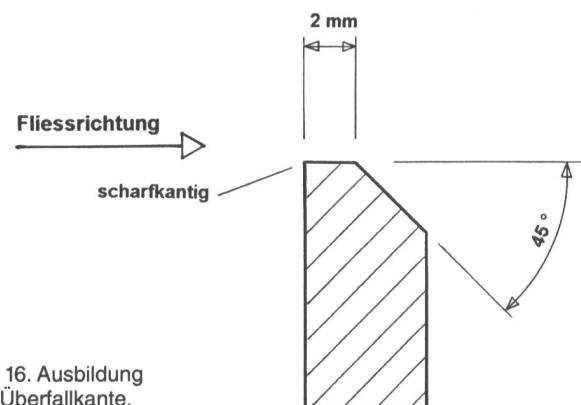


Bild 16. Ausbildung der Überfallkante.

- der Form der Überfallkanten
 - der Belüftung des Hohlraumes unter dem Überfallstrahl
 - der freien Absturzhöhe hinter dem Überfallwehr.
- Die Abhängigkeit von der Überfallhöhe und der Zulaufgeschwindigkeit wird in der Berechnung individuell berücksichtigt.

Die Berechnung der Abhängigkeit von der Kantenform, der Hohlraumbelüftung und der freien Absturzhöhe ist nicht möglich. Um diese Einflüsse dennoch berücksichtigen zu können, sind in der Norm eindeutige konstruktive Vorgaben zu diesen Punkten enthalten. Die Vorgaben lauten:

- Das Überfallwehr muss auf der Oberwasserseite eine ebene Fläche ohne Vor- und Rücksprünge bilden und senkrecht zur Fliessrichtung stehen (Bild 15).
- Die Überfallkanten, bei eingeschnürten Überfällen auch die seitlichen, müssen im Schnitt wie im Bild 16 geformt sein.

Wichtig ist hier die scharfkantige Ausführung der oberwasserseitigen Abreisskante, weil sie den Stromlinienverlauf im Überfallstrahl ganz wesentlich beeinflusst.

- Der Luftraum unter dem Überfallstrahl muss ausreichend belüftet sein, so dass in ihm Atmosphärendruck herrscht.
- Der Wasserspiegel auf der Unterwasserseite muss immer mindestens 0,3 m unter der horizontalen Überfallkante liegen.

Daneben gibt es aber auch noch eingrenzende Vorschriften in bezug auf

- die minimale Wehrhöhe
- das Verhältnis Überfallhöhe zu Wehrhöhe
- den Abstand der Messstelle h_0 vom Wehr und
- die Länge der ungestörten Kanalstrecke vor dem Überfall.

Die Messung von h_0 muss so installiert werden, dass sie den Abfluss nicht stört und von dynamischen Einflüssen der Strömung selbst nicht gestört wird.

Für Dreieck- oder Thomsonüberfälle gelten grundsätzlich die gleichen Bedingungen. Weil aber hier in der Regel mit einem konstanten μ gerechnet wird, darf die Fliessgeschwindigkeit vor dem Überfall nicht grösser sein als 0,15 m/s, wenn die Messung richtige Durchflusswerte anzeigen soll.

Von allen diesen Vorschriften kann abgewichen werden, wenn man die damit verbundene Vergrösserung der Messungenauigkeit akzeptiert.

Man muss sich dabei im klaren sein, dass die Zunahme der Messfehler nicht genau bezifferbar ist, aber sehr schnell mehrere Prozente ausmacht.

Messgeräte

Da wo Messstellen richtig ausgelegt sind, ergeben sie zusammen mit Messgeräten der modernen Generation ein-

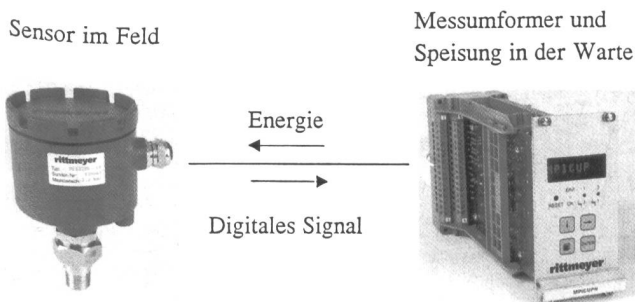


Bild 17. Druck- und Füllstandsmessgerät MPI.

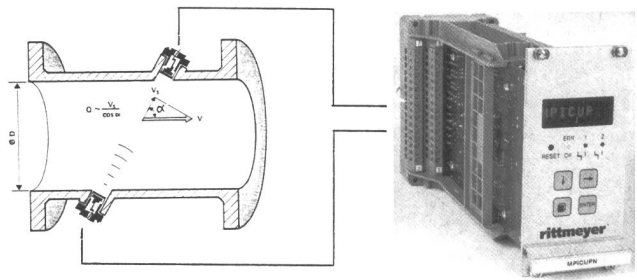


Bild 18. Durchflussmessgerät Risonic.

wandfreie Lösungen. Die moderne Generation sind die sogenannten «intelligenten Messgeräte». Ihre Vorteile sind:

- bessere Genauigkeit als bei den bisherigen Geräten durch bessere Temperaturkompensation, Signalverarbeitung und -überwachung mit Mikro-Computer beim Sensor
- grössere Störfestigkeit durch digitale Signale
- digitale Signalübermittlung vom Sensor bis zum Leitsystem
- kostengünstiger Anschluss an Leitsysteme.

Beispiele dieser Gerätegeneration sind:

- das intelligente Druck- und Füllstandsmessgerät MPI (Bild 17)
- das intelligente Ultraschall-Durchflussmessgerät Risonic (Bild 18)
- das Präzisionsdruckmessgerät W1Q.

Schlusswort

Die aufgeführten Beispiele sollen einen Eindruck vermitteln, wie viele Kenntnisse und Aufwand notwendig sind, um gute und brauchbare Messungen in der Wasserwirtschaft zu erhalten.

Sie sollen auch aufzeigen, dass Messungen schon bei der Planung von Bauwerken berücksichtigt werden müssen. Denn sie bestehen nicht nur aus irgendwelchen Messgeräten, die am Schluss noch irgendwo eingebaut werden, sondern auch aus den Messstellen, die Teile der Bauwerke sind.

In der Praxis begegnet man vielen Beispielen, wo Messungen nur mit einem Teil der notwendigen Kenntnisse über die Zusammenhänge ausgelegt und gebaut wurden und damit ihre Aufgabe nie richtig erfüllen können. Es ist schade um das investierte Geld.

Selbst bei Beachtung aller Regeln ist es oft noch schwer, alle Anforderungen und Wünsche der Betreiber zu erfüllen.

In der Wasserwirtschaft wird mit der modernen Datenverarbeitung immer mehr Aufwand für die Verarbeitung von Messwerten investiert. Aber was nützt die aufwendige Verarbeitung, wenn die Messwerte von der Entstehung her schon falsch sind? Sünden, die bei Auslegung und Bau von Messstellen begangen wurden, kann keine auch noch so raffinierte Datenverarbeitung wiedergutmachen.

Für richtige Ergebnisse muss der Aufwand am Anfang, bei der Planung und Bearbeitung der Messstellen, geleistet werden.

Adresse des Verfassers: Wilfried Wimmer, Ing. für Hydraulik und Messtechnik, Rittmeyer AG, Postfach 2143, CH-6302 Zug.