



Merkblatt Nr. 2.1/10

Stand: 14.07.2008

Ansprechpartner: Referat 83 - Hydrologie des Grundwassers

Messeinrichtungen an Quellen

Inhalt

1	Vorbemerkung	3
2	Randbedingungen	3
2.1	Messgenauigkeit	3
2.2	Messbereich	4
2.3	Messturnus	4
2.4	Örtliche Gegebenheiten / Infrastruktur	4
3	Ermittlung der Quellschüttung im offenen Gerinne / Schacht	5
3.1	Messung ohne Verbauung	5
3.2	Messwehre	6
3.3	Messrinnen	7
3.4	Messgeräte zur Bestimmung des Wasserstandes	8
3.4.1	Schwimmerpegel (Elektromechanik)	8
3.4.2	Pneumatischer Pegel	9
3.4.3	Drucksonde (Hydrostatik)	10
3.4.4	Ultraschallmessung	11
3.4.5	Radarmessung	12
3.4.6	Geführte Mikrowelle (Radar)	13
3.4.7	Kapazitive Messung	14
3.5	Durchflussmessung mittels Fließgeschwindigkeitsmessverfahren	15
3.5.1	Ultraschall (Laufzeitverfahren)	15

3.5.2	Ultraschallverfahren (Dopplerverfahren)	16
3.5.3	Ultraschallverfahren (Puls - Dopplerverfahren)	17
3.5.4	Ultraschallverfahren (Kreuzkorrelation)	17
3.6	Rohrstrecke im offenen Gerinne	17
4	Ermittlung der Quellschüttung in Rohrleitungen	18
4.1	Beruhigungsstrecken	18
4.2	Teilgefüllte Rohrleitungen	18
4.3	Wasserzähler / Wasseruhr	19
4.4	Magnetisch-Induktive-Durchflussmessung (MID)	20
4.5	Ultraschallmessung	21
4.5.1	Laufzeitverfahren	21
4.5.2	Dopplerverfahren	22
4.6	Staudruckmessgeräte	23
4.7	Differenzdruckverfahren	24
4.8	Wirbeldurchflussmessung	25
5	Empfehlungen und Tipps	26
5.1	Schüttungsmessung in Schächten und Behältern	26
5.2	Erfassen der gesamten Quellschüttung	27
6	Temperaturmessung	29
7	Stromversorgung	29
8	Überspannungs- und Blitzschutz	30
9	Datenspeicherung und Datenübertragung	31
10	Hersteller	31
11	Literaturverzeichnis	32

1 Vorbemerkung

Die Quellschüttungsmessung am neu einzurichtenden Quellenmessnetz für Bayern soll künftig überwiegend kontinuierlich mit Datensammler und – soweit möglich – mit Datenfernübertragung (DFÜ) erfolgen. Gefäßmessungen sollen nur noch in Ausnahmen zum Einsatz kommen. Auch die Notwendigkeit der Erfassung belastbarer Werte (z.B. zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels oder im Zusammenhang mit der EG-WRRL) erfordert genauere Methoden zur Aufzeichnung einer Schüttungsganglinie.

Das vorliegende Papier baut auf das Themengebiet „Quellschüttungsmessung“ des ATV-DVWK Merkblattes M 604 „Messeinrichtungen an Quellen“ [1] und der LAWA-Grundwasserrichtlinie für Beobachtungen und Auswertungen von Quellen [2] auf. Es soll einen Überblick über die Möglichkeiten der Quellschüttungsmessung verschaffen und bei der Besichtigung der Quellen im Gelände einen ersten Anhaltspunkt für den künftig eventuell notwendigen Ausbau bzw. Umbau geben. Unter der Vielzahl von Messmethoden werden hier nur solche dargestellt, die für die Quellschüttungsermittlung grundsätzlich geeignet sind.

Die Messeinrichtungen dürfen die hydraulischen Verhältnisse nicht verändern (keine Behinderung des Abflusses oder Erzeugung eines Rückstaus ins Gebirge) und müssen die gesamte Quellschüttung ohne Fremdwasser erfassen.

Grundsätzlich muss bei der Geräteauswahl sichergestellt sein, dass ein Datenimport nach WISKI Bayern (Wasserwirtschaftliches Informationssystem Kisters) problemlos möglich ist. Die abgebildeten Geräte einzelner Firmen sind nur eine Auswahl aus einem weiten Spektrum. Dieses Merkblatt soll den Wasserwirtschaftsämtern Unterstützung bei der individuellen Ausstattung der Quellen unter Beachtung der finanziellen, naturschutzrechtlichen und technisch umsetzbaren Möglichkeiten geben.

Werden für den Bau einer Messstelle größere (Erd-)Baumaßnahmen erforderlich, können diese Kosten sehr schnell dominieren und die Kosten der notwendigen Messeinrichtungen um ein vielfaches übersteigen.

In der Literatur werden die Begriffe Durchfluss und Abfluss nur selten definitionsgemäß richtig verwendet, beziehungsweise es liegen verschiedene Definitionen vor. In diesem Merkblatt sollen die Begriffe Durchfluss und Abfluss als gleichwertig betrachtet werden und sich jeweils auf die Wassermenge beziehen, welche pro Zeiteinheit einen definierten Fließquerschnitt durchfließt (Einheit: $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ bzw. $\frac{\text{l}}{\text{s}}$).

2 Randbedingungen

2.1 Messgenauigkeit

Eine Aussage welches Messverfahren in der Gesamtheit welche Genauigkeit aufweist, ist an dieser Stelle nicht möglich. Grundsätzlich ist bei Messeinrichtungen mit vorgegebenem, konstantem Querschnitt eine höhere Genauigkeit zu erwarten, als bei Systemen mit unregelmäßigen Querschnitten. Es ist zu beachten, dass nicht allein die Genauigkeit des Messwertaufnehmers maßgebend ist, sondern die Genauigkeit der gesamten Messkette, angefangen vom Messquerschnitt, über den Messwertaufnehmer bis hin zur Auswerteeinheit betrachtet werden muss. Die Angaben zur Messunsicherheit der einzelnen hier betrachteten Verfahren beziehen sich auf die für Quellschüttungsmessungen relevanten Messbereiche.

Der Messwert der Schüttung soll im gesamten Messbereich nicht mehr als $\pm 10\%$ vom tatsächlichen Wert abweichen. Unter Kosten – Nutzen – Abwägung sollte versucht werden, eine Messunsicherheit von $\pm 5\%$ vom Messwert zu unterschreiten. Kontroll- und Kalibriermessungen müssen deutlich ge-

nauer sein. Bei sehr großer Schüttungsbandbreite kann es aufgrund der Messunsicherheiten erforderlich werden, getrennte Messeinrichtungen für starke und schwache Schüttungen vorzusehen.

2.2 Messbereich

Die Messeinrichtungen müssen den gesamten Bereich von minimal bis maximal zu erwartender Schüttung an der Messstelle abdecken. Bei sehr großer Abflusssdynamik können je nach eingesetztem Messsystem nicht tolerierbare Messfehler im unteren Messbereich auftreten.

Liegen keine mehrjährigen Aufzeichnungen der Quellschüttung vor, sollte die Quelle mindestens ein Jahr intensiv beobachtet werden um Rückschlüsse auf das Schwankungsverhalten der Quellschüttung ziehen zu können.

2.3 Messturnus

Hier muss zwischen dem zeitlichen Abstand der einzelnen Messungen und dem zeitlichen Abstand der Messwertspeicherung unterschieden werden. Die meisten Messverfahren liefern heute ein kontinuierliches analoges Signal, dessen Wert dann lediglich in einem festgelegten Abstand im Datenlogger gespeichert wird. Andere Verfahren führen in vorgegebenen Abständen Einzelmessungen durch (z.B. Einperlsensor), deren Messwert dann gespeichert wird. Der Messturnus hat also einen Einfluss auf den Stromverbrauch der Messstelle und muss z.B. bei Batteriebetrieb berücksichtigt werden.

Grundsätzlich ist der Messturnus anhand der Schwankungen der Quellschüttung festzulegen, er sollte jedoch nicht größer als 4 Stunden sein. Denkbar wäre auch, zur Datenreduktion den Turnus der Messwertspeicherung von der Änderung des Messwertes abhängig zu machen (ereignisorientierte Speicherung), d.h. es wird erst dann ein Messwert aufgezeichnet, wenn sich dieser um einen definierten Betrag geändert hat. Diese Routinen sind im Landesgrundwasserdienst in Bayern jedoch nicht vorgesehen, da eine Datenreduktion erst in der Datenbank erfolgen soll.

Gegebenenfalls ist es sinnvoll, jeweils einen über die Zeit gemittelten Wert abzuspeichern. Beispielsweise könnte ein Messwert im Minutentakt erfasst und nach jeweils 15 Minuten als Mittelwert abgespeichert werden.

2.4 Örtliche Gegebenheiten / Infrastruktur

Die örtlichen Gegebenheiten bestimmen grundsätzlich die Machbarkeit wie auch die Art des Ausbaus und der Messsysteme. Die folgenden Punkte müssen in die Überlegungen einfließen:

- ist die Quelle frei auslaufend, gefasst, verrohrt, Teil einer Wasserversorgung usw.
- ist die Quellschüttung vollständig erfassbar
- welche Messverfahren sind für die jeweilige bauliche Situation geeignet
- Installation der Sensoren und Messumformer im Quellschacht (unterirdisch), Brunnenhaus oder im Freien
- sind geeignete Zufahrtswege vorhanden, auch im Winter
- Stromanschluss (mögliche Alternativen: Photovoltaik, Batterie, Mikro-Wasserkraftwerk)
- Telefonanschluss
- Mobilfunknetz
- ist mit Vandalismus zu rechnen, sind Absicherungen möglich

3 Ermittlung der Quellschüttung im offenen Gerinne / Schacht

Zum Bau, Betrieb und zur Unterhaltung derartiger Anlagen kann das LfU-Merkblatt 2.4/5 "Hydrometrie im Bereich der quantitativen Hydrologie der oberirdischen Gewässer" [3] herangezogen werden.

Durch Ermittlung des Wasserstandes kann mit Hilfe der W/Q-Beziehung (Abflusskurve) der Abfluss berechnet werden. Voraussetzung ist ein definierter, rückstaufreier Abflussquerschnitt. Dieser Querschnitt darf nicht (z.B. durch Verkrautung) verändert werden. Die Quellschüttungsmessung erfolgt also indirekt bereits einige Meter hinter dem eigentlichen Quellaustritt im offenen Gerinne (Kap. 3.1 bis 3.3).

Einige Verfahren messen die Fließgeschwindigkeit (oft in Verbindung mit dem Wasserstand: Kap. 3.4) und ermitteln daraus bei bekanntem Gerinnequerschnitt den Abfluss (Kap. 3.5).

Auch die Anwendung von Sensoren der Durchflussmesstechnik für Rohrleitungen eröffnet durch Einsetzen einer kurzen Rohrstrecke in das Gerinne weitere Möglichkeiten (Kap. 3.6).

3.1 Messung ohne Verbauung

Sind Neigung, Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit eines Gerinnes bekannt, kann durch Messung des Wasserstandes auf den Abfluss geschlossen werden. Wichtige Voraussetzung ist ein gleichmäßiges Gefälle, auch in der Vor- und Nachlaufstrecke.

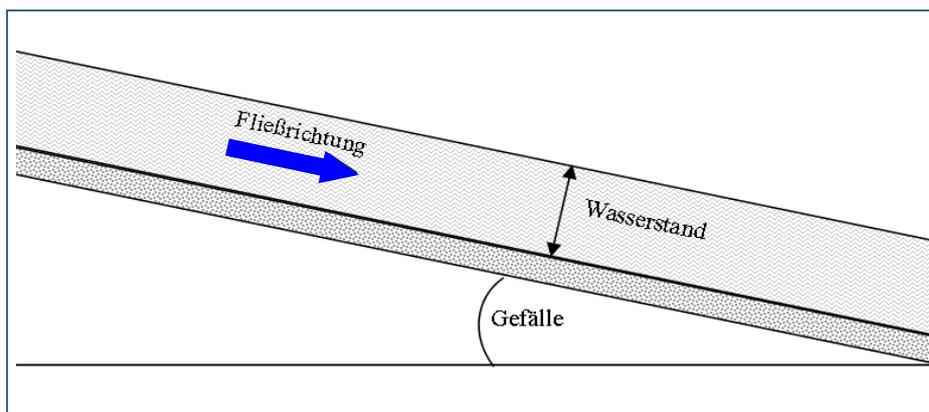


Abb. 1: Gerinne-Strömung (Bild: LfU)

Dies stellt die einfachste Art der kontinuierlichen Abflussmessung dar, ist aber aufgrund der veränderlichen Eigenschaften des Gerinnes und der größeren Unsicherheiten beim Messen des Wasserstandes vor allem bei einer langfristigen Betrachtung ungenau.

Die Messung der Schüttung kleinerer Quellen wird in der Regel aufgrund der geringen Abflüsse ohne Verbauung nicht die erforderliche Genauigkeit liefern.

3.2 Messwehre

Zur Bestimmung des Abflusses über ein Wehr wird die Höhe h des Überfalls über der Wehrkante gemessen. Aus der Überfallhöhe h und der Wehrgeometrie lässt sich der Abfluss berechnen.

Der Zusammenhang zwischen gemessenem Wasserstand und zu berechnendem Durchfluss wird entweder vom Hersteller oder in der einschlägigen Literatur mittels empirischer Formeln angegeben.

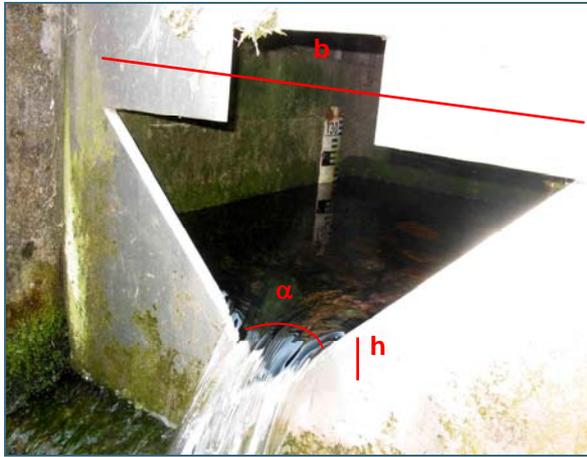


Abb. 2: Dreieckswehr (Foto: LfU)

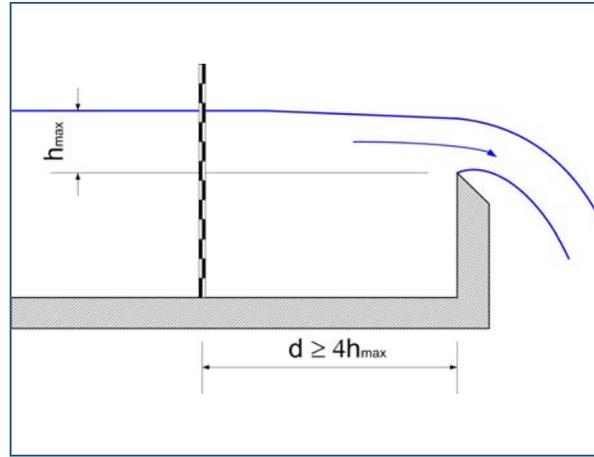


Abb. 3: Längsschnitt (Bild: LfU)

Hinweise:

- Wird die Messstelle durch einen zu hohen Unterwasserstand oder gar Rückstau beeinträchtigt, werden deutlich zu hohe Durchflussmesswerte registriert.
- Messung der Überfallhöhe h in einer Entfernung von $d \geq 4 \cdot h_{\max}$ vor der Wehrkante

Grenzen:

- geeignet für Durchflüsse von 0,25 bis 100 $\frac{l}{s}$
- Messdynamik ca. 400:1
- Messunsicherheit: ca. 2 – 4 %
- die Anströmgeschwindigkeit von 5 cm/s sollte nicht überschritten werden; kein Rückstau
- die maximale Überfallhöhe von 30 cm sollte nicht wesentlich überschritten werden
- die Überfallhöhe muss mindestens 3 cm betragen (darunter „Kleben“ des Strahls; Messung dann nicht mehr möglich)

Vorteile:

- bewährtes Messsystem
- viele verschiedene Messwehrtypen auch für unterschiedlichste Durchflussbereiche

Nachteile:

- für Sediment führende Abflüsse (Wehr = Hindernis) ungeeignet
- Fehlmessung bei Rückstau
- meist Baumaßnahmen erforderlich

Für weitergehende Informationen wird auf die ISO 1438 (scharfkantige Wehre) [4] und ISO 4360 (Dreieckswehre) [5], ISO 3846 (Rechteckwehre) [6] und das Merkblatt ATV-DVWK-M 604 [1] verwiesen.

3.3 Messrinnen

Messrinnen verengen den Querschnitt eines Fließgewässers so, dass ein Fließwechsel vom Strömen zum Schießen eintritt. Dadurch wird der Oberwasserspiegel vom Unterwasserspiegel entkoppelt und es kann anhand des Wasserspiegels im Oberwasserbereich die Durchfluss- bzw. Abflussmenge ermittelt werden. Ein typisches Beispiel ist der Venturikanal.



Abb. 4: Venturikanal (Foto: BMLFUW)



Abb. 5: Venturikanal (Bild: Fa. Ehlers)

Hinweise:

- Da der Wasserspiegel bereits beim Eintritt in das Venturigerinne abfällt, sollte er mindestens vier Gerinnebreiten (b) vor der Einschnürung gemessen werden.
- bei Rückstau fehlerhafte Messung (Oberwasserstand muss vom Unterwasserstand unbeeinflusst sein).
- spezielle Rinnen (sog. Steckrinnen) für Schachteinbau verfügbar (vgl. Abb. 6).



Abb. 6: Steckrinne (Bild: Fa. Ehlers)



Abb. 7: Steckrinne (Bild: Fa. Eijkelkamp)

Grenzen:

- geeignet für Durchflüsse von 1 bis 5000 $\frac{l}{s}$
- Messunsicherheit: ca. 3 – 5 %
- Messdynamik ca. 20:1
- der Zufluss muss immer strömend sein

Vorteile:

- bewährtes Messsystem
- verschiedene Baugrößen für unterschiedliche Durchflussbereiche
- bei korrekter Montage relativ unempfindlich gegen Einflüsse im Oberwasserbereich
- einfache Wartung und Reinigung
- auch bei sedimentbefrachteten Gewässern bis zu einem gewissen Grad selbstreinigend

Nachteile:

- umfangreiche Baumaßnahmen notwendig; teurer als Messwehre
- Fehlmessung bei Rückstau
- bei Versandung fehlerhafte Messung

Weitere Informationen siehe ISO 4359 (Messkanäle, Messrinnen) [7] und Merkblatt ATV-DVWK-M 604 [1].

3.4 Messgeräte zur Bestimmung des Wasserstandes

Bei den Geräten zur Wasserstandsmessung wird zwischen Messwertaufnehmern in Kontakt mit dem Messmedium und der berührungslosen Wasserstandsmessung unterschieden.

3.4.1 Schwimmerpegel (Elektromechanik)

Das System arbeitet nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren. Die Auf- und Abbewegung des Schwimmers wird dabei in eine Drehbewegung umgewandelt; anschließend erfolgt ein elektronischer Abgriff der Drehbewegung über einen Winkelcodierer. Der Messwert wird meist als analoges 4(0)-20 mA-Signal ausgegeben.

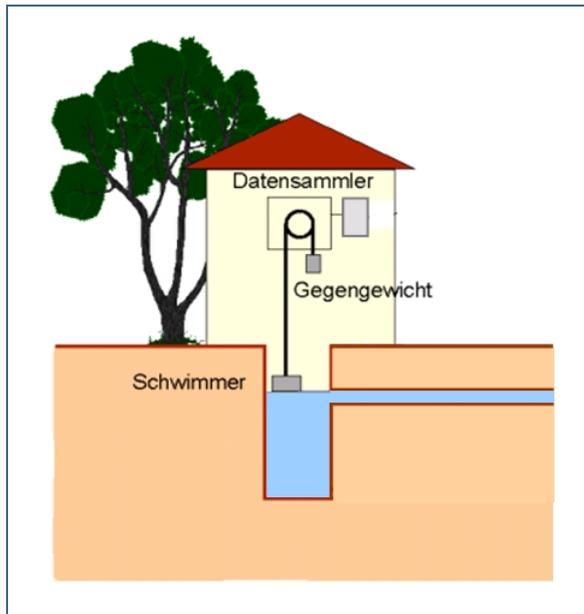


Abb. 8: Schwimmer-Pegel im Sammelschacht einer Quelle (Bild: LfU)



Abb. 9: Schwimmer mit Winkelcodierer (Bild: Fa. OTT)

Hinweise:

- Kosten: ab ca. 700,- €
- Leistungsaufnahme unter 1 W
- Vereisungsgefahr

Grenzen:

- Messunsicherheit: ca. ± 1 (- 2) mm

Vorteile:

- leicht verständliches Funktionsprinzip
- preiswert
- sehr geringer Stromverbrauch (nur Winkelcodierer)

Nachteile:

- der Schwimmerpegel benötigt Platz
- der Schacht erfordert einen unverhältnismäßig hohen Bauaufwand

3.4.2 Pneumatischer Pegel

Hierbei handelt es sich um eine pneumatische Wasserstandsmessung bei der über ein Tauchrohr Druckluft in die zu messende Flüssigkeit „perlend“ eingebracht wird. Der pneumatische Luftdruck in der Leitung entspricht dem Wasserdruck in Höhe der Einperlöffnung. Jede Wasserstandsänderung bewirkt eine Druckänderung, die messtechnisch erfasst wird.

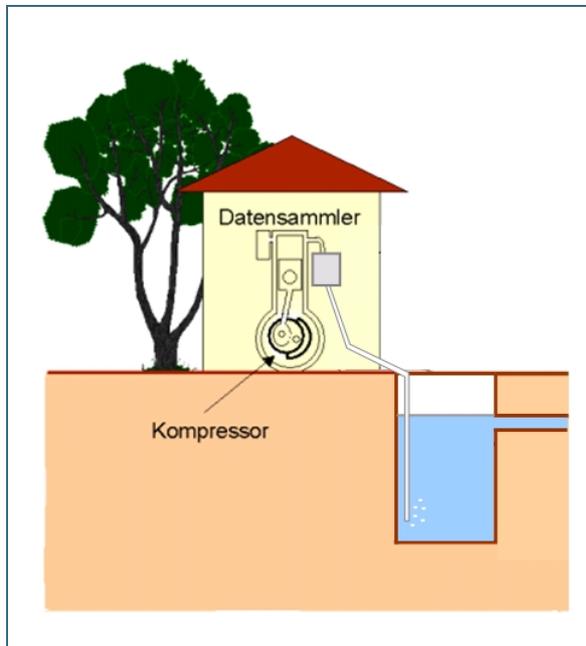


Abb. 10: Einperlsensor im Sammelschacht einer Quelle (Bild: LfU)



Abb. 11: Pneumatiksensor mit GSM-Modem und Antenne (Bild: Fa. Seba)

Hinweise:

- die Luft der Einperlleitung muss mit stetigem Gefälle zum Ausperltopf verlegt werden
- Kosten: ab etwa 1400,- €
- Leistungsaufnahme: Bei Betrieb mit Druckluftflasche ca. 1 W, bei Kompressorbetrieb höhere Leistungsaufnahme

Grenzen:

- Messunsicherheit ca. ± 5 (– 10) mm

Vorteile:

- freie Wahl des Gerätestandortes (bis zu 200 m vom Gewässer entfernt)
- driftfreie Geräte erhältlich

Nachteile:

- Wartungsaufwand
- Messfehler
- Preis

3.4.3 Drucksonde (Hydrostatik)

Die hydrostatische Wasserstandsmessung basiert auf der Bestimmung des hydrostatischen Drucks, der durch die Höhe der Wassersäule über der Messzelle verursacht wird.

Hierbei wird z.B. ein druckempfindlicher Sensor (z.B. mit Piezoelement, Keramik- oder Metallmembran) in einem Messrohr ins Wasser eingebracht bzw. an einem Behälter befestigt. Der Sensor wandelt den Wasserdruck (mechanische Größe) in eine analoge elektrische Größe um (z.B. 4-20 mA-Signal).

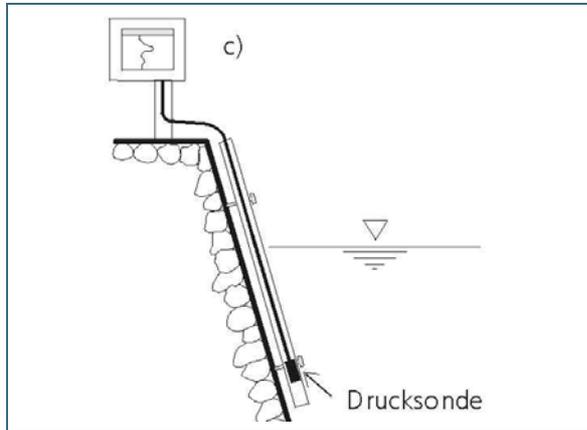


Abb. 12: Einbaubeispiel einer Drucksonde (Bild: LfU)



Abb. 13: Drucksonde (Bild: Fa. Quantum Hydrometrie)

Hinweise:

- Drucksensoren waren vor allem in der Vergangenheit (einige sind es auch heute noch) recht anfällig in Bezug auf Temperaturschwankungen und wiesen einen zeitlichen Drift der Messwerte auf. Daher müssen betroffene Sonden regelmäßig abgeglichen werden. Heute können bei qualitativ hochwertigen Drucksonden mit geeigneten Messzellen (z.B. keramisch-kapazitiv) sowohl die Abweichungen, aufgrund der bei Quellen auftretenden Temperaturschwankungen, als auch der zeitliche Drift vernachlässigt werden.
- Sonden müssen luftdruckkompensiert sein, ansonsten muss mit Hilfe einer separaten Luftdruckmessung der Differenzdruck ermittelt werden.
- Kosten: ab etwa 700,- €
- Leistungsaufnahme: < 1 W

Grenzen:

- Messunsicherheit ca. $\pm 1 - 3$ mm

Vorteile:

- geringer Wartungsaufwand bei geeigneter hochwertiger Messzelle
- genaue Messung
- häufig eingesetztes Verfahren zur Messung des Wasserstandes
- preiswert

Nachteile:

- Das Kapillarrohr für den Luftdruck-Ausgleich muss regelmäßig kontrolliert werden, da Kondenswasser zu Messfehlern führt
- regelmäßige Wartung bzw. Überprüfung des Messwertes (nur bei älteren, bzw. weniger geeigneten Sonden)

3.4.4 Ultraschallmessung

Ein Schallwandler strahlt kurze Ultraschallpulse ab, die von der Wasseroberfläche reflektiert und vom Schallwandler wieder empfangen werden.

Die Pulse breiten sich mit Schallgeschwindigkeit aus. Die Zeit vom Senden bis zum Empfangen der Signale ist proportional zum Wasserstand.



Abb. 14: Ultraschallsensor (Bild: Fa. Vega)



Abb. 15 : Ultraschallsensor (Bild: Fa. Kobold)

Hinweise:

- Mindestabstand (Blockdistanz) zwischen Sensor und Wasseroberfläche bei maximalem Wasserstand muss eingehalten werden. Typische Blockdistanz ca. 25 cm.
- Kosten: ab etwa 700,- €
- Leistungsaufnahme: ca. 1 W

Grenzen:

- Messbereich 0 – 10 m
- Messunsicherheit ± 5 (– 10) mm
- Nahbereich erst ab ca. 25 cm erfassbar

Vorteile:

- berührungslose Messung
- häufig eingesetztes Verfahren zur Messung des Wasserstandes
- preiswert

Nachteile:

- Messungenauigkeit allgemein
- Messfehler bei Schaumbildung oder sonstigen schwimmenden Verunreinigungen an der Wasseroberfläche
- Messfehler durch Lufttemperaturschichtungen zwischen Sensor und Wasseroberfläche (Quellschacht)

Für weitergehende Informationen siehe ISO 6416 (Ultraschallmessverfahren) [8].

3.4.5 Radarmessung

Über das Antennensystem werden kurze Radarpulse Richtung Wasseroberfläche abgestrahlt, dort reflektiert und wieder empfangen.

Sie breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Die Zeit vom Senden bis zum Empfangen der Signale ist proportional zum Wasserstand.



Abb. 16: Radarsensor (Bild: Fa. Vega)



Abb. 17: Radarsensoren (Bild: Fa. Seba)

Hinweise:

- bei nicht leitenden Behälterwänden Messfehler durch Störreflexionen außen liegender Bauteile möglich
- Kosten: ab etwa 1400,- €
- Leistungsaufnahme: ca. 1 W

Grenzen:

- Messbereich 0 – 10 m
- Messunsicherheit ± 3 mm

Vorteile:

- berührungslose Messung
- in der Regel kein Messfehler bei Schaumbildung oder sonstigen schwimmenden Verunreinigungen
- unempfindlich bei Lufttemperaturschichtungen zwischen Sensor und Wasseroberfläche (Quellschacht)

Nachteile:

- Preis (im Vergleich zur Ultraschallmessung)

3.4.6 Geführte Mikrowelle (Radar)

Hochfrequente Mikrowellenpulse werden auf ein Seil oder Stab gekoppelt und entlang der Sonde geführt.

Der Puls wird von der Wasseroberfläche reflektiert. Die Zeit vom Senden bis zum Empfangen der Signale ist proportional zum Füllstand im „Behälter“.



Abb. 18: Radarsonde (Bild: Fa. Vega)



Abb. 19: Radarsonde (Bild: Fa. Krohne)

Hinweise:

- Kosten: ab etwa 1000,- €
- Leistungsaufnahme: ca. 1 W

Grenzen:

- Messunsicherheit ± 3 mm

Vorteile:

- unempfindlich bei Verunreinigungen, Schaum oder Dichteschwankungen

Nachteile:

- Preis (im Vergleich zur Ultraschallmessung)

3.4.7 Kapazitive Messung

Das kapazitive Messprinzip ist ein sehr weit verbreitetes und bewährtes Messverfahren zur Füllstandsmessung. Sensor und Behälter bilden die beiden Elektroden eines Kondensators.

Eine durch Anstieg oder Abfall des Füllstandes hervorgerufene Kapazitätsänderung wird ausgewertet und in ein entsprechendes Ausgangssignal umgesetzt. Es sind auch Geräte verfügbar, bei denen sich beide Elektroden am Sensor befinden und somit kein metallener Behälter benötigt wird.



Abb. 20: Einstabsonde (Bild: Fa. Vega)



Abb. 21: Zweistabsonde (Bild: Fa. Endress und Hauser)

Hinweise:

- Füllstandmessung erfolgt über die gesamte Sensorlänge
- Kosten: ab etwa 300,- €
- Leistungsaufnahme: ca. 1 W

Grenzen:

- Messunsicherheit z.B. ± 3 mm bei einem Messbereich von 1 m und konstanter Dielektrizitätszahl

Vorteile:

- sehr preiswert

Nachteile:

- größere Messunsicherheiten bei schwankender Dielektrizitätszahl (bei Wasser: ca. 5 % bei Veränderung der Wassertemperatur von 10 °C auf 20 °C)
- Messfehler durch fließendes Kondensat möglich (durch Brückenbildung zwischen den „Elektroden“)

3.5 Durchflussmessung mittels Fließgeschwindigkeitsmessverfahren

In offenen Kanälen ergibt sich die zu bestimmende Durchflussmenge aus dem Mittel der Geschwindigkeiten, multipliziert mit dem durchflossenen Profilquerschnitt.

In der Praxis wird die Zahl der Geschwindigkeitsmessstellen im Messprofil des offenen Gerinnes auf wenige oder gar eine reduziert. Der vom Sensor gelieferte Geschwindigkeitswert sollte repräsentativ für die mittlere Geschwindigkeit im Profil sein. Der Wasserstand wird mit einem zweiten Sensor gemessen.

Bei Kenntnis des Kanalprofils wird dann aus der durchströmten Fläche und der mittleren Fließgeschwindigkeit der Durchfluss bestimmt.

3.5.1 Ultraschall (Laufzeitverfahren)

Piezoelektrische Wandler senden und empfangen Ultraschallsignale diagonal zur Fließrichtung. Dabei ist die Laufzeit des Signals mit der Strömung kürzer als gegen die Strömung. Die Laufzeitdifferenz ist direkt proportional zur Fließgeschwindigkeit entlang des akustischen Pfades und damit bei bekanntem Querschnitt auch proportional zum Abfluss.

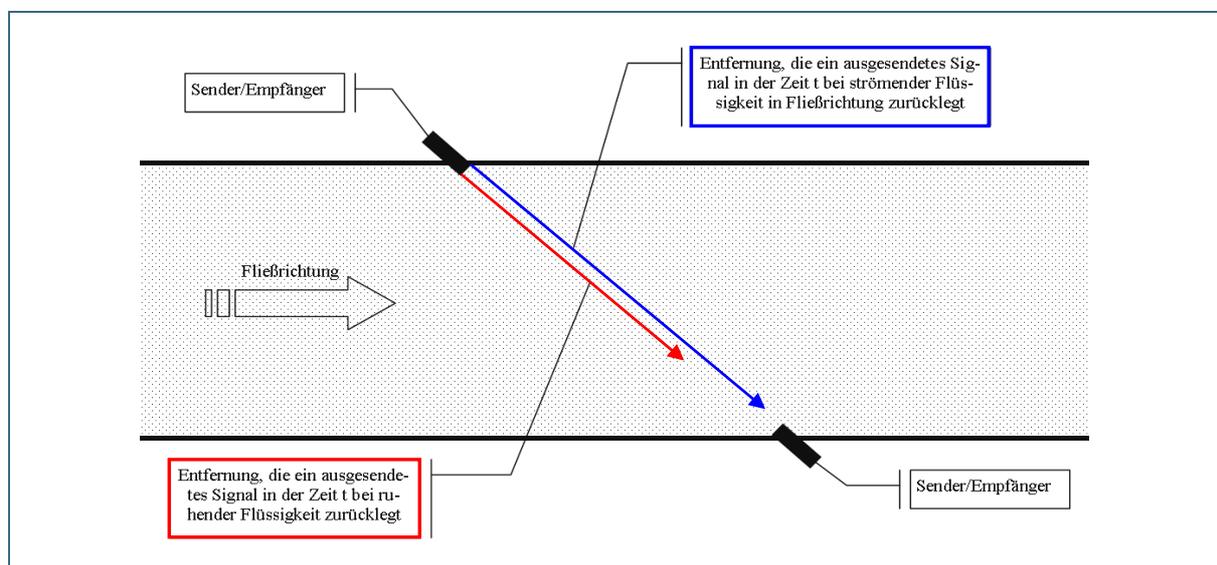


Abb. 22: Ultraschall, Laufzeitverfahren (Zeichnung: LfU)

Hinweise:

- Kosten: ab ca. 2500,- €
- Leistungsaufnahme von einigen Watt bis ca. 30 W (je nach Hersteller)

Grenzen:

- Messunsicherheit ca. $\pm 3 - 5\%$, bei geringen Fließgeschwindigkeiten bis $\pm 15\%$ des Messwertes. Um die erforderliche Messgenauigkeit zu erreichen, ist deshalb eine Fließgeschwindigkeit von mindestens $0,2 \frac{m}{s}$ erforderlich
- Messdynamik ca. 150:1
- für Gerinnebreiten unter ca. 50 cm ungeeignet.

Vorteile:

- nur geringe Überdeckung der Sensoren nötig

Nachteile:

- Gerinnebreite von mindestens 50 cm erforderlich
- hoher Stromverbrauch

3.5.2 Ultraschallverfahren (Dopplerverfahren)

Ein Ultraschallwandler, der quer zur Fließrichtung installiert ist, sendet laufend Schallsignale aus, die von den Schwebstoffen im Wasser reflektiert werden und empfängt sie wieder.

Da sich die Schwebstoffe mit der Strömung bewegen, ergibt sich nach dem Doppler-Prinzip zwischen gesendetem und empfangenem Signal eine Frequenzverschiebung, die ein Maß für die Fließgeschwindigkeit des Wasserkörpers ist.

Aus bekanntem Fließquerschnitt, dem mit separater Messung ermittelten Wasserstand und der gemessenen Geschwindigkeit kann der Durchfluss ermittelt werden.

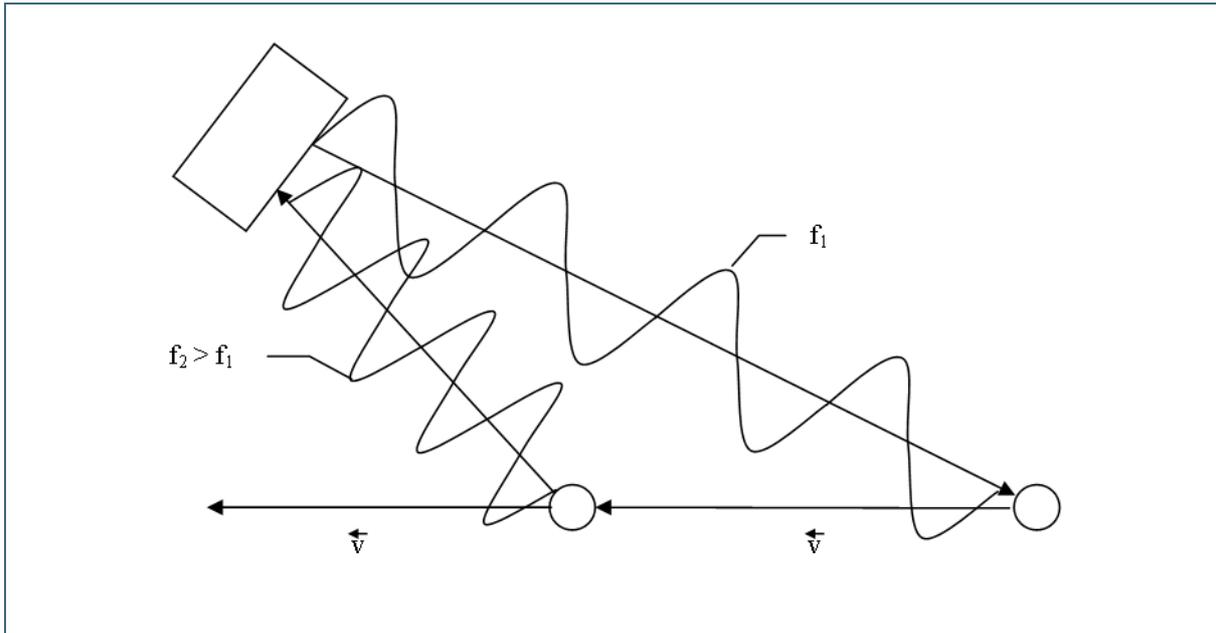


Abb. 23: Prinzipskizze Ultraschall - Dopplerverfahren (Zeichnung: LfU)

Hinweise:

- Kosten: ab ca. 2500,- €
- Leistungsaufnahme ca. 40 W

Grenzen:

- Messunsicherheit ca. 3 %
- bei Gerinnebreiten unter ca. 50 cm schwierig

Vorteile:

- nur geringe Überdeckung des Sensors nötig

Nachteile:

- hoher Stromverbrauch
- Verschmutzungen oder Luftbläschen als Streukörper in einer Mindestkonzentration erforderlich. Eignung für Messungen an Quellwasser problematisch.

Für weitergehende Informationen siehe ISO/TS 24154 (Ultraschall-Doppler-Systeme) [9].

3.5.3 Ultraschallverfahren (Puls - Dopplerverfahren)

Der Sensor strahlt einen Impuls mit definierter Frequenz aus, der an Streukörpern im Wasser reflektiert wird. Das Echo wird in verschiedenen Zeitfenstern ausgewertet, wodurch eine entfernungsselektive Messung möglich ist. Die unterschiedlichen Echos werden gespeichert und miteinander verglichen. Die Auswertung liefert relativ präzise das Gesamtmittel der Fließgeschwindigkeit im Gerinnequerschnitt. Aus bekanntem Fließquerschnitt, dem mit separater Messung ermittelten Wasserstand und der gemessenen Geschwindigkeit kann der Durchfluss ermittelt werden.

Dieses Verfahren bringt aufgrund der Größe der einzelnen Messzellen (25 – 50 cm) bei Quellen in der Regel keine Vorteile gegenüber dem „normalen“ Dopplerverfahren.

3.5.4 Ultraschallverfahren (Kreuzkorrelation)

Ein kurzer Ultraschallpuls wird von einem auf der Sohle befestigten Sensor mit einem Winkel von 45° zur Strömungsrichtung abgestrahlt. Unmittelbar danach empfängt dieser Sensor dann die Echosignale aus dem betrachteten Strömungsfeld. Es erfolgt eine zeitliche und räumliche Zuordnung der Echosignale. Kurz darauf folgt ein zweiter Puls, dessen Echomuster in der gleichen Art verarbeitet und mit den vorhergehenden Echos verglichen wird. Aus der zeitlichen Verschiebung signifikanter Echos kann die Fließgeschwindigkeit berechnet werden.

Zur Erzielung auswertbarer Echos sind Streukörper im zu messenden Medium in einer Größe und Anzahl erforderlich, welche in Quellwasser nicht zu erwarten sind.

3.6 Rohrstrecke im offenen Gerinne

In manchen Fällen ist es möglich, einen kurzen Abschnitt eines vorhandenen offenen Gerinnes zu verrohren oder ein kurzes Rohrstück in ein Gerinne einzusetzen. Vor der Rohrstrecke muss allerdings, ähnlich wie bei Wehren oder Venturikanälen, bei stärkeren Schüttungen ein leichter Aufstau hingegenommen werden, damit der für die schnellere Strömung im Rohr nötige Druck aufgebaut werden kann. Die möglichen Messsysteme werden weiter unten ab Kapitel 4 erläutert.



Abb. 24: Vorrichtung zur Messung des Abflusses offener Gerinne mittels MID (Bild: Fa. Axel Zangenberg)

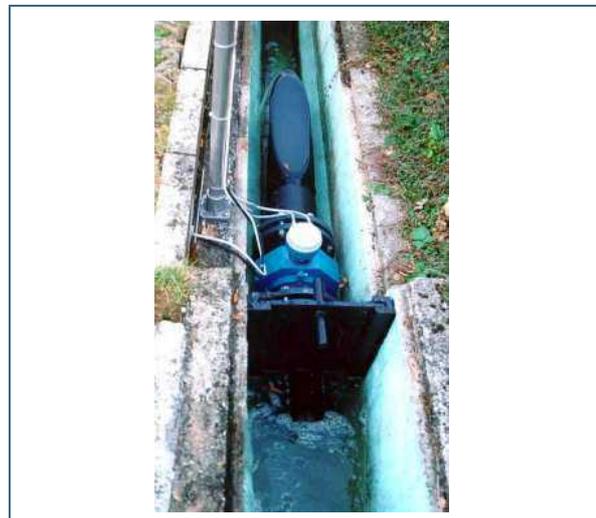


Abb. 25: Vgl. Abb. 24 im eingebauten Zustand (Foto: Fa. Axel Zangenberg)

Das in den Abb. 24 und Abb. 25 dargestellte Messsystem nutzt die Vorteile eines Magnetisch-Induktiven-Durchflussmessers (MID, vgl. Kapitel 4.4) für die Abflussmessung in einem offenen Gerinne. Anstelle des MID sind auch andere Sensoren denkbar.

Abb. 25 zeigt die Einbausituation in einem vorhandenen Venturikanal. Analog dazu kann dieses Sys-

tem auch anstelle eines Überfallwehres eingesetzt werden (Einen ähnlichen Aufbau mit weiteren Erläuterungen zeigt die Abb. 41 im Kapitel 5.1).

4 Ermittlung der Quellschüttung in Rohrleitungen

4.1 Beruhigungsstrecken

Für die meisten der genannten Messverfahren werden Ein- und Auslaufstrecken benötigt, um Turbulenzen oder Drall in der Strömung zu verringern oder zu beseitigen. Diese Turbulenzen können mechanische Zähler beschädigen und bei Ultraschalldurchflussmessgeräten, MID, Staudruckmessgeräten usw. erhebliche Messfehler hervorrufen.

Daher ist bei der Planung von Messstrecken auf entsprechende Beruhigungslängen zu achten. Im Allgemeinen werden die 5-fache Nennweite des Zählers im Einlauf und der 3-fache Nenndurchmesser (DN) im Auslauf als ausreichend angesehen.

Einbauten wie Ventile, Pumpen, Nennweitenänderungen, Temperaturfühler, 90°-Bögen, T-Stücke, Raumkrümmer (2 x 90°), Filter und Absperrarmaturen machen teilweise zusätzliche Längen von bis zu 30-fachem Nenndurchmesser erforderlich.

Strömungsgleichrichter können diese benötigten Strecken verkürzen, sollten aber nicht direkt vor dem Durchflussmesser montiert werden, da auch Gleichrichter Wirbel erzeugen

Ausnahmen:

Die folgenden Messgeräte benötigen keine Beruhigungsstrecken:

- Volumenzähler, wie Ringkolben oder Ovalrad
- Massedurchflussmesser

4.2 Teilgefüllte Rohrleitungen

Durchflussmessungen in teilgefüllten Rohrleitungen sind zwar grundsätzlich möglich, jedoch immer ungenauer als vergleichbare Messungen im vollgefüllten Rohr.

Teilweise werden für diesen Anwendungsfall teure Sonderausführungen der Messgeräte nötig, die dann oft höhere Ansprüche an das Medium oder den Messaufbau stellen. Beispielsweise benötigen MID für teilgefüllte Rohre in der Regel eine Mindestfüllhöhe von ca. 10 % der Nennweite, eine um den Faktor 10 höhere Leitfähigkeit des Wassers und eine wesentlich höhere Fließgeschwindigkeit. Andere Systeme stoßen bei den zu erwartenden geringen Nennweiten an ihre Grenzen.

Im Bereich der Quellschüttungsmessung sollte in diesen Fällen durch Dükerung oder vergleichbare Maßnahmen eine Vollfüllung herbeigeführt werden (siehe Abb. 24 auf Seite 17 und Merkblatt ATV-DVWK-M 604, S. 21, Bild 6 [1]), um bei definierten hydraulischen Verhältnissen herkömmliche Sensoren einsetzen zu können.

Aus diesen Gründen wird der Anwendungsfall „teilgefüllte Rohrleitung“ hier nicht näher behandelt.

4.3 Wasserzähler / Wasseruhr

Zu den häufigsten Volumenzählern gehören Trommelzähler, Ringkolbenzähler, Flügelradzähler, Ovalradzähler u. a. Bei diesen Messgeräten wird ein Kolben, eine Trommel oder der Flügel eines Flügelrades durch das durchströmende Wasser bewegt bzw. angetrieben.

Der zurückgelegte Weg oder Winkel ist dabei proportional zum zu messenden Volumen.



Abb. 26: Wasserzähler (Foto: LfU)



Abb. 27: Durchflussmesser mit Flügelrad (Messwertaufnehmer) (Bild: Fa. Kobold)

Hinweise:

- die vom Hersteller angegebenen Messfehler dürften sich während der Einsatzzeit aufgrund von Verschleiß der Mechanik verdoppeln
- Kosten z.B. DN 50/Q_n 15 m³/h ca. 900,- € incl. Datenschnittstelle
- Leistungsaufnahme gering

Grenzen:

- Messunsicherheit ca. 2 – 5 % (Eichgenauigkeit)
- Messdynamik sehr unterschiedlich von 10:1 bis ca. 500:1
- für teilgefüllte Rohrleitungen ungeeignet

Vorteile:

- bei kleinen Durchflüssen preiswert

Nachteile:

- nur für „saubere“ Flüssigkeiten

4.4 Magnetisch-Induktive-Durchflussmessung (MID)

An zwei gegenüberliegenden Seiten eines vollgefüllten Rohres wird ein Magnetfeld mit konstanter Stärke erzeugt. Zwei senkrecht dazu, an der Rohrwand angebrachte Messelektroden registrieren die Spannung, die beim Durchfließen des Wassers erzeugt wird. Die Flüssigkeit und das Rohr müssen hierzu elektrisch voneinander isoliert werden (z.B. durch Keramik, Teflon, Hartgummi etc.).

Die induzierte Messspannung ist direkt proportional zur Durchflussgeschwindigkeit, wenn die Magnetfeldstärke und der Elektrodenabstand konstant gehalten werden.

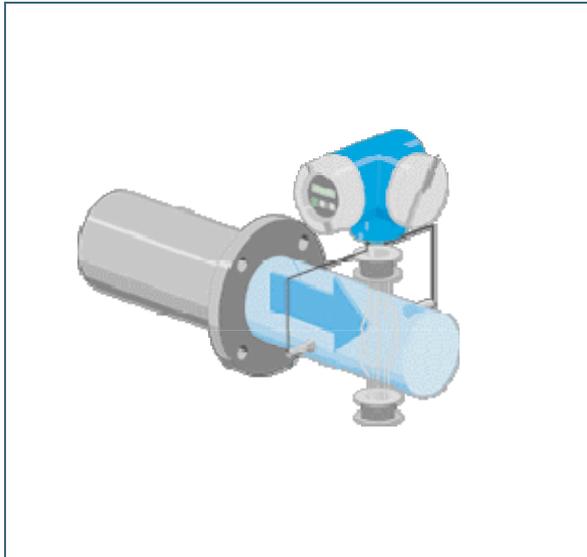


Abb. 28: Messprinzip MID (Bild: Fa. Endress + Hauser)



Abb. 29: MID (Bild: Fa. Krohne)

Hinweise:

- Leistungsaufnahme ca. 5 W
- Kosten z.B. DN 50 ca. 3000,- €
- nur bei vollgefüllten Rohren sinnvoll – evtl. Düker erforderlich

Grenzen:

- Messunsicherheit ca. 0,5 – 1 % vom Messwert
- Nennweiten von DN 25 bis DN 2.000
- Messdynamik bis ca. 1000:1
- für teilgefüllte Rohrleitungen spezielle MID notwendig

Vorteile:

- Funktion unabhängig von Druck, Temperatur oder Viskosität
- kaum Einfluss des Strömungsprofils
- keine Querschnittsverengung notwendig
- hohe Messsicherheit und Reproduzierbarkeit
- gängiges und bewährtes System zur Ermittlung des Durchflusses
- minimale Wartung und Pflege

Nachteile:

- nur für bestimmte Leitfähigkeitsbereiche des Messstoffes ($> 5 \mu\text{S}$, bei Quellwasser in der Regel kein Problem), darunter größere Messunsicherheiten
- Ablagerungen im Messrohr und den Messelektroden möglich; dadurch ggf. Messfehler (bei Quellwasser jedoch nicht zu erwarten)
- Mindestfließgeschwindigkeit notwendig ($> 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$), darunter größere Messunsicherheit

4.5 Ultraschallmessung

4.5.1 Laufzeitverfahren

Bei dieser Form der Ultraschallmessung senden und empfangen zwei Sensoren gleichzeitig Ultraschallimpulse.

Der Impuls, der gegen die Strömung gesandt wird, benötigt dabei länger, als der Impuls, der mit der Strömung läuft. Diese Laufzeitdifferenz ist direkt proportional zur Fließgeschwindigkeit und somit auch zum Volumen.

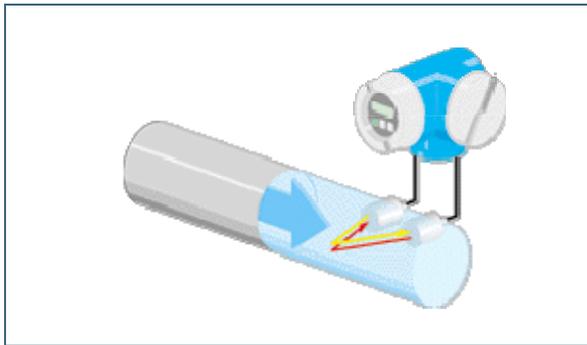


Abb. 30: Laufzeitmessung
(Bild: Firma Endress + Hauser)

Hinweise:

- Leistungsaufnahme $\approx 5 - 15 \text{ W}$
- Kosten: ab 5000,- €

Grenzen:

- Messunsicherheit ca. $\pm 2 - 5 \%$, bei geringen Fließgeschwindigkeiten bis $\pm 15 \%$ des Messwertes. Um die erforderliche Messgenauigkeit zu erreichen, ist deshalb eine Fließgeschwindigkeit von mindestens $0,2 \text{ m/s}$ erforderlich
- Nennweiten von DN 15 bis DN 4.000
- für teilgefüllte Rohrleitungen ungeeignet
- Messdynamik bis ca. 150:1

Vorteile:

- die Ultraschall-Messgeräte können auch auf bestehende Rohrleitungen montiert werden, ohne dass der Betrieb unterbrochen werden muss (Clamp-On-Verfahren)
- berührungsloses Messen von außen
- keine Umbauten am Rohr, kein Druckverlust
- keine Mindestleitfähigkeit erforderlich
- geringe Wartung und Pflege

Nachteile:

- Aufschnalltechnik nicht geeignet für Rohre aus Beton (inhomogener Werkstoff)
- bei der Aufschnalltechnik Messfehler bei inkrustierten Rohren
- Stromverbrauch
- teuer (interessant erst bei großen Rohrdurchmessern)

4.5.2 Dopplerverfahren

Bei diesem Verfahren wird ein Ultraschallsignal mit definierter Frequenz und definiertem Winkel in die zu messende Flüssigkeit abgegeben.

In der Flüssigkeit enthaltene Feststoffteilchen oder Gasblasen reflektieren das Signal. Da die Teilchen in Bewegung sind, kommt es bei der Reflexion zu einer Frequenzverschiebung, die direkt proportional zur Geschwindigkeit des Mediums ist. Aus der Fließgeschwindigkeit und den Rohrdaten lässt sich dann der Durchfluss ermitteln.

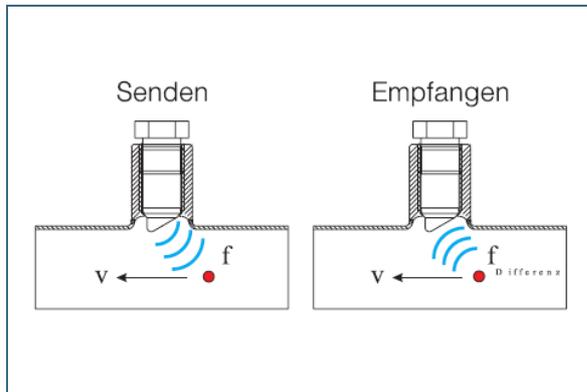


Abb. 31: Messprinzip Dopplerverfahren
(Bild: Firma Negele)



Abb. 32: Doppler-Ultraschallsensor (Foto: LfU)

Hinweise:

- Leistungsaufnahme $\approx 10 \text{ W}$
- Kosten: ab 1000,- €

Grenzen:

- Messunsicherheit ca. 1 – 3 %, bei geringen Fließgeschwindigkeiten wesentlich größer. Zur Einhaltung der erforderlichen Genauigkeit Mindestfließgeschwindigkeit beachten.
- Nennweiten von DN 15 bis 4000 mm

Vorteile:

- in Verbindung mit Wasserstandsmessung grundsätzlich auch für teilgefüllte Rohre geeignet

Nachteile:

- Stromverbrauch
- Verschmutzungen oder Luftbläschen als Streukörper in einer Mindestkonzentration erforderlich. Eignung für Quellwasser eher nicht gegeben.

4.6 Staudruckmessgeräte

Staudrucksonden haben mehrere Bohrungen in und gegen die Strömungsrichtung.

An den Öffnungen entgegen der Strömungsrichtung entsteht ein dynamischer Überdruck, an den Öffnungen in Strömungsrichtung entsteht ein dynamischer Unterdruck. Die Drücke der unterschiedlichen Öffnungen werden gemittelt und daraus die mittlere Fließgeschwindigkeit bzw. der Durchfluss errechnet.

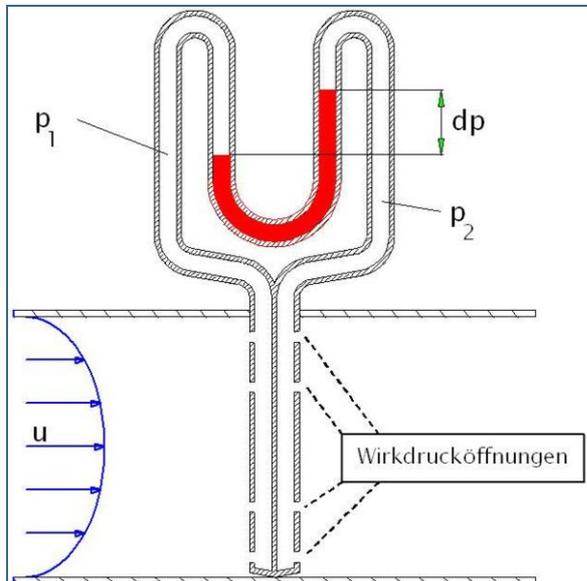


Abb. 33: Messprinzip Staudrucksonde
(Zeichnung: Fa. systec Controls)



Abb. 34: Staudrucksonde (Bild: Fa. systec Controls)

Hinweise:

- Kosten: z.B. DN 50 ca. 2000,- €
- Leistungsaufnahme unter 5 W

Grenzen:

- Messunsicherheit ca. 1 % vom Messwert
- Für Nennweiten von DN 3 bis 3000 mm
- Messdynamik bis ca. 30:1
- für teilgefüllte Rohre ungeeignet

Vorteile:

- wartungsfrei

Nachteile:

- Staukörper in der Strömung
- bei kleinen Rohrnennweiten teuer

4.7 Differenzdruckverfahren

Mit Hilfe einer Querschnittsverengung wird ein geringer Druckunterschied erzeugt, der proportional zum Durchfluss ist.

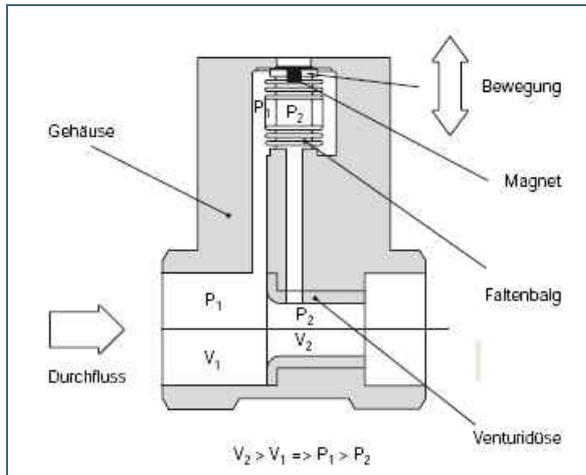


Abb. 35: Messprinzip Differenzdruckverfahren
(Zeichnung: Fa. Kobold)



Abb. 36: Differenzdruckmessgeräte (Bild: Fa. Kobold)

Hinweise:

- Leistungsaufnahme $\approx 2,5 \text{ W}$

Grenzen:

- Messunsicherheit ca. $\pm 3 \%$ vom Messbereichsendwert, d.h. bei sehr kleinen Durchflüssen ergibt sich große Messfehler
- Nennweiten vergleichbar DN 10 bis 80 mm
- Messdynamik ca. 10:1
- Messbereiche: $0,05 - 40 \frac{1}{s}$
- für teilgefüllte Rohre nicht geeignet

Vorteile:

- einfacher Aufbau

Nachteile:

- Messdynamik
- nur für kleine Durchflüsse

4.8 Wirbeldurchflussmessung

Bei diesem Verfahren wird die Frequenz der Wirbelbildung hinter einem angeströmten Staukörper ausgewertet.

Die Frequenz der Wirbelablösung zu beiden Seiten des Staukörpers ist direkt proportional zur mittleren Fließgeschwindigkeit und damit zum Volumendurchfluss.

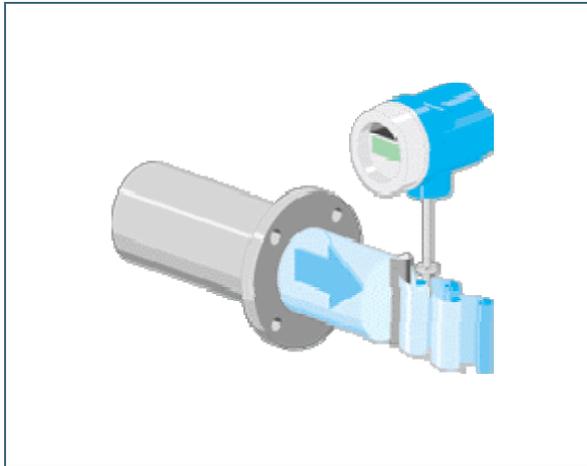


Abb. 37: Messprinzip der Wirbeldurchflussmessung
(Bild: Fa. Endress und Hauser)



Abb. 38: Wirbeldurchflussmessgerät (Bild: Fa. Krohne)

Hinweise:

- Leistungsaufnahme unter 5 W
- Kosten: z.B. DN 50 ca. 3000,- €

Grenzen:

- Nennweiten von DN 15 bis 300 mm
- Messunsicherheiten ca. 1 %
- Messbereiche: 0,05 – 650 $\frac{1}{s}$
- Messdynamik bis ca. 40:1
- für teilgefüllte Rohre nicht geeignet

Vorteile:

- hohe Langzeitstabilität
- keine beweglichen Teile
- robust und wartungsfrei

Nachteile:

- Staukörper in der Strömung
- nur für saubere Flüssigkeiten geeignet

5 Empfehlungen und Tipps

5.1 Schüttungsmessung in Schächten und Behältern

Nach der Durchführung einer Vielzahl von Ortseinsichten und der Auswertung der örtlichen Verhältnisse von Quellen, die für das Messnetz geeignet erscheinen, findet man häufig eine ähnliche Ausbausituation vor.

Die in den Quellstuben ankommenden einzelnen Quellstränge sowie die Sammelleitungen die zu weiteren Sammelschächten bzw. zur Aufbereitungsanlage führen, enden häufig als kurzer Rohrstummel an der Wasseroberfläche der Behälter (Abb. 39). Teilweise werden diese Rohrenden temporär oder sogar kontinuierlich überflutet (Abb. 40).



Abb. 39: Quellzuläufe über der Wasseroberfläche (Foto: LfU)



Abb. 40: Quellzuläufe teilweise unter der Wasseroberfläche (Foto: LfU)

Diese Rohrstummel können, sofern ein minimaler Rückstau hydraulisch vertretbar ist, direkt für die Aufnahme Magnetisch-Induktiver-Durchflussmesser umgebaut werden.

Es kann sinnvoll sein, vor der Messeinrichtung mehrere Quellstränge zusammenzuführen um beispielsweise den Einsatz von Messgeräten oder das Messdatenaufkommen zu minimieren.

Die hierfür eingesetzten MID müssen die Schutzart IP 68 aufweisen, wobei die zweite Zahl den Schutz gegen eindringendes Wasser angibt. Im hier betrachteten Anwendungsbeispiel wird der höchste Schutz (gekennzeichnet durch die Zahl 8) benötigt, der angibt, dass das entsprechende Gerät dauerhaft, in der Regel unter Angabe eines zulässigen Höchstdruckes, untergetaucht werden kann.

In der nachfolgenden Beispielskizze (Abb. 41) soll für diese häufig auftretende Situation eines kurzen aus der Wand austretenden Rohres eine mögliche bauliche Lösung betrachtet werden, die für diese Fälle praktikabel erscheint.

Die Vorrichtung muss eventuell zur Entlastung des Rohrendes in geeigneter Weise abgestützt werden.

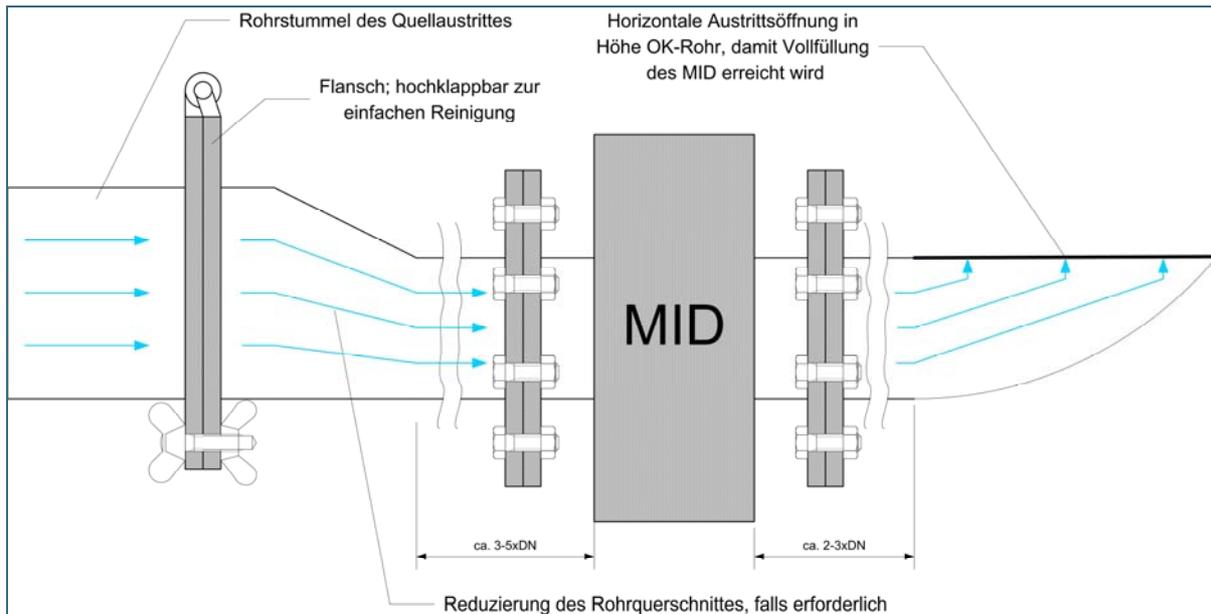


Abb. 41: Beispielskizze (Bild: LfU)

Der Durchmesser des MID muss unter Berücksichtigung der minimalen und maximalen Schüttung individuell festgelegt werden und kann vom Durchmesser des ursprünglichen Rohrendes abweichen.

Beispielsweise eignet sich ein MID mit der Nennweite DN 80 zur Messung einer Quellschüttung von etwa $0,5 - 10 \frac{l}{s}$, sofern ein maximaler Messfehler von $1 - 2 \%$ unterschritten werden soll. Bei geringeren Schüttungen nimmt der Messfehler aufgrund der geringen Fließgeschwindigkeit zu. Größere Schüttungen führen zu höheren Druckverlusten im Rohr und dadurch möglicherweise zu einem unzulässigen Rückstau in den Quellstrang. Wäre bei diesem Beispiel die gesamte auf DN 80 reduzierte Rohrstrecke 1 m lang, würde bei einer Fließgeschwindigkeit von $2 \frac{m}{s}$ der Aufstau etwa $50 - 80 \text{ mm}$ (je nach Rauigkeit) betragen.

Können bei sehr geringer Schüttung größere Messfehler ($5 - 10 \%$) und bei großen Durchflüssen höhere Druckverluste (bis zu 1 m) hingenommen werden, deckt ein MID mit einer Nennweite von 80 mm einen Messbereich von etwa $0,05 - 50 \frac{l}{s}$ ab.

Bei der Installation eines Messgerätes sollte die Zugänglichkeit des Quellstranges gewahrt bleiben. In bestimmten Abständen müssen zur Erhaltung des Rohrsystems Reinigungsarbeiten (Entfernen von Wurzeln oder Ablagerungen) oder Kamerabefahrungen (Zustandsbewertung) erfolgen. Aus diesen Gründen sollte das Messsystem so „beweglich“ sein, dass es sich von der Zulaufleitung trennen lässt um solche Tätigkeiten durchführen zu können.

5.2 Erfassen der gesamten Quellschüttung

Eine der wichtigsten Vorgaben bei der quantitativen Bewertung von Quellen ist die Forderung nach der vollständigen Erfassung der Quellschüttung.

Die Umsetzung dieses Anspruchs birgt jedoch sehr häufig Tücken in sich, da jedes Quellsystem mit Überläufen ausgestattet ist. Grundsätzlich muss ein Rückstau des Quellwassers in den Quellstrang über einen längeren Zeitraum auf alle Fälle vermieden werden, da dies zu einer Verminderung oder gar zu einem Versiegen der Schüttung führen kann (das Wasser sucht sich einen anderen Weg!). Aus diesem Grunde wird „überschüssiges“ Wasser, das nicht benötigt wird oder mengenmäßig nicht gefasst werden kann, mittels eines oder mehrerer Überläufe in den Vorfluter oder zur Versickerung abgeleitet.

Je nach Einzelsituation kann auf diese Weise schnell eine größere Anzahl an Messgeräten notwendig werden um die Schüttung aller vorhandenen Überläufe vollständig zu erfassen.

In der Abb. 42 ist beispielhaft ein bestehendes Quellsystem dargestellt, bei dem jede Quelfassung und jeder Sammelschacht einen separaten Überlauf aufweist.

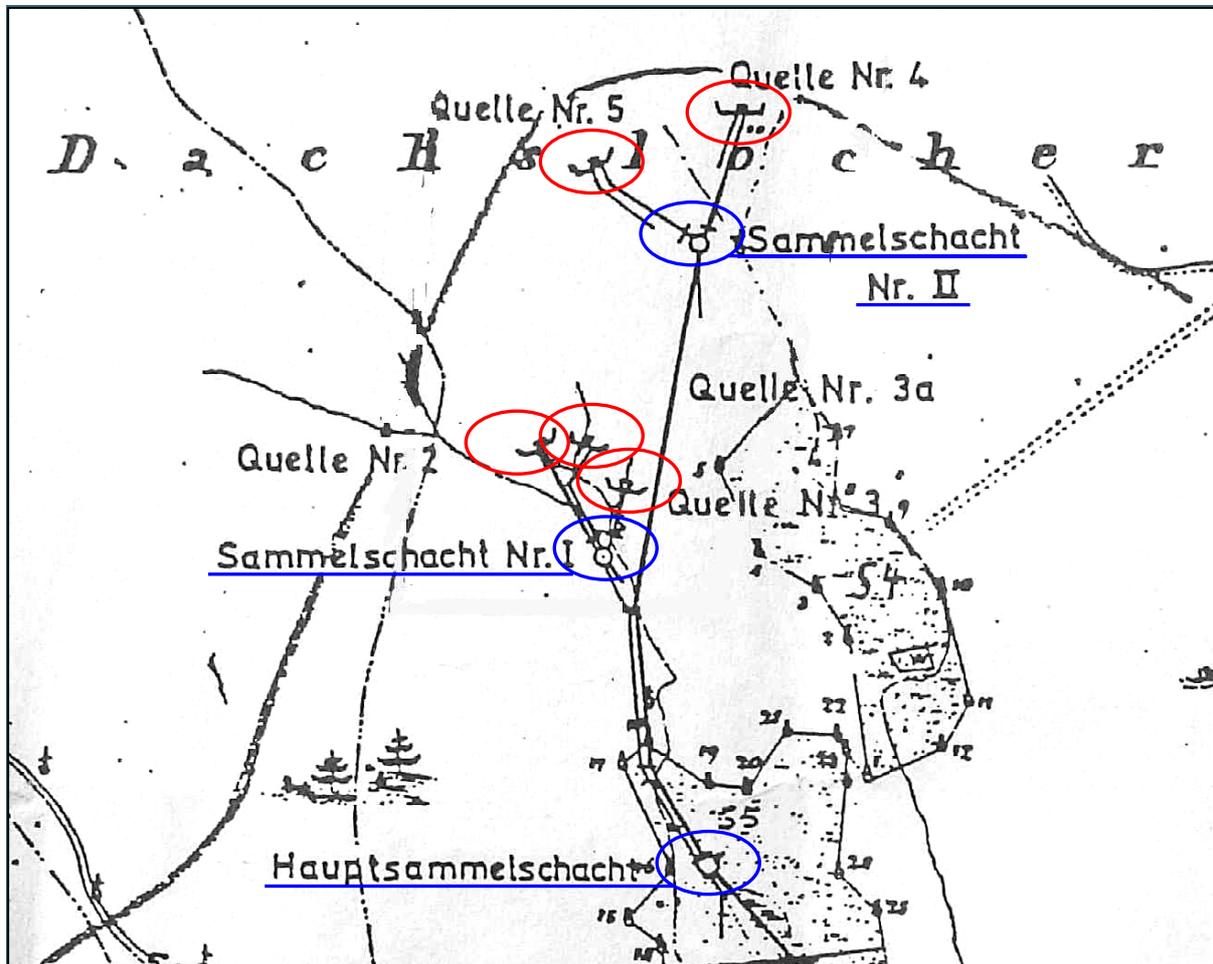


Abb. 42: Quellsystem mit separaten Überläufen an den fünf Quelfassungen (rote Umrandungen) und den drei Sammelschächten (blaue Umrandungen) (Bild: LfU)

In einem derartigen Fall gilt es abzuwägen, ob man die Quelle als ungeeignet einstuft, da der finanzielle Aufwand für die messtechnische Ausstattung zu hoch wird, oder ob Möglichkeiten existieren, die Anzahl an Überläufen zu minimieren.

Unter der Maßgabe die gesamte Quellschüttung des oben abgebildeten Quellsystems zu erfassen, wären insgesamt neun Messgeräte notwendig (acht Überläufe und ein Ablauf). Eine Verringerung der Anzahl der Messsysteme ließe sich erreichen durch das Verschließen der Überläufe in den fünf Quelfassungen (rote Umrandungen). Dies kann natürlich zur Folge haben, dass die Wassermenge in den Quellsträngen zunimmt. Das „überschüssige“ Wasser, welches das System nicht aufnehmen soll, könnte dann an den Sammelschächten I und II abgeleitet und messtechnisch erfasst werden (Reduzierung um fünf Messgeräte). Wenn man die Überläufe an den Sammelschächten I und II ebenfalls verschließt und lediglich am Hauptsammelschacht ungenutztes Wasser das System verlassen lässt, wären insgesamt nur zwei Messgeräte erforderlich (Reduzierung um sieben Messgeräte).

Der mit diesem Umbau einhergehende Rückstau des Wassers muss kleinräumig sein und darf keinesfalls bis in den Bereich der Quelfassungen reichen. Realistisch erscheint dies, wenn ein größerer Hö-

henunterschied und oder ein ausreichender Abstand zwischen Quelfassung und Sammelschacht gegeben ist. Ein derartiges Vorgehen muss jedoch in enger Kooperation mit dem Wasserversorger (sofern es einen gibt) erfolgen und setzt dessen Einverständnis zu dieser baulichen Maßnahme voraus.

Bei allen zu bewertenden Quellsystemen ist es zwingend notwendig den Wasserversorger vor Ort zu befragen, alte Pläne (soweit vorhanden) heranzuziehen und bei der Ortseinsicht jeden Schacht und jede Auslauföffnung genau zu inspizieren um eine exakte Vorstellung des Rohrverlaufs bzw. der Wasserströme zu erhalten. Erschwert wird dies durch den Umstand, dass viele Quellen vor 50 oder gar 100 Jahren gebaut worden sind und etwaige bauliche Veränderungen nicht immer dokumentiert worden sind.

Weiterhin sollte Augenmerk auf weitere Zuleitungen in den Sammelschacht gelegt werden, da sehr oft mehrere Quellen zusammengeschlossen sind und zentral mit dem Wasserversorgungssystem verbunden sind. Für die Beurteilung der Gesamtschüttung der jeweiligen Quelle bzw. die Gegenüberstellung von Schüttung und Einzugsgebiet ist dieses Wissen von großer Bedeutung.

6 Temperaturmessung

Im Vergleich zur Erfassung der Quellschüttung gestaltet sich die Messung der Wassertemperatur um ein vielfaches einfacher - in der Regel wird ein Sensor in den Wasserstrom eingebracht.

Die Art und das Material des Sensors spielt hier aus messtechnischer Sicht bei der Auswahl kaum eine Rolle – es sind hier keine schwierigen Prozessbedingungen zu beachten. Wichtig ist, dass der Sensor die Wassertemperatur im Bereich zwischen 0 °C und 20 °C mit einer maximalen Abweichung von $\pm 0,1$ °C erfasst und der zeitliche Drift der Messwerte (sog. Langzeitdrift) innerhalb der vorgesehenen Kalibrierintervalle vernachlässigbar klein ist.

Häufig werden Sensoren für die Abflussermittlung bereits mit einem integrierten Temperaturfühler angeboten, was die Applikation sehr erleichtert.

Eine berührungslose Temperaturmessung ist bei Quellwasser nicht erforderlich. Diese Verfahren zeigen nur dann Vorteile, wenn beispielsweise eine Beeinflussung des Messergebnisses durch den Sensor zu erwarten ist oder das Medium schlecht erreicht werden kann.

7 Stromversorgung

Vielerorts wird für die Messstellen keine öffentliche Stromversorgung zur Verfügung stehen und es muss nach Alternativen gesucht werden. In der Regel werden Geräte dann von Batterien oder Akkumulatoren versorgt. Ist ein turnusmäßiger Wechsel jedoch nicht erwünscht oder es stellt sich bei der Ermittlung des Energiebedarfs der gesamten Messstelle (Sensor, Messumformer, Datenlogger, Datenfernübertragung, ...) anhand der Betriebsdauer und der Stromaufnahme im jeweiligen Betriebszustand heraus, dass die Wechselintervalle nicht mehr praxisingerecht sein werden, muss eine alternative Energiequelle Strom für die Ladung der Akkus bereitstellen. Die folgenden Technologien stehen dafür u.a. zur Verfügung:

- **Photovoltaik** (Abb. 43): Die Verwendung von Solarenergie stellt inzwischen eine ausgereifte Standardanwendung zur Energieversorgung abgelegener Stromverbraucher dar. Problematisch ist der Betrieb im Winterhalbjahr aufgrund der geringeren Sonnenstundenzahl und der Bedeckung des Solarpaneels mit Reif, Eis und Schnee. Ebenso sind der Verwendung in bewaldeten Gebieten Grenzen gesetzt (Abschattung).
- **Brennstoffzelle** (Abb. 44): Inzwischen gibt es kompakte (tragbare) Brennstoffzellen, die inklusive der erforderlichen Regeltechnik gerade die Größe eines Aktenkoffers aufweisen, mit

einer Nennleistung ab etwa 20 W als modulare, autarke Stromversorgungen. Der Einbau in einen Schaltschrank ist ohne Probleme möglich. Als praxistgerechter „Brennstoff“ dient meist Methanol, das in speziellen Behältern beigestellt wird und durch die chemische Umwandlung etwa eine Kilowattstunde (kWh) Strom je Liter liefert.

- **Mikro-Wasserkraft** (Abb. 45): Auch die Verwendung der Wasserkraft kann eine mögliche Alternative sein. Vor allem im alpinen Bereich werden häufig Mikro-Peltonturbinen eingesetzt, die im Leistungsbereich ab einigen Watt in einer Schuhschachtel Platz finden. Aufgrund des nötigen Mindestwasserdruckes von etwa 1,5 bar bzw. einer Mindestfallhöhe von ca. 15 m sind Peltonturbinen für die Stromversorgung von Quellen in Bayern eher ungeeignet. Kleine Propellerturbinen aus dem Campingbereich scheiden aufgrund ihrer zu geringen Leistung aus. Wenn jedoch eine Fallhöhe ab 50 cm und ein Mindestzufluss von etwa $10 \frac{l}{s}$ zur Verfügung stehen, können Wasserräder und Wasserkraftschnecken eingesetzt werden. Allerdings muss dafür der nötige Platz vorhanden sein (Wasserrad: Durchmesser > 50 cm, Breite \approx 40 cm; Schnecke: Durchmesser > 40 cm, Länge \approx 1,5 m). Der Vorteil wäre hier die kontinuierliche und wartungsarme Stromerzeugung.



Abb. 43: Photovoltaik (Foto: LfU)



Abb. 44: Brennstoffzellen (Foto: SFC Smart Fuel Cell AG)



Abb. 45: Wasserräder (Foto: Burger Wasserkraftanlagen GmbH)

Beim Umgang mit potenziell wassergefährdenden Stoffen, wie sie in Batterien, Akkumulatoren oder Brennstoffzellen vorkommen, ist im Schutzbereich von Quellen die jeweilige Schutzgebietsverordnung bzw. das WHG § 19 g zu beachten und deren Eintrag ins Grundwasser durch bauliche Maßnahmen oder Verwendung geeigneter Behälter auf jeden Fall zu verhindern. Die Beantragung einer Ausnahmegenehmigung bei der Kreisverwaltungsbehörde sorgt für Rechtssicherheit.

8 Überspannungs- und Blitzschutz

Überspannungen sind kurzzeitige Spannungsimpulse - so genannte Transienten – die auf unterschiedlichen Wegen entstehen können:

- Durch direkten Blitzeinschlag in das Gebäude. An allen geerdeten Geräten können Spannungen von einigen 100.000 V auftreten.
- Durch Blitzeinschläge in der Nähe. Über die Versorgungsleitungen oder durch Induktion aufgrund des hohen elektrischen Feldes sind Spannungen von einigen 10.000 V möglich.
- Durch Schaltvorgängen im Versorgungsnetz. Hier können Schaltüberspannungen von mehreren 1.000 V übertragen werden.

Empfindliche Geräte lassen sich nur durch ein umfassendes Schutzkonzept sichern. Wichtig ist dabei die richtige Staffelung des Schutzes aus Blitzstrom- und Überspannungsableitern.

Blitzstrom-Ableiter sind für das zerstörungsfreie Ableiten großer Energien zuständig. Sie sind möglichst nah am Gebäudeeintritt des elektrischen Systems zu platzieren und mit einem äußeren Blitzschutz, also den Fang- und Ableiteinrichtungen an der Gebäudehülle, zu kombinieren.

Überspannungs-Ableiter übernehmen den Schutz der Endgeräte und sind möglichst nah am zu schützenden Gerät zu installieren.

Welches Schutzkonzept letztlich ausreicht, muss für jeden Anwendungsfall individuell projiziert werden.

In der neuen Normenreihe DIN EN 62305 (VDE 0185-305) [10] wird die Thematik „Blitzschutz“ behandelt. Allgemeine Informationen und Festlegungen zum Thema „Überspannungen“ bietet die DIN VDE 184 [11].

9 Datenspeicherung und Datenübertragung

Für die kontinuierliche Erfassung von Messdaten sind Datensammler heute unerlässlich. Die Daten können direkt digital ausgelesen oder per Datenfernübertragung (DFÜ) an den Arbeitsplatz übermittelt werden. Das aufwändige Auswechseln und Digitalisieren von Diagrammbögen entfällt.

Einige Hersteller bieten bereits Messsonden mit integriertem Datensammler an.

Grundsätzlich sollte zumindest bei der ersten Ausstattung einer Quelle mit kontinuierlicher Schuttmessung die komplette Messkette vom Sensor bis zum DFÜ-Gerät zumindest vom selben Lieferanten, besser vom selben Hersteller, bezogen werden. Dies erleichtert bei anfänglichen Schwierigkeiten das Durchsetzen von Gewährleistungsansprüchen, da in diesem Fall die Verantwortlichkeit nicht auf den „anderen Hersteller“ geschoben werden kann.

Zu den Themen Datenspeicherung und Datenfernübertragung sei an dieser Stelle auf das Merkblatt 2.1/8 des LfU „Einrichtung und Betrieb von Grundwassermessstellen mit elektronischen Datensammlern (DS) und mit Datenfernübertragung (DFÜ)“ [12] verwiesen. Neben einer ausführlichen Beschreibung der Funktion gibt es dort auch Links zu den einzelnen Netzanbietern und bestehenden Rahmenverträgen in der Wasserwirtschaft.

Ob für den geplanten Standort einer Quellmessstelle eine Netzabdeckung durch GSM- bzw. UMTS-Mobilfunk gegeben ist, teilen im Allgemeinen die jeweiligen Netzbetreiber mit. Erste Hinweise für die Verfügbarkeit von Mobilfunksignalen bietet der Test mit einem Handy direkt „vor Ort“. Durch Aktivierung der manuellen Netzwahl (= Deaktivierung der automatischen Netzwahl) zeigt das Handy an, ob überhaupt ein Signal zu empfangen ist bzw. welches Netz oder welcher Betreiber zur Verfügung stehen würde.

10 Hersteller

Ein internes Herstellerverzeichnis für Messgeräte an Quellen steht der Wasserwirtschaftsverwaltung im **Wasser-Portal** unter *Fachinformationen / Klimawandel, Wasserrahmenrichtlinie, Gewässerkundlicher Dienst / Landesmessnetz Quellen* zur Verfügung:

http://www.lfw.bybn.de/wawi-portal/fachinformationen/fachinfos/1_gkd/welcome.htm

Die Aufstellung soll einen Überblick über die Marktsituation geben und die Suche nach technischen Lösungen unterstützen. Die Angaben erfolgen ohne Gewähr. Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt keine Wertung dar. Die Liste bzw. die Datei kann und soll von jedem berechtigten Benutzer um weitere Adressen ergänzt werden.

Alle Abbildungen innerhalb dieses Merkblattes dienen lediglich zur Veranschaulichung der unterschiedlichen Messsysteme und stellen keine Empfehlung seitens des LfU dar. Die Angabe einer Bildquelle erfolgt ausschließlich aufgrund der eindeutigen Zuordnung der jeweiligen Bildrechte.

11 Literaturverzeichnis

- [1] ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU – ATV-DVWK (2002): Merkblatt M 604 (2002): Messeinrichtungen an Quellen; Druck- und Werbegesellschaft mbH, Bonn.
- [2] LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER - ARBEITSKREIS GRUNDWASSERMESSUNG (1995): Grundwasserrichtlinie für die Beobachtung und Auswertung Teil 4 – Quellen; Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Berlin.
- [3] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2000): Hydrometrie im Bereich der quantitativen Hydrologie der oberirdischen Gewässer; Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Umwelt, Merkblatt 2.4/5.
http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/merkblattsammlung/teil2_gewaesserkundlicher_dienst/doc/nr_245.pdf
- [4] INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (2008): ISO 1438 Wasserdurchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Wehren und Venturikanälen – Teil 1: Dünnplattenwehre.
- [5] INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (2008): ISO 4360 Wasserdurchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Wehren und Kanälen – Dreiecksprofilwehre.
- [6] INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (2008): ISO 3846 Durchflussmessung in offenen Gerinnen mit Meßwehren und Meßrinnen - Rechteckwehr mit breiter Krone.
- [7] INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (1999): ISO 4539 Fließmessung in offenen Gerinnen - Rechteckige, trapezförmige und U-förmige Messrinnen; Korrektur 1.
- [8] INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (2005): ISO 6416 Hydrometrie - Messung des Abflusses mit dem Ultraschallverfahren (akustisches Verfahren).
- [9] INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR NORMUNG (2005): ISO/TS 24154 Hydrometrische Bestimmungen - Messung der Geschwindigkeit von Flüssen und Abflussmessung mit Ultraschall-Doppler-Systemen.
- [10] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V.: DIN EN 62305 (VDE 0185-305):
Blitzschutz
DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1a) Blitzschutz - Teil 1: Allgemeine Grundsätze,
DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2a) Blitzschutz - Teil 2: Risiko-Management,
DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3a) Blitzschutz - Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen,
DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4a) Blitzschutz - Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen.

[11] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V.: DIN VDE 184 (VDE 184): Überspannungen und Schutz bei Überspannungen in Niederspannungs-Starkstromanlagen mit Wechselspannungen - Allgemeine grundlegende Informationen.

[12] BAYER. LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (2003): Einrichtung und Betrieb von Grundwassermessstellen mit elektronischen Datensammlern (DS) und mit Datenfernübertragung (DFÜ); Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Umwelt, Merkblatt 2.1/8. http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/merkblattsammlung/teil2_gewaesserkundlicher_dienst/doc/nr_218.pdf

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: (08 21) 90 71-0

Telefax: (08 21) 90 71-55 56

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Bearbeitung:

Ref. 83 / Hydrologie des Grundwassers

Dipl.-Ing.(FH) Markus Schmidt

Dipl.-Ing.(FH) Peter Schmidt

Stand:

Juli 2008