

DIN EN ISO 6416



ICS 17.120.20

Entwurf

Einsprüche bis 2016-02-11
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 6416:2005-11

**Hydrometrie –
Messung des Durchflusses mit dem Ultraschall-Laufzeitverfahren
(Transit-time-/Time-of-flight-Verfahren) (ISO/DIS 6416:2015);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 6416:2015**

Hydrometry –
Measurement of discharge by the ultrasonic transit time (time of flight) method
(ISO/DIS 6416:2015);
German and English version prEN ISO 6416:2015

Hydrométrie –
Mesure du débit par le temps de transit ultrasonique (temps de vol) méthode
(ISO/DIS 6416:2015);
Version allemande et anglaise prEN ISO 6416:2015

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-12-11 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an naw@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW), 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 131 Seiten

DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 6416:2015) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 113 „Hydrometry“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 318 „Hydrometrie“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 119-01-05 AA „Hydrometrie“ im DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN ISO 6416 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfs gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 772	siehe DIN EN ISO 772
ISO 4373	siehe DIN EN ISO 4373
ISO/TS 25377	siehe DIN ISO/TS 25377

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 6416:2005-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) normative Verweisungen wurden ergänzt;
- b) Anwendungsmöglichkeiten für Ultraschallanlagen überarbeitet;
- c) Messprinzip und Anlagentypen überarbeitet und um kabellose Ultraschallanlagen ergänzt;
- d) Standortanforderungen überarbeitet;
- e) Anforderungen an Kalibrierung und Messunsicherheiten überarbeitet und mit praktischen Beispielen erläutert;
- f) Anhang A zur Bestimmung der Messunsicherheit aufgenommen;
- g) Anhang B über Leistungsanforderungen an hydrometrische Anlagen aufgenommen.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 772, *Hydrometrie — Begriffe und Symbole (ISO 772)*

DIN EN ISO 4373, *Hydrometrie — Geräte zur Wasserstandsmessung (ISO 4373)*

DIN ISO/TS 25377, *Leitfaden zu Messunsicherheiten in der Hydrometrie (HUG) (ISO/TS 25377)*

— Leerseite —

Hydrometrie — Messung des Durchflusses mit dem Ultraschall-Laufzeitverfahren (Transit-time-/Time-of-flight-Verfahren) (ISO/DIS 6416:2015)

Hydrométrie — Mesure du débit par le temps de transit ultrasonique (temps de vol) méthode (ISO/DIS 6416:2015)

Hydrometry — Measurement of discharge by the ultrasonic transit time (time of flight) method (ISO/DIS 6416:2015)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.7g

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Anwendung	6
5 Messverfahren	8
5.1 Durchfluss	8
5.2 Berechnung des Durchflusses aus der Laufzeitmessung	8
6 Fließgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Ultraschall-(Laufzeit-)Verfahren	8
6.1 Grundlage des Verfahrens	8
6.2 Schallausbreitung in Wasser	10
7 Anlagenkonfiguration	15
7.1 Allgemeines	15
7.2 Einstreckenanlagen	15
7.3 Mehrebenenanlagen	15
7.4 Kreuzstreckenanlagen	16
7.5 Reflektoranlagen	18
7.6 Responderanlage	19
7.7 Kabellose Systeme (wenn eine Kabelquerung nicht möglich ist)	20
7.8 Anlagen mit aufgeteilten Querschnitten	21
7.9 Geneigte Messstrecken	21
8 Durchflussbestimmung	22
8.1 Einstreckenanlagen	22
8.2 Mehrebenenanlagen	23
8.3 Systeme mit im Gerinne (uferfern) angeordneten Wandlern	27
9 Verifizierung und Kalibrierung des Systems	27
9.1 Allgemeines	27
10 Auswahl der Messstelle	28
11 Überprüfung des Standortes für die Messstelle — vor Planung und Ausführung	29
11.1 Allgemeines	29
11.2 Sichtprüfung	29
11.3 Überprüfung des Querschnitts	29
11.4 Überprüfung der Geschwindigkeitsverteilung	30
11.5 Überprüfung der Signalausbreitung	30
12 Betriebliche Anforderungen für die Messung	30
12.1 Allgemeines	30
12.2 Grundlagen zur Bestimmung des Durchflusses	30
12.3 Bestimmung der Fließgeschwindigkeit	31
12.4 Bestimmung des Wasserstandes oder der Wassertiefe	31
12.5 Bestimmung der mittleren Sohlenhöhe	31
12.6 Gerinnebreite	33

13	Ausrüstung einer Messstation	33
13.1	Allgemeines	33
13.2	Konstruktion und Bauweise der Anlage	34
13.3	Reflektoren	35
13.4	Bauarbeiten	38
13.5	Zeitsteuerung und Verarbeitung von Signalen	38
13.6	Eigenkontrolle des Systems	41
13.7	Standortspezifische Daten (oder Standortparameter)	41
13.8	Uhrzeit und Datum	42
13.9	Leistungskriterien des Systems	42
13.10	Systemausgabe	43
13.11	Einbau	44
13.12	Inbetriebnahme	45
13.13	Bedienungsanleitung	45
13.14	Wartung	46
14	Messunsicherheiten	47
14.1	Allgemeines	47
14.2	Definition der Messunsicherheit	47
14.3	Messunsicherheit des Durchflusses	48
Anhang A (informativ) Einführung in die Messunsicherheit		55
Anhang B (informativ) Leistungsleitfaden für hydrometrische Geräte zur Anwendung in technischen Normen		63
Literaturhinweise		66

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 6416:2015) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 113 „Hydrometry“, Unterkomitee SC 1 „Velocity Area Method“, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 318 „Hydrometrie“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/CD 6416:2015 wurde vom CEN als prEN ISO 6416:2015 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der WTO-Grundsätze zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: Foreword - Supplementary information.

Das für dieses Dokument (ISO 6416) verantwortliche Komitee ist ISO/TC 113, *Hydrometry*, Unterkomitee SC 1, *Velocity Area Method*.

Diese vierte Ausgabe ersetzt die dritte Ausgabe (ISO 6416:2004), die technisch überarbeitet wurde.

1 Anwendungsbereich

Die Internationale Norm beschreibt die Einrichtung und Arbeitsweise einer nach dem Ultraschall-Laufzeitverfahren (Transit-time-/Time-of-flight-Verfahren) arbeitenden Messstation zur kontinuierlichen Messung des Durchflusses in einem Fluss, in einem offenen Gerinne oder in einem geschlossenen Kanal. Außerdem werden Verfahrensgrundlagen, Arbeitsweise und Leistungsverhalten der dazugehörigen Messgeräte sowie die Verfahren zur Inbetriebnahme festgelegt.

Die Norm beschränkt sich auf das Verfahren, bei dem die „Laufzeit von Ultraschallimpulsen“ ausgewertet wird, und sie gilt nicht für Systeme, die die „Doppler-Verschiebung“, die „Korrelations-“ oder die „Wasserstand-Durchfluss-Beziehungen anwenden.

Diese Internationale Norm gilt nicht für Messungen in mit Eis bedeckten Flüssen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 772, *Hydrometry — Vocabulary and symbols*

ISO 4373, *Hydrometry — Water-level measuring devices*

ISO 15769, *Hydrometry — Guidelines for the application of acoustic velocity meters using the Doppler and echo correlation methods*

ISO/TS 25377, *Hydrometric uncertainty guidance (HUG)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 772.

4 Anwendung

Dieses Verfahren ist geeignet für die Messung des Durchflusses in:

- a) offenen Gerinnen;
- b) Gerinneaufteilungen;
- c) geschlossenen Kanälen.

ANMERKUNG Diese Norm konzentriert sich auf die Durchflussmessung im offenen Gerinne. IEC 60041 umfasst die Anwendung des Verfahrens für die Durchflussmessung in gefüllten Rohren.

Dieses Verfahren erfordert keine künstliche und natürliche Regelung und Steuerung (des Durchflusses), da es nicht auf eine eindeutige Wasserstands-Durchflussbeziehung angewiesen ist.

Beim Einsatz dieses Messsystems müssen die folgenden Eigenschaften und Beschränkungen berücksichtigt werden:

Eigenschaften
1. Möglichkeit für eine hohe Genauigkeit
2. Toleranz gegenüber den Wirkungen von Stauwasser (Rückstau)
3. Geeignet zur Messung bei Gerinneaufteilung und zur Kombination der Ergebnisse, um den Gesamtdurchfluss zu ermitteln
4. Geeignet für die Bestimmung der einzelnen Geschwindigkeiten bei eindeutigen Höhen innerhalb der Wassersäule
5. Optisch unauffällig
6. Fischfreundlich
7. Netzstromversorgung nicht erforderlich
8. Eigensichere Systeme erhältlich für den Einsatz in explosionsfähigen Atmosphären
9. Keine Behinderung oder kein Druckverlust
10. Geeignet für einen großen Bereich von Gerinnebreiten und -tiefen
11. Möglichkeit für die eingebaute Redundanz
12. Möglichkeit für relativ geringe Betriebskosten

Beschränkungen
1. Ein Standort mit instabilem Querschnitt ist, falls möglich, zu vermeiden.
2. Erfordert für den Einsatz eine Mindesttiefe des Wassers.
3. Kann auf beiden Seiten des Gerinnes Kabel erfordern.
4. Ziehen von Sensoren durch Geschwemmsel (Treib-/Schwemmgut)
5. Möglichkeit der Schwächung des akustischen Signals durch: — Schwebstoffe; — Wasserpflanzen; — Gasblasen; — Temperaturgradienten; — Salzgradienten.

Ausführliche Erläuterungen dieser Eigenschaften und Beschränkungen können den folgenden Abschnitten dieses Dokuments entnommen werden.

5 Messverfahren

5.1 Durchfluss

5.1.1 Der Durchfluss, wie in ISO 772 definiert, ist das Flüssigkeitsvolumen, das in einer Zeiteinheit durch einen Querschnitt fließt. Er wird gewöhnlich mit dem Symbol Q und in Kubikmeter je Sekunde (m^3s^{-1}) angegeben. Die Definition des Durchflusses ist das Produkt aus der benetzten Querschnittsfläche und dem senkrecht dazu verlaufenden Vektor der mittleren Geschwindigkeit.

Somit ist:

$$Q = \bar{V} \times A \quad (1)$$

Dabei ist

Q der Durchfluss (m^3s^{-1});

$\bar{V}$ die mittlere Geschwindigkeit (ms^{-1});

A die Querschnittsfläche (m^2).

Das Laufzeitverfahren ist ein Geschwindigkeitsflächen-Verfahren, bei dem Fließgeschwindigkeiten verwendet werden, die durch die Messeinrichtung bestimmt wurden und deren Mittelwert entlang einer oder mehrerer Messpfade bestimmt wurde, die gewöhnlich, aber nicht unbedingt, horizontal verlaufen.

5.2 Berechnung des Durchflusses aus der Laufzeitmessung

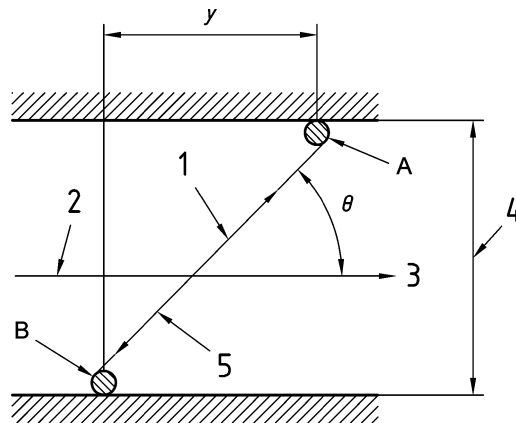
5.2.1 Der Durchfluss kann unter Anwendung des Geschwindigkeitsflächen-Verfahrens (siehe 5.1) unter der Voraussetzung berechnet werden, dass eine Beziehung zwischen den mit dem Ultraschall-Laufzeit-System ermittelten Geschwindigkeiten und der mittleren Querschnittsgeschwindigkeit besteht. Wenn diese zur Festlegung des Geschwindigkeitsprofils ausreichend nutzbar und genügend verteilt in der Vertikalen sind, können die sich ergebenden Stichproben der Fließgeschwindigkeit vertikal integriert werden, um einen Schätzwert der mittleren Querschnittsgeschwindigkeit zu erhalten. Falls es dabei unzureichende Messstrecken gibt, kann alternativ ein Verhältnis zwischen gemessener Geschwindigkeit (Indexgeschwindigkeit) und mittlerer Geschwindigkeit unter Anwendung eines punktuellen Durchflussmessverfahrens (Spotmessung), z. B. Fließgeschwindigkeitsmessgerät mit rotierendem Element oder akustisches Doppler-Gerät zum Messen von Strömungsprofilen (en: acoustic Doppler current profiler, ADCP), festgelegt werden.

5.2.2 Die Durchflussberechnung erfordert auch, dass die Querschnittsfläche des Gewässers bekannt ist. Ein Ultraschall-Laufzeit-System ist üblicherweise nicht nur in der Lage, Stichprobenmessungen der Geschwindigkeit durchzuführen, sondern auch die Wassertiefe zu bestimmen (oder ein Signal eines anderen Gerätes, das die Wassertiefe bestimmt, zu übernehmen) und Einzelheiten der Beziehung zwischen Wassertiefe und Querschnittsfläche zu speichern. Es ist üblicherweise auch in der Lage, die mathematischen Funktionen auszuführen, die für die Berechnung des Durchflusses aus den relevanten gespeicherten und direkt bestimmten Daten notwendig sind.

6 Fließgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Ultraschall-(Laufzeit-)Verfahren

6.1 Grundlage des Verfahrens

6.1.1 Ein Ultraschallimpuls breitet sich stromabwärts schneller aus als ein vergleichbarer Impuls stromaufwärts. Die Geschwindigkeit eines Schallimpulses, der sich diagonal zur Strömung stromabwärts ausbreitet, wird durch die Geschwindigkeitskomponente des Wassers erhöht. Umgekehrt wird sich die Geschwindigkeit eines Schallimpulses verringern, der sich in entgegengesetzter Richtung bewegt. Der Unterschied in der Laufzeit zwischen den beiden Richtungen kann zur Trennung der Geschwindigkeit des Schalls im Wasser von der Geschwindigkeitskomponente entlang des vom Ultraschall durchlaufenen Messpfades angewendet werden.



Legende

- 1 v_{path} -Komponente der Fließgeschwindigkeit entlang des Messpfades
- 2 v_{line} -Komponente der Fließgeschwindigkeit in Fließrichtung
- 3 Fließrichtung
- 4 Gerinnebreite
- 5 Messpfad des Ultraschalls
- A, B Wandler
- θ Winkel zwischen dem Messpfad und der Fließrichtung
- y Abstand zwischen den Wandlern in Fließrichtung

Bild 1 — Schematische Darstellung des Messprinzips

6.1.2 Für die Strecke zwischen den Wandlern A und B in Bild 1 beträgt die Laufzeit der Ultraschallimpulse:

$$t_{AB} = L / (c - v \cos \theta) \text{ und } t_{BA} = L / (c + v \cos \theta) \quad (2)$$

Dabei ist

- t_{AB} die Laufzeit vom Wandler A zum Wandler B, in Sekunden;
- t_{BA} die Laufzeit vom Wandler B zum Wandler A, in Sekunden;
- L die Messstrecke (Abstand zwischen Wandler A und Wandler B), in Meter;
- c die Geschwindigkeit des Schalls in Wasser, in ms^{-1} ;
- v_{line} die Pfadgeschwindigkeit oder die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Gerinne in Fließrichtung, in ms^{-1} ;
- θ der Winkel zwischen dem Messpfad und der Fließrichtung.

Die Auflösung nach der Pfadgeschwindigkeit ergibt:

$$v_{\text{line}} = L \times (t_{AB} - t_{BA}) / (t_{AB} \times t_{BA} \times 2 \cos \theta) \quad (3)$$

6.1.3 Es sollte beachtet werden, dass die Berechnung der Fließgeschwindigkeit

- unabhängig von der Schallgeschwindigkeit in Wasser ist,
- proportional der Differenz der Laufzeiten ist,
- umgekehrt proportional zum Produkt der Laufzeiten ist,
- entscheidend vom Winkel zwischen dem Messpfad und der Fließrichtung abhängt (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 — Systematische Fehler bei Parallelitätsabweichungen der angenommenen Fließrichtung von der Gerinneachse

Winkel θ °Grad	Fehler der Geschwindigkeit bei 1° Differenz zwischen tatsächlicher und angenommener Fließrichtung %
30	1,0
45	1,7
60	3,0

6.1.4 Für Durchflussmessungen im offenen Gerinne wird aus praktischen Erwägungen üblicherweise festgelegt, dass

- a) die einen „Ultraschallweg“ begrenzenden Wandler an gegenüberliegenden Ufern des Wasserlaufs angeordnet werden;
- b) die Verbindungslinie zwischen den Wandlern einen Winkel mit der mittleren Fließrichtung bildet, der zwischen 30° und 65° betragen sollte.

6.1.5 Bei der Durchflussmessung im offenen Gerinne gibt es folgende Beschränkungen:

- a) Bei Schnittwinkeln über 65° können in entgegengesetzten Richtungen so geringe Laufzeitdifferenzen zwischen Schallimpulsen auftreten, dass diese besonders bei geringen Fließgeschwindigkeiten einer relativ großen Messunsicherheit unterworfen sind.
- b) Bei einem Winkel von 90° wird es keine Laufzeitdifferenz zwischen Hin- und Rücklaufimpulsen geben und demzufolge kann die Fließgeschwindigkeit nicht ermittelt werden.
- c) Bei großen Winkeln vergrößert sich auch der Fehler bei der Berechnung der Fließgeschwindigkeit, der sich aus den Annahmen bei der Abschätzung des Winkels ergibt. Tabelle 1 stellt diese Auswirkung dar; und
- d) bei Schnittwinkeln unter 30° können folgende Probleme auftreten:
 - 1) Die Messstrecke im Gerinne kann zu lang werden und aufhören quasi-gleichförmig zu sein.
 - 2) Die Fließrichtung bezüglich des Messpfades könnte nicht konstant sein.
 - 3) Bei der Standortwahl können praktische Probleme durch die Länge des Gerinneabschnitts auftreten, der für das Durchflussmessgerät zu präparieren und frei von Ablagerungen und Bewuchs zu halten ist.
 - 4) Zu lange Messpfade können zu Problemen im Zusammenhang mit der Signalintensität und/oder Reflexion des Signals von der Gerinnesohle oder der Wasseroberfläche führen, besonders, wenn vertikale Temperaturgradienten vorliegen.

6.2 Schallausbreitung in Wasser

6.2.1 Allgemeines

Schall ist eine mechanische Störung des Mediums, in dem er sich ausbreitet. Er umfasst einen großen Frequenzbereich. Der hörbare Bereich liegt zwischen etwa 50 Hz und 15 000 Hz und wird allgemein als „Schall“ bezeichnet. Für Frequenzen unter 50 Hz wird im Allgemeinen die Bezeichnung „Infraschall“ und für Frequenzen über 15 000 Hz die Bezeichnung „Ultraschall“ angewendet. Laufzeitsysteme werden im Ultraschallbereich bei Frequenzen betrieben, die üblicherweise zwischen 100 kHz und 1,5 MHz liegen.

Die Leistung von Laufzeitsystemen hängt stark von den Kenngrößen der Schallausbreitung in Wasser ab. Diese Kenngrößen sind nachfolgend kurz beschrieben.

6.2.2 Schallgeschwindigkeit in Wasser

Die Schallgeschwindigkeit in Wasser hängt von der Temperatur und vom Salzgehalt des Wassers sowie dem Wasserdruck, nicht aber von der Frequenz ab. In offenen Gerinnen ist die Wirkung des Wasserdrucks vernachlässigbar. Innerhalb des üblichen Umgebungstemperaturbereiches schwankt die Schallgeschwindigkeit in Süßwasser von etwa $1\,400\text{ ms}^{-1}$ bis zu Werten etwas über $1\,500\text{ ms}^{-1}$ (siehe Tabelle 2). Diese wird abhängig von den Kenngrößen des Wassers variieren. Diese Zahlen werden jedoch auf der Grundlage eines Überblicks in Bezug auf die verfügbare Literatur als Leitfaden angeboten.

Tabelle 2 — Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit in nicht-salzhaltigem Wasser

Temperatur °C	(Ungefähre) Schallgeschwindigkeit ms ⁻¹
0	1 402
10	1 447
20	1 482
30	1 509
40	1 529

ANMERKUNG 1 Die oben angegebenen Zahlen gelten für Wasser in den meisten natürlichen Süßwasserflüssen und Abwasserkanälen.

ANMERKUNG 2 In Salzwasser sind die entsprechenden Schallgeschwindigkeiten etwa um 50 ms^{-1} höher.

Die Schallgeschwindigkeit c in Wasser wird wie folgt berechnet:

$$c = 1\,402,4 + 5,01\,T - 0,055\,1\,T^2 + 0,000\,22\,T^3 + 1,33\,S + 0,000\,13\,S^2 - 0,013\,TS + 0,000\,1\,T^2S + 0,016\,d \quad (4)$$

Dabei ist

- c die Schallgeschwindigkeit in Wasser, in Meter je Sekunde;
- T die Wassertemperatur, in Grad Celsius;
- S der Salzgehalt des Wassers, in Gramm Salz je Liter Wasser;
- d die Wassertiefe, in Meter.

6.2.3 Ausbreitungsverluste

a) Schallübertragung in Wasser

Nur ein Teil der übertragenen Schallenergie erreicht das Ziel. Der Rest geht aus verschiedenen Gründen verloren. Der Verlust der Signalintensität wird Ausbreitungsverlust genannt und setzt sich zusammen aus:

- 1) dem Divergenzverlust und
- 2) dem Dämpfungsverlust.

Divergenzverlust:

Dieser Verlust ist die Verringerung der Schallintensität durch die Vergrößerung der Fläche, über die sich die gegebene Schallenergie verteilt. Die Verluste infolge dieses Effektes hängen von den folgenden Faktoren ab:

- Messstrecke;
- Durchmesser des Ultraschall-Wandlers;
- Frequenzkenngrößen.

Dämpfungsverlust:

Dieser Verlust ist die durch den Widerstand des Mediums gegenüber der Übertragung der Schallenergie verursachte Verringerung der Schallintensität. Er entspricht dem Verlust von elektrischer Energie in einem Kabel, bei dem kein Divergenzverlust vorhanden ist. Der Dämpfungsverlust ist den folgenden Faktoren zurechenbar:

- Streuung: Reflexion des Signals durch Schwebstoffe im Wasser, z. B. Luftblasen und suspendierte Feststoffe. Die Wirkung ist bei höheren Frequenzen des Wandlers größer.
- Absorption: Vorgang, bei dem Schallenergie durch die Reibung zwischen den Wassermolekülen in Wärmeenergie umgewandelt wird, wenn eine Schallwelle wiederholten Kompressionen und Expansionen des Mediums ausgesetzt wird.

Die Verluste durch Absorption und Streuung steigen exponentiell mit zunehmender Messstrecke. Das bedeutet, dass, wenn die Schwebstofffracht im Abwasser so hoch ist, dass sie bei der Ausbreitung des Signals in einem Meter Wasser zum Verlust der Hälfte der Signalenergie führt, sich das Signal beim Durchlaufen eines weiteren Meters Wasser erneut halbieren würde. Bei einer Messstrecke von 20 m würde sich das Signal auf ein Millionstel des für sauberes Wasser erwarteten Wertes verringern.

Bei einer Messstrecke von 5 m in einem Abwasserkanal wäre eine Signalabminderung mit einem Faktor von 30 (ein Faktor von etwa 5,5 bei der Spannung) zulässig, bei einer Messstrecke von 20 m ist es jedoch unwahrscheinlich, dass ein Signal wahrgenommen werden könnte.

Aus diesen Gründen werden für längere Messpfade Wandler mit geringerer Frequenz angewendet. Der Bereich der Werte der Wandlerfrequenz f für eine vorgegebene Messstrecke L ist in Bild 2 dargestellt.

b) Nachhall:

Energie, die durch andere Reflektoren als die Wandler reflektiert werden. Dieses entspricht dem Effekt, der die Wirksamkeit von Autoscheinwerfern in einer nebligen Nacht vermindert.

c) Brechung:

Dieses ist die Beugung der Strecke des Schallimpulses, wenn die Temperatur oder die Dichte des Wassers signifikant variieren. Beispielsweise kann in langsam strömenden Flüssen mit geringer vertikaler Durchmischung durch die Wirkung von Sonneneinstrahlung auf die Oberfläche ein Temperaturgradient mit vertikaler Verteilung auftreten.

d) Reflexion:

Der Schall kann an der Wasseroberfläche und/oder der Sohle des Flusses reflektiert werden, dadurch können Fehlern bei der Zeitsteuerung des Signals auftreten.

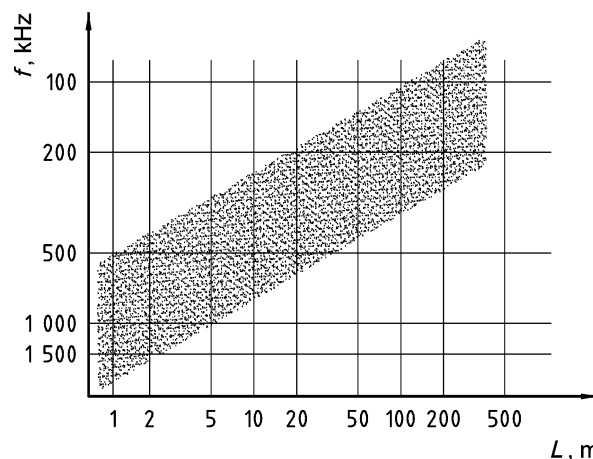


Bild 2 — Üblicherweise angewendete Wandlerfrequenzen für unterschiedliche Messstrecken

6.2.4 Krümmung der Messstrecke

6.2.4.1 Ein Schallimpuls wird von seinem Weg abgelenkt, wenn Temperatur oder Salzgehalt des Wassers, in dem sich der Impuls ausbreitet, schwankt. In langsam strömenden Flüssen mit geringer vertikaler Durchmischung tritt durch die Wirkung von Sonneneinstrahlung auf die Oberfläche ein Temperaturgradient mit vertikaler Verteilung auf. Dadurch wird der Schallweg in Richtung zur Sohle des Flusses abgelenkt.

Die Schallwelle breitet sich quer zum Gerinne in Form eines Kegels aus. Wenn ein vertikaler Temperaturgradient vorliegt, erreicht nur der Strahl das andere Ende der Messstrecke, der in einer bestimmten Richtung nach oben beginnt. Bei einem Temperaturgradienten von 0,5 °C je Meter Tiefe beträgt die vertikale Ablenkung D_r (wie in Bild 3 festgelegt) über eine Messstrecke von 50 m etwa 0,5 m. Im Gegensatz dazu besteht die Wirkung von vertikalen Dichtegradienten (die z. B. mit der Einbringung von Salzwasser in den Messbereich verbunden sein können) in der Krümmung der Messstrecke in Richtung zur Oberfläche.

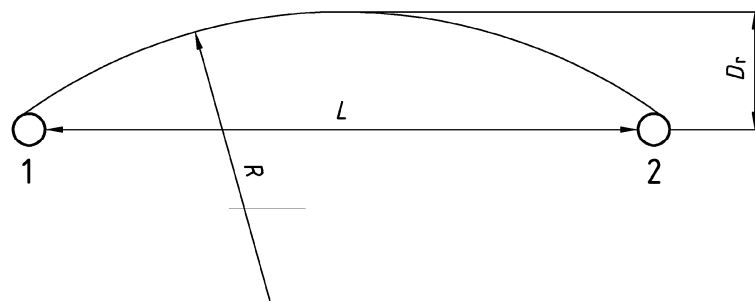
Ähnliche Wirkungen können durch Temperatur- oder Dichtegradienten mit horizontaler Verteilung erzeugt werden, wie z. B. im Fall der Teilbeschattung einer der Sonneneinstrahlung ausgesetzten Wasseroberfläche, oder die z. B. am Zusammenfluss, an dem ein Nebenfluss mit Wasser mit anderen Eigenschaften einmündet, auftreten können.

6.2.4.2 Der ungefähre Grad der Krümmung des Schallweges wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$R = c_1 (d_2 - d_1) / (c_1 - c_2) \quad (5)$$

Dabei ist

- R der Radius der Krümmung des Ultraschallweges, in Meter (siehe Bild 3);
- c_1, c_2 die Geschwindigkeit des Schalls in der Tiefe d_1 oder d_2 , in Meter je Sekunde (die nach Gleichung (4) berechnet werden kann).



Legende

- 1 Wandler
- 2 Wandler
- D_r Ablenkung des Ultraschallweges
- L Messstrecke
- R Radius der Krümmung des Ultraschallweges

Bild 3 — Signalkrümmung als Ergebnis eines vertikalen Temperaturgradienten

Die Ablenkung D_r des Ultraschallweges von einer geraden Linie ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$D_r = R - \sqrt{(R^2 - 0,25 L^2)} \quad (6)$$

Dabei ist

- L die Messstrecke, in Meter.

6.2.5 Reflexion

6.2.5.1 Schall wird an der Wasseroberfläche und in geringerem Umfang auch an der Gerinnesohle reflektiert.

Fehler bei der Zeitsteuerung der Signale werden auftreten, wenn das Sekundärsignal mit dem ersten Zyklus des direkten Signals interferiert. Um diesen Effekt zu vermeiden, sollte die Differenz zwischen den beiden Wegen größer sein als eine Schallwellenlänge (Schallgeschwindigkeit/Frequenz). Das wird erreicht, wenn über dem Schallweg eine Wassertiefe (Wassersäule) vorhanden ist, die größer ist als die durch Gleichung (7) angegebene:

$$d_{\min} = 27 \sqrt{\frac{L}{f}} \quad (7)$$

Dabei ist

$d_{\min}$ der zwischen der Geschwindigkeitsmessstrecke und der Wasseroberfläche geforderte Mindestabstand und auch der Mindestabstand zwischen der Sohle und dem Messpfad, in Meter;

L die Messstrecke, in Meter;

f die Frequenz des Wandlers, in Hertz.

6.2.5.2 Der über und unter der Geschwindigkeitsmessstrecke geforderte Mindestabstand von Wasser für unterschiedliche Frequenzen des Wandlers und Messstrecken ist in Tabelle 3 (Spalte 3) angegeben.

Die Mindestgesamtwassertiefe ist in Tabelle 3 (Spalte 4) angegeben. Der Wert für $d_{\min}$ ist doppelt so groß wie der Mindestabstand für den Sensor unter der freien Wasseroberfläche.

Tabelle 3 — Beispiele für den Mindestabstand für unterschiedliche Frequenzen des Wandlers und Messstrecken

Messstrecke L m	Frequenz des Wandlers f kHz	Mindestabstand m	Mindestgesamtwassertiefe $d_{\min}$ m
1	1 500	0,02	0,04
1	1 000	0,03	0,06
1	500	0,04	0,08
3	1 000	0,045	0,09
3	500	0,065	0,13
10	500	0,12	0,24
10	200	0,19	0,38
30	500	0,21	0,42
30	200	0,33	0,66
50	500	0,27	0,54
50	200	0,43	0,86
100	200	0,60	1,20
100	100	0,90	1,80

7 Anlagenkonfiguration

7.1 Allgemeines

7.1.1 Durchflussmessstationen, bei denen das Ultraschallverfahren angewendet wird, dürfen auf verschiedene Weise angeordnet werden, wobei Folgendes zu beachten ist

- a) die örtlichen Gegebenheiten des jeweiligen Standorts;
- b) die geforderte Messunsicherheit und Betriebssicherheit;
- c) der Bereich von Durchflusswerten, für den zuverlässige Daten erforderlich sind;
- d) die für den Anwender verfügbaren Betriebsmittel zur Aufrechterhaltung des betriebssicheren Zustandes des Messgerätes.

7.1.2 Die Anzahl der Tiefenmessfühler, die Anzahl der Messstrecken, der vertikale Abstand, die Winkel zur Strömung, die Verwendung der Eistrecken-, Kreuzstrecken- oder Reflektoranlagen dürfen festgelegt werden.

7.2 Einstreckenanlagen

7.2.1 In seiner einfachsten Form kann die Ultraschallmessanlage mit nur einem Wandlerpaar ausgerüstet sein, das eine zufriedenstellende Bestimmung nur einer einzigen Pfadgeschwindigkeit ermöglicht. Dieses eine Wandlerpaar muss nicht unbedingt horizontal befestigt werden.

Infolge der Messunsicherheit bei der Abschätzung der mittleren Geschwindigkeit ist eine Kalibrierung erforderlich. Vor dem Abschluss einer zufriedenstellenden Kalibrierung ist es möglich, die mittlere Geschwindigkeit unter Anwendung der Theorie des Geschwindigkeitsprofils abzuschätzen.

7.2.2 Die Einstreckenanlage setzt auch ein relativ beständiges Geschwindigkeitsprofil voraus, das durch Veränderungen des Verhältnisses zwischen Wasserstand und Durchfluss nicht wesentlich beeinflusst wird.

7.2.3 Die Einstreckenanlage ist von Natur aus anfällig gegenüber Beschädigungen oder einem Funktionsausfall des Wandlers. Es gibt keine Redundanz durch den Einbau weiterer Bauteile (siehe 7.3.3).

7.3 Mehrebenenanlagen

7.3.1 Der Einbau eines Mehrebenen-Durchflusssystems ist für Messstellen notwendig, an denen

- a) es eine starke und häufige Schwankung des Wasserstandes und/oder des Durchflusses gibt;
- b) die vertikale Geschwindigkeitsverteilung signifikant von der theoretischen Verteilung abweicht und sich abhängig vom saisonbedingten Wasserpflanzenwachstum ändern kann;
- c) signifikante Stauwasserwirkungen vorhanden sind, die das vertikale Geschwindigkeitsprofil beeinträchtigen.

7.3.2 Das Ziel besteht darin, eine geeignete Darstellung des vertikalen Geschwindigkeitsprofils im Messquerschnitt für alle zu messenden Wasserstände oder Durchflüsse, vom höchsten bis zum niedrigsten, zu erreichen.

Die Messunsicherheit bei der Durchflussbestimmung sollte nach den in Abschnitt 14 angeführten Verfahren bewertet werden. Für eine bestimmte Anordnung sollten die Berechnungen für einen Bereich von Wasserständen und Durchflüssen durchgeführt werden.

7.3.3 Wenn bei dem Verfahren außerdem eine hohe Betriebssicherheit (d. h. ohne betriebsbedingte Unterbrechungen oder Beeinträchtigungen) angestrebt wird, ist es wünschenswert, zusätzlich sowohl „redundante“ Messpfade als auch Wassertiefen-Messfühler vorzusehen, damit eine physikalische Beschädigung, Behinderungen oder ein Funktionsausfall auf einem oder mehreren Messpfaden nur eine minimale Auswirkung auf die Gesamtmessunsicherheit hat.

7.3.4 Mehrebenen-Messkonfigurationen können auch an Standorten geeignet sein, bei denen sich der Querschnitt des Gerinnes in Abhängigkeit von der Tiefe auf komplexe Weise ändert. Das ist insbesondere bei Gerinnen mit Überstau oder bei denen sich der Durchflussmessquerschnitt unter einer Brücke befindet der Fall.

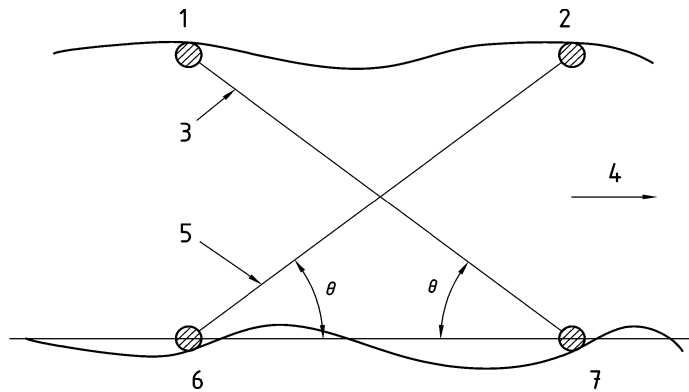
7.4 Kreuzstreckenanlagen

7.4.1 Eine der Hauptanforderungen des Ultraschall-Laufzeitverfahrens besteht darin, dass der Winkel bekannt sein muss, bei dem jeder einzelne Messpfad einer Anlage die Linie schneidet, die die mittlere Durchflussrichtung bei dieser Höhenlage darstellt. Fehler bei der Bestimmung dieses Winkels beeinträchtigen die Berechnung direkt (siehe Tabelle 1).

7.4.2 In der Praxis kann es schwierig sein, die mittlere Fließrichtung an einer bestimmten Messstelle exakt zu bestimmen. Die Annahme, dass die Richtung parallel zu den Ufern verläuft, kann nicht immer gelten. Sie kann für einige Teile des Durchfluss-/Wasserstandsbereiches zutreffen, für andere jedoch nicht. Besonders bei geringen Durchflüssen können die Auswirkungen einer komplexen Sohlengeometrie und Bewuchs stromaufwärts die mittlere Richtung in Bezug auf die Ufer beeinträchtigen.

7.4.3 Wenn die Fließrichtung nicht parallel zu den Ufern ist (häufig als „Schrägströmung“ bezeichnet) folgt daraus, dass die Richtung quer zum Gerinne nicht konstant sein kann. Tatsächlich kann die Änderung der Fließrichtung quer zum Gerinne so groß sein, dass die in Gleichung (3) angeführte Näherungsgleichung falsch ist und eine komplexere Betrachtung erforderlich ist. Da dies jedoch bestimmte Kenntnisse über die räumliche Änderung der Fließrichtung erfordert, ist es üblicherweise nicht möglich, anders zu handeln als die Näherung anzunehmen, mit der eine derartige Situation am besten vermieden wird.

7.4.4 Wenn eine Krümmung oder asymmetrische Änderung der Gerinneform vorliegt, d. h. die stromaufwärts weniger als das 10-Fache der Gerinnebreite oder stromabwärts weniger als das 3-Fache der Breite beträgt, besteht die Möglichkeit, dass die Strömung nicht parallel zu den Ufern des Gerinnes verlaufen wird. Deshalb kann es notwendig sein, ein Element der Selbstkorrektur einzuführen, indem das Messgerät so konfiguriert wird, dass es einen Satz oder mehrere Sätze von paarweise angeordneten Messstrecken hat, die in Form eines symmetrischen Kreuzes angeordnet sind (siehe Bild 4).



Legende

- 1 Wandler
- 2 Wandler
- 3 Gekreuzte Messstrecke
- 4 Fließrichtung
- 5 Übliche Messstrecke
- 6 Wandler
- 7 Wandler

Bild 4 — Schema einer Kreuzstreckenanlage

7.4.5 Die gekreuzten Messstrecken sollten so angeordnet werden, dass sie die Mitte des Gerinnes überschneiden.

Um die Messunsicherheiten auf ein Mindestmaß zu verringern, sollte der Winkel θ für die obersten Messstrecken zwischen 30° und 65° liegen. Ist der Winkel kleiner, dann wird die Messstrecke lang und die Fließrichtung könnte in diesem Abschnitt möglicherweise nicht konstant sein. Das würde die kompensierende Wirkung der Anordnung beim Kreuzstreckenverfahren beeinträchtigen.

In trapezförmigen Gerinnen sollten die Winkel in Sohlennähe mindestens 30° betragen, wenn die Wandler an jedem Ufer senkrecht zur Fließrichtung in schräger Anordnung eingebaut werden sollen.

7.4.6 Mit den Geräten des jeweiligen Systems sollte jede Pfadgeschwindigkeit für ein gekreuztes Messstreckenpaar einzeln berechnet werden. Falls die beiden berechneten Geschwindigkeiten für ein gekreuztes Messstreckenpaar annähernd übereinstimmen (innerhalb des Rechen- und Messfehlers), darf davon ausgegangen werden, dass der Winkel bei diesem Systemaufbau korrekt ist. Bei signifikanten Unterschieden zwischen den beiden Geschwindigkeiten ist der angenommene Winkel nicht korrekt. Keine der beiden berechneten Pfadgeschwindigkeiten wird korrekt sein; für die eine wird ein zu hoher und für die andere ein zu niedriger Wert ermittelt. In natürlichen Flüssen können die typischen Unterschiede zwischen den Geschwindigkeitsbestimmungen der gekreuzten Messstrecken bis zu 20 % betragen (Abschnitt 14 behandelt die dieser Systemkomponente inhärenten grundlegenden Messunsicherheiten).

7.4.7 Die Anwendung gekreuzter Messstrecken wird die Schrägströmung nicht vollständig kompensieren.

Ein großer Unterschied zwischen den Messstreckenpaaren sollte als ein Warnhinweis darauf angesehen werden, dass die Fließrichtung nicht richtig festgelegt ist und Fehler sich sogar nach der Mittelwertbildung ergeben können.

7.4.8 An Stellen, an denen eine hohe Zuverlässigkeit des Messgerätes verlangt wird, darf das Prinzip der Messredundanz (siehe 7.3.3) mit Anwendung der Kreuzstreckengeometrie kombiniert werden, um das Risiko eines Systemausfalls infolge physikalischer Beschädigungen durch Wandleranordnungen zu verringern, die physikalisch vom Ufer des Gerinnes getrennt sind.

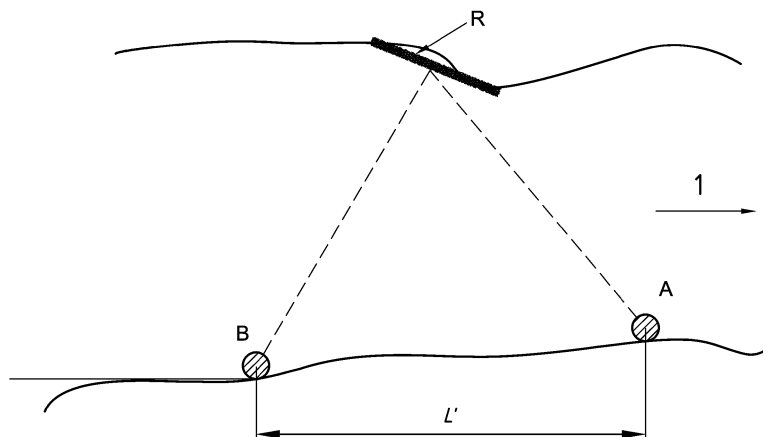
7.4.9 Verschachtelte gekreuzte Messstrecken sind Messstrecken mit einer Kreuzung bei unterschiedlichen Höhenlagen. Diese Anordnung wird manchmal zur Verringerung der Anzahl der geforderten Messstrecken angewendet. Die Anzahl von Messstrecken wird über die Gerinnehöhe verteilt, um zu versuchen, eine gute Erfassung des vertikalen Geschwindigkeitsprofils beim gleichzeitigen Versuch einer gewissen Kompensation der Schrägströmung zu erhalten.

Auch wenn es eine Berechtigung für diesen Ansatz gibt, bei dem sich alle verschachtelten gekreuzten Messstrecken unter Wasser in allen Tiefenlagen befinden, können Fehler entstehen, wenn Änderungen des Wasserstandes dazu führen, dass eine Messstrecke unterbrochen wird, während die gekreuzte Partnerstrecke weiter in Betrieb ist.

7.5 Reflektoranlagen

7.5.1 Das grundlegende Ultraschall-Laufzeitsystem erfordert üblicherweise, dass mehrere Wandler auf beiden Ufern des Gerinnes vorhanden sind. Es ist erforderlich, dass Signalübertragungskabel das Gerinne entweder oberirdisch oder auf der Gerinnesohle verlegt oder in die Gerinnesohle eingegraben überqueren sollten. Es kann Fälle geben, in denen es nicht günstig ist, aktive Wandler an beiden Ufern einzubauen. Ein Ufer kann unzugänglich sein, sodass die Wartung des Systems schwierig wird.

In diesen Fällen darf eine Konfiguration verwendet werden, bei der sich Ultraschallgeber und -empfänger am selben Ufer befinden und über einen am anderen Ufer angeordneten passiven Reflektor kommunizieren (siehe Bild 5).



Legende

- 1 Fließrichtung
- A stromabwärts angeordneter Wandler
- B stromaufwärts angeordneter Wandler
- R Reflektor
- L' projizierter Abstand parallel zur Fließrichtung

ANMERKUNG Gesamte Messstrecke $L = AR + RB$.

Bild 5 — Schema einer Reflektoranlage

7.5.2 Die Gleichung zur Berechnung der Fließgeschwindigkeit ist:

$$v = L^2 \times (t_{AB} - t_{BA}) / (2 L' \times t_{AB} \times t_{BA}) \quad (8)$$

Dabei ist

- v die mittlere Fließgeschwindigkeit quer zum Gerinne in Fließrichtung;
- L die Messstrecke (Abstand vom Wandler A zum Reflektor R und zum Wandler B);
- t_{AB} die Laufzeit vom Wandler A zum Wandler B über den Reflektor R;
- t_{BA} die Laufzeit vom Wandler B zum Wandler A über den Reflektor R;
- L' der projizierte Abstand zwischen den Wandlern A und B parallel zur Fließrichtung.

7.5.3 Bei diesen Anlagen werden die Messstrecken etwa doppelt so lang. Längere Messstrecken können jedoch ein Nachteil sein, weil sie möglicherweise größere Wandler mit einer geringeren Frequenz erfordern und das System viel empfindlicher gegenüber Ausbreitungsverlusten und der Krümmung des Wellenbündels machen.

7.5.4 Die Konfiguration einer Reflektoranlage entspricht nicht der von symmetrisch gekreuzten Messstrecken und es ist möglich, dass sich die Fließrichtung innerhalb des Messquerschnittes ändert. Die Reflektoranlage führt deshalb nicht zu einer zuverlässigen Korrektur der Schrägströmung.

7.5.5 Ein Nachteil der Reflektoranlage besteht in der Ausrichtung. Nicht nur die Wandler müssen ausgerichtet werden, sondern auch der Reflektor. Tatsächlich sind die meisten Reflektoren so ausgelegt, dass mindestens in einer Ebene die Winkelabweichung des Wellenbündels dem Doppelten der Abweichung von der Normalausrichtung des Reflektors entspricht, wodurch eine besondere Empfindlichkeit erreicht wird (siehe 13.3).

Unter Berücksichtigung der möglichen Probleme, sollte bei den Betrachtungen in Bezug auf den Einbau einer Reflektoranlage eine sorgfältige Untersuchung der Messstelle und Strömungsbedingungen erfolgen, und es sollte nur angewendet werden, wenn alle Möglichkeiten für die Anordnung der Wandler an gegenüberliegenden Ufern ausgeschöpft wurden.

7.6 Responderanlage

7.6.1 In Flüssen, bei denen es praktisch nicht möglich ist, die Kabel quer durch den Fluss zu verlegen, dürfen Responder (die den Reflektoren analog sind) eingesetzt werden.

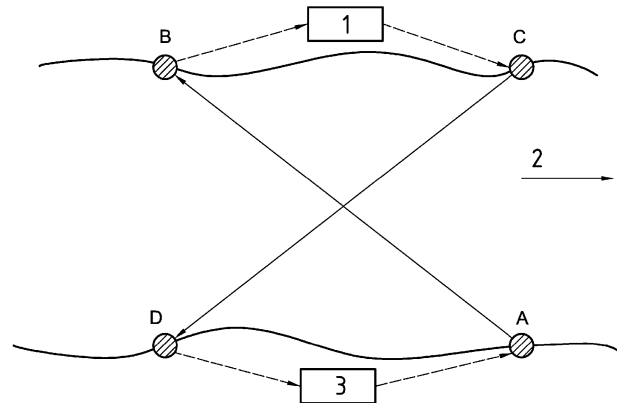
Eine Responderanlage ist eine Anlage aus Wandlern und elektronischen Schaltkreisen, die wie in Bild 6 dargestellt aufgebaut ist. Wenn B ein Signal von A empfängt, wird ein neues Signal hervorgerufen, das von C nach D zu senden ist. Wenn C ein Signal von D empfängt, wird ein neues Signal hervorgerufen, das von B nach A zu senden ist.

7.6.2 Die nachstehende Gleichung (9) für die Fließgeschwindigkeit ist aus Gleichung (8) abgeleitet:

$$v = L^2 \times (t_{AD} - t_{DA}) / (2 \times L' \times t_{AD} \times t_{DA}) \quad (9)$$

Dabei ist

- v die mittlere Fließgeschwindigkeit quer zum Gerinne in Fließrichtung;
- L die Messstrecke (Abstand vom Wandler A zum Wandler B und vom Wandler C zum Wandler D);
- t_{AD} die Laufzeit vom Wandler A zum Wandler D über den Responder;
- t_{DA} die Laufzeit vom Wandler D zum Wandler A über den Responder;
- L' der projizierte Abstand zwischen den Wandlern A und D und der projizierte Abstand zwischen den Wandlern B und C parallel zur Fließrichtung.



Legende

- 1 Respondereinheit
- 2 Fließrichtung
- 3 elektronisches Bauteil
- A stromabwärts angeordneter Wandler
- B stromaufwärts angeordneter Wandler
- C stromabwärts angeordneter Wandler
- D stromaufwärts angeordneter Wandler

ANMERKUNG Gesamte Messstrecke $L = AB + CD$.

Bild 6 — Schema einer Responderanlage

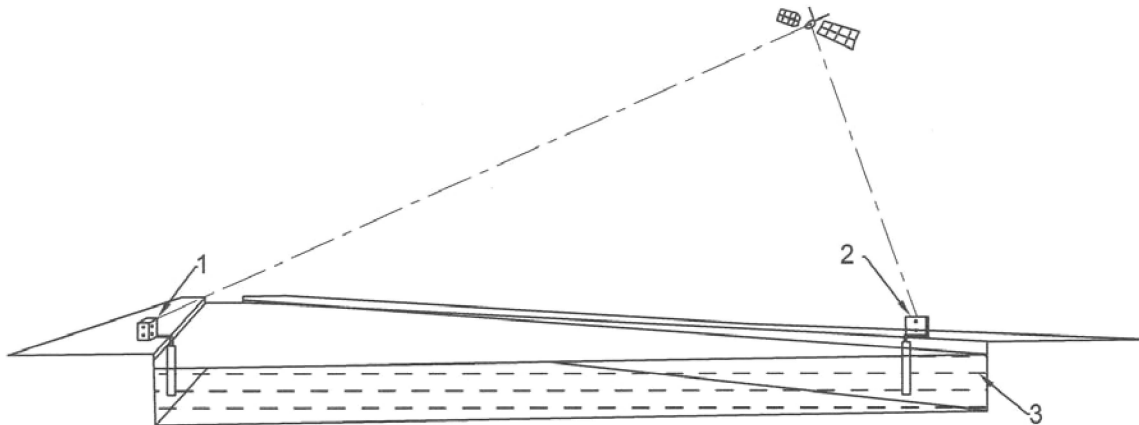
7.6.3 Bei dieser Anordnung sind die Messpfade nicht länger als bei einem herkömmlichen System, wodurch die bei einer Reflektoranlage auftretenden Probleme (siehe 7.5.3) vermieden werden.

7.6.4 Der Aufbau einer Responderanlage kann ähnlich der Anordnung bei einer symmetrischen Kreuzstreckenanlage erfolgen; es kann deshalb auch eine automatische Korrektur hinsichtlich einer Schrägströmung erfolgen.

7.6.5 Ein Nachteil der Responderanlage ist die Komplexität der Elektronik des Responders, besonders, wenn es sich um eine Mehrebenenanlage handelt oder wenn ein Batteriebetrieb notwendig ist.

7.7 Kabellose Systeme (wenn eine Kabelquerung nicht möglich ist)

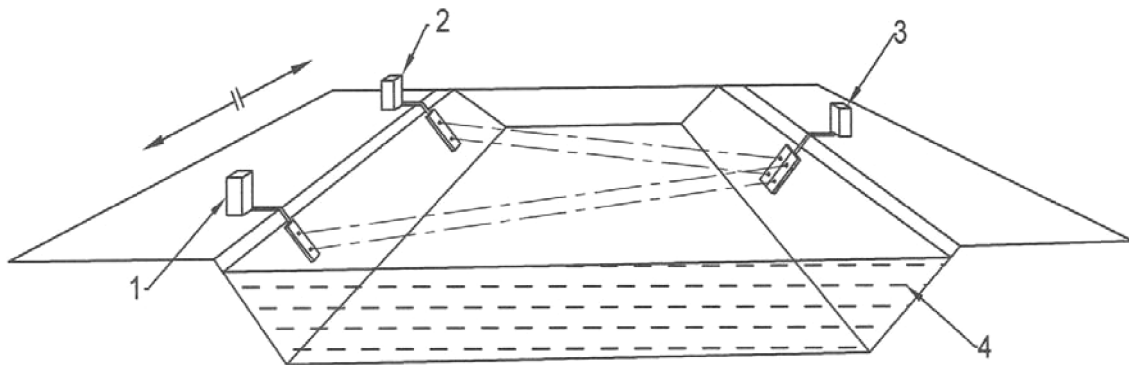
Die Arbeitsweise des kabellosen Systems (Wirelessssystem) beruht auf dem Laufzeitverfahren. Auf jeder Seite des Gerinnes werden autark arbeitende Systeme so eingebaut, dass sich deren Sichtlinie diagonal zur Strömungsrichtung befindet. Beide Systeme kommunizieren miteinander mittels Richtfunk und sind auch mit GPS-Empfängern ausgerüstet. Die von diesen Empfängern empfangenen Satellitendaten erzeugen eine hochgenaue Normalfrequenz und einen exakten Zeitimpuls, um sicherzustellen, dass beide Systeme absolut synchron arbeiten. Ein Hauptsystem sollte in der Lage sein, mehrere Untersysteme zu steuern. Es sollte auch möglich sein, Mehrebenen- und Kreuzstreckenanlagen und Responderanlagen einzusetzen (siehe Bild 7).



Legende

- 1 Hauptsystem
- 2 Untersystem
- 3 Wasser im Gerinne

a) Kabellose Systeme — Einstreckenanlage für eine Höhenlage



Legende

- 1 Hauptsystem — GPS-Empfänger
- 2 Untersystem — GPS-Empfänger
- 3 Responder
- 4 Wasser im Gerinne

b) Kabellose Systeme — System mit Responder für eine Höhenlage

Bild 7 — Kabellose Systeme

7.8 Anlagen mit aufgeteilten Querschnitten

7.8.1 Die Verfahrensweise ermöglicht die Einführung besonders komplexer Messpfadanordnungen, wobei die sich daraus ergebende Systemsteuerung und Rechenimplikationen relativ einfach anzupassen sind.

7.9 Geneigte Messstrecken

Die Einrichtung von Messstrecken, die nicht horizontal verlaufen, kann angemessen sein, besonders im Fall von Einstreckenanlagen, jedoch nicht darauf beschränkt. Zum Beispiel darf der unterste Messpfad in einer Mehrebenenanlage auf diese Weise eingerichtet werden.

Die Gründe dafür sind

- a) wenn eine Einstreckenanlage im tiefen Wasser eingesetzt wird (z. B. aus wirtschaftlichen Gründen), kann ein besserer Schätzwert der Geschwindigkeit erhalten werden, wenn die Messstrecke geneigt ist, weil damit eher die Beiträge von einem „Wasser-Paket“ als von einem einzelnen Messpfad erhalten werden, und
- b) wenn der Querschnitt des Gerinnes einseitig stark eingetieft ist, würde eine horizontale Messstrecke die Geschwindigkeit im tieferen Teil nicht erfassen. Demzufolge würde möglicherweise ein großer Teil der Querschnittsfläche damit einer Geschwindigkeit zugeordnet, die zu hoch gemessen wurde. Um das zu vermeiden, kann die unterste Messstrecke schräg verlaufend eingerichtet werden. Die der Messstrecke zugeordnete Höhenlage ist gleich der mittleren Höhenlage der beiden Wandler.

8 Durchflussbestimmung

8.1 Einstreckenanlagen

Das in dieser Norm beschriebene Laufzeitverfahren ist ein Geschwindigkeitsflächen-Verfahren. Der Durchfluss wird deshalb mit der folgenden Kontinuitätsgleichung bestimmt.

$$Q = \bar{V} \times A \quad (10)$$

Dabei ist

Q der Durchfluss (m^3s^{-1});

$\bar{V}$ die mittlere Geschwindigkeit am Messquerschnitt des Gerätes (ms^{-1});

A die Querschnittsfläche am Messquerschnitt des Gerätes (m^2).

In Systemen, in denen die Geschwindigkeit für nur eine Messstrecke bestimmt wird, oder bei denen eine begrenzte Anzahl von aktiven Messstrecken vorhanden ist, ist es notwendig, ein Verhältnis zwischen dieser und der mittleren Querschnittsgeschwindigkeit aufzustellen. Falls dieses Verhältnis konstant ist, darf die Berechnung vereinfacht werden, wenn der Durchfluss nach folgender Gleichung abgeleitet wird:

$$Q = C_v \bar{V} A \quad (11)$$

Dabei ist

C_v ein Geschwindigkeitskoeffizient, mithilfe der Messung (Kalibrierung) oder eines Modells abgeleitet, abhängig vom Verhältnis der Messstrecke.

In Systemen, in denen eine Messstrecke in einer Tiefe angeordnet ist, die für die mittlere Querschnittsgeschwindigkeit repräsentativ ist, kann der Wert von C_v eins sein. C_v kann auch einen anderen Wert annehmen und noch konstant sein oder kann sich mit der Strömungstiefe ändern. Es wird erforderlich sein, den Wert/die Werte für die Funktion C_v durch Kalibrierung festzulegen (siehe Abschnitt 9).

Diese Formel (Gleichung 11) kann auch zur Berechnung des Durchflusses bei einer Einstreckenanlage bei Nutzung der Reflektoranlage angewendet werden (siehe 7.5).

Alternativ kann die mittlere Geschwindigkeit mit einer Geschwindigkeits-Index-Bewertung (siehe ISO 15769) gemessen werden, wobei:

- 1) die mittlere Geschwindigkeit eine Funktion der gemessenen (Index-)Geschwindigkeit ist; oder
- 2) die mittlere Geschwindigkeit eine Funktion von Index-Geschwindigkeit und Wasserstand ist.

Bei vielen Anlagen mit einer begrenzten Anzahl von Messstrecken wird die vom Messgerät ermittelte Geschwindigkeit nicht gleich der mittleren Geschwindigkeit im Messquerschnitt sein, da das Messgerät in den meisten Gerinnen nicht den gesamten Querschnitt des Durchflusses erfasst. Die mittlere Geschwindigkeit wird mit der (den) gemessenen Geschwindigkeit(en) bestimmt. Diese Bestimmung wird mithilfe einer Beziehung zwischen der mittleren Geschwindigkeit und der (den) gemessenen Geschwindigkeit(en) vorgenommen, üblicherweise als die Index-Geschwindigkeit bezeichnet. Die Geschwindigkeits-Index-Beziehungen können die folgenden allgemeinen Formen aufweisen:

$$\bar{V} = fn(V_i) \quad (12)$$

$$\bar{V} = fn(V_i, h) \quad (13)$$

Dabei ist

V_i die gemessene/Index-Geschwindigkeit (ms^{-1});

h der Wasserstand (m).

Der Querschnittsbereich wird mit der Wasserstands-Fläche-Beziehung bestimmt.

Der Rechenprozess wird wie folgt zusammengefasst:

Die folgenden Arbeitsschritte sind beim Entwicklungsprozess der Geschwindigkeits-Index-Bewertung erforderlich:

- a) Bestimmung der Wasserstands-Flächen-Beziehung am Messquerschnitt des Gerätes. Das kann zu jeder Zeit erfolgen, üblicherweise wenn die Durchflüsse gering sind.
- b) Eine Reihe von Messungen wird über einen größtmöglichen Durchfluss- und Wasserstandsbereich durchgeführt. Die Anzahl der erforderlichen Messungen hängt von den physikalischen Eigenschaften der Messstelle ab, ähnlich der Entwicklung von konventionellen Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen (siehe ISO 1100-2).
- c) Während jeder Messung sollten der gemessene Wasserstand und die Geschwindigkeit(en) mit einer geeigneten Frequenz, z. B. 1-Minuten-Intervalle, aufgezeichnet werden.
- d) Um die mittlere Geschwindigkeit zu ermitteln, sollte bei jeder Messung der Durchfluss berechnet und durch die entsprechende Querschnittsfläche am gemessenen Querschnitt dividiert werden. Dieses kann aus der Wasserstands-Fläche-Beziehung ermittelt werden. Es sollte beachtet werden, dass die Querschnittsfläche an der gemessenen Stelle und nicht die Querschnittsfläche an der Messstelle für die Berechnung verwendet werden sollte, wenn diese unterschiedliche Orte sind.
- e) Der Mittelwert des gemessenen Wasserstandes und der Geschwindigkeit sollten für die Zeitspanne der Messung berechnet werden. Der Schätzwert der mittleren Geschwindigkeit, die gemessene Geschwindigkeit und gegebenenfalls der Wasserstand können anschließend zur Ableitung der Geschwindigkeits-Index-Bewertung angewendet werden.

ANMERKUNG Weitere Einzelheiten zur Entwicklung der Geschwindigkeitsbeziehungen sind in ISO 15769 enthalten.

8.2 Mehrebenenanlagen

8.2.1 Allgemeines

8.2.1.1 Eine Mehrebenenanlage ist ein System mit mindestens zwei Ultraschallmessstrecken bei unterschiedlichen Höhenlagen unterhalb der Wasseroberfläche. Es lässt sich als System übereinander liegender Ebenen vorstellen. Die Ebenenmaße können von der feststehenden Geometrie des Gerinnes abgeleitet werden, in dem die Höhenlage der Ebene durch die Lage der Schallmessstrecken bestimmt ist und die Dicke der Ebene durch die Differenzen der Höhenlagen dieser Messstrecken vorgegeben ist. Zur Berechnung des Durchflusses darf entweder das Querschnittsmittenverfahren oder das Verfahren des mittleren Querschnitts angewendet werden.

8.2.1.2 Je mehr Bestimmungen von Pfadgeschwindigkeiten aus aktiven Messstrecken vorliegen und je näher die Messstrecken an Sohle und Oberfläche liegen, desto kleiner ist in der Praxis die mit dieser Geschwindigkeitsberechnung verbundene Messunsicherheit. Wenn die Messstation so gestaltet wird, dass die unterste Messstrecke nahe der Sohle liegt, können Annahmen für die Abschätzung der Geschwindigkeit nahe der Sohle ohne die Notwendigkeit einer laufenden Messung und ohne Zunahme der Messunsicherheit bei der Messung des Gesamtdurchflusses getroffen werden.

8.2.1.3 Es gibt Situationen, in denen einzelne Messstrecken in einer Mehrebenenanlage ausfallen, entweder durch Behinderung, durch physikalische Beschädigung der Wandler oder durch Ausfall anderer Teile der Messgeräteausrüstung. Die Durchflussbestimmung sollte trotzdem fortgesetzt werden können, auch wenn sich die Messunsicherheit etwas erhöht. Wie stark sich die Messunsicherheit erhöht, hängt vom Verhältnis der ausgefallenen Messstrecken zu den aktiven Messstrecken ab. Wenn mehr als eine Messstrecke ausfällt, wird die verbleibende Messunsicherheit auch von der Verteilung der ausgefallenen Messstrecken zu den verbleibenden abhängen. Falls benachbarte Messstrecken ausgefallen sind, wird der auftretende Fehler größer.

8.2.1.4 Eine Alternative zu den vorstehend angeführten Integrationsverfahren stellt die Anwendung der gemessenen Pfadgeschwindigkeiten zur Bestimmung der allgemeinen Form des Geschwindigkeitsprofils dar. Diese allgemeine Form sollte die vorliegenden Randbedingungen am Boden und an der Oberfläche berücksichtigen. Eine derartige Form ist wahrscheinlich standortspezifisch und erfordert die Bestätigung durch Fließgeschwindigkeitsmessung. Aus diesen Daten und der Querschnittsgeometrie kann der Durchfluss berechnet werden.

Es sollte beachtet werden, dass das Verhältnis durch stromaufwärts vorhandene Verkräutung beeinträchtigt werden kann, deshalb instabil sein und sich saisonabhängig ändern kann.

8.2.1.5 Der arithmetische Mittelwert der abgelesenen Werte von gekreuzten Messstrecken in gleicher Höhenlage sollte für die Ermittlung einer einzelnen Messstreckengeschwindigkeit bei dieser Höhenlage angewendet werden. Wenn eine Messstrecke ausfällt, kann die Partnermessstrecke allein angewendet werden. Wenn jedoch die Winkel der beiden gekreuzten Messstrecken zur Fließrichtung in hohem Maße ungleich sind, entsteht ein Fehler. Asymmetrische Geometrie ist aus diesem Grund nicht zu empfehlen (siehe 7.4.4 und 7.4.7). Wenn beim Ausfall einer Messstrecke nicht automatisch ein empirisch bestimmter Wichtungsfaktor angewendet wird, bleibt ein Fehler zurück. Der Wichtungsfaktor kann in Abhängigkeit von Durchfluss und Jahreszeit (im Ergebnis einer unsymmetrischen Verkräutung) schwanken. Wird der Faktor automatisch festgelegt, sollte darauf geachtet werden, dass er weder bei sehr geringem Durchfluss ermittelt wird, wenn die Unterschiede zwischen den abgelesenen Werten der beiden gekreuzten Messstrecken sehr groß sein können, noch dann, wenn eine Messstrecke im Begriff ist auszufallen, weil dann die bei ihm abgelesenen Werte fehlerhaft sein können.

8.2.1.6 Ein alternatives Verfahren mit gekreuzten Messstrecken ist die Berechnung von zwei Durchflusswerten, einer für jede Ebene der Messstrecken, wobei entweder das Querschnittsmittenverfahren oder das Verfahren des mittleren Querschnitts angewendet wird. Der Gerinnedurchfluss wird als einfacher Mittelwert der beiden Ergebnisse berechnet. Wenn alle aktiven Messstrecken in Betrieb sind, wird es im Ergebnis keinen Unterschied geben. Dieses Verfahren ist gegenüber dem Ausfall einer Messstrecke weniger empfindlich als ein Verfahren, das die Mittelwerte der einzelnen Geschwindigkeiten der gekreuzten Messstrecken einschließt.

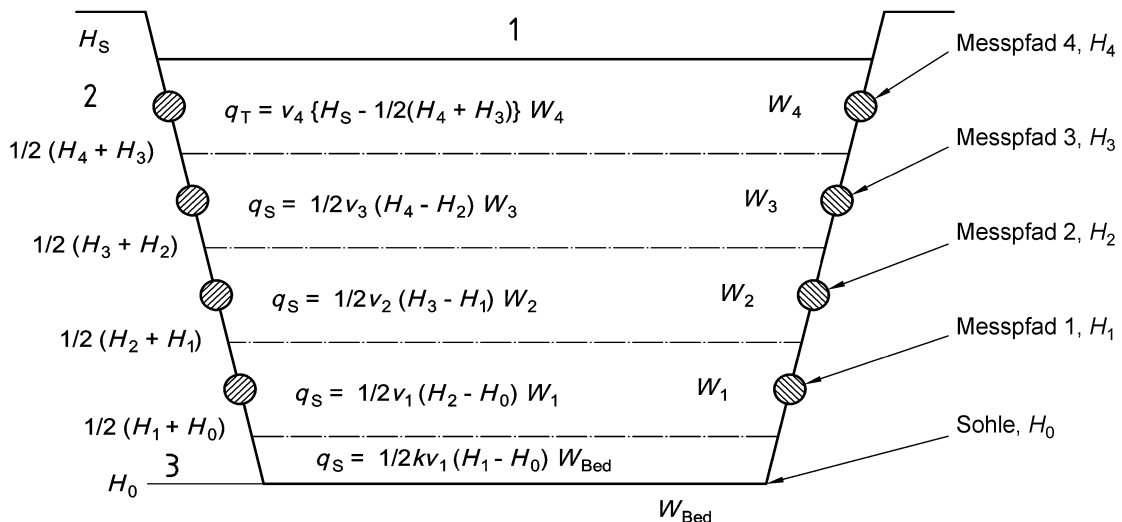
8.2.1.7 Bei Mehrebenenanlagen mit Reflektoren oder Respondern sollte die Berechnung des Durchflusses wie bei Kreuzstreckenanlagen mit mehreren Strecken unter Anwendung von Querschnittsmittenverfahren oder Verfahren des mittleren Querschnitts erfolgen.

8.2.2 Querschnittsmittenverfahren

8.2.2.1 Bei dem Querschnittsmittenverfahren (siehe Bild 8) sollte davon ausgegangen werden, dass jede Messstreckengeschwindigkeit dem Mittelwert für die Ebene entspricht, die durch die beiden Messpfade in der Mitte zwischen der jeweiligen Messstrecke und der nächsthöher und nächstniedriger angeordneten Messstrecke im Wandlerfeld festgelegt wird; die Ebenen „breite“ sollte die Breite des Gerinnes bei der Höhenlage der jeweiligen Messstrecke sein.

8.2.2.2 Die oberste Ebene im vertikalen Stapel wird als von unten an den Messpfad angrenzend definiert, die in der Hälfte zwischen dem Messpfad der obersten „aktiven“ Messstrecke und dem Messpfad unmittelbar darunter liegt. Oben wird sie von der Wasseroberfläche begrenzt. Die mittlere Geschwindigkeit in dieser obersten Ebene wird als die Geschwindigkeit angenommen, die entlang der obersten aktiven Messstrecke gemessen wird.

8.2.2.3 Die mittlere „Breite“ der obersten Ebene ist der Mittelwert aus der Gerinnebreite in der Ebene, die in der Hälfte zwischen der obersten aktiven Messstrecke und dem unmittelbar darunter befindlichen an der Wasseroberfläche liegt. Dieser letzte Wert darf durch Interpolation zwischen den bekannten Breiten des Gerinnes in Höhe der höchsten benetzten Messstrecke und in Höhe der nächstniedrigeren benetzten Messstrecke bestimmt werden.



Legende

- 1 Wasseroberfläche
- 2 oberste Ebene
- 3 unterste Ebene
- H Höhe über einem festgelegten Bezugspunkt, in Meter
- W Breite des Querschnitts bei der entsprechenden Höhe, in Meter
- v durch den entsprechenden Messpfad bestimmte Geschwindigkeit, in Meter je Sekunde
- k Faktor, der die mittlere Geschwindigkeit der untersten Ebene mit der entlang der Messstrecke 1 bestimmten Geschwindigkeit in Verbindung setzt. Üblicherweise liegt der Faktor zwischen 0,4 und 0,8.
- q_S Durchfluss in der entsprechenden Ebene oder in der entsprechenden Scheibe
- q_T Durchfluss in der obersten Ebene, das die oberste Messebene enthält
- Gesamtdurchfluss $q = q_0 + q_1 + q_2 \dots q_T$

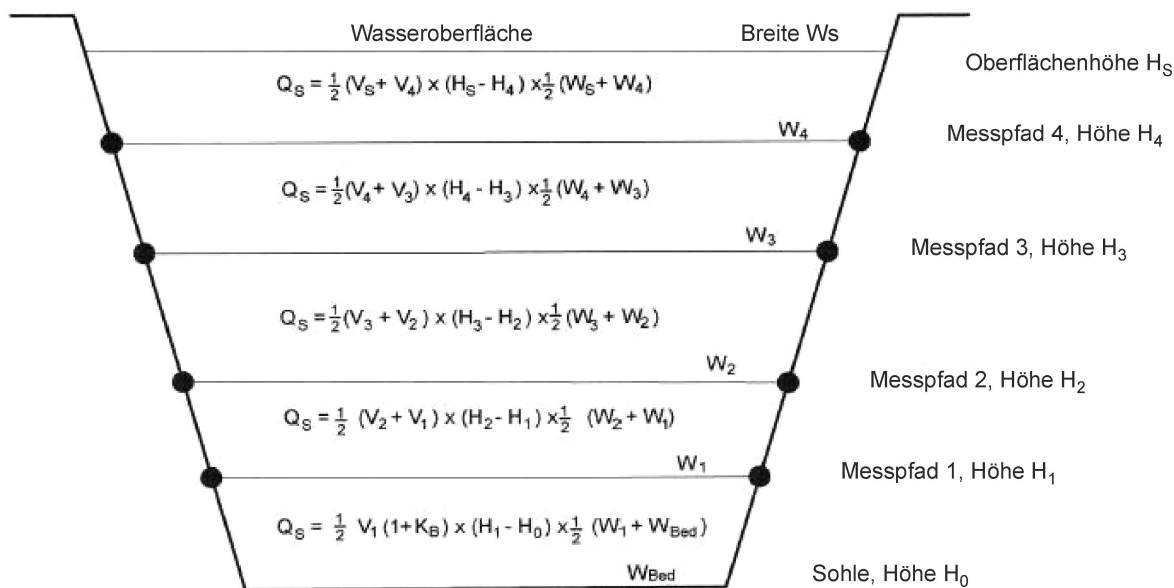
Bild 8 — Beispiel für eine Durchflussberechnung nach dem Querschnittsmittenverfahren unter Nutzung von vier aktiven Messstrecken

8.2.2.4 Die „Dicke“ der obersten Ebene ist die Differenz in der Höhenlage zwischen der Wasseroberfläche und einem Punkt auf halber Strecke zwischen den beiden höchsten Messstrecken.

8.2.2.5 Die unterste Ebene im vertikalen „Stapel“ wird als an den Messpfad angrenzend definiert, die in der Hälfte zwischen der untersten „aktiven“ Messstrecke und der Sohle liegt. Die mittlere Breite der untersten Ebene ist die Breite des Gerinnes an einem Punkt in der Hälfte zwischen der untersten „aktiven“ Messstrecke und der Sohle. Für die genaue Identifizierung dieses Wertes kann eine Interpolation der Gerinnegeometrie erforderlich sein. Die mittlere Geschwindigkeit in der untersten Ebene ist die Geschwindigkeit, die entlang der untersten Messstrecke gemessen wird, multipliziert mit einem Faktor, der gewöhnlich zwischen 0,4 und 0,8 liegt. Dieser Faktor, der standortspezifisch ist und in Abhängigkeit vom Wasserstand schwanken kann, kann empirisch durch Fließgeschwindigkeitsmessungen bestimmt werden (siehe 9.1.2 und ISO 748).

8.2.3 Verfahren des mittleren Querschnitts

8.2.3.1 Beim Verfahren des mittleren Querschnitts (siehe Bild 9) ist die mittlere Ebenengeschwindigkeit der Mittelwert aus den beiden Geschwindigkeiten, gemessen entlang der Messstrecken, die die Ebene begrenzen. In der obersten Ebene wird die mittlere Geschwindigkeit durch eine begrenzte Extrapolation der Geschwindigkeiten berechnet, die entlang der beiden oberen aktiven Messstrecken bestimmt wurden. In der untersten Ebene ist die mittlere Geschwindigkeit der Mittelwert aus der Geschwindigkeit, die entlang der untersten Messstrecke gemessen wurde, und der Geschwindigkeit in Sohlennähe. Die Geschwindigkeit in Sohlennähe, die standortspezifisch ist und in Abhängigkeit vom Wasserstand schwanken kann, kann empirisch durch Fließgeschwindigkeitsmessungen bestimmt werden (siehe ISO 748).



Legende

- H Höhe über einem festgelegten Bezugspunkt, in Meter
 W Breite des Querschnitts bei der entsprechenden Höhe, in Meter
 v durch den entsprechenden Messpfad bestimmte Geschwindigkeit, in Meter je Sekunde
 v_s Oberflächengeschwindigkeit, gegeben durch

$$v_s = v_4 + (v_4 - v_3) \cdot k_s \cdot (H_s - H_4) / (H_4 - H_3)$$
dabei ist k_s ein Multiplikator zwischen 0 und 1, jedoch begrenzt auf einen Wert von $v_4 + (v_4 - v_3)$ im Fall, dass $(H_s - H_4)$ größer ist als $(H_4 - H_3)$.
 k_B Faktor, der die Geschwindigkeit an der Sohle mit der entlang der Messstrecke 1 bestimmten Geschwindigkeit in Verbindung setzt; üblicherweise liegt der Faktor zwischen 0,7 und 0,9.
 q_s Durchfluss in der entsprechenden Ebene oder in der entsprechenden Scheibe
 q_T Durchfluss in der obersten Ebene, das die oberste aktive Messebene enthält
Gesamtdurchfluss ist wieder $q = q_0 + q_1 + q_2 \dots q_T$.

Bild 9 — Beispiel für eine Durchflussberechnung nach dem Verfahren des mittleren Querschnitts unter Nutzung von vier aktiven Messstrecken

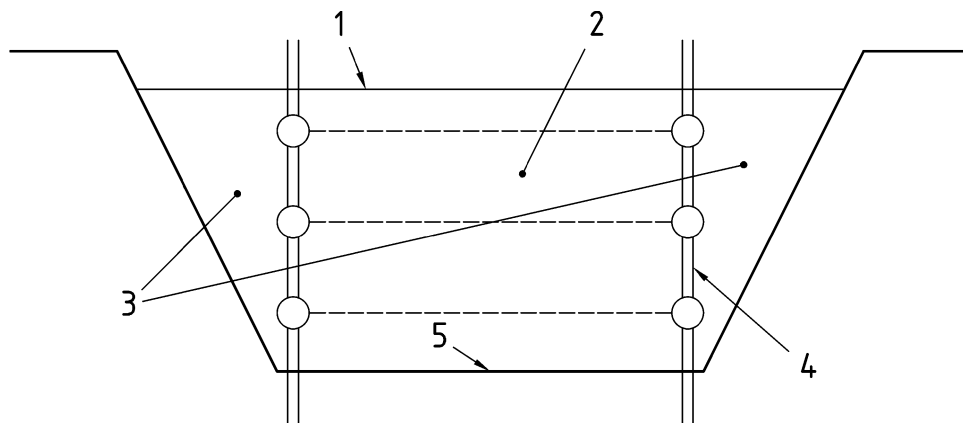
8.2.3.2 Eine mittlere Ebenen„breite“ wird aus den im Rechner des Durchflussmessgerätes gespeicherten Daten der Standortvermessung berechnet; sie wird nicht notwendigerweise von der Lage der Wandler bestimmt. Die Ebenen„dicke“ ergibt sich aus der Differenz der Höhenlage zwischen den Messstrecken; bei der untersten Ebene ist es der Höhenunterschied zwischen der untersten Messstrecke und dem Mittelwert der Sohle und bei der obersten Ebene ist es der Höhenunterschied zwischen der obersten „aktiven“ Messebene und der Wasseroberfläche.

Wenn ein geschlossenes Gerinne überlastet ist (sich Druckabfluss einstellt), sollte der Algorithmus für den Durchfluss in der obersten Ebene in einen Algorithmus geändert werden, der ähnlich dem für die unterste Ebene ist, um die Reibung an der Gerinnedecke zu berücksichtigen.

8.3 Systeme mit im Gerinne (uferfern) angeordneten Wandlern

In Gerinnen, bei denen die Ufer im Querschnitt ungleichförmig oder mit Vegetation bedeckt sind, kann es zulässig sein, die Wandler auf Pfähle zu montieren, die in einem bestimmten Abstand von den Ufern eingesetzt sind (siehe Bild 10).

Das Verhältnis von „nicht gemessenem“ zu „gemessenem“ Durchfluss wird sich in Abhängigkeit von der Tiefe und von der Verkräutung der Ufer verändern. Gewöhnlich ist es notwendig, die „nicht gemessenen“ Komponenten bei unterschiedlichen Strömungsbedingungen unter Einsatz von Fließgeschwindigkeitsmessgeräten zu bewerten (siehe 9.1.2) und einen zusätzlichen Betrag für den „nicht gemessenen“ Durchfluss zu addieren, um für das Gerinne einen Gesamtdurchfluss zu erhalten. Wenn das Verhältnis jedoch gering ist, können die vorzunehmenden Korrekturen gering und die erzeugten Messungenauigkeiten tolerierbar sein.



Legende

- 1 Wasseroberfläche
- 2 gemessener Durchfluss
- 3 nicht gemessener Durchfluss
- 4 vertikale Wandleranordnung
- 5 Sohle

Bild 10 — Anlage mit im Gerinne (uferfern) angeordneten Wandlern

9 Verifizierung und Kalibrierung des Systems

9.1 Allgemeines

9.1.1 Das Laufzeit-Verfahren stellt eine absolute Bestimmung der Geschwindigkeit senkrecht zum Querschnitt aus Laufzeiten, Messstreckenwinkeln und -längen dar, ohne dass eine Kalibrierung erforderlich ist (siehe Abschnitt 6). Vorausgesetzt, dass die Schallimpulse in den beiden entgegengesetzten Richtungen praktisch gleichzeitig übertragen werden, hängt die Bestimmung der Weg-Fließgeschwindigkeits-Komponente nicht von der Schallgeschwindigkeit ab.

9.1.2 Im Prinzip ist die Kalibrierung nur für die Berechnung des Durchflusses bei Einstreckenanlagen (siehe 8.1), oder in Situationen, bei denen nur eine begrenzte Anzahl von wirksamen Messstrecken vorhanden ist (siehe 8.1) sowie bei Systemen erforderlich, in denen die Wandler im Gerinne in einem (bestimmten) Abstand von den Ufern des Gerinnes angeordnet sind (siehe 8.3). Bei Einstreckensystemen und Systemen mit begrenzter Messstrecke bezieht sich die Kalibrierung hauptsächlich auf die vertikale

Verteilung der Fließgeschwindigkeit. Diese Verteilung ist in den Messungen von Mehrebenenanlagen enthalten und wenn in der Systemausführung ausreichend viele Messstrecken vorgesehen sind, sollte kein Bedarf für eine Kalibrierung vorliegen. Wenn jedoch die unterste Ebene einen großen Teil der gesamten Querschnittsfläche darstellt, ist entweder eine Kalibrierung des Durchflusses dieser Ebene mit einem Fließgeschwindigkeitsmessgerät oder eine sorgfältige Analyse des wahrscheinlichen Durchfluss-Profils erforderlich.

9.1.3 Selbst bei Mehrebenenanlagen, in denen die Geschwindigkeitsverteilung an sich schon gut erfasst ist, besteht häufig der Bedarf an einer „Verifizierung“ durch ein alternatives Verfahren.

Die Verifizierung unterscheidet sich von der Kalibrierung. Das Ultraschall-Durchflussmessgerät wird als verifiziert angesehen, wenn sich die Bereiche der Messunsicherheit der Durchflussbestimmungen nach den beiden Verfahren überlappen. Die Ergebnisse des alternativen Verfahrens sollten nicht angewendet werden, um damit die Parameter des Ultraschall-Durchflussmessgerätes zu ändern.

9.1.4 Einstreckenanlagen (oder Systeme mit einer geringen Anzahl von einzelnen aktiven Messstrecken) erfordern eine Kalibrierung, um die Beziehung zwischen der Pfadgeschwindigkeit (Index-Geschwindigkeit) und der mittleren Geschwindigkeit für die möglichen Wasserstandsbereiche festzulegen (siehe 8.1), es sind regelmäßige Kontrollen durchzuführen, um sicherzustellen, dass die Beziehung konstant bleibt. Die Kalibrierung darf ausgeführt werden, indem Fließgeschwindigkeitsmessgeräte einschließlich der ADCP zum Einsatz kommen.

10 Auswahl der Messstelle

Die folgenden Faktoren sollten bei der Auswahl der Messstellen für die Ultraschall-Laufzeitsysteme berücksichtigt werden:

- a) Am natürlichen Zustand der Sohle und den Ufern sollten minimale Änderungen vorgenommen werden. Falls signifikante Veränderungen durchgeführt werden, besteht die Wahrscheinlichkeit, dass nach einigen Jahren der ursprüngliche Zustand wieder eingenommen wird.
- b) Das Gerinne sollte möglichst geradlinig verlaufen und zueinander parallele Ufer haben. Das Sohlenprofil sollte möglichst waagrecht sein.
- c) Die Messstelle und der Querschnitt sollten über die Zeit stabil bleiben. Instabile Lagen sollten vermieden werden.
- d) Der Messquerschnitt sollte frei von Bewuchs sein, da dieser das Schallsignal stark schwächen kann.
- e) Bei Flussquerschnitten mit einer Breite größer als 30 m und mit hohen Schwebstofffrachten (> 500 mg/l) sollte eine Überprüfung der Signalausbreitung durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass das (Ultra-)Schallverfahren geeignet ist.
- f) Das Gerinne muss eine Mindestwassertiefe aufweisen (siehe 6.2.5.2, Tabelle 3).
- g) Wenn die Messstelle einem ungleichmäßigen Geschwindigkeitsprofil unterworfen ist, dann sollte eine Mehrebenenanlage eingesetzt werden.
- h) Die Auswirkung von Gasblasen in den Gerinnen stromabwärts von Dämmen, Wehren, Wasserfällen, Wechselsprüngen, Mühlen-, Kraftwerks- und Kanalausläufen sowie weitere mögliche Quellen von mitgeführter Luft sollten berücksichtigt werden. Wird dieses vermutet, sollte eine Überprüfung der Signalausbreitung erfolgen.
- i) Wird von einer übermäßigen elektromagnetischen Störung ausgegangen, dann sollte ein geeignetes Signalscreening mit dem Anbieter besprochen werden.
- j) Eine Netzstromversorgung in der Nähe der Messstelle wäre vorteilhaft, aber nicht unbedingt erforderlich, dies dient der Verbesserung der Betriebssicherheit der Messstelle.
- k) Die bequeme Zugänglichkeit der Messstelle während Aufbau, Reparaturen, regelmäßigen Verifizierungen oder Qualitätsüberprüfungen ist wesentlich.

11 Überprüfung des Standortes für die Messstelle — vor Planung und Ausführung

11.1 Allgemeines

Der geplante Standort sollte sorgfältig auf Risiken in Bezug auf das Leistungsvermögen des Systems aus den in Abschnitt 10 behandelten einschränkenden Faktoren untersucht werden und ihr möglicher Einfluss auf das Leistungsvermögen des Gesamtsystems sollte bekannt sein, bevor die Messanordnung festgelegt wird.

11.2 Sichtprüfung

Eine Sichtprüfung sollte an beiden Ufern des Gerinnes über einen größeren stromaufwärts und einen kleineren stromabwärts reichenden Abschnitt vom möglichen Standort durchgeführt werden, um offensichtliche Gefährdungen des Leistungsvermögens des Systems festzustellen.

Die wesentlichen Faktoren sind

- a) Wasserstände, Bereich zwischen Hoch- und Niedrigwasser;
- b) Bewuchs;
- c) mögliche Quellen für Lufteintrag;
- d) Schwebstoffkonzentration/Sedimentfracht;
- e) Lage von Krümmungen und Wehren;
- f) Lage von Zusammenflüssen und Zuflüssen im Gerinne;
- g) Schiffsverkehr;
- h) Einflüsse durch den Betrieb von Schifffahrtsschleusen oder Kraftwerken;
- i) Sicherheit gegenüber einer Beeinträchtigung durch Unbefugte;
- j) Eigentumsverhältnisse;
- k) Zustände von Sohle und Ufer (Form und Stabilität);
- l) Geschwindigkeitsprofile;
- m) Zugang für Aufbau, Betrieb und Wartung;
- n) Netzversorgung und Verfügbarkeit eines Telekommunikationsnetzes, und
- o) GSM-Signal für die Modemverbindung.

11.3 Überprüfung des Querschnitts

Der Querschnitt am vorgesehenen Messquerschnitt sollte gründlich überprüft werden. Falls es die Umstände gestatten, sollte die Prüfung auf einer Länge von zehn Gerinnebreiten stromaufwärts bis zu zwei Gerinnebreiten stromabwärts durchgeführt werden. Mindestens drei, vorzugsweise jedoch mehr Querschnitte sollten überprüft werden. Die Ergebnisse der Überprüfungen des Querschnitts sollten zum Nachweis der Unveränderlichkeit (Stabilität) von Sohle und Ufer verglichen werden.

11.4 Überprüfung der Geschwindigkeitsverteilung

Bei vielen Gerinnen ist es deutlich erkennbar, ob eine Schrägströmung oder eine ungewöhnliche Geschwindigkeitsverteilung vorliegt, und die optimale Anordnung der Messstrecken kann mit einem angemessenen Vertrauensgrad festgelegt werden. Oft ist das jedoch nicht der Fall, zum Beispiel in natürlichen Flüssen, in denen die Anströmbedingungen nicht über eine ausreichend lange Strecke konstant sind. Wenn ein derartiger Zweifel besteht, sollte am vorgesehenen Standort vor dem Planungsprozess eine eingehende Überprüfung des Geschwindigkeitsprofils erfolgen, um festzustellen, ob eine Kreuzstreckenanlage erforderlich ist. Die Überprüfung darf mithilfe eines ADCP-Gerätes erfolgen, das über die Möglichkeit zur Messung sowohl der Geschwindigkeitsverteilung als auch des Gerinneprofils verfügt.

Einige ADCP-Geräte verfügen über die zusätzliche Möglichkeit, eine dreidimensionale bathymetrische Überwachung des gesamten Sohlenquerschnitts innerhalb der vorgesehenen Messstelle durchzuführen.

11.5 Überprüfung der Signalausbreitung

An Messstellen, bei denen ein höheres Risiko der Signaldämpfung als möglich angesehen wird, sollte eine Überprüfung der Schallausbreitung erfolgen.

12 Betriebliche Anforderungen für die Messung

12.1 Allgemeines

Um den Durchfluss zu berechnen, benötigt ein Messgerät für das Ultraschall-Laufzeitverfahren die Eingabe einer Anzahl von unterschiedlichen Informationselementen und sollte eine Möglichkeit zur Speicherung von Einzelheiten der Beziehung zwischen Wassertiefe und Querschnittsfläche enthalten, es sollte die Wassertiefe oder den -stand bestimmen, die Fließgeschwindigkeit für jede Messstrecke ermitteln können und in der Lage sein, mathematische Funktionen auszuführen, die zur Berechnung des Durchflusses aus den entsprechenden gespeicherten und direkt bestimmten Daten erforderlich sind.

Die Art und Weise der Datenaufnahme wird bis zu einem bestimmten Grad von der jeweiligen Geräteausführung abhängen, insgesamt sind sie jedoch für die Durchflussbestimmung unbedingt notwendig.

12.2 Grundlagen zur Bestimmung des Durchflusses

Die wesentlichen Größen zur Berechnung des Durchflusses sind:

- a) die Variablen der Fließgeschwindigkeit und -tiefe, die von den hierfür bestimmten Geräten zur Verfügung gestellt werden;
- b) die Konstanten von Sohlenhöhe und Querschnittsbreiten über den benetzten Querschnitt, die bei der Inbetriebnahme durch Vermessung ermittelt werden.

Alle Systemdaten unterliegen der Messunsicherheit (siehe Abschnitt 14). Jedoch erfordern die Systemkonstanten (z. B. Gerinnebreite und Sohlenhöhe) oder Daten, die mit Bezugnahme auf einige feste Bezugsgrößen abgeleitet werden (Wassertiefe), während der Betriebsdauer der Messeinrichtung besondere Aufmerksamkeit, damit systematische Fehler auf ein Mindestmaß verringert werden.

Bei der Anlagenplanung sollten Vorkehrungen getroffen werden, dass relativ stabile Daten (Querschnittsbreite und mittlere Höhe der Gerinnesohle) für den Fall leicht zu verändern sind, falls sich die Querschnittsgeometrie signifikant verändert.

Die Position der Wandler sollte sich üblicherweise nicht verändern; es ist jedoch vorteilhaft, sie in regelmäßigen Abständen erneut zu überprüfen.

12.3 Bestimmung der Fließgeschwindigkeit

Die Bestimmung der Fließgeschwindigkeit ist der Hauptzweck von Ultraschallanlagen.

Jede überströmte Messstrecke sollte so häufig wie möglich und über eine möglichst lange Dauer erfasst werden, wobei allerdings das Ergebnis zu berechnen ist, bevor eine wesentliche Durchflussänderung auftreten kann. Ein technisch ausgereiftes System sollte in der Lage sein, mindestens 30 vollständige Zyklen je Minute für die gesamte Wandleranordnung zu erfassen. Die Mehrfacherfassung der einzelnen Messstrecken ist eine wesentliche Systemfunktion, da es eine relativ hohe Wahrscheinlichkeit dafür gibt, dass eine Einzelmessung aus verschiedenen Gründen ausfällt. Falls eine zuverlässige Berechnung der einzelnen Messstreckengeschwindigkeiten angestrebt wird, sollte zur Bildung des Mittelwerts eine große Anzahl von Einzelwerten verfügbar sein.

Alle unter Wasser liegenden Messstrecken in einer Mehrebenenanlage sollten so schnell nacheinander erfasst werden, dass sich die Strömung während der Dauer eines vollständigen Messzyklus nicht signifikant ändert. Es kann für die Wandler schädlich sein, wenn sie außerhalb des Wassers betrieben werden, und das System sollte derart beschaffen sein, dass Wandler über der Wasseroberfläche inaktiv sind.

Bei Mehrebenenanlagen mit sehr langen Messstrecken könnte die Laufzeit die Zyklusrate begrenzen. Obwohl die Messstrecken nacheinander erfasst werden sollten, ist es ohne gegenseitige Beeinflussung möglich, eine Messung zu starten, bevor der vorherige beendet ist.

12.4 Bestimmung des Wasserstandes oder der Wassertiefe

Die Wassertiefe muss entweder mit einem oder mehreren der in ISO 4373 festgelegten Geräte oder mit nach oben gerichteten Ultraschallgeräten gemessen werden, die in das elektronische System des Durchflussmessgerätes eingebaut sind. Ein Fehler bei der Bestimmung der Tiefe nach diesem Verfahren wird auftreten, wenn zwischen der mittleren Temperatur des Flusses und der Temperatur an der Stelle, an der der Ultraschall-Tiefenmessfühler angebracht ist, ein Unterschied vorhanden ist. Ein Temperaturunterschied von 5 °C wird einen Fehler von etwa 1 %, abhängig von der Versetzung zwischen dem Wandler und der Sohle, verursachen. Der Anlagenplaner sollte sich der Möglichkeit des Auftretens einer derartigen Wirkung bewusst sein und sie in den Schätzwert der Messunsicherheit einschließen oder, in Extremfällen, ein anderes Verfahren zur Tiefenbestimmung auswählen. Der Anlagenplaner sollte sich auch bewusst sein, dass im Fall des Vorliegens derartiger Temperaturunterschiede im Fluss das Auftreten einer starken Krümmung des Wellenbündels wahrscheinlich ist und das Ultraschallverfahren für die Durchflussmessung ohnehin ungeeignet sein kann (siehe 6.2.4).

Diese Funktion kann in den Ultraschallmessgeräten integriert sein oder mit speziellen Tiefenmessgeräten realisiert werden. Die Variable wird üblicherweise als Ersatzgröße bestimmt. Die aktuell gemessene Größe ist im Allgemeinen der auf ein Bezugsniveau bezogene Wasserstand. Die Beziehung zwischen diesem Bezugsniveau und der angenommenen **mittleren Höhe der Gerinnesohle** im Messquerschnitt ist üblicherweise eine Systemkonstante. Nach 12.2 sollte die Lage zum Bezugsniveau regelmäßig überprüft werden, da sie von der Unveränderlichkeit (Stabilität) der Gerinnesohle abhängt. Zur Messung des Wasserstandes darf eines von einer Vielzahl zur Verfügung stehender Verfahren, die ISO 4373 entsprechen, angewendet werden.

12.5 Bestimmung der mittleren Sohlenhöhe

12.5.1 Die mittlere Sohlenhöhe bezieht sich auf die mittlere Höhenlage der Gerinnesohle innerhalb der Fläche, die von den Ufern des Gerinnes und von den stromaufwärts und stromabwärts angeordneten Wandlern umschlossen wird. Sie kann durch Überprüfung einer Anzahl von Querschnittsflächen innerhalb dieser Fläche bestimmt werden.

Die genaue Bestimmung der mittleren Sohlenhöhe des Flussabschnittes in der Messstromstrecke ist wesentlich für die genaue Abschätzung des Durchflusses. Deshalb ist es wichtig, dass die Überprüfung der Sohle vor der Inbetriebnahme einer Messstelle vorgenommen wird und dass diesen Überprüfungen anschließend regelmäßige Überprüfungen folgen. Die folgende Spezifikation wird im Allgemeinen empfohlen:

An jeder Messstelle sollten mindestens 7 Querschnitte (6 bei unidirektionalen Messstellen) überprüft werden: Die umfassen:

- a) ein Querschnitt im rechten Winkel zu den Ufern bei dem (den) stromaufwärts befindlichen Wandlergestell(en);
- b) ein Querschnitt im rechten Winkel zu den Ufern bei den stromabwärts befindlichen Wandlergestellen;
- c) drei Querschnitte im gleichen Abstand zwischen den in a) und b) genannten Querschnitten;
- d) zwei diagonale Querschnitte entlang des Messpfads (Laufweg) der unteren Wandler (bei unidirektionalen Messstellen ist nur einer erforderlich).
- e) Es ist nicht erforderlich, aber häufig vorteilhaft, auch mehrere Querschnitte stromaufwärts der Messstrecke zu überprüfen, weil dieses zu zweckdienlichen Informationen in Bezug auf die Ansatzbedingungen, z. B. Untiefen, führt, die eigenartige Strömungsverläufe erzeugen könnten.

12.5.2 Das Verfahren der Abschätzung der mittleren Sohlenhöhe variiert unter den Fachleuten für Hydrometrie. Die mittlere Sohlenhöhe kann auf einem der drei Messpfade abgeschätzt werden:

- a) Sämtliche vermessene Punkte (Überwachungspunkte) unterhalb des untersten Laufweges werden zur Berechnung des arithmetischen Mittelwertes dieser Punkte angewendet, d. h. die arithmetische mittlere Höhe in dem Rechteck, das durch die Ufer und die stromaufwärts und stromabwärts befindlichen Wandlergestelle definiert ist.
- b) Die mittlere Sohlenhöhe für jeden Querschnitt wird durch Dividieren der Fläche durch die Oberflächenbreite abgeschätzt und der Mittelwert der auf diese Weise ermittelten mittleren Sohlenhöhen wird berechnet.
- c) Die mittlere Sohlenhöhe wird ausschließlich unter Anwendung des (der) Querschnitts(e) entlang jedes Wandlers (Messpfade) durch Bestimmung der Fläche und Dividieren durch die Breite der Wasseroberfläche abgeschätzt, um die mittlere Sohlenhöhe zu ermitteln. Das Argument zugunsten dieses Verfahrens besteht darin, dass der Querschnitt entlang des Messpfads der Geschwindigkeitsmessung/des Messquerschnitts gemessen wird, d. h. dieser ist der tatsächliche Messbereich der Geschwindigkeit, die anzuwenden ist, wenn die Kontinuitätsgleichung angewendet wird.

Das letzte Verfahren ist das aus hydraulischer Sicht das korrekteste, da der Schätzwert der mittleren Sohlenhöhe ausschließlich auf den Höhen entlang des Messpfades des (der) gemessenen Querschnitts(e) beruht.

In Gerinnen mit einer Breite von 100 m und mehr kann es angebracht sein, alternative Verfahrensweisen anzuwenden, wie z. B. Echolotung, und es kann ein graphischer Wert der mittleren Höhe der Gerinnesohle bestimmt werden.

Diese Überprüfungen sollten jährlich und/oder nach einem größeren Hochwasserereignis, das die Sohlengeometrie geändert haben könnte, wiederholt werden.

Bis die Stabilität der Gerinnesohle festgestellt ist, sollten häufiger erneute Überprüfungen erfolgen. Wenn sich die Gerinnesohle signifikant verändert, wird sich auch die Querschnittsfläche für einen gegebenen Wasserstand ändern. Der berechnete Durchfluss wird dann einen Fehler aufweisen, der etwa im gleichen Verhältnis steht wie die relative Änderung der Querschnittsfläche.

12.6 Gerinnebreite

Die Gerinnebreite wird nicht kontinuierlich gemessen, sondern durch herkömmliche Vermessungsverfahren ermittelt und danach als eine (oder mehrere) Systemkonstante(n) bei der Inbetriebnahme als Teil eines Setup-Systemverfahrens in das Berechnungssystem eingegeben.

Die Messungen der Gerinnebreite dürfen manchmal aus gemessenen Messstrecken und -winkeln mathematisch abgeleitet werden. Wenn die Seitenflächen des Messquerschnitts tatsächlich den bei den Bauarbeiten zur Befestigung der Wandler hergestellten Flächen entsprechen, dann kann die Breite des Durchflussquerschnitts rechnerisch auch auf diese Weise bestimmt werden.

Wenn durch die Position der Wandler die Breite des Querschnitts nicht festgelegt ist, sind gesonderte Messungen der Gerinnebreite notwendig.

Die Gerinnebreite sollte regelmäßig überprüft werden (allerdings weniger häufig als die Sohlengeometrie). Bei Bestimmung dieser Strecke ist mit üblichen Verfahren oder Geräten leicht ein hoher Genauigkeitsgrad (besser als 0,1 %) erreichbar. Dieser Genauigkeitsgrad sollte angestrebt werden, da die Schallmessstrecke eine der grundlegenden Systemmessgrößen darstellt. Die übliche Ultraschall-Durchflussmesstechnik kann bei geometrisch völlig unterschiedlichen Gerinneufern angewendet werden. Die einzelnen Messstrecken in einer Mehrebenenanlage können unterschiedliche Messstrecken haben, und die Messstrecken können die mittlere Strömungsrichtung unter unterschiedlichen Winkeln schneiden, sofern die Auslegung der Messstelle dies erfordert.

13 Ausrüstung einer Messstation

13.1 Allgemeines

Zur Ausrüstung einer Messstation gehören:

- Wandlerpaare, die an den Enden jeder Geschwindigkeitsmessstrecke in der Messanordnung angeordnet sind;
- ein oder mehrere Wassertiefenmesser bzw. Pegel;
- Rechneinheit für den Durchfluss, angeschlossen an die Wandler und den Tiefenmesswertgeber, und
- Aufzeichnungs- oder Datenfernübertragungsgeräte, die in der Rechneinheit für den Durchfluss integriert sein können.

Der Messrechner für den Durchfluss führt folgende Operationen durch:

- a) Speicherung der Parameter, die zur Beschreibung der Messstrecken, Tiefenmessgeräte und des Gerinnequerschnittes dienen;
- b) Bestimmungen der Tiefe der Strömung und Festlegung der zu nutzenden Wandlerpaare (Messstrecken);
- c) Aktivierung der Wandler der Reihe nach;
- d) Empfang der resultierenden Signale nach dem Durchlaufen der Messstrecken;
- e) Durchführung von Prüfungen der Signale, um festzustellen, ob sie zulässig sind;
- f) Messungen der Laufzeiten zwischen dem Aktivieren eines Wandlers (Aussenden des Impulses) an einem Ende einer Messstrecke und dem Empfang des Signals am anderen Ende dieser Messstrecke;

- g) Verwendung der gemessenen Laufzeiten und der Laufzeitdifferenzen zwischen Hin- und Rücksignalen entlang derselben Messstrecke zur Berechnung der Pfadgeschwindigkeiten für alle aktiven Messstrecken;
- h) Durchführung von Prüfungen, um festzustellen, ob die berechneten Daten geeignet sind;
- i) Berechnung des Durchflusses aus der Wassertiefe, den Pfadgeschwindigkeiten und der Messstellengeometrie, und
- j) Ausgabe der erhaltenen Daten an eine Messwertregistrierung oder an ein Fernübertragungssystem.

13.2 Konstruktion und Bauweise der Anlage

13.2.1 Wandler

Die Wandler werden gewöhnlich im Impulsbetrieb betrieben. Sie werden durch einen kurzen Hochspannungsimpuls elektrisch beaufschlagt und zur Emission von Ultraschall angeregt. Sie werden mechanisch gedämpft, sodass sie zwischen 6 Zyklen und 20 Zyklen aussenden. Die Kenngrößen des Wandlers werden so gewählt, dass

- a) die Signaldämpfung (beschrieben in 6.2.3) akzeptabel ist. Im Allgemeinen ist der Signalverlust umso geringer, je niedriger die charakteristische Frequenz ist;
- b) das Kriterium für die Mindesttiefe (siehe 6.2.5.2) erfüllt wird. Je niedriger die charakteristische Frequenz, umso größer muss die geforderte Wassertiefe über und unter der Messstrecke sein;
- c) die benötigte Genauigkeit für die Zeitmessung zum Auflösen des geringsten Durchflusses erreicht wird (siehe 13.9.7). Je niedriger die charakteristische Frequenz, umso größer ist die Messunsicherheit der Bestimmung des genauen Empfangszeitpunktes des Signals. Der Grad, mit dem die genauen Frequenzen der Wandler an beiden Enden jedes Messpfades übereinstimmen, ist ebenfalls von entscheidender Bedeutung, besonders wenn das Signalortungsverfahren auf der Erfassung der ersten Halbwelle des Messsignals basiert.

Der Durchmesser des Wandlers ist direkt von der Breite des durch den Schallimpuls projizierten Kegels abhängig. Je größer der Durchmesser, umso schmaler ist der Kegel, und umso größer ist damit die Energiedichte des Schallimpulses. Die Breite des Strahlkegels ist auch von der Frequenz abhängig; je höher die Frequenz, umso schmaler ist der Kegel.

Im Allgemeinen ist der Kegelwinkel, angegeben in Grad, des Schallimpulses gleich $\arcsin \beta$:

$$\beta = \frac{370}{f \times d} \quad (14)$$

Dabei ist

- f die Frequenz des Wandlers, in Hertz;
- d der Durchmesser des Wandlers, in Meter.

13.2.2 Die Konstruktion der Befestigungen für die Wandler sollte folgendes ermöglichen:

- a) eine Richtungsverstellung in der horizontalen Ebene, die unabhängig von der Verstellung in der vertikalen Ebene ist;
- b) eine auf $\pm 1^\circ$ genaue Anzeige der Richtung über der Wasseroberfläche bei der Einstellung (bei Bedarf durch Verwendung einer transportablen Kalibriereinrichtung);
- c) eine auf $\pm 1^\circ$ genaue Ausrichtung in der vertikalen Ebene, vorzugsweise in die Konstruktion der Befestigung integriert;
- d) falls praktisch durchführbar, leichte Entnahme der Wandler zur Reinigung und zum Ersatz, ohne dass Taucher oder Sonderausrüstungen eingesetzt werden müssen. Eine neue Ausrichtung sollte nach einer Justierung oder Reparatur nicht erforderlich sein.

Die Befestigungen sollten so konstruiert sein, dass

- a) das Ablagerungen von Sedimenten den Ultraschallweg nicht beeinträchtigen;
- b) Sediment und Treibgut ohne Schwierigkeiten entfernt werden können;
- c) Signalübertragungskabel durch mitgeführtes Treibgut, Steine oder andere, auf sie auftreffende Objekte, Bootsanker, Eis, Nagetiere oder bei der Demontage der Wandler zur Reinigung oder Reparatur nicht ohne weiteres beschädigt werden können;
- d) die Wandler nicht ohne weiteres versetzt oder durch Treibgut, Bootsdurchfahrten, Vandalismus, Frost oder Eis beschädigt werden können;
- e) sie nicht in einer Weise korrodieren, die zu ihrer Zerstörung oder zu Schwierigkeiten bei der Demontage führt;
- f) unabhängig vom Wasserstand in dem Messbereich, in dem der Wandler zu betreiben ist, die Formen der Befestigungen nicht dazu führen, dass vor einem Wandler Luft in das Wasser eingebracht wird.

13.2.2 Wandlerkabel

Wenn eine geeignete Impedanzanpassungsschaltung innerhalb der Rechneinheit für den Durchfluss angewendet wird, ist es möglich, die Probleme zu eliminieren, die üblicherweise mit den unterschiedlichen Kabellängen zwischen dem Durchflussrechner und den Wandlern verbunden sind. Wenn diese jedoch integriert ist, ist es wichtig, dass keine asymmetrischen Verzögerungen durch mangelhafte Anpassung der elektronischen Schaltkreise eingebracht werden. Das könnte auch Auswirkungen auf die Kosten haben.

Sofern die Impedanzanpassung nicht verfügbar ist, die Kabel zwischen den Wandlern und dem Durchflussrechner jedoch kürzer als 100 m und von unterschiedlicher Länge sind, gibt es möglicherweise ein Problem mit der Reflexion von elektronischen Signalen, die eine Verzerrung hervorrufen, die wiederum zu ernsthaften Fehlern bei den Zeitdifferenzen führt. Diese Fehler sind besonders gravierend bei schmalen Gerinnen oder geringer Fließgeschwindigkeit.

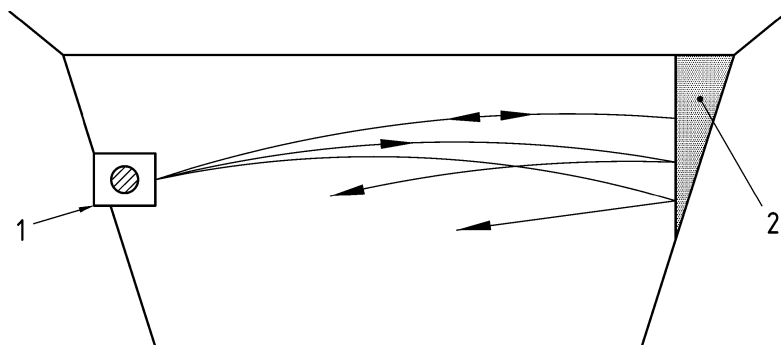
Dieses Problem kann vermieden werden, indem sichergestellt wird, dass die Längen der Kabel zu den stromauf- und stromabwärts gelegenen Wandlern einer Messstrecke gleich sind (± 2 m).

13.3 Reflektoren

13.3.1 In den Fällen, in denen diese Verfahrensvariante geeignet ist, dürfen zwei Reflektorarten angewendet werden. Sie dürfen flach (siehe Bild 11) oder winkelförmig sein (siehe Bilder 12 und 13). Beide Geräte reflektieren Schallimpulse nach den allgemeinen Gesetzen der optischen Reflexion.

13.3.2 Der flache Plattenreflektor ist für Gerinne mit senkrechten Ufern am geeignetsten, an denen ein einzelnes Plattenmaterial über die gesamte Wassertiefe reicht. Wenn jedoch vertikale Temperaturgradienten existieren, werden die Schallstrahlen abgelenkt, und der in Bild 11 dargestellte Zustand wird eintreten. Nur Strahlen in der horizontalen Ebene und senkrecht zum Reflektor werden zurück zum Ultraschallempfänger reflektiert.

13.3.3 Der Winkelreflektor (siehe Bilder 12 und 13) ist für Gerinne mit schrägen Ufern geeignet, und er wird an Messstellen eingesetzt, an denen ein geringer Temperatur- oder Salzgradient vorliegt. Es werden jedoch für jede Ultraschallmessstrecke gesonderte Reflektoren verlangt, die so angeordnet sein sollten, dass Reflexionen von falschen Reflektoren (im Allgemeinen von den Reflektoren in geringeren Tiefen) einen Ultraschallempfänger nicht zu einem Zeitpunkt erreichen, an dem sie als ein korrektes Signal fehlinterpretiert werden können (siehe auch 13.5.3). Es ist zu beachten, dass Bild 12 nur das Signal von „B nach A“ anzeigt. Für eine vollständige Bestimmung ist auch das Signal von „A nach B“ erforderlich.

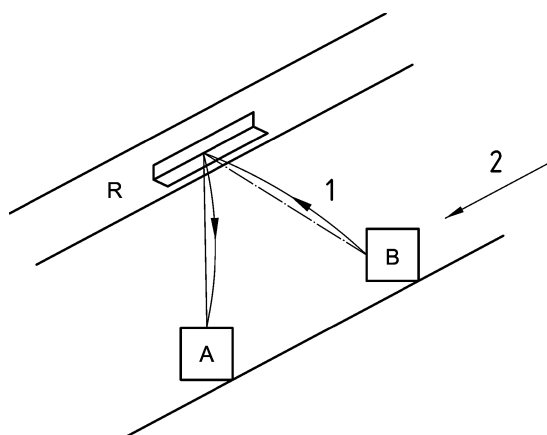


Legende

- 1 Wandler
- 2 flacher Plattenreflektor

ANMERKUNG Nur der senkrecht auf dem Reflektor auftreffende Strahl wird zurück zum Ultraschallempfänger reflektiert.

Bild 11 — Plattenreflektor, der die Wirkung von Temperaturgradienten anzeigt



Legende

- 1 durch Temperaturgradienten abgelenkte Schallbündel
- 2 Durchflussrichtung
- R Reflektor
- A Ultraschallempfänger
- B Wandler

Bild 12 — Winkelreflektor, der die Wirkung von Temperaturgradienten anzeigt