

DIN EN ISO 6416

ICS 17.120.20

Ersatz für
DIN EN ISO 6416:2005-11

**Hydrometrie –
Messung des Durchflusses mit dem Ultraschall-Laufzeitverfahren
(Transit-time-/Time-of-flight-Verfahren) (ISO 6416:2017);
Deutsche Fassung EN ISO 6416:2017**

Hydrometry –
Measurement of discharge by the ultrasonic transit time (time of flight) method
(ISO 6416:2017);
German version EN ISO 6416:2017

Hydrométrie –
Mesure du débit par la méthode du temps de transit ultrasonique (temps de vol)
(ISO 6416:2017);
Version allemande EN ISO 6416:2017

Gesamtumfang 74 Seiten

DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 6416:2017) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 113 „Hydrometry“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 318 „Hydrometrie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

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

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 748:2007	siehe DIN EN ISO 748:2008-02
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.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 6416: 2005-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 748:2007, *Hydrometrie — Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten oder Schwimmern (ISO 748:2007); Deutsche Fassung EN ISO 748:2007*

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

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

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

— Leerseite —

Deutsche Fassung
Hydrometrie —
Messung des Durchflusses mit dem Ultraschall-
Laufzeitverfahren (Transit-time-/Time-of-flight-Verfahren)
(ISO 6416:2017)

Hydrometry —
Measurement of discharge by the ultrasonic
transit time (time of flight) method
(ISO 6416:2017)

Hydrométrie —
Mesure du débit par la méthode du temps
de transit ultrasonique (temps de vol)
(ISO 6416:2017)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 22. August 2017 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Anwendung	7
4.1 Anwendungstypen	7
4.2 Eigenschaften und Beschränkungen	8
5 Messverfahren	9
5.1 Durchfluss	9
5.2 Berechnung des Durchflusses aus der Laufzeitmessung	9
6 Fließgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Ultraschall-(Laufzeit-)Verfahren	9
6.1 Grundlage des Verfahrens	9
6.2 Schallausbreitung in Wasser	12
6.2.1 Allgemeines	12
6.2.2 Schallgeschwindigkeit in Wasser	12
6.2.3 Ausbreitungsverluste	13
6.2.4 Krümmung der Messstrecke	14
6.2.5 Reflexion	15
7 Anlagenkonfiguration	16
7.1 Allgemeines	16
7.2 Einstreckenanlagen	17
7.3 Mehrebenenanlagen	17
7.4 Kreuzstreckenanlagen	17
7.5 Reflektoranlagen	19
7.6 Responderanlage	21
7.7 Kabellose Systeme (wenn eine Kabelquerung nicht möglich ist)	22
7.8 Anlagen mit aufgeteilten Querschnitten	23
7.9 Geneigte Messstrecken	23
8 Durchflussbestimmung	24
8.1 Einstreckenanlagen	24
8.2 Mehrebenenanlagen	26
8.2.1 Allgemeines	26
8.2.2 Querschnittsmittenverfahren	27
8.2.3 Verfahren des mittleren Querschnitts	29
8.3 Systeme mit im Gerinne (Ufer fern) angeordneten Wandlern	30
9 Verifizierung und Kalibrierung des Systems	30
10 Auswahl der Messstelle	31
11 Überprüfung des Standortes für die Messstelle — vor Planung und Ausführung	32
11.1 Allgemeines	32
11.2 Sichtprüfung	32
11.3 Überprüfung des Querschnitts	33

11.4	Überprüfung der Geschwindigkeitsverteilung.....	33
11.5	Überprüfung der Signalausbreitung	33
12	Betriebliche Anforderungen für die Messung.....	33
12.1	Allgemeines	33
12.2	Grundlagen zur Bestimmung des Durchflusses	33
12.3	Bestimmung der Fließgeschwindigkeit	34
12.4	Bestimmung des Wasserstandes oder der Wassertiefe.....	34
12.5	Bestimmung der mittleren Sohlenhöhe.....	35
12.6	Gerinnebreite.....	36
13	Ausrüstung einer Messstation	36
13.1	Allgemeines	36
13.2	Konstruktion und Bauweise der Anlage	37
13.2.1	Wandler	37
13.2.2	Wandlerkabel	38
13.3	Reflektoren.....	39
13.4	Bauarbeiten.....	41
13.5	Zeitsteuerung und Verarbeitung von Signalen.....	41
13.5.1	Allgemeines	41
13.5.2	Signal-Rausch-Verhältnis	42
13.5.3	Aufrechterhaltung des Signals (Verstärkungsregelung)	42
13.5.4	Signalerfassung	43
13.5.5	Filterung nach der Erfassung.....	44
13.6	Eigenkontrolle des Systems.....	44
13.7	Standortspezifische Daten (oder Standortparameter)	45
13.8	Uhrzeit und Datum.....	46
13.9	Leistungskriterien des Systems	46
13.9.1	Allgemeines	46
13.9.2	Arbeitsumgebung.....	46
13.9.3	Wasserumgebung.....	46
13.9.4	Mechanische Umgebung	46
13.9.5	Extreme Umgebungsbedingungen	46
13.9.6	Stromquelle	46
13.9.7	Messunsicherheit	47
13.10	Systemausgabe	47
13.10.1	Anzeige vor Ort.....	47
13.10.2	Aufzeichnung vor Ort.....	47
13.10.3	Fernaufzeichnung.....	48
13.10.4	Angaben zur Systemdiagnose	48
13.11	Einbau.....	48
13.12	Inbetriebnahme	48
13.13	Bedienungsanleitung	49
13.14	Wartung	49
14	Messunsicherheiten	51
14.1	Allgemeines	51
14.2	Definition der Messunsicherheit	51
14.3	Messunsicherheit des Durchflusses	52
14.3.1	Gleichung für die Abschätzung der Messunsicherheit	52
14.3.2	Wirksame Anzahl von Messpfaden.....	53
14.3.3	Messunsicherheit der Pfadgeschwindigkeit, U_{IV}	53
14.3.4	Messunsicherheit des Schätzwertes der Gerinnebreite, U_W	54
14.3.5	Beispiele für die Abschätzung der Messunsicherheit	54
14.3.6	Schätzwert der Messunsicherheit des Durchflusses bei Niedrigwasser.....	56
14.3.7	Schätzwert der Messunsicherheit bei Hochwasser	57

Anhang A (informativ) Einführung in die Messunsicherheit	59
Anhang B (informativ) Leistungsleitfaden für hydrometrische Geräte zur Anwendung in technischen Standardbeispielen.....	67
Literaturhinweise.....	70

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 6416:2017) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 113 „Hydrometry“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 318 „Hydrometrie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2018 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 6416:2005.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 6416:2017 wurde von CEN als EN ISO 6416:2017 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 staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) 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 dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen, sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ist ISO/TC 113, *Hydrometry*, Unterkomitee SC 1, *Velocity Area Method* erarbeitet.

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

Gegenüber der vorherigen Ausgabe wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- der Titel wurde geändert;
- neuer Unterabschnitt (7.7) über kabellose Systeme wurde hinzugefügt;
- die bisherigen Abschnitte 9.2 und 11.6 wurden entfernt;
- Abschnitt 10 zur Auswahl der Messstelle wurde überarbeitet;
- Anhang A (*Einführung in die Messunsicherheit*) und Anhang B (*Leistungsleitfaden für hydrometrische Geräte zur Anwendung in technischen Standardbeispielen*) wurden hinzugefügt.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument 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.

Es beschränkt sich auf das Verfahren, bei dem die „Laufzeit von Ultraschallimpulsen“ ausgewertet wird, und es gilt nicht für Systeme, die die „Doppler-Verschiebung“, die „Korrelations-“ oder die „Wasserstands-Durchflussbeziehungen“ anwenden.

Dieses Dokument gilt nicht für Messungen in mit Eis bedeckten Flüssen.

ANMERKUNG Dieses Dokument fokussiert sich auf Durchflussmessungen im offenen Gerinne. IEC 60041 deckt die Rohrströmungsmessung ab.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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/TS 25377, *Hydrometric uncertainty guidance (HUG)*

3 Begriffe

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

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

4 Anwendung

4.1 Anwendungstypen

- a) offene Gerinne
- b) Gerinneaufteilungen
- c) geschlossene Kanäle

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

4.2 Eigenschaften und Beschränkungen

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 und 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 Mindestdiefe 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 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) 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, in Kubikmeter je Sekunde ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);
- $\bar{v}$ die mittlere Geschwindigkeit, in Metern je Sekunde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);
- A die Querschnittsfläche, in Quadratmetern (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

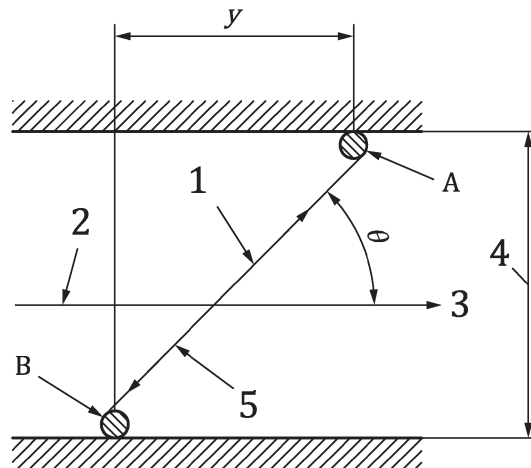
5.2.1 Der Durchfluss kann unter Anwendung des Geschwindigkeitsflächen-Verfahrens (siehe 5.1) unter der Voraussetzung berechnet werden, dass eine Beziehung zwischen den mit dem Ultraschall-Laufzeit-System ermittelten Geschwindigkeiten und der mittleren Querschnittsgeschwindigkeit besteht. Wenn diese zur 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 (L)
- 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 (m);
- c die Geschwindigkeit des Schalls in Wasser, in Meter je Sekunde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);
- θ der Winkel zwischen dem Messpfad und der Fließrichtung.

Die Auflösung nach der Pfadgeschwindigkeit ergibt:

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

Dabei ist

- v_{line} die Pfadgeschwindigkeit oder die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Gerinne in Fließrichtung, in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

6.1.3 Die Berechnung der Fließgeschwindigkeit

- ist unabhängig von der Schallgeschwindigkeit in Wasser,
- ist proportional zur Differenz der Laufzeiten,
- ist umgekehrt proportional zum Produkt der Laufzeiten,
- hängt entscheidend vom Winkel zwischen dem Messpfad und der Fließrichtung ab (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, um Messunsicherheiten zu minimieren.

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.
- 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 der 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 20 Hz und 20 000 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 $1\,400\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bis zu Werten etwas über $1\,500\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (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 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
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 $50\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ höher.	

Die Schallgeschwindigkeit c in Wasser wird wie folgt berechnet:

$$c = 1402,4 + 5,01T - 0,0551T^2 + 0,00022T^3 + 1,33S + 0,00013S^2 - 0,013TS + 0,0001T^2S + 0,016d \quad (4)$$

Dabei ist

- c die Schallgeschwindigkeit in Wasser, in Meter je Sekunde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);
- T die Wassertemperatur, in Grad Celsius;
- S der Salzgehalt des Wassers, in Gramm Salz je Liter Wasser;
- d die Wassertiefe, in Meter (m).

6.2.3 Ausbreitungsverluste

6.2.3.1 Schallübertragung in Wasser

6.2.3.1.1 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 *Divergenzverlust* (6.2.3.1.2) und *Dämpfungsverlust* (6.2.3.1.3).

6.2.3.1.2 *Divergenzverlust* 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.

6.2.3.1.3 *Dämpfungsverlust* 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 Faktoren *Streuung* und *Absorption* zurechenbar:

- *Streuung* ist die Umleitung in alle Richtungen der einfallenden Schallwellenenergie durch Schwebstoffe im Wasser, z. B. Luftblasen und suspendierte Feststoffe. Die Wirkung ist bei höheren Frequenzen des Wandlers größer.
- *Absorption* ist der Vorgang, bei dem Schallenergie durch Reibung im Wasser in Wärmeenergie umgewandelt wird, wenn es wiederholt zu Kompressionen und Expansionen durch eine vorbeiziehende Schallwelle kommt. Dieser Effekt ist ebenfalls von der Frequenz abhängig.

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.

6.2.3.2 Nachhall

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

6.2.3.3 Brechung

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

6.2.3.4 Reflexion

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

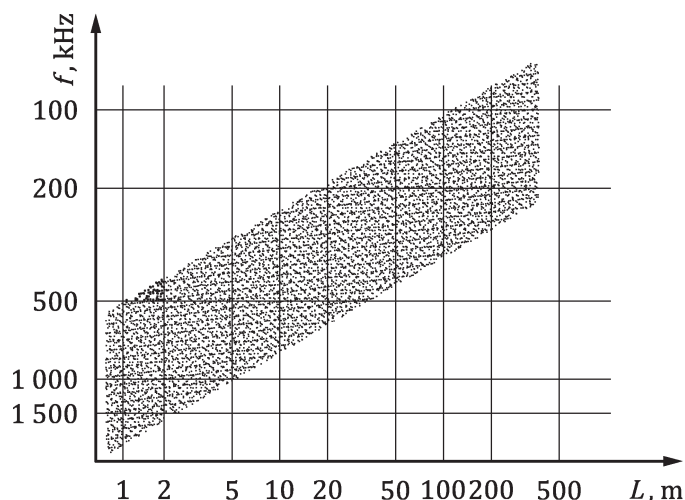


Bild 2 — Üblicherweise angewendete Wandlerfrequenzen für unterschiedliche Messstrecken

6.2.4 Krümmung der Messstrecke

6.2.4.1 Ein Schallimpuls wird von seinem Weg abgelenkt (Krümmung), 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 nach oben gerichteter Temperaturgradienten-Vektor auf. Dadurch wird die Geschwindigkeit des Schalls an der Oberfläche höher und folglich 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, wie oben beschrieben, 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 horizontale Messstrecke von 50 m etwa 0,5 m. Im Gegensatz dazu bewirken vertikale Dichtegradienten (die z. B. mit der Einbringung von Salzwasser in den Messbereich verbunden sein können), dass in der Nähe des Bodens eine höhere Schallgeschwindigkeit erzeugt und somit die Messstrecke in Richtung Oberfläche gekrümmt wird.

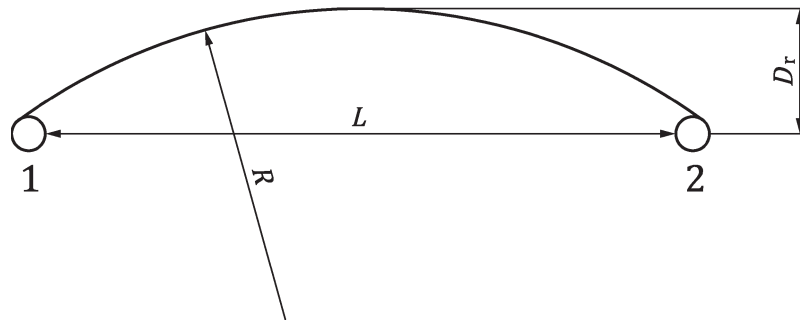
Ähnliche Wirkungen können durch Temperatur- oder Dichtegradienten mit horizontaler Verteilung erzeugt werden, wie z. B. im Fall der Teilbeschattung einer der Sonneneinstrahlung ausgesetzten Wasseroberfläche, oder die z. B. am Zusammenfluss, an dem ein Nebenfluss mit Wasser mit anderen Eigenschaften einmündet, 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 (m) (siehe Bild 3);
- c_1, c_2 die Geschwindigkeit des Schalls in der Tiefe d_1 oder d_2 , in Meter je Sekunde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$). (Diese Geschwindigkeiten können nach Gleichung (4) berechnet werden).



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 gestreut. Dies liegt daran, dass der Kontrast der akustischen Impedanz zwischen Wasser und Luft viel höher ist, als zwischen Wasser und Boden (Sand, Stein, Schlamm).

Fehler bei der Zeitsteuerung der Signale treten auf, wenn das Sekundärsignal mit dem ersten Zyklus des direkten Signals interferiert. Um diesen Effekt zu vermeiden, muss 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 Einstrecken-, 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 kann es möglich sein, 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-Durchflusssmesssystems 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 kann darin bestehen, 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 Durchflusssmessquerschnitt unter einer Brücke befindet der Fall.

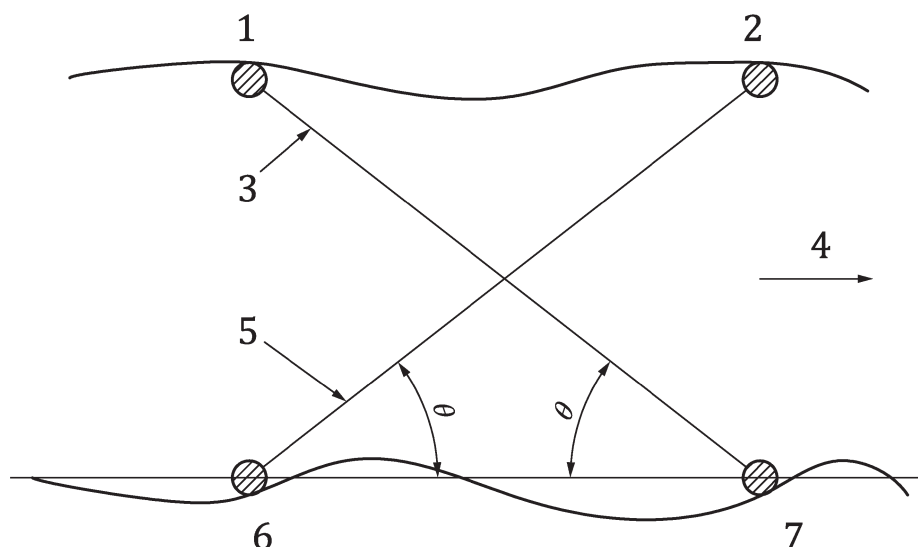
7.4 Kreuzstreckenanlagen

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 beeinflussen.

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 wünschenswert wäre. Da dies jedoch bestimmte Kenntnisse über die räumliche Änderung der Fließrichtung erfordert, ist es üblicherweise nicht möglich, anders zu handeln als die Näherung anzuwenden, 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 | 5 Übliche Messstrecke |
| 2 Wandler | 6 Wandler |
| 3 Gekreuzte Messstrecke | 7 Wandler |
| 4 Fließrichtung | |

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.

Obwohl 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. Es kann aber Fälle geben, in denen es nicht günstig ist, aktive Wandler an beiden Ufern einzubauen. Ein Ufer kann unzugänglich sein, sodass die Wartung des Systems erschwert 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).