

DIN EN ISO 748



ICS 17.120.20

Ersatz für
DIN EN ISO 748:2000-03

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

Hydrometry –
Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats
(ISO 748:2007);
German version EN ISO 748:2007

Hydrométrie –
Mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts au moyen de débitmètres ou
de flotteurs (ISO 748:2007);
Version allemande EN ISO 748:2007

Gesamtumfang 52 Seiten

Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 748:2007) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 318 „Hydrometrie“ (Sekretariat: BSI, Vereinigtes Königreich) des Europäischen Komitees für Normung (CEN) ausgearbeitet.

Die nationalen Normenorganisationen sind verpflichtet, die EN dann vollständig und unverändert in ihr nationales Normenwerk zu übernehmen.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 119-06-10 AA „Hydrometrie“ im Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

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 4375	siehe DIN EN ISO 4375

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 748:2000-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Berechnungs- und Auswertungsverfahren zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit wurden überarbeitet;
- b) für die Bestimmung der Messunsicherheiten werden neue Kenndaten und Bestimmungsformeln angegeben;
- c) in den Anhängen wurden weitere Beispiele für Messanordnungen aufgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 748: 2000-03

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 772, *Hydrometrische Festlegungen — Begriffe und Zeichen*

DIN EN ISO 4375, *Hydrometrische Bestimmungen — Seilbahnsysteme für Messungen in Fließgewässern*

Deutsche Fassung

**Hydrometrie —
Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels
Fließgeschwindigkeitsmessgeräten oder Schwimmern
(ISO 748:2007)**

Hydrometry —
Measurement of liquid flow in open channels using current-
meters or floats
(ISO 748:2007)

Hydrométrie —
Mesurage du débit des liquides dans les canaux découverts
au moyen de débitmètres ou de flotteurs
(ISO 748:2007)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 21. September 2007 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 Management-Zentrum des CEN 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Grundlage des Messverfahrens	5
5 Auswahl und Abgrenzung einer Messstelle	6
5.1 Auswahl der Messstelle	6
5.2 Markierung der Messstelle	7
6 Messung der Querschnittsfläche	7
6.1 Allgemeines	7
6.2 Messung der Breite	7
6.3 Messung der Tiefe	8
7 Messung der Geschwindigkeit	9
7.1 Messung der Geschwindigkeit mit Fließgeschwindigkeitsmessgeräten	9
7.1.1 Fließgeschwindigkeitsmessgerät mit rotierendem Messelement (Messflügel)	9
7.1.2 Elektromagnetische Fließgeschwindigkeitsmessgeräte	9
7.1.3 Durchführung der Messung	10
7.1.4 Schräge Strömung	11
7.1.5 Verfahren zur Messung der mittleren Geschwindigkeit in einer Messlotrechten	11
7.1.6 Messabweichungen und Einschränkungen	16
7.2 Messung der Geschwindigkeit mit Schwimmern	16
7.2.1 Allgemeines	16
7.2.2 Auswahl der Messstelle	16
7.2.3 Durchführung der Messung	16
7.2.4 Schwimmerarten	17
7.2.5 Bestimmung der Geschwindigkeit	18
7.2.6 Hauptquellen von Messabweichungen	18
8 Berechnung des Durchflusses	19
8.1 Allgemeines	19
8.2 Grafisches Verfahren	19
8.2.1 Tiefe-Geschwindigkeits-Integration	19
8.2.2 Geschwindigkeits-Flächen-Integrationsverfahren (Isotachen-Verfahren)	20
8.3 Arithmetische Verfahren	22
8.3.1 Verfahren des mittleren Querschnitts	22
8.3.2 Querschnittsmittenverfahren	22
8.4 Verfahren der unabhängigen Messlotrechten	23
8.5 Verfahren des mittleren Querschnitts — Horizontale Ebenen	25
8.6 Bestimmung des Durchflusses aus Oberflächenschwimmer-Geschwindigkeitsmessungen	26
8.7 Bestimmung des Durchflusses für Änderungen des Wasserstandes	28
8.7.1 Allgemeines	28
8.7.2 Berechnung des Durchflusses	28
8.7.3 Berechnung des mittleren Wasserstandes	28
9 Messunsicherheiten bei der Durchflussmessung	29
9.1 Allgemeines	29
9.2 Definition der Messunsicherheit	29
9.3 Verfahren zur Berechnung der Messunsicherheit des Durchflusses bei der Messung der Geschwindigkeit mit dem Fließgeschwindigkeitsmessgerät	30
9.3.1 Allgemeines	30
9.3.2 Beiträge zur Messunsicherheit	31
9.3.3 Beispiel	32

9.3.4	Kombinierte Messunsicherheit	33
9.4	Verfahren zur Berechnung der Messunsicherheit des Durchflusses mit Messung der Fließgeschwindigkeit mit Schwimmern	33
9.4.1	Allgemeines	33
9.4.2	Beiträge zur Messunsicherheit	33
9.4.3	Kombinierte Messunsicherheit des Durchflusses	34
9.4.4	Beispiel	34
Anhang A (informativ) Korrektur für Durchhang, Zug, Gefälle und Temperatur bei der Messung der Querschnittsbreite mit dem Messband oder -draht		36
A.1	Korrektur für die Durchhang	36
A.2	Korrektur für den Zug	36
A.3	Korrektur für das Gefälle	37
A.4	Korrektur für die Temperatur	37
Anhang B (informativ) Entfernungsmessung über den Querschnitt		38
B.1	Winkelverfahren	38
B.2	Lineares Verfahren	38
B.3	Drehpunktverfahren	39
B.4	Andere Verfahren	39
Anhang C (informativ) Korrekturen für die Abtrift des Flügelkabels, wenn Tiefen mit einem nicht senkrecht zur Oberfläche eintauchenden Flügelkabel gemessen werden		41
Anhang D (informativ) Abdriftkorrektur		43
Anhang E (informativ) Messunsicherheit einer Geschwindigkeitsflächenmessung		44
E.1	Allgemeines	44
E.2	Messunsicherheiten in der Breite (u_b)	44
E.3	Messunsicherheiten der Tiefe (u_d)	44
E.4	Messunsicherheiten bei der Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit	45
E.4.1	Messzeit (u_e)	45
E.4.2	Anzahl von Punkten in der Messlotrechten (u_p)	45
E.4.3	Kalibrierung des Messflügels (u_c)	46
E.4.4	Anzahl der Messlotrechten (u_m)	46
Anhang F (informativ) Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit aus Schwimmermessungen		48
F.1	Festlegung von Querschnitten	48
F.2	Geschwindigkeitsmessungen	48
F.3	Bestimmung der Position des Schwimmers im Querschnitt	48
F.4	Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit	49
Literaturhinweise		50

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 748:2007) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 113 „Hydrometric determinations“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 318 „Hydrometrie“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2008, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2008 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 748:2000.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 748:2007 wurde vom CEN als EN ISO 748:2007 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt Verfahren zur Bestimmung von Geschwindigkeit und Querschnittsfläche von Wasser, das ohne Eisdecke durch offene Gerinne fließt, und für die Berechnung des daraus resultierenden Durchflusses fest.

Sie umfasst Verfahren, bei denen die Geschwindigkeiten mit Fließgeschwindigkeitsmessgeräten und Schwimmern gemessen werden. Obwohl diese Messungen in den meisten Fällen für die Bestimmung der Abflusstafel einer Pegelstation vorgesehen sind, befasst sich diese Norm nur mit Einzelmessungen des Durchflusses; die Daueraufzeichnung von Durchflüssen über einen Zeitraum wird in ISO 1100-1 und ISO 1100-2 behandelt.

ANMERKUNG Die Verfahren zur Bestimmung von Geschwindigkeit und Querschnittsfläche von Wasser, das mit einer Eisdecke bedeckt durch offene Gerinne fließt, werden in ISO 9196 festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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, *Hydrometric determinations — Vocabulary and symbols*

ISO 1088, *Hydrometry — Velocity-area methods using current-meters — Collection and processing of data for determination of uncertainties in flow measurement*

ISO 2537, *Hydrometry — Rotating-element current-meters*

ISO 3455, *Hydrometry — Calibration of current-meters in straight open tanks*

ISO/TS 15768, *Measurement of liquid velocity in open channels — Design, selection and use of electromagnetic current meters*

3 Begriffe

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

4 Grundlage des Messverfahrens

4.1 Die Grundlage dieser Verfahren besteht in der Messung von Geschwindigkeit und Querschnittsfläche. Es wird ein Messort gewählt, der den festgelegten Anforderungen entspricht (siehe Abschnitt 5); die Breite wird in Abhängigkeit von ihrer Größe entweder mit einem Stahlband oder einem anderen Vermessungsverfahren gemessen, und die Tiefe wird an einer Anzahl von Punkten (Messlotrechten genannt) über die Breite verteilt gemessen, die für die Bestimmung von Form und Fläche des Querschnittes ausreichend ist (siehe Abschnitt 6).

Geschwindigkeitsbeobachtungen mit Fließgeschwindigkeitsmessgeräten werden in jeder Messlotrechten vorgenommen, vorzugsweise zeitgleich mit der Messung der Tiefe, insbesondere bei instabilen Gewässerbetten (siehe 7.1.5).

Geschwindigkeitsbeobachtungen können auch mit Oberflächenschwimmern oder Tauchstäben erfolgen (siehe 7.2).

4.2 Der Durchfluss wird entweder arithmetisch oder grafisch berechnet, indem die Produkte aus Geschwindigkeit und Fläche für eine Reihe von Beobachtungen in einem Querschnitt summiert werden. Falls der Durchfluss über eine Einheitsbreite zu bestimmen ist, so wird dieser generell an den Einzelbeobachtungen an jeder Messlotrechten berechnet.

5 Auswahl und Abgrenzung einer Messstelle

5.1 Auswahl der Messstelle

Die ausgewählte Messstelle sollte nach Möglichkeit folgenden Anforderungen genügen:

- a) Das Gerinne an der Messstelle sollte gerade sein und einen gleichmäßigen Querschnitt und ein gleichmäßiges Gefälle aufweisen, um eine anormale Geschwindigkeitsverteilung möglichst klein zu halten. Wenn die Länge des Gerinnes begrenzt ist, wird bei Messungen mit dem Fließgeschwindigkeitsmessgerät empfohlen, dass die gerade Strecke vor dem Messgerät mindestens das Zweifache der geraden Strecke nach dem Messgerät beträgt.
- b) Strömungsrichtungen für alle Messpunkte in jeder Messlotrechten über die Breite sollten parallel zueinander und rechtwinklig zum Messquerschnitt verlaufen.
- c) Das Bett und die Ränder der Gerinne sollten stabil und klar begrenzt sein, um eine genaue Messung des Querschnittes zu erleichtern und gleich bleibende Bedingungen während und zwischen Durchflussmessungen sicherzustellen.
- d) Die Geschwindigkeitsverteilungskurven sollten in den vertikalen und horizontalen Messebenen regelmäßig sein.
- e) Bedingungen im Querschnitt und in seiner Nähe sollten auch so beschaffen sein, dass Änderungen in der Geschwindigkeitsverteilung während der Messdauer ausgeschlossen sind.
- f) Stellen, die Wirbel, Gegenströmungen oder ein stehendes Gewässer erkennen lassen, sollten vermieden werden.
- g) Der Messabschnitt sollte über seine Breite deutlich sichtbar und frei von Bäumen, Wasserpflanzen oder anderen Hindernissen sein.
- h) Die Abflussmessung von Brücken kann zweckmäßig und fallweise ein sicherer Weg zur Bestimmung von Breite, Tiefe und Geschwindigkeit sein. Bei Messungen von einer Brücke mit Strompfeilern sollte jeder Durchflussquerschnitt separat gemessen werden. Besondere Sorgfalt ist bei der Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilung erforderlich, wenn Brückendurchlässe überlastet oder blockiert sind.
- i) Die Wassertiefe an der Messlotrechten sollte bei allen Wasserständen ausreichend sein, um ein wirksames Eintauchen des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes oder Schwimmers zu ermöglichen, je nachdem, welches Messgerät verwendet wird.
- j) Falls die Messstelle als Dauermessstation eingerichtet wird, sollte sie jederzeit mit allen Messgeräten leicht zugänglich sein.
- k) Der Querschnitt sollte nicht in der Nähe von Pumpen, Schleusen oder Ableitungskanälen liegen, wenn zu erwarten ist, dass deren Betrieb während einer Messung zu ungleichförmigen Strömungsbedingungen führen könnte.
- l) Messstellen, an denen sich Strömungen verjüngen oder erweitern, sollten gemieden werden.

- m) In den Fällen, in denen Messungen in der Nähe einer Brücke durchgeführt werden müssen, wird empfohlen, dass die Messstelle vor der Brücke liegt. Wenn jedoch in besonderen Fällen die Ansammlung von Eis, Stammholz oder Geschwemmsel zu erwarten ist, ist es zulässig, dass die Messstelle hinter der Brücke liegt.
- n) Die Messung der Strömung unter einer Eisdecke wird in ISO 9196 behandelt. Für Ströme, bei denen sich eine Eisdecke bildet, dürfen die in dieser Internationalen Norm festgelegten Messanforderungen für die eisfreie Zeit angewendet werden.
- o) Es kann sich bei bestimmten Zuständen der Flussströmung oder des Wasserstandes als notwendig erweisen, Messungen mit dem Fließgeschwindigkeitsmessgerät an anderen Querschnitten als den für die Pegelstation gewählten durchzuführen. Dies ist zulässig, wenn keine bedeutenden, nicht erfassten Ab- oder Zuflüsse in der dazwischen liegenden Stromstrecke vorhanden sind und solange alle Strömungsmessungen auf Wasserstände bezogen werden, die am Haupt-Bezugsmessabschnitt registriert werden.

5.2 Markierung der Messstelle

5.2.1 Wenn die Messstelle als Dauermessstation festzulegen oder voraussichtlich häufig für eine zukünftige Messung zu verwenden ist, sollte sie mit Einrichtungen zur Markierung des Querschnittes und zur Bestimmung des Wasserstandes ausgestattet sein. Wenn die Messstelle nur einmal oder gelegentlich genutzt wird und dort keine Einrichtungen zur Wasserstandsmessung vorhanden sind, sollte mit Sorgfalt sichergestellt werden, dass der Wasserstand und/oder die Strömung sich während einer Messdauer nicht signifikant ändern.

5.2.2 Die Position jedes Querschnitts senkrecht zur mittleren Fließrichtung muss an den beiden Ufern mit deutlich sichtbaren und leicht identifizierbaren Marken festgelegt werden. Wenn eine Messstelle in einem Gebiet mit einer hohen Schneedecke liegt, können die Querschnittslinienmarken auf andere Objekte, wie z. B. Steinhügel, bezogen werden.

5.2.3 Der Wasserstand muss in Intervallen über die Messdauer an einem Pegel abgelesen werden, und der Pegelnullpunkt muss durch genaues Nivellieren auf einen Normal-Nullpunkt bezogen werden.

5.2.4 Es muss ein zusätzlicher Pegel am gegenüberliegenden Ufer angebracht werden, wenn die Wahrscheinlichkeit besteht, dass das Niveau des Wasserspiegels zwischen den beiden Ufern verschieden ist. Dies ist besonders bei sehr breiten Flüssen zu beachten. Als mittleres Niveau des Wasserspiegels und als Grundlage für das Querschnittsprofil des Stromes müssen die Mittelwerte der mit den beiden Pegeln durchgeführten Messungen verwendet werden.

6 Messung der Querschnittsfläche

6.1 Allgemeines

Das Querschnittsprofil des offenen Gerinnes am Messort muss an einer ausreichenden Anzahl von Messpunkten bestimmt werden, um die Form des Gewässerbettes zu bestimmen.

Die Lage jedes Messpunktes wird durch Messung seiner horizontalen Entfernung von einem festen Bezugspunkt an einem der Ufer des Gerinnes fluchtend mit dem Querschnitt bestimmt. Das ermöglicht nacheinander die Berechnung der Fläche der Einzelsegmente, die von aufeinander folgenden Messlotrechten getrennt werden, an denen Geschwindigkeiten gemessen werden.

6.2 Messung der Breite

6.2.1 Die Messung der Breite des Gerinnes und der Breite der Einzelsegmente kann durch Messen der horizontalen Entfernung von oder zu einem festen Bezugspunkt erreicht werden, der sich in derselben Ebene wie der Querschnitt an der Messstelle befinden muss.

6.2.2 Wo es die Breite des Gerinnes zulässt, müssen diese horizontalen Abstände direkt, z. B. mit einem Messband oder einem geeignet markierten Draht gemessen werden, wobei darauf zu achten ist, dass die in Anhang A angegebenen notwendigen Korrekturen vorgenommen werden. Die Intervalle zwischen den Messlotrechten, d. h. die Segmentbreiten, müssen auf gleiche Weise gemessen werden.

6.2.3 Wo das Gerinne für obige Messverfahren zu breit ist und ein Boot genutzt wird, kann die horizontale Entfernung mit optischen oder elektronischen Entfernungsmessgeräten unter Nutzung eines differenzierten globalen Positionsbestimmungssystems oder mit einem der in Anhang B genannten Verfahren bestimmt werden.

6.3 Messung der Tiefe

6.3.1 Die Messung der Tiefe muss in Intervallen erfolgen, die klein genug sind, um das Querschnittsprofil genau festzulegen. Die Zahl der Messpunkte für die Tiefe sollte identisch sein mit derjenigen für die Messung der Geschwindigkeit (siehe 7.1.3).

6.3.2 Die Tiefe ist entweder mit Pegelstäben oder Lotleinen oder anderen geeigneten Vorrichtungen zu messen. Wo das Gerinne tief genug ist, kann ein Echolot verwendet werden. Wenn die Geschwindigkeit hoch und das Gerinne tief genug ist, wird vorzugsweise ein Echolot oder eine andere Einrichtung verwendet, die keine großen Korrekturen erfordert. Schwierigkeiten können entstehen, wenn versucht wird, die Messung der Tiefe zu Zeiten hoher Geschwindigkeit durchzuführen. Anhang C dieses Dokumentes benennt alternative Verfahren.

6.3.3 Wenn ein Pegelstab oder eine Lotleine verwendet wird, sind mindestens zwei Ablesungen an jedem Messpunkt wünschenswert, und für die Berechnungen wird der Mittelwert verwendet, es sei denn, die Differenz zwischen den beiden Werten beträgt mehr als 5 %, wonach zwei weitere Messungen vorzunehmen sind. Wenn deren Werte innerhalb von 5 % liegen, sind sie für die Messung verwertbar, und die beiden früheren Messwerte entfallen. Wenn sie wieder um mehr als 5 % voneinander abweichen, sind keine weiteren Messungen vorzunehmen, sondern es ist der Durchschnitt aller vier Messwerte für die Messung zu verwenden, wobei zu beachten ist, dass die Genauigkeit dieser Messung herabgesetzt ist.

Wenn ein Echolot verwendet wird, muss an jedem Messpunkt immer der Mittelwert aus mehreren Messwerten genommen werden. Regelmäßige Kalibrierungen des Gerätes müssen unter gleichen Bedingungen von Salzgehalt und Temperatur des zu messenden Wassers durchgeführt werden.

Wenn es praktisch nicht möglich ist, mehr als einen Messwert für die Tiefe zu gewinnen, kann sich die Messunsicherheit erhöhen (siehe Abschnitt 9).

6.3.4 Wo Tiefenmessungen gesondert von den Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt werden, und der Wasserstand nicht stationär ist, muss er zur Zeit jeder Tiefenmessung beobachtet werden. Wenn dies nicht möglich ist, muss der Wasserstand in hinreichenden Intervallen beobachtet und sein Wert zur Zeit jeder Tiefenbestimmung durch Interpolation bestimmt werden.

6.3.5 Wenn sich während der Durchflussmessung das Bettprofil stark ändert, sollten Tiefenmessungen durchgeführt werden, indem eine Tiefenablesung an jedem Messpunkt zu Beginn und eine am Ende der Geschwindigkeitsmessung an jeder Messlotrechten genommen wird, und der Mittelwert dieser beiden Messungen ist als wirksame Tiefe zu verwenden. Wiederholte Peilungen sollten vorsichtig erfolgen, um Störungen des Gewässerbettes zu vermeiden.

6.3.6 Ungenauigkeiten bei den Messungen treten am häufigsten auf infolge:

- a) des Abweichens des Pegelstabes oder der Lotleine von der Vertikalen, insbesondere in tiefem Wasser bei hoher Geschwindigkeit;
- b) des Eindringens in das Gewässerbett mit dem Lotgewicht oder Pegelstab;
- c) der Beschaffenheit des Gewässerbettes bei Verwendung eines Echolotes.

Messabweichungen infolge a) können durch Verwendung eines Echolotes oder eines Druckmessgerätes, wo es einsetzbar ist, minimiert werden. Einer Abtrift der Lotleine kann mit einem stromlinienförmigen Bleigewicht am Ende eines feinen Drahtes begegnet werden. Die eingetauchte Länge des Drahtes muss korrigiert werden, wenn der Draht nicht senkrecht zum Wasserspiegel verläuft. Es wird empfohlen, dass der Auslenkwinkel der Lotleine aus der Vertikalen hinsichtlich enthaltenen Ungenauigkeiten nicht größer als 30° sein sollte. In Anhang C sind Verfahren zur Korrektur angegeben.

Messabweichungen infolge b) können verringert werden, indem am unteren Ende des Pegelstabes eine Grundplatte angebracht wird, oder indem eine Scheibe am Ende der Lotleine befestigt wird, vorausgesetzt, sie rufen keine zusätzliche Ausspülung von feinem Material aus dem Gewässerbett infolge der hohen Geschwindigkeiten hervor.

Messabweichungen infolge c) können verringert werden, indem eine Echolotfrequenz gewählt wird, die die Grenzfläche Gewässerbett-Wasser am besten darstellt.

6.3.7 In bestimmten Fällen, z. B. bei Überschwemmungen, kann die Bestimmung eines angemessenen Querschnittsprofils während der Messung unmöglich sein. Für diese Fälle muss das volle Profil mit Vermessungsverfahren entweder vor oder nach der Messung bestimmt werden. Es sollte jedoch beachtet werden, dass dieses Verfahren wegen einer möglichen Erosion oder Ablagerung im Querschnitt zwischen dem Zeitraum der Profilbestimmung und der Durchflussmessung Messabweichungen unterliegt.

7 Messung der Geschwindigkeit

7.1 Messung der Geschwindigkeit mit Fließgeschwindigkeitsmessgeräten

7.1.1 Fließgeschwindigkeitsmessgerät mit rotierendem Messelement (Messflügel)

Fließgeschwindigkeitsmessgeräte mit rotierendem Messelement müssen nach ISO 2537 und ISO 3455 aufgebaut, kalibriert und gewartet werden. Sie sollten nur in ihrem Kalibrierbereich verwendet und mit einer Aufhängeeinrichtung versehen sein, die der entspricht, die während der Kalibrierung verwendet wird.

In der Nähe der Mindestansprechdrehzahl ist die Messunsicherheit bei der Geschwindigkeitsbestimmung hoch. Geschwindigkeitsmessungen in der Nähe der Mindestansprechdrehzahl sollten mit großer Sorgfalt durchgeführt werden.

Bei hohen Geschwindigkeiten muss bei einem Fließgeschwindigkeitsmessgerät mit Messflügel der Flügel oder das Übersetzungsverhältnis, sofern vorhanden, verändert werden, um die Höchstumdrehungszahl mit dem Drehzahlmesser genau messen zu können.

Fließgeschwindigkeitsmessgeräte ohne rotierendes Messelement sind dort zu wählen, wo die Tiefe geringer als das Vierfache des Durchmessers des zu verwendenden Flügelrades oder des Körpers des Messgerätes selbst ist, je nachdem, welcher Wert größer ist. Kein Teil des Messgerätes darf den Wasserspiegel durchschneiden. Eine Ausnahme ist für den Fall gegeben, wo der Querschnitt auf einer Seite nur eine geringere Tiefe aufweist, aber der am besten verfügbare ist.

7.1.2 Elektromagnetische Fließgeschwindigkeitsmessgeräte

Elektromagnetische Fließgeschwindigkeitsmessgeräte sind für die Durchführung von Messungen der Punktgeschwindigkeit einsetzbar. Diese Fließgeschwindigkeitsmessgeräte haben den Vorteil, dass sie keine sich bewegenden Teile besitzen und damit keine Reibung und Widerstände auftreten. Sie sollten für den Geschwindigkeitsbereich kalibriert werden, für den sie zu verwenden sind, und sollten in ihren Genauigkeitsanforderungen den Fließgeschwindigkeitsmessgeräten mit rotierendem Messelement gleichartig sein. Sie sollten nicht außerhalb ihres Kalibrierbereichs verwendet werden. Elektromagnetische Fließgeschwindigkeitsmessgeräte können in geringeren Tiefen als Geräte mit Messflügeln einsetzbar sein sowie für das Erkennen und Messen von Rückströmungen.

Elektromagnetische Fließgeschwindigkeitsmessgeräte dürfen nicht in Wasser eingesetzt werden, dessen mittlere Tiefe geringer als das Dreifache der Vertikalabmessungen der Sonde ist (siehe ISO/TS 15768). Eine Ausnahme ist für den Fall gegeben, wo der Querschnitt auf einer Seite nur eine geringe Tiefe aufweist, aber der am besten verfügbare ist.

7.1.3 Durchführung der Messung

Geschwindigkeits- und Tiefenmessungen werden gewöhnlich gleichzeitig durchgeführt. Diese Verfahrensweise muss im Falle instabiler Gewässerbetten angewendet werden. Sofern jedoch die beiden Messungen zu verschiedenen Zeiten durchgeführt werden, müssen die Geschwindigkeitsbeobachtungen an einer ausreichenden Anzahl von Messstellen durchgeführt werden, und es muss zwischen den Beobachtungen die horizontale Entfernung nach 6.2.2 und 6.2.3 gemessen werden.

Bei der Entscheidung über die spezielle Anzahl n von Messlotrechten in schmalen Gerinnen (< 5 m), die für die Strömungsmessung an speziellen Orten festzulegen sind, ist nach folgenden Kriterien vorzugehen. Diese Kriterien gelten als Mindestanforderungen, und nur Praxiszwänge wie Zeitmangel, Kosten oder örtliche Bedingungen sollten zur Verringerung dieser Vorgaben führen.

- Gerinnebreite $< 0,5$ m $n = 5$ bis 6
- Gerinnebreite $> 0,5$ m und < 1 m $n = 6$ bis 7
- Gerinnebreite > 1 m und < 3 m $n = 7$ bis 12
- Gerinnebreite > 3 m und < 5 m $n = 13$ bis 16
- Gerinnebreite > 5 m $n \geq 22$

Für Gerinnebreiten > 5 m muss die Zahl der Messlotrechten so gewählt werden, dass der Durchfluss in jedem Abschnitt, so weit möglich, weniger als 5 % des Gesamtdurchflusses beträgt und dass in keinem Fall 10 % überschritten werden.

In allen Fällen sind, zusätzlich zu den oben Genannten, Messungen der Tiefe (Tiefenmessungen) am Gewässerrand vorzunehmen. Die erste und die letzte Messlotrechte sollten so dicht wie in der Praxis möglich am Gewässerrand angeordnet werden.

Es wird weiterhin empfohlen, dass der Ort der Messlotrechten nach einer zuvor durchgeführten Querschnittsmessung ausgewählt wird.

Das Fließgeschwindigkeitsmessgerät ist bei flachen Gerinnen mit einer Stange oder bei tieferen Gerinnen durch Abhängen an einem Seil oder Stab in der gewünschten Position in jeder Messlotrechte zu halten. Das Messgerät ist so zu halten, dass es nicht von Störungen der Strömung beeinflusst wird.

Durchflusszähler oder Geschwindigkeitsanzeiger mit Digitalanzeige mit geringer Auflösung sollten nicht bei niedrigen Geschwindigkeiten, z. B. kleiner als 0,15 m/s verwendet werden.

Wenn die Ausrichtung des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes überprüft werden kann, z. B. bei Eintauchmessung mit Stangen, sollte das Messgerät im rechten Winkel zum Messquerschnitt gehalten werden. Wenn schräge Strömung auftritt oder der Querschnitt nicht im rechten Winkel zur Strömungsrichtung (siehe 7.1.4) liegt und das Messgerät aufgehängt ist, wird es sich selbst mit der Strömungsrichtung ausrichten. In solchen Fällen muss es dem Messgerät ermöglicht werden, dass es sich vor Zählbeginn der Strömung anpasst.

Es ist darauf zu achten, dass die Beobachtungen mit dem Fließgeschwindigkeitsmessgerät nicht durch zufällige Oberflächenwellen und durch Wind beeinflusst werden.

Wenn in einer Messlotrechten eine Anzahl von Punkten zu messen ist, kann eine Anzahl von Fließgeschwindigkeitsmessgeräten, die alle an demselben Stab befestigt sind, für die gleichzeitige Messung der entsprechenden Geschwindigkeiten verwendet werden, wobei keine gegenseitige störende Beeinflussung auftreten darf.

Bei starker Auslenkung des Seils, an dem das Messgerät aufgehängt ist, muss die Tiefe an diesem Messpunkt korrigiert werden. Es kann kein allgemein gültiger Korrekturfaktor angegeben werden, sondern dieser muss vom Anwender für das jeweilige Messgerät und die Messbedingungen bestimmt werden (siehe Anhang C).

ANMERKUNG Auswahl und Einsatz entsprechender Aufhängeeinrichtungen sind in ISO 3454 und ISO 4375 beschrieben.

Die Geschwindigkeit an jedem gewählten Punkt ist zu messen, durch Einsatz des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes mit rotierendem Messelement für mindestens 30 s.

Wo die Geschwindigkeit periodischen Schwankungen von mehr als 30 s unterworfen ist, sollte die Messzeit entsprechend erhöht werden (siehe ISO 1088).

Das Fließgeschwindigkeitsmessgerät ist regelmäßig für eine Kontrolle aus dem Wasser zu nehmen oder an die Oberfläche zu bringen, gewöhnlich, wenn von einer Messlotrechten zur anderen gewechselt wird.

Sofern möglich, sollte eine Leerlaufprüfung vor und nach jeder Durchflussmessung durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass der Mechanismus frei funktioniert (siehe ISO 2537).

In Gerinnen mit nicht stationärer Strömung ist es möglich, Änderungen des Gesamtdurchflusses während der Messdauer nicht nur durch Beobachtung der Änderung des Wasserstandes, sondern auch durch kontinuierliches Messen der Geschwindigkeit an einigen geeignet gewählten Punkten im Hauptstrom zu korrigieren.

7.1.4 Schräge Strömung

Ist eine schräge Strömung nicht zu umgehen, muss der Winkel der Strömungsrichtung zur Senkrechten zum Querschnitt gemessen und die gemessene Geschwindigkeit berichtigt werden. Spezielle Messgeräte sind für die gleichzeitige Messung von Winkel und Geschwindigkeit an einem Punkt entwickelt worden. Wo diese jedoch nicht vorhanden sind und unbedeutender Wind herrscht, kann der Strömungswinkel über die Messlotrechte als gleich dem an der Oberfläche beobachteten Winkel gesetzt werden. Dieser Winkel kann mit geeigneten Einrichtungen gemessen werden, vorausgesetzt, dass der Bedienende oberhalb der Messlotrechten positioniert ist. Wenn das Gerinne sehr tief ist, oder wenn das örtliche Gewässerbettprofil sich schnell ändert, kann diese Annahme nicht ohne Bestätigung angenommen werden.

Wenn der gemessene Winkel zwischen der Fließrichtung und der Senkrechten zum Querschnitt θ ist, muss die für die Berechnung des Durchflusses verwendete Geschwindigkeit sein:

$$v_{\text{korrigiert}} = v_{\text{gemessen}} \cdot \cos \phi \quad (1)$$

ANMERKUNG Einige Fließgeschwindigkeitsmessgeräte, z. B. elektromagnetische Geräte, sind für die direkte Messung der Normalkomponente der Geschwindigkeit ausgelegt, wenn sie senkrecht zum Messquerschnitt einer schrägen Strömung gehalten werden. Diese Korrektur sollte in solchen Fällen nicht angewendet werden.

7.1.5 Verfahren zur Messung der mittleren Geschwindigkeit in einer Messlotrechten

7.1.5.1 Auswahl und Klassifizierung

Die Wahl des Verfahrens für die Geschwindigkeitsmessung ist von bestimmten Faktoren abhängig. Dabei handelt es sich um die zeitliche Variation des Wasserstandes, Breite und Tiefe des Gerinnes, Bedingungen des Gewässerbettes im Messabschnitt und die Stromstrecke davor, die Änderungsgeschwindigkeit des Wasserstandes, den gewünschten Genauigkeitsgrad und die verwendete Messeinrichtung.

Diese Verfahren werden wie folgt klassifiziert:

- a) Geschwindigkeitsverteilungsverfahren (siehe 7.1.5.2);
- b) Verfahren mit verringerten Messpunkten (siehe 7.1.5.3);
- c) Integrationsverfahren (siehe 7.1.5.4).

7.1.5.2 Geschwindigkeitsverteilungsverfahren

Mit diesem Verfahren werden Geschwindigkeitswerte aus Beobachtungen an einer Anzahl von Punkten in jeder Messlotrechten zwischen dem Wasserspiegel und dem Gerinnebett gewonnen. Anzahl und Abstand der Punkte sollten so gewählt werden, dass die Geschwindigkeitsverteilung in jeder Messlotrechten mit einer Messwertdifferenz zwischen zwei benachbarten Punkten von nicht mehr als 20 %, bezogen auf den höheren Wert, genau bestimmt wird. Die Position der oberen und unteren Messwertablesungen sollte unter Berücksichtigung der Festlegung nach 7.1.1 und 7.1.2 gewählt werden (siehe auch ISO 1088).

Die Geschwindigkeitsbeobachtungen an jeder Position werden dann grafisch dargestellt und der Durchfluss je Einheitsbreite oder die mittlere Geschwindigkeit mittels Planimeters, Digitalisiergerätes oder eines äquivalenten Verfahrens bestimmt. Die mittlere Geschwindigkeit in der Messlotrechten kann auch durch Division des Durchflusses je Einheitsbreite durch die Gesamttiefe ermittelt werden.

ANMERKUNG 1 Dieses Verfahren kann für Routinedurchflussmessungen ungeeignet sein, weil die scheinbare Präzisionszunahme durch Messabweichungen infolge einer Änderung des Wasserstandes während des langen Zeitraums für die Durchführung der Messung herabgesetzt werden kann.

ANMERKUNG 2 Obwohl dieser Abschnitt hauptsächlich von der Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit in einer Messlotrechten handelt, kann es erforderlich sein, dasselbe Prinzip bei der Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit nahe der vertikalen Begrenzung eines Gerinnes anzuwenden. Die Geschwindigkeitskurve kann vom letzten Messpunkt zum Gewässerbett oder der Gewässerwand extrapoliert werden durch Berechnung von v_x nach Gleichung (2):

$$v_x = v_a \left(\frac{x}{a} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2)$$

Dabei ist

- v_x die unbekannte Punktgeschwindigkeit in der extrapolierten Zone in einer Entfernung x vom Gewässerbett oder der Gewässerwand;
- v_a die Geschwindigkeit am letzten Messpunkt in einer Entfernung a vom Gewässerbett oder der Gewässerwand;
- m ein Exponent.

Die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}$ zwischen Gewässersohle (oder einer vertikalen Seite) und dem nächsten Messpunkt (wo die gemessene Geschwindigkeit v_a beträgt) kann direkt berechnet werden nach Gleichung (3):

$$\bar{v} = \left(\frac{m}{m+1} \right) v_a \quad (3)$$

Im Allgemeinen liegt m zwischen 5 und 7, aber er kann über einen weiteren Bereich schwanken, was vom hydraulischen Widerstand abhängt. Der Wert $m = 4$ gilt für raue Gewässerbetten oder senkrechte Gewässerwände, während $m = 10$ ein charakteristischer Wert für glatte Gewässerbetten oder senkrechte Gewässerwände ist.

m wird wie folgt berechnet:

$$m = \frac{C_{\text{ver}}}{\sqrt{g}} \left(\frac{2\sqrt{g}}{\sqrt{g} + C_{\text{ver}}} + 0,3 \right) \quad (4)$$

Dabei ist

g die Erdbeschleunigung, in m/s^2 ;

C_{ver} der Chezy-Koeffizient einer Messlotrechten, in $\text{m}^{0,5}/\text{s}$.

ANMERKUNG 3 Ein alternatives Verfahren, die Geschwindigkeit im Bereich nach dem letzten Messpunkt zu bestimmen, beruht auf der Annahme, dass die Geschwindigkeit für eine bestimmte Entfernung vom Bett des Gewässers entfernt proportional dem Logarithmus der Entfernung X von dieser Begrenzung ist. Wenn die beobachteten Geschwindigkeiten an Messpunkten in der Nähe des Gewässerbettes über $\log X$ grafisch dargestellt werden, dann kann die Regressionsgerade durch diese Messpunkte bis zur Begrenzung verlängert werden. Die Geschwindigkeiten nahe der Begrenzung können dann aus der grafischen Darstellung abgelesen werden.

7.1.5.3 Verfahren der verringerten Messpunkte

7.1.5.3.1 Allgemeines

Diese Verfahren, die weniger genau sind als die Verfahren, die das gesamte Geschwindigkeitsfeld benutzen, werden häufig verwendet, weil sie nicht so zeitaufwändig wie das Geschwindigkeitsverteilungsverfahren (7.1.5.2) sind. Sie beruhen jedoch auf angenommenen Geschwindigkeitsprofilen.

Es wird empfohlen, dass für einen neuen Messquerschnitt die Genauigkeit des gewählten Verfahrens durch Vergleich der Ergebnisse von Vorversuchen mit den Ergebnissen des Geschwindigkeitsverteilungsverfahrens bewertet wird.

7.1.5.3.2 Einpunkt-Verfahren

Geschwindigkeitsbeobachtungen müssen in jeder Messlotrechten durch Einbringen des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes in das 0,6-Fache der Tiefe unter der Oberfläche vorgenommen werden. Der beobachtete Wert muss als mittlere Geschwindigkeit in der Messlotrechten verwendet werden.

7.1.5.3.3 Zweipunkt-Verfahren

Geschwindigkeitsbeobachtungen müssen in jeder Messlotrechten durch Einbringen des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes in das 0,2-Fache und das 0,8-Fache der Tiefe unter der Oberfläche vorgenommen werden. Der Mittelwert der beiden Werte muss als mittlere Geschwindigkeit in der Messlotrechten verwendet werden.

7.1.5.3.4 Dreipunkt-Verfahren

Geschwindigkeitsbeobachtungen werden durch Einbringen des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes in jede Messlotrechte in das 0,2-, 0,6- und 0,8-Fache der Tiefe unter der Oberfläche vorgenommen. Die 0,6-Messung kann gewichtet und die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}$ durch Gleichung (5) erhalten werden:

$$\bar{v} = 0,25 (v_{0,2} + 2v_{0,6} + v_{0,8}) \quad (5)$$

7.1.5.3.5 Fünfpunkt-Verfahren

Geschwindigkeitsbeobachtungen werden durch Einbringen des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes in jede Messlotrechte in das 0,2-, 0,6- und 0,8-Fache der Tiefe unter die Oberfläche und möglichst nahe der Oberfläche und des Gewässerbettes durchgeführt. Die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}$ kann dann aus einer grafischen Darstellung des Geschwindigkeitsprofils mit einem Planimeter bestimmt werden oder nach Gleichung (6):

$$\bar{v} = 0,1 (v_{\text{Oberfläche}} + 3v_{0,2} + 3v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{Bett}}) \quad (6)$$

7.1.5.3.6 Sechspunkt-Verfahren

Geschwindigkeitsbeobachtungen werden durch Einbringen des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes in jede Messlotrechte in das 0,2-, 0,4-, 0,6- und 0,8-Fache der Tiefe unter die Oberfläche und möglichst nahe der Oberfläche und des Gewässerbettes durchgeführt (siehe 7.1.5.3.7.2). Die Geschwindigkeitsbeobachtungen an jedem Punkt werden grafisch dargestellt und die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}$ oder der Einheitsbreitendurchfluss mit einem Planimeter bestimmt.

Alternativ kann die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}$ algebraisch bestimmt werden nach Gleichung (7):

$$\bar{v} = 0,1 (v_{\text{Oberfläche}} + 2v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{Bett}}) \quad (7)$$

7.1.5.3.7 Einpunkt-Oberflächenverfahren

7.1.5.3.7.1 Bei sehr schnellen Abflussvorgängen oder anderen Bedingungen, bei denen obige Verfahren nicht anwendbar sind, muss die Geschwindigkeit an einem Punkt dicht unter der Oberfläche gemessen werden. Die Eintauchtiefe des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes muss über alle Messlotrechten einheitlich sein; und es ist Wert darauf zu legen, dass sichergestellt ist, dass die Beobachtungen am Fließgeschwindigkeitsmessgerät nicht durch zufällige Oberflächenwellen und Wind beeinflusst werden. Diese ‚Oberflächengeschwindigkeit‘ kann durch Multiplikation mit einem für den Querschnitt und den Durchfluss vorher festgelegten spezifischen Faktor in die mittlere Geschwindigkeit in der Messlotrechten umgerechnet werden.

Der Faktor muss für alle Wasserstände durch Korrelation der ‚Oberflächengeschwindigkeit‘ mit der Geschwindigkeit bei der 0,6-Tiefe, oder wenn eine größere Genauigkeit gewünscht wird, mit der mittleren Geschwindigkeit bestimmt werden, die mit einem der zuvor beschriebenen anderen Verfahren bestimmt wurde.

Es kann als Richtwert angegeben werden, dass der Faktor im Allgemeinen zwischen 0,84 und 0,90 schwankt, was von der Form des Geschwindigkeitsprofils abhängt; die höheren Werte zwischen 0,88 und 0,90 werden gewöhnlich gewonnen, wenn das Gewässerbett glatt ist.

7.1.5.3.7.2 Die Verwendung von Fließgeschwindigkeitsmessgeräten nahe der Oberfläche oder am Gerinnebett muss nach den Betriebsanleitungen des Herstellers erfolgen (siehe auch 7.1.1 und 7.1.2).

7.1.5.3.8 Alternative Probenahme-Verfahren

Alternative Probenahme-Verfahren zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit in der Messlotrechten können unter besonderen Umständen verwendet werden, z. B. bei hoher Geschwindigkeit, bei schnell wechselnden Wasserständen oder schwimmenden Partikeln, vorausgesetzt, dass das angewandte Verfahren durch Versuche nachvollzogen werden kann, um die gleiche Genauigkeit bei den Ergebnissen, wie bei den vorher genannten, zu erreichen.