

DIN EN ISO 748



ICS 17.120.20

Entwurf

Einsprüche bis 2020-10-14
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 748:2008-02

**Hydrometrie –
Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels
Fließgeschwindigkeitsmessgeräten (ISO/DIS 748:2020);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 748:2020**

Hydrometry –

Measurement of liquid flow in open channels –

Velocity area methods using point velocity measurements (ISO/DIS 748:2020);

German and English version prEN ISO 748:2020

Hydrométrie –

Mesurage du débit des cours d'eau –

Méthodes d'exploration du champ des vitesses utilisant le mesurage de la vitesse par point
(ISO/DIS 748:2020);

Version allemande et anglaise prEN ISO 748:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-08-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe 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/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe 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 oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 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 108 Seiten

DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 748:2020) 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 Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 119-01-05 AA „Hydrometrie (CEN/TC 318, ISO/TC 113)“ im DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

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

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

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

ISO 772:2011	siehe	DIN EN ISO 772:2011-11
ISO 4373	siehe	DIN EN ISO 4373
ISO 4375	siehe	DIN EN ISO 4375
ISO 5168:2005	siehe	DIN V 19218:2008-01
ISO/TS 25377:2007	siehe	DIN ISO/TS 25377:2008-01

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 748:2008-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 2 „Normative Verweisungen“ und Literaturhinweise aktualisiert;
- b) technische Änderungen;
- c) Dokument redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 772:2011-11, *Hydrometrie — Begriffe und Symbole (ISO 772:2011); Dreisprachige Fassung EN ISO 772:2011*

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

DIN EN ISO 4375, *Hydrometrie — Seilkrananlagen für Messungen in Fließgewässern*

DIN ISO/TS 25377:2008-01, *Leitfaden zu Messunsicherheiten in der Hydrometrie (HUG) (ISO/TS 25377:2007); Deutsche Fassung CEN ISO/TS 25377:2007*

DIN V 19218:2008-01, *Durchflussmessung von Fluiden — Verfahren zur Unsicherheitsermittlung (ISO 5168:2005, modifiziert)*

— Leerseite —

<i>Titel de:</i>	Hydrometrie — Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten (ISO/DIS 748:2020)
<i>Titel en:</i>	Hydrometry — Measurement of liquid flow in open channels — Velocity area methods using point velocity measurements (ISO/DIS 748:2020)
<i>Titel fr:</i>	Hydrométrie — Mesurage du débit des cours d'eau — Méthodes d'exploration du champ des vitesses utilisant le mesurage de la vitesse par point (ISO/DIS 748:2020)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Vorwort	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Grundlage der Messverfahren	7
5 Messstellenauswahl	8
5.1 Auswahl der Messstelle	8
5.2 Markierung der Messstelle	9
6 Messung der Querschnittsfläche	9
6.1 Allgemeines	9
6.2 Messung der Breite	10
6.3 Messung der Tiefe	10
7 Messung der Geschwindigkeit	10
7.1 Bestimmung der Geschwindigkeit unter Anwendung von punktuellen Geschwindigkeitsmessungen	10
7.1.1 Durchführung der Messung	10
7.1.2 Querströmung	11
7.1.3 Verfahren zur Messung der mittleren Geschwindigkeit in einer Messlotrechten	12
7.1.4 Integrationsverfahren	14
7.1.5 Messabweichungen und Einschränkungen	15
7.2 Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit aus der Oberflächengeschwindigkeit	16
7.2.1 Allgemeines	16
7.2.2 Berührungslose Systeme	16
7.2.3 Einpunkt-Oberflächenverfahren mittels eines Fließgeschwindigkeitsmessgerätes	16
7.2.4 Messung der Geschwindigkeit mit Schwimmern	16
8 Berechnung des Durchflusses	17
8.1 Arithmetische Verfahren — Allgemeines	17
8.1.1 Verfahren des mittleren Querschnitts	17
8.1.2 Querschnittsmittenverfahren	18
8.1.3 Bathymetrische Messlotrechte	19
8.2 Verfahren der unabhängigen Messlotrechten	19
8.3 Verfahren des mittleren Querschnitts — Horizontale Ebenen	21
8.4 Geschwindigkeits-Index-Verfahren	21
9 Messunsicherheiten bei der Durchflussmessung	22
9.1 Allgemeines	22
9.2 Einschränkungen	22
9.3 Verfahren zur Berechnung der Messunsicherheit des Durchflusses bei der Messung der Geschwindigkeit mit dem Fließgeschwindigkeitsmessgerät	24
9.3.1 Allgemeines	24
9.3.2 Beiträge zur Messunsicherheit	24
9.3.3 Beispiel	25
9.3.4 Kombinierte Messunsicherheit	26

9.4	Verfahren zur Berechnung der Messunsicherheit des Durchflusses bei der Messung der Fließgeschwindigkeit mit Schwimmern	27
9.4.1	Allgemeines	27
9.4.2	Beiträge zur Messunsicherheit.....	27
9.4.3	Kombinierte Messunsicherheit des Durchflusses	28
9.4.4	Beispiel.....	28
Anhang A (informativ) Einsatz von Fließgeschwindigkeitsmessgeräten zur Bestimmung der Geschwindigkeit an einem Punkt.....		30
A.1	Allgemeines	30
A.2	Fließgeschwindigkeitsmessgerät mit rotierendem Element (Messflügel)	30
A.2.1	Integrationsverfahren unter Anwendung eines Fließgeschwindigkeitsmessgerätes.....	30
A.3	Akustische Doppler-Geschwindigkeitsmessgeräte (ADV)	31
A.4	Akustisches Doppler-Gerät zum Messen von Strömungsprofilen (ADCP) — Stationäres Verfahren	31
A.5	Elektromagnetische Fließgeschwindigkeitsmessgeräte	32
Anhang B (informativ) Messung der Oberflächengeschwindigkeit mit Schwimmern		33
B.1	Messung der Geschwindigkeit mit Schwimmern.....	33
B.1.1	Allgemeines	33
B.1.2	Auswahl der Messstelle.....	33
B.1.2	Durchführung der Messung.....	33
B.2	Schwimmerarten	33
B.2.1	Oberflächenschwimmer.....	33
B.2.2	Doppelschwimmer.....	33
B.2.3	Andere Schwimmerarten	34
B.3	Bestimmung der Geschwindigkeit.....	34
B.3.1	Verfahren	34
B.3.2	Oberflächenschwimmer.....	34
B.3.3	Doppelschwimmer.....	34
B.3.4	Andere Schwimmerarten	34
B.4	Hauptquellen von Messabweichungen.....	34
B.5	Bestimmung des Durchflusses aus Oberflächenschwimmer-Geschwindigkeitsmessungen.....	35
Anhang C (informativ) Beispielsysteme zur Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeit.....		37
C.1	Oberflächengeschwindigkeitsradargeräte	37
C.1.1	Leitlinien zur Installation eines Oberflächenradars	37
C.2	Kameragestützte Geschwindigkeitsmessung	38
C.3	Laser.....	39
Anhang D (informativ) Messunsicherheiten bei der Geschwindigkeitsflächenmessung.....		40
D.1	Allgemeines	40
D.2	Messunsicherheiten in der Breite (u_b)	40
D.3	Messunsicherheiten der Tiefe (u_d)	40
D.4	Messunsicherheiten bei der Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit	41
D.4.1	Messzeit (u_e).....	41
D.4.2	Anzahl von Punkten in der Messlotrechten (u_p).....	42
D.4.3	Kalibrierung des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes mit rotierendem Element (u_c)	42
D.4.4	Anzahl der Messlotrechten (u_m)	42
Anhang E (informativ) Geschwindigkeitsmessung unter Eisbedingungen.....		44
E.1	Sicherheitsmaßnahmen für Messungen von der Eisdecke	44
E.2	Geschwindigkeitsflächenverfahren.....	44
E.2.1	Auswahl der Messstelle.....	45
E.2.2	Häufigkeit von Wasserabflussmessungen.....	45
E.2.3	Messung der Dicke der Eisdecke	45
E.2.4	Messung der Tiefe des Eisbreis	46
E.2.5	Bestimmung der effektiven Tiefe	46

E.2.6	Geschwindigkeitsmessungen	46
E.2.7	Durchflussmessungen unter Bedingungen einer teilweisen Eisdecke	48
E.2.8	Durchflussmessungen unter Bedingungen von mehrschichtigem Eis	48
E.2.9	Durchflussmessungen unter Bedingungen einer Wasserströmung über dem Eis	48
E.2.10	Durchflussberechnung	48
E.3	Verfahren der repräsentativen Messlotrechten	49
E.3.1	Kurzbeschreibung des Verfahrens	49
E.3.2	Auswahl der Messlotrechten und Bestimmung des Korrekturfaktors	49
E.3.3	Anwendungsgrenzen	49
E.4	Beurteilung von Messunsicherheiten bei Durchflussmessungen im Winter und Berechnungen	49
E.5	Ein Verfahren zur kontinuierlichen Berechnung des Durchflusses	50
Anhang F (informativ) Korrekturen für die benetzte Länge des Drahtes, wenn Tiefen mit einem nicht senkrecht zur Oberfläche eintauchenden Draht gemessen werden		51
Literaturhinweise		55

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 748:2020) 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.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 748:2007 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 748:2020 wurde von CEN als prEN ISO 748:2020 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO 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 Normungsthemen 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. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten 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 erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 113, *Hydrometry*, Unterkomitee SC 1, *Velocity area methods* erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt Verfahren zur Bestimmung von Geschwindigkeit und Querschnittsfläche von Wasser, das durch offene Gerinne fließt, und für die Berechnung des Durchflusses unter Einsatz von Geräten zur punktuellen Geschwindigkeitsmessung fest.

Sie umfasst Verfahren unter Anwendung von Fließgeschwindigkeitsmessgeräten mit rotierenden Elementen, akustischen Doppler-Geschwindigkeitsmessgeräten (ADV, en: Acoustic Doppler Velocimeter), akustischen Doppler-Geräten zum Messen von Geschwindigkeitsprofilen (ADVP, en: Acoustic Doppler Velocity Profiler) – Stationäres Verfahren, Messung der Oberflächengeschwindigkeit unter Einbeziehung von Schwimmern und anderen Systemen zur Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeit.

Obwohl einige allgemeine Verfahren erörtert werden, wird nicht im Einzelnen beschrieben, wie diese Systeme anzuwenden oder einzusetzen sind. Hinsichtlich detaillierter Verfahren sollte auf Leitlinien von Geräteherstellern und entsprechenden Behörden Bezug genommen werden.

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 772:2011, *Hydrometry — Vocabulary and symbols*

ISO 1088:2007, *Hydrometry — Velocity-area methods using current-meters — Collection and processing of data for determination of uncertainties in flow measurement*

ISO 2537:2007, *Hydrometry — Rotating-element current-meters*

ISO 3455:2007, *Hydrometry — Calibration of current-meters in straight open tanks*

ISO/TR 24578:2012, *Hydrometry — Acoustic Doppler profiler — Method and application for measurement of flow in open channels*

ISO 25377:2007, *Hydrometry — Hydrometric uncertainty guidance (HUG)*

ISO 5168:2005, *Measurement of fluid flow — Procedures for the evaluation of uncertainties*

3 Begriffe

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

4 Grundlage der Messverfahren

Die Grundlage hängt von der Messung von Geschwindigkeit und Querschnittsfläche ab.

Diese wird charakterisiert durch Folgendes:

- Es muss eine Messstelle gewählt werden, die den festgelegten Anforderungen entspricht.
- Die Querschnittsfläche muss nach einem in dieser Norm festgelegten, den Maßen entsprechenden Verfahren gemessen werden.
- Geschwindigkeitsbeobachtungen müssen nach einem in dieser Norm festgelegten Verfahren durchgeführt werden.

— Der Durchfluss muss nach einem in dieser Norm festgelegten Verfahren berechnet werden.

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

Dabei ist

Q Durchfluss;

$\bar{V}$ mittlere Geschwindigkeit;

A Querschnittsfläche.

5 Messstellenauswahl

5.1 Auswahl der Messstelle

Die ausgewählte Messstelle muss folgenden Anforderungen genügen:

- a) Das Gerinne an der Messstelle muss gerade sein und einen gleichmäßigen Querschnitt und ein gleichmäßiges Gefälle aufweisen, um eine anormale Geschwindigkeitsverteilung möglichst klein zu halten. Die gerade Strecke vor dem Messgerät muss mindestens das Zweifache der geraden Strecke nach dem Messgerät betragen.
- b) Strömungsrichtungen für alle Messpunkte in jeder Messlotrechten über die Breite müssen parallel zueinander und rechtwinklig zum Messquerschnitt verlaufen.
- c) Das Bett und die Ränder der Gerinne müssen bei allen Wasserständen 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 müssen in den vertikalen und horizontalen Messebenen regelmäßig sein.
- e) Bedingungen im Querschnitt und in seiner Nähe müssen auch so beschaffen sein, dass Änderungen in der Geschwindigkeitsverteilung während der Messdauer ausgeschlossen sind.
- f) Stellen, die Wirbel, Gegenströmungen oder Totwasser erkennen lassen, müssen vermieden werden.
- g) Der Messabschnitt muss über seine Breite deutlich sichtbar und frei von Bäumen, Wasserpflanzen oder anderen Hindernissen sein.
- h) Bei Messungen von einer Brücke mit Strompfeilern muss jeder Gerinnequerschnitt separat gemessen werden. Besondere Sorgfalt ist bei der Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilung erforderlich, wenn Brückendurchlässe überlastet oder blockiert sind.
- i) Die Wassertiefe am Querschnitt muss bei allen Wasserständen ausreichend sein, um sicherzustellen, dass unabhängig vom eingesetzten Gerät die Mindestkriterien des Herstellers für die Anwendung erfüllt werden.
- j) Falls die Messstelle als Dauermessstation einzurichten ist, muss sie jederzeit mit allen notwendigen Messgeräten, die den Strömungsbedingungen entsprechen, leicht zugänglich sein.
- k) Messungen, die direkt von einer Brücke erfolgen, sollten üblicherweise auf der stromabwärts gelegenen Seite durchgeführt werden, wobei darauf zu achten ist, durch Brückenpfeiler und andere Bauwerke verursachte Turbulenzen und Wirbel zu vermeiden.

- l) Der Querschnitt darf nicht in der Nähe von Pumpen, Schleusen oder Auslaufkanälen liegen, wenn zu erwarten ist, dass deren Betrieb während einer Messung zu ungleichförmigen Strömungsbedingungen führen könnte.
- m) Messstellen, an denen sich Strömungen verjüngen oder erweitern, müssen gemieden werden.
- n) Wenn ein geeigneter gerader Abschnitt eine Brücke einschließt, müssen Messungen durch Waten und vom Boot aus vor der Brücke durchgeführt werden.
- o) Die Messung der Strömung unter einer Eisdecke wird in Anhang E behandelt. Für Ströme, die der Bildung einer Eisdecke unterliegen, muss der Hauptteil dieser Norm angewendet werden, wenn der Strom frei fließend ist.
- p) Es kann sich bei bestimmten Zuständen der Flussströmung oder des Wasserstandes als notwendig erweisen, Messungen an anderen Querschnitten stromaufwärts oder stromabwärts des ursprünglich gewählten Ortes durchzuführen. Dies ist durchaus zulässig, wenn keine bedeutenden, nicht erfassten Ab- oder Zuflüsse in der dazwischen liegenden Stromstrecke vorhanden sind und solange alle Strömungsmessungen auf Wasserstände bezogen werden können, die am Haupt-Bezugsmessabschnitt registriert werden.

ANMERKUNG Ideale Messbedingungen sind gefunden, wenn alle Anforderungen erfüllt sind. Wenn keine idealen Bedingungen vorhanden sind, kann es nach wie vor möglich sein, eine Messung durchzuführen, jedoch erhöht sich die Unsicherheit.

5.2 Markierung der Messstelle

Eine Dauermessstation oder eine voraussichtlich häufig für eine zukünftige Messung zu verwendende Messstation muss mit Einrichtungen zur Markierung des Querschnittes und zur Bestimmung des Wasserstandes ausgestattet sein.

5.2.1 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, dürfen die Querschnittslinienmarken auf andere Objekte, wie z. B. Steinhügel, bezogen werden.

5.2.2 Der Wasserstand muss am Anfang und am Ende der Messdauer an einem Pegel abgelesen werden. Wenn sich der Wasserstand schnell ändert, wird empfohlen, alle 30 min eine Wasserstandsmessung durchzuführen.

5.2.3 Wenn die Möglichkeit besteht, dass das Niveau des Wasserspiegels zwischen zwei Ufern verschieden ist, muss ein zusätzlicher Pegel in Betracht gezogen werden. 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. Als mittleres Niveau des Wasserspiegels und als Grundlage für das Querschnittsprofil des Stromes muss der Mittelwert der mit den beiden Pegeln durchgeführten Messungen verwendet werden.

6 Messung der Querschnittsfläche

6.1 Allgemeines

Das Querschnittsprofil des offenen Gerinnes an der Messstelle muss an einer ausreichenden Anzahl von Messpunkten bestimmt werden, um die Form des Gewässerbettes zu bestimmen und die Unsicherheit bei der Berechnung der Querschnittsfläche zu minimieren.

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 vertikalen Ebene wie der Querschnitt an der Messstelle befinden muss.

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 Anzahl der Punkte, an denen die Tiefe zu messen ist, muss mindestens gleich der Anzahl der Punkte sein, an denen die Geschwindigkeit gemessen wird.

Die Anzahl der Probenahmepunkte hängt von der Veränderlichkeit der Wassertiefe im Querschnitt ab. Diese Anzahl ist angemessen, wenn die Anzahl der Punkte den erhaltenen Wert nicht wesentlich ändert.

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

7 Messung der Geschwindigkeit

7.1 Bestimmung der Geschwindigkeit unter Anwendung von punktuellen Geschwindigkeitsmessungen

Zur Messung der punktuellen Geschwindigkeit steht eine Reihe von Messgeräten zur Verfügung. Diese sind in Anhang A beschrieben.

7.1.1 Durchführung der Messung

Geschwindigkeits- und Tiefenmessungen werden gewöhnlich gleichzeitig durchgeführt. Diese Verfahrensweise muss insbesondere im Falle instabiler Gewässerbetten angewendet werden. Sofern jedoch die beiden Messungen zu verschiedenen Zeiten durchgeführt werden, wie z. B. bei einer bereits erfassten Station, müssen die Geschwindigkeitsbeobachtungen an einer ausreichenden Anzahl von Messstellen durchgeführt werden, und es muss zwischen den Beobachtungen die horizontale Entfernung nach 6.2 und 6.3 gemessen werden.

Für alle Messungen sollte die beste sachverständige Beurteilung eines erfahrenen Hydrographen verwendet werden, und es sollten detaillierte Anmerkungen zur Messung und zu den getroffenen Annahmen in die Aufzeichnung aufgenommen werden.

Bei der Entscheidung über die empfohlene Mindestanzahl von Messlotrechten in schmalen Gerinnen (< 5 m), die für die Strömungsmessung an speziellen Orten festzulegen sind, ist nach folgenden Kriterien vorzugehen.

- Gerinnebreite < 0,5 m $n \geq 15$
- Gerinnebreite > 0,5 m und < 5m $n \geq 20$
- Gerinnebreite > 5 m $n \geq 22$
- Die Nähe von benachbarten Messlotrechten sollte nicht geringer sein als die Mindestempfehlungen des Geräteanbieters für das konkrete Messgerät.

ANMERKUNG 1 Bei sehr schmalen Gerinnen lassen praktische Überlegungen möglicherweise nicht die empfohlene Mindestanzahl von Messlotrechten zu.

ANMERKUNG 2 Soweit möglich, sollten Messlotrechte so gewählt werden, dass der Durchfluss jedes Segments weniger als 5 % des Gesamtdurchflusses beträgt.

In allen Fällen sind, zusätzlich zu den oben Genannten, Messungen der Tiefe (Tiefenmessungen) am Gewässerrand vorzunehmen. Die erste und die letzte Messlotrechte müssen 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 für die punktuelle Geschwindigkeitsmessung eingesetzte Gerät muss in Position gehalten werden, um sicherzustellen, dass die Bewegung während der Messdauer minimiert wird. Es ist so zu halten, dass es nicht von Störungen der Strömung beeinflusst wird.

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.

Für eine Kontinuität in Bezug auf Vorgängerversionen dieser Norm können die folgenden Kriterien angewendet werden, jedoch wird der Grad der Unsicherheit der Gesamtmessung viel größer sein.

- 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 $n \geq 22$
- In Bezug auf Anhaltswerte für die prozentuale Messunsicherheit bei der Messung der mittleren Geschwindigkeit bedingt durch eine begrenzte Anzahl von Messlotrechten siehe D.4.4, Tabelle D.6.

7.1.2 Querströmung

Wenn eine Querströmung unvermeidbar ist, sollte entweder die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zum Querschnitt direkt gemessen werden oder der Betrag der Geschwindigkeit gemessen und auf der Grundlage des Winkels zur Senkrechten korrigiert werden. Spezielle Messgeräte sind für die gleichzeitige Messung von Winkel und Geschwindigkeit an einem Punkt entwickelt worden. Wo diese jedoch nicht verfügbar sind und unbedeutender Wind herrscht, kann der Strömungswinkel über die Messlotrechte als gleich dem an der Oberfläche beobachteten Winkel angenommen werden. Dieser Winkel kann mit geeigneten Einrichtungen gemessen werden, vorausgesetzt, dass der Bedienende oberhalb der Messlotrechten positioniert ist. Wenn das Gerinne sehr tief ist, Gezeiten ausgesetzt 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:

$$v_{\text{korrigiert}} = v_{\text{gemessen}} \times \cos\theta \quad (2)$$

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

7.1.3 Verfahren zur Messung der mittleren Geschwindigkeit in einer Messlotrechten

7.1.3.1 Auswahl und Klassifizierung

Die Wahl des Verfahrens für die Messung der mittleren Geschwindigkeit ist von bestimmten Faktoren abhängig. Dabei handelt es sich um die Sicherheit, verfügbare Zeit, Breite und Tiefe des Gerinnes, Bedingungen des Gewässerbettes im Messabschnitt und in der Stromstrecke davor, die Änderungsgeschwindigkeit des Wasserstandes, den gewünschten Genauigkeitsgrad und die verwendete Messeinrichtung.

Diese Verfahren werden wie folgt klassifiziert:

- a) Geschwindigkeitsverteilungsverfahren (siehe 7.1.3.2);
- b) Verfahren mit verringerten Messpunkten (siehe 7.1.3.3);
- c) Integrationsverfahren (siehe 7.1.3.4).

7.1.3.2 Geschwindigkeitsverteilungsverfahren

Mit diesem Verfahren werden Geschwindigkeitswerte aus Beobachtungen an einer Anzahl von Punkten in jeder Messlotrechten zwischen dem Wasserspiegel und der Gerinnesohle gewonnen. Anzahl und Abstand der Punkte müssen 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 muss unter Berücksichtigung der Festlegung nach 7.1.1 und 7.1.2 gewählt werden.

ANMERKUNG 1 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 (3):

$$v_x = v_a \left(\frac{x}{a} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$

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 (4):

$$\bar{v} = \left(\frac{m}{m+1} \right) v_a \quad (4)$$

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:

$$m = \frac{C_{\text{ver}}}{\sqrt{g}} \left(\frac{2\sqrt{g}}{\sqrt{g} + C_{\text{ver}}} + 0,3 \right) \quad (5)$$

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 $\log X$ graphisch dargestellt werden, dann kann die Regressionsgerade durch diese Messpunkte bis zur Begrenzung verlängert werden. Die Geschwindigkeiten nahe der Begrenzung können dann aus der graphischen Darstellung abgelesen werden.

7.1.3.2.1 Stationäres ADCP-Verfahren

Bei dem stationären ADCP-Verfahren wird das ADCP für eine festgelegte Zeit an einem festgelegten Ort gehalten und dann werden die Daten an dieser Messlotrechten gemittelt, um ein mittleres Geschwindigkeitsprofil oder eine tiefenintegrierte mittlere Geschwindigkeit an diesem Ort zu erhalten.

Es sollte beachtet werden, dass ADCP-Messgeräte die Geschwindigkeit in der Nähe der ADCP-Messwandler, über den Messwandlern oder in der Nähe des Gewässerbettes nicht messen können. Die aktuelle Herstellersoftware ermöglicht die Extrapolation in diesen Bereichen auf der Grundlage der gemessenen Geschwindigkeiten, um eine mittlere Geschwindigkeit für die Messlotrechte zu berechnen.

7.1.3.3 Verfahren der verringerten Messpunkte

7.1.3.3.1 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 (7.1.3.2) sind.

Es wird empfohlen, dass für einen neuen Messquerschnitt die Genauigkeit des gewählten Verfahrens durch das Geschwindigkeitsverteilungsverfahren bewertet wird.

7.1.3.3.2 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.

7.1.3.3.3 Zweipunkt-Verfahren

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

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

Ein alternatives Verfahren zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit einer Messlotrechte ist das Verfahren nach Kreps, bei dem Geschwindigkeitsbeobachtungen an der Oberfläche und bei dem 0,62-Fachen der Tiefe unterhalb der Oberfläche verwendet werden.

Bei Anwendung des Verfahrens nach Kreps müssen die Geschwindigkeitsbeobachtungen möglichst nahe der Oberfläche und bei dem 0,62-Fachen der Tiefe unterhalb der Oberfläche erfolgen. Siehe Gleichung (7).

$$\bar{v} = 0,31 \times v_0 + 0,634 \times v_{0,38} \quad (7)$$

ANMERKUNG Das „Verfahren nach Kreps“, das von dem österreichischen Hydrologen Harald Kreps entwickelt wurde, ist ebenfalls ein Zweipunkt-Verfahren, siehe Literaturhinweis Nr. 15.

7.1.3.3.4 Dreipunkt-Verfahren

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

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

7.1.3.3.5 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 $\bar{v}$ wird nach Gleichung (9) erhalten.

$$\bar{v} = 0,1(v_{\text{surface}} + 3v_{0,2} + 3v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{bed}}) \quad (9)$$

7.1.3.3.6 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. Die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}$ darf nach Gleichung (9) ermittelt werden.

$$\bar{v} = 0,1(v_{\text{surface}} + 2v_{0,2} + 2v_{0,4} + 2v_{0,6} + 2v_{0,8} + v_{\text{bed}}) \quad (10)$$

7.1.3.3.7 Alternative Probenahme-Verfahren

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

7.1.4 Integrationsverfahren

Bei diesem Verfahren wird die Geschwindigkeit über jede Messlotrechte durch Anheben und Absenken eines Fließgeschwindigkeitsmessgerätes mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gemessen.

7.1.4.1 Fließgeschwindigkeitsmessgerät

Beim Verfahren mit Fließgeschwindigkeitsmessgerät wird das Fließgeschwindigkeitsmessgerät über die gesamte Tiefe in jeder Messlotrechten mit gleichmäßiger Geschwindigkeit nach unten und nach oben

bewegt. Die Geschwindigkeit, mit der das Messgerät nach unten oder oben bewegt wird, sollte nicht mehr als 5 % der mittleren Wassergeschwindigkeit und in keinem Fall mehr als 0,04 m/s betragen. Es sollten zwei vollständige Zyklen in jeder Messlotrechten durchgeführt werden, und wenn die Ergebnisse um mehr als 10 % voneinander abweichen, sollte der Arbeitsgang (zwei vollständige Zyklen) wiederholt werden, bis die Ergebnisse innerhalb dieser Toleranz liegen.

Das Integrationsverfahren führt zu guten Ergebnissen, wenn die Messdauer ausreichend lang ist (60 s bis 100 s). Das Verfahren kann in Tiefen von weniger als 1 m angewendet werden, wird es aber gewöhnlich nicht.

Die mittlere Anzahl von Umdrehungen ist die Gesamtumdrehungszahl dividiert durch die Gesamtzeit für die Messung in dieser Messlotrechten. Die mittlere Geschwindigkeit kann aus der Gerätekalibrierung abgelesen werden, die der mittleren Anzahl von Umdrehungen entspricht. Messunsicherheiten, die durch den Einsatz von Messgeräten mit mehr als einer Kalibrierfunktion verursacht werden, sollten vermieden werden.

Der Durchfluss in der gewässerbett nahen Schicht kann unter Verwendung der am unteren Ende der gemessenen Fläche gemessenen Geschwindigkeit geschätzt werden, ähnlich dem Geschwindigkeitsverteilungsverfahren (7.1.3.2).

Wenn das Fließgeschwindigkeitsmessgerät die Geschwindigkeit direkt misst und die angezeigte Geschwindigkeit die mittlere Geschwindigkeit ist, ist der am Ende des Integrationszeitraums angezeigte endgültige Messwert die mittlere Geschwindigkeit in der Messlotrechten.

7.1.5 Messabweichungen und Einschränkungen

Schätzwerte möglicher Messabweichungen, die bei der Anwendung der in 7.1 im Einzelnen beschriebenen unterschiedlichen Verfahren auftreten können, sind in Abschnitt 9 angegeben. Es sollte beachtet werden, dass diese Schätzwerte mögliche zufällige Messabweichungen beinhalten, die selbst dann auftreten können, wenn alle bisher und nachstehend aufgeführten Sorgfaltsmaßnahmen eingehalten werden. Wenn die Messung nicht unter diesen günstigen Bedingungen durchgeführt wird, muss bei der Schätzung der Gesamtmessunsicherheit der Messung eine zusätzliche Messunsicherheit vorgesehen werden.

Messabweichungen können auftreten:

- a) bei instationärer Strömung;
- b) wenn Schwebstoffe die Funktionstüchtigkeit des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes beeinträchtigen;
- c) wenn eine Querströmung auftritt und die entsprechenden Korrekturfaktoren nicht genau bekannt sind;
- d) wenn das für die Geschwindigkeitsmessung eingesetzte Messgerät außerhalb des durch die Kalibrierung vorgegebenen Bereiches liegt;
- e) wenn die Anordnung für die Messung (wie z. B. Stangen oder Seile zur Aufhängung des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes, das Boot usw.) von der abweicht, die während der Kalibrierung des Messgerätes verwendet wurde, wodurch eine systematische Messabweichung eingebracht werden kann;
- f) wenn eine starke Störung des Wasserspiegels infolge Wind vorliegt;
- g) wenn das Gerät während der Messung nicht ständig an der richtigen Stelle gehalten wird oder eine oszillierende Bewegung auftritt. In letzterem Fall führen die Resultierende der Fließgeschwindigkeit und der Quergeschwindigkeiten zu erheblichen positiven Messabweichungen.

7.2 Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit aus der Oberflächengeschwindigkeit

7.2.1 Allgemeines

Traditionell wurde die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit aus der Oberflächengeschwindigkeit nicht unterstützt, da die Unsicherheiten hoch sind. Mit der Entwicklung der Technologien wird inzwischen anerkannt, dass es eine Reihe von Techniken und Messgeräten gibt, die in der Lage sind, die mittlere Geschwindigkeit mithilfe von Messungen von der Wasseroberfläche aus genauer zu messen.

Messgeräte, die dafür ausgelegt sind, den Durchfluss nur durch Messung der Oberflächengeschwindigkeit zu bestimmen, müssen den relevanten Teilen dieser Norm entsprechen.

Es muss auf ISO/TR 24577, *Hydrometry — Use of non-contact methods for measuring water surface velocity and discharge* Bezug genommen werden.

7.2.2 Berührungslose Systeme

Besondere Aufmerksamkeit ist Abschnitt 5 (Messstellenauswahl) dieser Norm zu widmen. Die Messung der Querschnittsfläche muss nach Abschnitt 6 dieser Norm erfolgen.

Der Faktor an einer Messstelle muss unter Anwendung einer bewährten Technik abgeleitet werden. Wenn die Messstelle regelmäßig zu nutzen ist, muss eine Indexbewertung berechnet werden. Diese muss auf die gemessene Oberflächengeschwindigkeit angewendet werden, um sicherzustellen, dass bei der Berechnung des Durchflusses die mittlere Geschwindigkeit verwendet wird.

7.2.3 Einpunkt-Oberflächenverfahren mittels eines Fließgeschwindigkeitsmessgerätes

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“ darf durch Multiplikation mit einem für den Querschnitt und den Durchfluss spezifischen, vorher festgelegten Faktor in die mittlere Geschwindigkeit in der Messlotrechten umgerechnet werden.

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

7.2.4 Messung der Geschwindigkeit mit Schwimmern

7.2.4.1 Allgemeines

Eine vollständige Beschreibung dieses Verfahrens ist in Anhang B enthalten.

Dieses Verfahren darf nur verwendet werden, wenn es unmöglich ist, andere Geräte zur punktuellen Messung einzusetzen; es ist jedoch eine nützliche Technik in Fällen der Vorklärung oder aufgrund von Zugangsschwierigkeiten, übermäßig hohen Geschwindigkeiten und Tiefen oder aufgrund des Vorhandenseins von Schwebstoffen.

7.2.4.2 Ausnahmen

Wo es nicht möglich ist, den Faktor direkt zu überprüfen, darf zur Orientierung angenommen werden, dass der Faktor für die Oberflächengeschwindigkeit allgemein zwischen 0,84 und 0,90 schwankt, was von der Form und dem Geschwindigkeitsprofil des Gerinnes abhängt.

7.2.4.3 Hauptquellen von Messabweichungen

Messabweichungen, die während der Messung der Oberflächengeschwindigkeit auftreten können, sind nachstehend aufgeführt. Sie müssen bei der Schätzung des Gesamtfehlers, wie in Abschnitt 9 angegeben, berücksichtigt werden.

Messabweichungen können auftreten:

- wenn der Faktor, mit dem die mittlere Geschwindigkeit aus der Oberflächengeschwindigkeit bestimmt wird, nicht genau bekannt ist;
- wenn der Querschnitt nicht richtig gemessen wurde;
- wenn der Querschnitt instabil ist, d. h. eine bewegliche Sohle vorliegt;
- wenn die gemessene Geschwindigkeit aufgrund von instabiler Strömung oder Querströmungen nicht die wahre Geschwindigkeit widerspiegelt;
- wenn Schwimmer eingesetzt werden und deren Bewegung relativ zur Bewegung der Wasseroberfläche durch Wind (systematisch) beeinflusst wird.

8 Berechnung des Durchflusses

8.1 Arithmetische Verfahren — Allgemeines

Alle nachstehend angeführten Verfahren können durch Hinzufügen von zusätzlichen bathymetrischen Messlotrechten ohne Geschwindigkeit verbessert werden. Dies ist besonders nützlich für Messungen der Oberflächengeschwindigkeit und für unterschiedliche Durchflussbedingungen, aber auch zur Verbesserung der Effizienz von Routinemessungen.

Wenn das Gewässerbett uneben ist, und die Zeit und Kosten es erlauben, kann die Bestimmung der Tiefe an Punkten mittig zwischen den markierten Messlotrechten, wie in Bild 2 dargestellt, eine genauere Bestimmung des Bereiches jeder Bahn liefern.

8.1.1 Verfahren des mittleren Querschnitts

Es wird angenommen, dass der Querschnitt aus einer Anzahl von Segmenten besteht, von denen jedes durch zwei benachbarte Messlotrechte miteinander verbunden ist (siehe Bild 1).

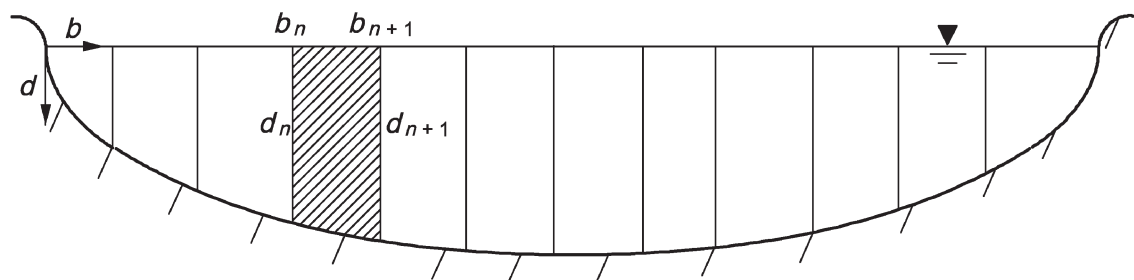


Bild 1 — Diagramm zur Darstellung des Verfahrens des mittleren Querschnitts

Der Durchfluss in dem grau unterlegten Feld wird wie folgt berechnet:

$$q = (b_{n+1} - b_n) \left(\frac{d_{n+1} + d_n}{2} \right) \left(\frac{\bar{v}_{n+1} + \bar{v}_n}{2} \right) \quad (11)$$

Dabei ist $\bar{v}$ die mittlere Geschwindigkeit in jeder Messlotrechten.

ANMERKUNG Der zusätzliche Durchfluss in den Segmenten zwischen dem Ufer und der ersten Messlotrechten und zwischen der letzten Messlotrechten und dem anderen Ufer kann mit vorstehend angeführter Gleichung unter der Annahme geschätzt werden, dass die Geschwindigkeit an den Ufern null ist. Wenn jedoch dieser Durchfluss einen bedeutenden Anteil am Gesamtdurchfluss hat, dann kann die in ANMERKUNG 2 von 7.1.3.2 angeführte Gleichung für die Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit im Uferbereich verwendet werden.

Der Gesamtdurchfluss ergibt sich aus der Summe der Durchflüsse in jedem Feld, folglich ist:

$$Q = \sum (b_{n+1} - b_n) \left(\frac{d_{n+1} + d_n}{2} \right) \left(\frac{\bar{v}_{n+1} + \bar{v}_n}{2} \right) \quad (12)$$

8.1.2 Querschnittsmittenverfahren

Der Messquerschnitt wird als eine Zusammensetzung aus einer Anzahl von Segmenten betrachtet, die je eine Messlotrechte enthalten (siehe Bild 2).

Der Durchfluss in jedem Segment muss durch die Multiplikation von $\bar{v} \cdot n$ mit der zugehörigen Tiefe und Breite, gemessen entlang der Wasserspiegellinie, berechnet werden. Diese Breite muss als Summe der halben Breite von der benachbarten Messlotrechten zu der Messlotrechten betrachtet werden, für die $\bar{v} \cdot n$ berechnet wurde, plus der halben Breite von dieser Messlotrechten zu der entsprechenden benachbarten Messlotrechten auf der anderen Seite. Der Wert für $\bar{v} \cdot n$ in den beiden den Ufern am nächsten gelegenen halben Breiten darf null gesetzt werden.

Aus diesem Grund sollte die erste und letzte Messlotrechte einer Messung möglichst dicht an den Ufern liegen, wenn die Berechnung nach dem Querschnittsmittenverfahren verwendet wird.

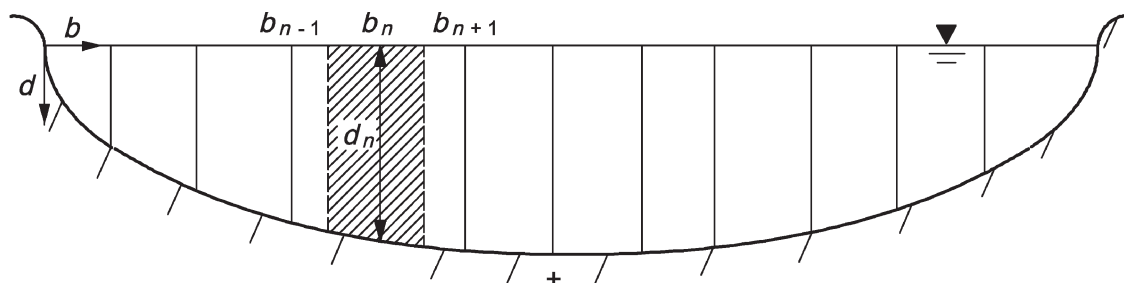


Bild 2 — Diagramm zur Darstellung des Querschnittsmittenverfahrens

Für dieses Verfahren wird der Durchfluss in jedem Feld wie folgt berechnet:

$$q = \bar{v}_n d_n \left(\frac{b_{n+1} - b_{n-1}}{2} \right) \quad (13)$$

Dabei ist $\bar{v}$ erneut die mittlere Geschwindigkeit in der Messlotrechten.

Die Berechnung wird für jede Messlotrechte durchgeführt, und der Gesamtdurchfluss durch den Querschnitt wird aus der Summe dieser Teildurchflüsse wie folgt erhalten:

$$Q = \sum \bar{v}_n d_n \left(\frac{b_{n+1} - b_{n-1}}{2} \right) \quad (14)$$

8.1.3 Bathymetrische Messlotrechte

Das Hinzufügen von bathymetrischen Messlotrechten ohne Geschwindigkeitsmessung ist ein sehr nützliches Verfahren, insbesondere für Messungen der Oberflächengeschwindigkeit und für unterschiedliche Durchflussbedingungen, aber auch zur Verbesserung der Effizienz von Routinemessungen.

Bathymetrische Messlotrechte können an einer beliebigen Stelle zwischen den normalen Messlotrechten eingefügt werden (eine oder mehrere und nicht unbedingt „in der Mitte“).

Es gibt hauptsächlich zwei Berechnungsmöglichkeiten, die beide zulässig sind:

- a) Der benetzte Bereich jedes Feldes wird mithilfe der bathymetrischen Messlotrechten und ohne Änderung der geschätzten Feldgeschwindigkeiten korrigiert;
- b) Die fehlenden Geschwindigkeiten bei bathymetrischen Messlotrechten werden geschätzt: anstelle einer einfachen linearen Interpolation werden die $\frac{v}{\sqrt{H}}$ -Verhältnisse linear (proportional zu den örtlichen Froude- oder Chezy-Zahlen) interpoliert. Der Vorteil besteht in der Berücksichtigung der gemessenen Tiefe bei der Schätzung der mittleren Geschwindigkeiten über die Felder. Diese Möglichkeit wird nicht empfohlen, wenn zwischen dem Rand und einer bathymetrischen Messlotrechten keine Messlotrechte für Geschwindigkeitsmessungen liegt

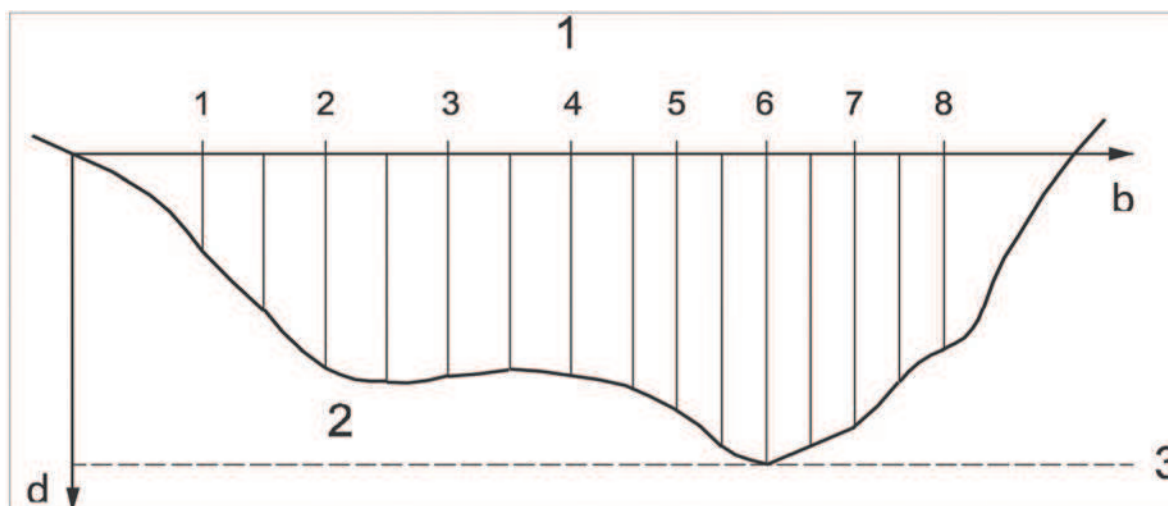
8.2 Verfahren der unabhängigen Messlotrechten

Das Verfahren ist für die Messung von Strömungen mit sich schnell änderndem Durchfluss zweckmäßig. Mehrere Messlotrechte werden gewählt und ihre Entfernungen von einem festen Referenzpunkt gemessen [Bild 3 a)]. Bei jeder Lotung werden Messungen von Geschwindigkeit und Tiefe mit einem der vorstehend beschriebenen Verfahren durchgeführt. Der Wasserstand wird am Beginn und am Ende von Messreihen in jeder Messlotrechten gemessen. Für jedes Segment wird eine gesonderte Abflusskurve erstellt. Danach kann der Durchfluss des Flusses bei einem gegebenen Wasserstand durch Kombination der Durchflüsse für jedes Segment bestimmt werden, wenn eine Korrektur hinsichtlich der Änderung des Wasserstandes zwischen dem Zeitpunkt der Messung und dem Zeitpunkt der Berechnung des Gesamtdurchflusses erfolgt.

Im Laufe der Zeit und über einen großen Strömungsbereich wird es möglich sein, für jede Messlotrechte eine Beziehung zwischen Wasserstand und Einheitsbreitendurchfluss abzuleiten. Es kann dann eine Kurvenschar konstruiert werden. Jede Kurve stellt eine unabhängige Abflusstafel für das entsprechende Segment der Gerinnebreite dar [Bild 3 b)]. Dies setzt voraus, dass die Gerinnegeometrie konstant bleibt und dass keine Änderung in der Position einer Messlotrechten bezogen auf den Referenzpunkt auftritt.

Für einen gegebenen Wert des Wasserstandes wird der Gesamtdurchfluss in dem Querschnitt mit einem mathematischen Verfahren durch Summierung aller Segmentdurchflüsse [Bild 3 c)] oder mit einem graphischen Verfahren [Bild 3 d)] durch graphische Darstellung des Einheitsbreitendurchflusses für alle Messlotrechten und der Bestimmung der Fläche unter dieser Kurve bestimmt.

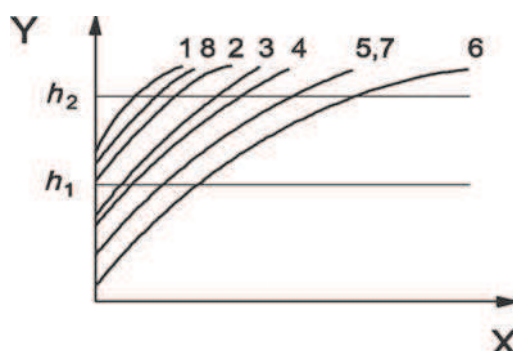
Der Gesamtdurchfluss in dem Querschnitt kann für jeden gegebenen Wert des Wasserstandes nach einem dieser Verfahren bestimmt werden.



Legende

- b Gerinnebreite (m)
- d Wasserstand (m)
- 1 Messlotrechte
- 2 Gerinnesohle
- 3 Wasserstands-Nullpunkt

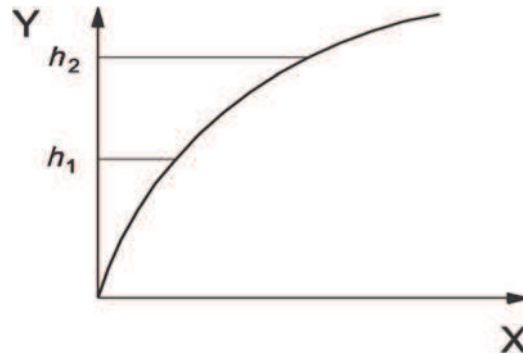
a) Messlotrechte im Querschnitt



Legende

- X Durchfluss je Einheitsbreite (m^3/s)
- Y Wasserstand (m)

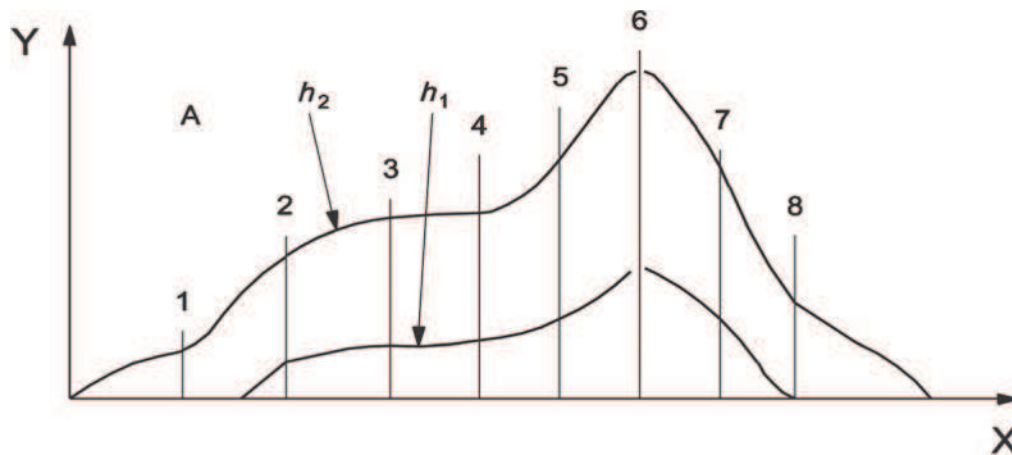
b) Wasserstands-Abflusskurven für einzelne Messlotrechte



Legende

X Gesamtdurchfluss (m^3/s)
Y Wasserstand (m)

c) Gesamtdurchfluss (rechnerisches Verfahren)



Legende

X Entfernung (m)
Y Durchfluss je Einheitsbreite (m^3/s)
A Verteilung von q für h_1 oder h_2

Bild 3 — Berechnung des Durchflusses aus Messungen mit dem Fließgeschwindigkeitsmessgerät — Verfahren der unabhängigen Messlotrechten

8.3 Verfahren des mittleren Querschnitts — Horizontale Ebenen

Anstelle die mittlere Geschwindigkeit in jeder Messlotrechten zu bestimmen, können die mittleren Geschwindigkeiten für eine Anzahl horizontaler Ebenen mit einem Verfahren bestimmt werden, das dem in 7.1.3.2 angegebenen Verfahren entspricht. Dann kann ein gleichartiges Verfahren wie das in 8.1.1 angeführte für die Bestimmung des Durchflusses verwendet werden. Die Verwendung der Horizontal- und Vertikal-Ebenen-Berechnung ist besonders geeignet für Messungen in regelmäßig geformten Gerinnen, da sie eine Überprüfung der Genauigkeit der Berechnung ermöglicht.

8.4 Geschwindigkeits-Index-Verfahren

Das Geschwindigkeits-Index-Verfahren wird angewendet, um durch Multiplikation der mittleren Gerinnegeschwindigkeit (V) und der Querschnittsfläche (A) Durchflusswerte (Q) zu erhalten. Der Wert V wird nach der Geschwindigkeits-Index-Bewertung bestimmt, die das Ergebnis der Korrelation von gemittelten Geschwindigkeitswerten mit Messwerten an repräsentativen Abschnitten ist. Um die Geschwindigkeits-Index-Bewertung zu erstellen, werden die „Messwerte“ zum Beispiel mit einem

berührungslosen Fließgeschwindigkeitsmessgerät gemessen, während V mit einem anderen Verfahren, z. B. ADCP-Messung oder konventionelle Fließgeschwindigkeitsmessung, gemessen wird. Dann wird entweder die einfache lineare Technik oder die komplexe Regressionstechnik angewendet, um die Geschwindigkeits-Index-Bewertung zu erarbeiten. Der Wert A wird auf der Grundlage der Wasserstands-Flächen-Bewertung bestimmt. Sobald die Geschwindigkeits-Index-Bewertung erstellt ist, sollten zu Kalibrierungs- und Verifizierungszwecken regelmäßige Durchflussmessungen durchgeführt werden.

9 Messunsicherheiten bei der Durchflussmessung

9.1 Allgemeines

Die Messunsicherheit einer Einzelmessung des Durchflusses wird in ISO 5168 erörtert, auf die verwiesen werden sollte. Zusätzliche Angaben enthält der GUM:1995¹, insbesondere die Abschnitte 2 und 3. In diesen Abschnitten wird ein allgemeiner Überblick über das Verfahren zur Schätzung der Unsicherheit für die Bedingungen einer stationären Strömung gegeben. In Anhang D werden die einzelnen Komponenten der Gesamtunsicherheit untersucht und Beispiele dafür angegeben. Es sollte jedoch nicht vorausgesetzt werden, dass diese allgemein anwendbar sind, und es sollte betont werden, dass die Beobachtungen, auf denen sie beruhen, nicht alle Arten und Größen der Flüsse umfasst haben (siehe ISO 1088).

9.2 Einschränkungen

Bei idealen Bedingungen und idealer Durchführung liegt die berechnete Unsicherheit üblicherweise zwischen 5 % und 7 %. Bei vielen Messungen, die unter nicht idealen Bedingungen durchgeführt werden, weisen die erhaltenen Unsicherheitswerte jedoch einige Einschränkungen auf.

Die folgenden Einschränkungen wurden identifiziert:

- a) Da die in Anhang D angegebenen informativen Werte für Unsicherheitskomponenten aus empirischen Studien abgeleitet sind, sind sie spezifisch für einen Messgerätetyp und für einige Messbedingungen. Insbesondere die für u_p -Unsicherheiten angegebenen Werte sollten auf der Grundlage einer neueren und vollständigeren Datenanalyse neu bewertet werden.
- b) Extrapolationen der oberen, unteren und Randgeschwindigkeit werden in der Unsicherheitsanalyse nicht berücksichtigt, obwohl ihr Beitrag möglicherweise nicht vernachlässigbar ist.
- c) Wenn die vertikale Integration der Geschwindigkeit direkt durchgeführt wird (Geschwindigkeitsverteilungsverfahren), wird der u_p -Komponente ein vernachlässigbarer Standardwert (0,5 %) zugewiesen. Bei nicht idealen Messungen mit nicht ausreichend Geschwindigkeitspunkten und häufig signifikanten Extrapolationen für oben/unten sollte der Wert von u_p höher als 0,5 % sein.
- d) Der größte Teil der berechneten Unsicherheit ergibt sich normalerweise aus dem Term u_m , der eine empirische Funktion der Anzahl der Messlotrechten m , ohne Berücksichtigung der räumlichen Verteilung der Messlotrechten, im Vergleich zu der transversalen Variation der Bettgeometrie und der Strömungsverteilung ist.
- e) Der Zeitintegrationsfehler bei schwankendem Durchfluss während der Messung wird nicht geschätzt (es ist zu beachten, dass sich dieser Effekt von der Hysterese unterscheidet, d. h. der Durchflussabweichung zu den stationären Bedingungen aufgrund kurzzeitiger Strömungseffekte).

1 Wird als ISO/IEC Guide 98-3 neu herausgegeben.

- f) Einige Unsicherheitskomponenten fehlen in der Gleichung, insbesondere sollte ein Term hinzugefügt werden, der systematische Messabweichungen aufgrund des Verfahrens der vertikalen Integration der Geschwindigkeit berücksichtigt (dies ist offensichtlich für Oberflächengeschwindigkeitsmessungen, aber auch für anderen Techniken). Andere fehlende Quellen für Messabweichungen: Position, Neigung und Ausrichtung der Messgeräte (Fließgeschwindigkeitsmessgeräte, Stab/Stange, Loten ...), die zu Geschwindigkeitsprojektionsfehlern sowie Positions- und Tiefenfehlern führen; und Änderungen der Sohle, wenn die bathymetrische Messung nicht gleichzeitig mit den Geschwindigkeitsmessungen erfolgt.

Hinsichtlich weiterer Verweisungen siehe Literaturhinweise.

9.2.1 Interpolierter Schätzer für die Varianz (IVE, en: Interpolated Variance Estimator)

Der interpolierte Schätzer für die Varianz (IVE; Cohn u. a., 2014) quantifiziert die Unsicherheit bei Geschwindigkeitsflächenmessungen in der Querschnittsmitte, unabhängig von der Messgeräteausstattung. Das Verfahren beginnt mit der von ISO 748 (2007) vorgeschlagenen Gleichung für die Messunsicherheit, aber anstatt Labor- oder empirische Ergebnisse zur Schätzung der Unsicherheit in der Tiefe und Geschwindigkeit zu verwenden, stützt es sich stattdessen auf Informationen, die in den vielen während der Messung erfassten Messlotrechten enthalten sind. Für die Messunsicherheit der Breite und für systematische Messunsicherheiten, die durch Fehler bei der Herstellung des Messgeräts verursacht werden, werden die in dieser Norm (ISO 748) vorgeschlagenen Werte verwendet. IVE berücksichtigt keine anhaltenden systematischen Messabweichungen, die durch den Anwender im Feld hervorgerufen werden, wie z. B. dauerhafte Neigung des Messgeräts oder Strömungswinkelabweichung. Prüfungen haben gezeigt, dass das IVE-Verfahren eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Messbedingungen aufweist als das ISO-Standardverfahren. Neuste Vergleiche von IVE mit anderen Verfahren zur Berechnung der Messunsicherheit (Despax u. a., 2016) zeigen, dass IVE im Vergleich zu anderen geprüften Verfahren einen realistischeren Schätzwert liefert. IVE sollte nur angewendet werden, wenn 10 oder mehr Messlotrechte verwendet werden.

9.2.2 Q+ Ähnlich wie das IVE- und Flaure-Verfahren ist das Q+-Verfahren (Le Coz u. a. (2012)) eine Variante des Verfahrens nach ISO 748 zur Berechnung der Unsicherheit von Durchflussmessungen nach Geschwindigkeitsflächenverfahren, mit der eine Verbesserung der Schätzung der Unsicherheiten aufgrund räumlichen Integration von Geschwindigkeiten und Tiefen über den gesamten Querschnitt angestrebt wird. Eine alternative Berechnung der Unsicherheit der vertikalen Integration der Geschwindigkeit (u_p) wird vorgeschlagen, wenn das Geschwindigkeitsverteilungsverfahren angewendet wird. Die Unsicherheit der Integration der seitlichen Strömung (u_m) wird auch direkt aus den Geschwindigkeits- und Tiefenmessungen geschätzt, anstatt dazu die Werte aus der Nachschlagtabelle von ISO 748 zu verwenden. Die Unsicherheit der Integration der seitlichen Tiefe und die Unsicherheit der Integration der Seitengeschwindigkeit werden getrennt in Form von zwei unterschiedlichen Unsicherheitskomponenten, $u_m(D)$ und $u_m(V)$, geschätzt, die kombiniert werden dürfen, um u_m zu berechnen. Somit kann die verbesserte Erfassung der Querschnittsgeometrie unter Verwendung von bathymetrischen Messlotrechten beurteilt werden. Die beiden Unsicherheitskomponenten $u_m(D)$ und $u_m(V)$ werden auf der Grundlage eines Winkels (oder einer Neigung) berechnet, der die maximal möglichen Messabweichungen im Gewässerbettprofil, d. h. in den benetzten Bereichen der Felder, widerspiegelt. Dieser Winkel kann anwenderdefiniert sein oder aus den Daten geschätzt werden (Despax et al., 2016).

9.2.3 Flaure

Bei dem Flaure-Verfahren (für die Flow Analogue Uncertainty Estimation) [Despax u. a. (2016)] wird die Unsicherheitskomponente in Bezug auf die begrenzte Anzahl von Messlotrechten geschätzt. Hochauflösende Referenzmessungen (mit 31 und mehr Messlotrechten) werden verwendet, um die Unsicherheitskomponente durch eine statistische Analyse zu beurteilen. Anstatt einer rein zufälligen Teilerfassung der Messlotrechten dieser Referenz-Durchflussermittlungen wird ein Verfahren der Teilerfassung erarbeitet, das das Verhalten eines Facharbeiters im Bereich Hydrometrie nachahmt. Es wird ein Stichprobenqualitätsindex (SQI, en: sampling quality index) vorgeschlagen, der eine aussagekräftigere Variable zu sein scheint als die Anzahl der Messlotrechten. Dieser Index berücksichtigt den Abstand zwischen den Messlotrechten und die Schwankung des Einheitsdurchflusses zwischen zwei Messlotrechten.

Dieses neue Verfahren wurde auf 3185 Durchflussermittlungen mit verschiedenen Strömungsbedingungen angewendet und mit den anderen Verfahren (ISO 748, IVE, Q+ mit einer einfachen automatisierten Parametrisierung) verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass FLAURE insgesamt mit dem Q+-Verfahren übereinstimmt, jedoch nicht mit den ISO 748- und IVE-Verfahren, die bei Durchflussmessungen mit weniger als 15 Messlotrechten deutlich überschätzte Messunsicherheiten erzeugen.

9.3 Verfahren zur Berechnung der Messunsicherheit des Durchflusses bei der Messung der Geschwindigkeit mit dem Fließgeschwindigkeitsmessgerät

9.3.1 Allgemeines

Das Messverfahren besteht kurz gefasst darin, dass der betrachtete Gerinnequerschnitt durch m Messlotrechte in Segmente unterteilt und die jeder Messlotrechten i zugeordnete Breite, Tiefe und mittlere Geschwindigkeit (bezeichnet als b_i , d_i bzw. v_i) ermittelt werden. Die mittlere Geschwindigkeit v_i an jeder Messlotrechten wird aus punktuellen Geschwindigkeitsmessungen in jeweils verschiedenen Tiefen der Messlotrechten berechnet. Der Durchfluss wird wie folgt berechnet:

$$Q = F \sum b_i d_i v_i \quad (15)$$

Dabei ist

Q der Durchfluss, in Kubikmeter je Sekunde;

F ein Faktor, als Einheit angenommen, der die diskrete Summe über die endliche Anzahl von Messlotrechten mit dem Integral der stetigen Funktion über den Messquerschnitt in Beziehung setzt.

9.3.2 Beiträge zur Messunsicherheit

Die relative (prozentuale) kombinierte Standardunsicherheit der Messung wird durch Gleichung (14) angegeben:

$$u(Q)^2 = u_m^2 + u_s^2 + \frac{\sum_{i=1}^m (b_i d_i \bar{v}_i)^2 (u_{b,i}^2 + u_{d,i}^2 + u_{\bar{v},i}^2)}{(\sum_{i=1}^m (b_i d_i \bar{v}_i))^2} \quad (16)$$

Dabei ist

$u(Q)$ die relative (prozentuale) kombinierte Standardunsicherheit des Durchflusses;

$u_{b,i}, u_{d,i}, u_{\bar{v},i}$ die relative (prozentuale) Standardunsicherheit der Breite, Tiefe bzw. mittleren Geschwindigkeit, gemessen in der Messlotrechten i ;

u_s die Messunsicherheit aufgrund unterschiedlicher Ansprechempfindlichkeit des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes (u_{cm}), des Breitenmessgerätes (u_{bm}) und des akustischen Tiefenmessgerätes (u_{ds}):

$$u_s = \sqrt{u_{cm}^2 + u_{bm}^2 + u_{ds}^2} \quad (17)$$

Für diesen Ausdruck darf ein geschätzter praktischer Wert von 1 % angenommen werden.

u_m die Messunsicherheit aufgrund der begrenzten Anzahl der Messlotrechten;

m die Anzahl der Messlotrechten.

Die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}_i$ in der Messlotrechten i ergibt sich als Schätzwert des Mittelwertes aus den punktuellen Geschwindigkeitsmessungen in einer oder mehreren Tiefen an der Messlotrechten (siehe z. B. 7.1.5.3). Die Messunsicherheit von $\bar{v}_i$ wird wie folgt berechnet:

$$u(\bar{v}_i)^2 = u_{p,i}^2 + \left(\frac{1}{n_i}\right)(u_{c,i}^2 + u_{e,i}^2) \quad (18)$$

Dabei ist

- $u_{p,i}^2$ die Messunsicherheit der mittleren Geschwindigkeit $\bar{v}_i$ infolge der begrenzten Anzahl von Tiefen, in denen die Geschwindigkeitsmessungen in der Messlotrechten i durchgeführt werden;
- n_i die Anzahl der Tiefen in der Messlotrechten i , in denen Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt werden;
- $u_{c,i}$ die Messunsicherheit der Geschwindigkeit an einem bestimmten Messpunkt in der Messlotrechten i , bedingt durch eine mangelhafte Wiederholpräzision des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes;
- $u_{e,i}$ die Messunsicherheit der Geschwindigkeit an einem Punkt in einer bestimmten Tiefe in der Messlotrechten i aufgrund von Geschwindigkeitsschwankungen (Pulsierung) im Strom während der Messzeit des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes.

Die Kombination der Gleichungen (15) und (17) ergibt:

$$u(Q)^2 = u_m^2 + u_s^2 + \frac{\sum_{i=1}^m (b_i d_i \bar{v}_i)^2 \left(u_{b,i}^2 + u_{d,i}^2 + u_{p,i}^2 + \left(\frac{1}{n_i}\right)(u_{c,i}^2 + u_{e,i}^2) \right)}{\left(\sum_{i=1}^m (b_i d_i \bar{v}_i) \right)^2} \quad (19)$$

Falls die Messlotrechten so angeordnet sind, dass die Segmentdurchflüsse $(b_i d_i v_i)$ näherungsweise gleich sind, und falls die Messunsicherheiten aus den Komponenten in den Messlotrechten gleich sind, vereinfacht sich Gleichung (18) zu:

$$u(Q) = \left[u_m^2 + u_s^2 + \left(\frac{1}{m}\right) \left(u_b^2 + u_d^2 + u_p^2 + \left(\frac{1}{n}\right)(u_c^2 + u_e^2) \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

9.3.3 Beispiel

Die Messunsicherheit ist an einer Fließgeschwindigkeitsmessstelle mit den folgenden Charakteristiken zu schätzen:

Anzahl der bei der Messung verwendeten Messlotrechten	20
Anzahl der Messpunkte in der Messlotrechten (0,2 und 0,8)	2
mittlere Geschwindigkeit im Messquerschnitt	über 0,3 m/s
Messzeit des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes:	3 min
Klasse des Fließgeschwindigkeitsmessgerätes	individuelle Klassifizierung

Relative Messunsicherheiten (Prozentsätze) der Einzelkomponenten können aus den Angaben im Anhang D entnommen werden, wo die Ergebnisse von Untersuchungen wiedergegeben werden, die seit der Veröffentlichung der ersten Ausgabe dieser Internationalen Norm von 1968 durchgeführt worden sind.

u_m 2,5	(Tabelle D.6)
u_s 1,0	(siehe vorstehend)
u_b 0,5	(siehe D.2, Zeile 1)
u_d 0,5	(siehe D.3, Zeile 2)
u_p 3,5	(Tabelle D.4)
u_c 1,0	(Tabelle D.5)
u_e 3,0 (bei 0,2-facher Tiefe)	(Tabelle D.3)
3,0 (bei 0,8-facher Tiefe)	(Tabelle D.3)

Somit ist

$$u_e = \sqrt{3^2 + 3^2} = 4,2$$

9.3.4 Kombinierte Messunsicherheit

Aus Gleichung (19) ergibt sich:

$$u(Q) = \left[u_m^2 + u_s^2 + \left(\frac{1}{m} \right) \left(u_b^2 + u_d^2 + u_p^2 + \left(\frac{1}{n} \right) (u_c^2 + u_e^2) \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$u(Q) = \left[2,5^2 + 1,0^2 + \left(\frac{1}{20} \right) \left(0,5^2 + 0,5^2 + 3,5^2 + \left(\frac{1}{2} \right) (1,0^2 + 4,2^2) \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

daraus ergibt sich

$$u(Q) = 2,89 \%$$

Die erweiterte Messunsicherheit bei dem Vertrauensniveau von 95 %, U_{95} , wird durch Anwendung des Erweiterungsfaktors von $k = 2$ erhalten.

Folglich ist:

$$\begin{aligned} U_{95}(Q) &= k \cdot u(Q) \\ &= 2 \times 2,89 \\ &= 5,78 \% \end{aligned}$$

Somit ist

$$U_{95}(Q) = 6 \%$$

Das Ergebnis der Messung des Durchflusses Q in m^3/s wird wie folgt angegeben:

$Q \text{ m}^3/\text{s} \pm 6 \%$ (erweiterte Messunsicherheit, Erweiterungsfaktor $k = 2$, angenähertes Vertrauensniveau = 95 %).

9.4 Verfahren zur Berechnung der Messunsicherheit des Durchflusses bei der Messung der Fließgeschwindigkeit mit Schwimmern

9.4.1 Allgemeines

Während eine Vielzahl von Untersuchungen zur Bestimmung der Messunsicherheiten bei Fließgeschwindigkeitsmessungen vorliegt, sind nur wenige Arbeiten zur Bestimmung der Messunsicherheiten für Schwimmermessungen bekannt. Als Ergebnis ist festzuhalten, dass aus der Fachliteratur und aus Forschungsberichten zu wenige Informationen vorliegen, um hier zuverlässige Empfehlungen zu geben. Die folgende Analyse dient daher als Leitfaden, bis weitere Informationen verfügbar sind.

9.4.2 Beiträge zur Messunsicherheit

Die Gleichung für den Durchfluss lautet (siehe 7.5 und B.5)

$$Q = F \sum K_f \bar{v}_i \left(\frac{A'_i + A_i}{2} \right) \quad (21)$$

Dabei ist

- | | |
|------------------|--|
| Q | der Durchfluss, in Kubikmeter je Sekunde; |
| F | ein Faktor, als Einheit angenommen, der die diskrete Summe über die endliche Anzahl von Messlotrechten mit dem Integral der stetigen Funktion über den Messquerschnitt in Beziehung setzt; |
| K_f | der Geschwindigkeitskoeffizient des Schwimmers; |
| $\bar{v}_i$ | die mittlere Schwimmergeschwindigkeit in dem i -ten Segment; |
| A_i und A'_i | die i -ten Segmentflächen der oberhalb bzw. unterhalb gelegenen Messquerschnitte. |

Die Gesamtmessunsicherheit des Durchflusses setzt sich zusammen aus:

- Messunsicherheiten der Breite: $u_{b,i}$ bei der Schätzung der Querschnittsflächen;
- Messunsicherheiten der Tiefe: $u_{d,i}$ bei der Schätzung der Querschnittsflächen (mit Berücksichtigung von Auskolken und Auffüllen, falls vorhanden);
- Messunsicherheiten der Bestimmung der Oberflächenschwimmergeschwindigkeit: $u_{v,i}$

bestehend aus:

- Messunsicherheit des Geschwindigkeitskoeffizienten des Schwimmers, $u_{k,f}$,
- Messunsicherheit der Weglänge, $u_{L,i}$,
- Messunsicherheit der Fließzeit des Schwimmers, $u_{t,i}$

Dabei ist

$$u_{v,i}^2 = u_{k,f}^2 + u_{L,i}^2 + u_{t,i}^2 \quad (22)$$

d) Messunsicherheit aufgrund der begrenzten Anzahl der verwendeten Segmente, u_m .

9.4.3 Kombinierte Messunsicherheit des Durchflusses

Das Berechnungsverfahren gleicht dem nach 9.3.2.

$$u_Q = \sqrt{u_m^2 + \frac{1}{m}(u_b^2 + u_d^2 + u_v^2)} \quad (23)$$

9.4.4 Beispiel

Schwimmermessung mit 5 Fließwegen und Anwendung von Oberflächenschwimmern:

$u_m = 7,5 \%$ (Tabelle D.6) Der Wert darf reduziert werden, vorausgesetzt, die Teilflächen werden aus einem detaillierten Querschnitt und die Geschwindigkeiten aus einer geglätteten Geschwindigkeitsverteilung ermittelt.

$u_{k,f} = 15 \%$ (Tabelle D.4)

$u_L = 5 \%$ (geschätzt)

$u_t = 5 \%$ (geschätzt)

$$\begin{aligned} u_v &= \sqrt{u_{k,f}^2 + u_L^2 + u_t^2} \\ &= \sqrt{15^2 + 5^2 + 5^2} \\ &= 16,5 \% \text{ (oder nur aus Tabelle D.4 entnommen = 15 \%)} \end{aligned}$$

$u_b = 1 \%$ (geschätzt)

$u_d = 1 \%$ (geschätzt)

somit ist

$$\begin{aligned} u(Q) &= \sqrt{7,5^2 + \frac{1}{5}(1+1+16,5^2)} \\ u(Q) &= 10,5 \% \end{aligned}$$

Die erweiterte Messunsicherheit bei einem Vertrauensniveau von angenähert 95 %, U_{95} , wird bei Anwendung eines Erweiterungsfaktors von $k = 2$ erhalten.

Daraus ergibt sich

$$\begin{aligned} U_{95}(Q) &= k \cdot u(Q) \\ &= 2 \times 10,5 \\ &= 21 \% \end{aligned}$$

Somit ist

$$U_{95}(Q) = 21 \%$$

Das Ergebnis der Messung des Durchflusses Q in m^3/s wird wie folgt angegeben:

$Q \text{ m}^3/\text{s} \pm 21 \%$ (erweiterte Messunsicherheit, Erweiterungsfaktor $k = 2$, angenähertes Vertrauensniveau = 95 %).