

# Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser



### **Impressum**

Herausgegeben von der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Kernerplatz 9

D-70182 Stuttgart

© Stuttgart, im Januar 2018

1. Auflage 1935 - Pegelvorschrift
2. Auflage 1950 - Pegelvorschrift
3. Auflage 1978 - Pegelvorschrift
4. Auflage 1997 - Pegelvorschrift
5. Auflage 2018 – Pegelhandbuch

Nachdruck und Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet

Die vorliegende Veröffentlichung ist zu beziehen bei der

Kulturbuch-Verlag GmbH

Postfach 47 04 49, 12313 Berlin

Telefon: 030 661-8484; Fax: 030 661-7828

E-Mail: [kbvinfo@kulturbuch-verlag.de](mailto:kbvinfo@kulturbuch-verlag.de)

Der Preis beträgt # € zzgl. Porto und Verpackung

ISBN: 978-3-88961-...-...

## **Vorwort**

Die Erhaltung und der Schutz des Lebensraumes Wasser sind zentrale Aufgaben unserer Zeit. Dazu gehören der Erhalt und die Wiederherstellung naturnaher Gewässer sowie der Ausgleich zwischen den Nutzungsansprüchen und den ökologischen Anforderungen und die zielgerichtete Ordnung aller menschlichen Einwirkungen auf das ober- und unterirdische Wasser.

Die gesicherte Kenntnis der hydrologischen Größen Wasserstand und Abfluss an Binnen- und Küstengewässern ist unabdingbare Voraussetzung für die Lösung dieser Aufgaben. Eine zeitnahe Aufbereitung und aussagekräftige Darstellung der Daten sind ein wesentliches Element, um den gesellschaftlichen Anforderungen an den gewässerkundlichen Dienst gerecht zu werden.

Der **Leitfaden „Hydrometrie der Länder und des Bundes“** beschreibt, wie gewässerkundliche Messstellen an oberirdischen Gewässern zu errichten, zu betreiben, zu warten und wie die Beobachtungen und Messungen durchzuführen und auszuwerten sind. Er besteht aus 5 Teilen:

Teil A – Stammtext

Teil B – Wasserstände und Durchflüsse – Binnen

Teil C – Daten und Kenngrößen – Binnen

Teil D – Wasserstände und Durchflüsse – Küste

Teil E – Daten und Kenngrößen – Küste

Im Stammtext sind die Grundsätze und Tätigkeiten zur Ermittlung von Wasserstand und Durchfluss umfassend festgelegt. Der Stammtext wird in den Teilen B bis E durch detaillierte Regelungen ergänzt. Wegen der Bedeutung der Wasserstandserfassung und Durchflussmessung unterliegen Planung, Bauausführung, Betrieb und Unterhaltung von Pegeln strengen Anforderungen. Damit wird gewährleistet, dass die Messergebnisse den Genauigkeitsanforderungen genügen und die Vergleichbarkeit von Daten auch über Landesgrenzen hinweg sichergestellt ist.

Der „Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch“ wurde als Fortschreibung der Pegelvorschrift (4. Auflage 1997) erarbeitet. Er ist eine technische Richtlinie und kann vom Bund, den Ländern oder Dritten verbindlich eingeführt werden.

Ein Teil der zu ermittelnden Parameter findet seine genaue Definition im Schriftenwerk zur Erstellung technischer Regeln, dem Deutschen Institut für Normierung e.V. (DIN).

Für die LAWA-KG

Dr. Ulrich Barjenbruch

(Obmann der KG)



## Inhaltsverzeichnis

<b>A.</b>	<b>Stamtext</b>	<b>A-1</b>
A.1	Rechtliche Grundlagen	A-1
A.2	Messnetz	A-1
A.2.1	Zweck	A-1
A.2.2	Aufbau	A-1
A.2.3	Optimierung	A-2
A.3	Messstelle	A-2
A.3.1	Standort	A-2
A.3.1.1	Wasserstandsmessstelle	A-2
A.3.1.2	Durchflussmessstelle	A-3
A.3.2	Ausstattung	A-3
A.3.3	Instandhaltung und Betrieb	A-4
A.3.4	Lage- und Höheneinmessung	A-4
A.3.4.1	Anforderungen	A-4
A.3.4.2	Geodätische Einmessung	A-4
A.3.4.3	Prüfen der Höhenlage des Lattenpegels	A-5
A.3.5	Stammdaten	A-5
A.3.5.1	Zweck und Erfordernis	A-5
A.3.5.2	Pegelstammbuch	A-5
A.3.5.3	Stammdatei	A-6
A.4	Grundsätze der Datenerfassung und -auswertung	A-6
A.4.1	Auswertung der Daten	A-6
A.4.2	Wasserstand	A-7
A.4.3	Durchfluss	A-7
A.4.4	Bereitstellung von gewässerkundlichen Informationen	A-8
A.4.5	Qualitätssicherung	A-9
A.5	Aufbewahrung der Messdaten und der Pegelunterlagen	A-9
A.5.1	Messdaten und analoge Pegelunterlagen	A-9
A.5.2	Messdaten und digitale Pegelunterlagen	A-9
A.5.3	Grundsätze der digitalen Datenhaltung	A-9
A.6	Arbeitsschutz an Messstellen	A-10
A.6.1	Grundsätze	A-10
A.6.2	Rechtliche Grundlagen	A-11
A.6.3	Gefährdungsbereiche	A-11
<b>B.</b>	<b>Wasserstand und Durchfluss – Binnen</b>	<b>B-1</b>
B.1	Qualitätsanforderungen	B-1
B.1.1	Allgemeines	B-1
B.1.2	Unsicherheiten	B-1
B.1.2.1	Grundlagen der Ermittlung von Unsicherheiten	B-1
B.1.2.2	Unsicherheit der Wasserstandsmessung	B-2
B.1.2.3	Unsicherheit der Durchflussermittlung aus Messungen	B-3
B.1.2.4	Unsicherheiten bei der Durchflussermittlung aus der W/Q-Beziehung	B-4
B.1.3	Maßnahmen zur Qualitätssicherung	B-4
B.1.3.1	Voraussetzungen	B-4
B.1.3.2	Qualitätssicherung bei der Wasserstandserfassung	B-4
B.1.3.3	Qualitätssicherung bei der Durchflussermittlung aus Messungen	B-5

B.1.3.4	Qualitätssicherung bei der Durchflussermittlung aus der W/Q-Beziehung	B-6
B.1.3.5	Weitere Maßnahmen	B-6
B.2	Anforderungen an Betrieb und Unterhaltung	B-7
B.3	Anforderungen an die Messstelle	B-8
B.3.1	Anforderungen an den Standort	B-8
B.3.1.1	Hydrologische und hydraulische Anforderungen	B-8
B.3.1.2	Rechtliche und planerische Gesichtspunkte	B-9
B.3.1.3	Gestaltung des Messprofils im Gewässer bei Messstellen zur Durchflussermittlung	B-9
B.3.2	Bauliche Gestaltung der Pegelstation	B-10
B.3.2.1	Allgemeines	B-10
B.3.2.2	Messstrecke	B-10
B.3.2.3	Pegelhaus	B-11
B.3.2.4	Seilkrananlagen	B-11
B.3.2.5	Messstege	B-12
B.3.2.6	Verwendung von Brücken	B-13
B.4	Messverfahren Wasserstand	B-14
B.4.1	Übersicht der gängigen Messverfahren für den Wasserstand	B-14
B.4.2	Verwendete Verfahren	B-16
B.4.2.1	Lattenpegel	B-16
B.4.2.2	Schwimmerpegel	B-17
B.4.2.3	Einperlpegel	B-18
B.4.2.4	Drucksondenpegel	B-19
B.4.2.5	Radarmessung	B-20
B.5	Durchfluss-Messverfahren	B-22
B.5.1	Übersicht der gängigen Messverfahren für den Durchfluss	B-22
B.5.1.1	Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten bzw. Zellen	B-22
B.5.1.2	integrierende und sonstige Messverfahren	B-23
B.5.1.3	kontinuierliche Messverfahren	B-24
B.5.2	Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten bzw. Zellen	B-25
B.5.2.1	Einführung in die Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten	B-25
B.5.2.2	Messflügel	B-26
B.5.2.3	Magnetisch-induktive Strömungsmesser	B-28
B.5.2.4	Ultraschall Punktmessung	B-29
B.5.2.5	Ultraschall Messung in Lotrechten bzw. „section by section“	B-29
B.5.2.6	Ultraschall Moving-Boat-Verfahren	B-31
B.5.3	Integrierende und sonstige Messverfahren	B-32
B.5.3.1	Einführung in die integrierenden und sonstigen Messverfahren	B-32
B.5.3.2	Ablaufmessung mit dem Messflügel	B-33
B.5.3.3	Gefäßmessung	B-34
B.5.3.4	Tracermessung	B-35
B.5.3.5	Messungen mit Schwimmern	B-36
B.5.4	Ortsfeste, kontinuierlich messende Verfahren	B-37
B.5.4.1	Messwehre	B-37
B.5.4.2	Ultraschall-Laufzeitverfahren	B-39
B.5.4.3	Ultraschall-Doppler-Messgeräte in Horizontalaufstellung	B-41
B.5.4.4	Ultraschall-Doppler-Messgeräte in Vertikalaufstellung	B-42
B.5.4.5	Oberflächen-Radar	B-43
B.6	Auswerteverfahren	B-44

B.6.1	Durchflussermittlung aus den Fließgeschwindigkeiten in einzelnen Punkten	B-44
B.6.1.1	Einführung in die Durchflussermittlung	B-44
B.6.1.2	Durchflussermittlung mit der Geschwindigkeits-Flächenmethode	B-44
B.6.1.3	Graphische Verfahren bei der Punktmessung	B-46
B.6.1.4	Rechnerische Verfahren	B-48
B.6.1.5	Vereinfachte Verfahren	B-49
B.6.1.6	Bezugswasserstand für die Durchflussermittlung	B-49
B.6.2	Durchflussermittlung aus integrierenden Messverfahren	B-50
B.6.2.1	Ablaufmessung	B-50
B.6.2.2	Horizontale Integration	B-51
B.6.3	Durchflussermittlung über die W/Q-Beziehung (Abflusskurve)	B-52
B.6.3.1	Grafische Aufstellung der W/Q-Beziehung	B-54
B.6.3.2	Rechnerisch-statistische Aufstellung der W/Q-Beziehung	B-54
B.6.3.3	Einsatz ein- und zweidimensionaler numerisch-hydraulischer Simulationsmodelle	B-55
B.6.3.4	Hydraulische Modellversuche in einem Wasserbaulabor	B-55
B.6.3.5	Extrapolation von W/Q-Beziehungen	B-55
B.6.3.6	Verfahren zur Berücksichtigung von Veränderungen in der Gerinnehydraulik	B-57
B.6.3.7	Festlegung des zeitlichen Gültigkeitsbereichs	B-58
B.6.3.8	Unsicherheitsbetrachtung	B-59
<b>C.</b>	<b>Daten und Kenngrößen – Binnen</b>	<b>C-1</b>
C.1	Datenerhebung	C-1
C.1.1	Ablesung	C-1
C.1.2	Analoge Messwertaufnahme	C-1
C.1.3	Digitale Messwertaufnahme	C-1
C.1.4	Messunsicherheit und Auflösung	C-2
C.2	Qualitätssicherung bei Prüfung, Korrektur und Freigabe von Daten	C-2
C.2.1	Plausibilitätskontrolle von Einzelwerten	C-2
C.2.2	Weitergehende Prüfung der registrierten Werte	C-2
C.2.3	Zusätzliche Prüfung von Abflussdaten	C-4
C.3	Hydrologische Auswertungen	C-4
C.3.1	Voraussetzung	C-4
C.3.2	Tageswerte	C-5
C.3.3	Hauptwerte	C-5
C.3.3.1	Überblick	C-5
C.3.3.2	Niedrigwasserbereich	C-9
C.3.3.3	Mittelwasserbereich	C-11
C.3.3.4	Hochwasserbereich	C-12
C.3.3.5	Dauerlinie	C-14
<b>D.</b>	<b>Wasserstand und Durchfluss – Küste</b>	<b>D-1</b>
D.1	Technische und bauliche Anforderungen an den Messstandort	D-1
D.2	Wasserstand	D-3
D.2.1	Allgemeines	D-3
D.2.2	Messverfahren	D-4
D.2.2.1	Allgemeines	D-4
D.2.2.2	Messverfahren ohne kontinuierliche Registrierung	D-8
D.2.2.3	Selbstregistrierende Messverfahren	D-8

D.2.3	Betriebliche Anforderungen	D-10
D.2.4	Qualitätsanforderungen	D-12
D.2.4.1	Unterhaltung von Messgeräten	D-12
D.2.4.2	Ermittlung des Referenzwertes	D-12
D.2.4.3	Ermittlung der gesamten Messunsicherheit	D-12
D.2.4.4	Redundanter Betrieb	D-13
D.2.4.5	Instandhaltung	D-13
D.3	Durchfluss	D-14
D.3.1	Messverfahren	D-15
D.3.1.1	Messflügel und magnetisch-induktives Geschwindigkeitsmessgerät	D-20
D.3.1.2	Ultraschall-Doppler-Messung	D-20
D.3.1.3	Ultraschall-Laufzeit-Verfahren	D-21
D.3.2	Auswerteverfahren	D-22
D.3.3	Betriebliche Anforderungen	D-22
D.3.4	Qualitätsanforderungen	D-23
<b>E.</b>	<b>Daten und Kenngrößen – Küste</b>	<b>E-1</b>
E.1	Datenerhebung und -aufbereitung	E-1
E.1.1	Allgemeines	E-1
E.1.2	Plausibilisierung der Messdaten	E-2
E.1.3	Kennungen der plausibilisierten Zeitreihe	E-4
E.1.3.1	Kennzeichnung durch Kennungen	E-4
E.1.3.2	Mitführung von Kennungen bei abgeleiteten Zeitreihen	E-4
E.2	Hydrologische Auswertung	E-5
E.2.1	Definitionen	E-5
E.2.2	Tageswerte	E-7
E.2.2.1	Tageswerte im Küstenraum der Nordsee und ihrer Ästuar	E-7
E.2.2.2	Tageswerte im Küstengebiet der Ostsee	E-8
E.2.2.3	Tageswerte in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen	E-8
E.2.3	Hauptwerte	E-9
E.2.3.1	Überblick	E-9
E.2.3.2	Hauptwerte im Küstengebiet der Nordsee und ihrer Ästuar	E-12
E.2.3.3	Hauptwerte im Ostseegebiet	E-14
E.2.3.4	Hauptwerte in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen	E-14
E.2.4	Weitere Kennwerte	E-15
E.2.5	Weitere Auswertungen	E-16
<b>F.</b>	<b>Verzeichnis der Begriffe – Teil A-E</b>	<b>F-1</b>
<b>G.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>G-1</b>
<b><u>Abbildungsverzeichnis</u></b>		
Abbildung B.6-1	vertikale Geschwindigkeitsfläche $f_v$	B-45
Abbildung B.6-2	Bestimmung des Durchflusses über alle ermittelten Geschwindigkeitsflächen	B-46
Abbildung B.6-3	Isotachenplan	B-47
Abbildung B.6-4	Durchflussermittlung aus dem Isotachenplan	B-47
Abbildung B.6-5	Ermittlung des Bezugswasserstandes bei Wasserstandsänderungen	B-50
Abbildung B.6-6	Restgliedererfassung	B-51



Abbildung B.6-7	W/Q-Beziehung (Abflusskurve)	B-52
Abbildung B.6-8	Beispiel für die Extrapolation einer Abflusskurve aus berechneter P-Kurve und extrapolierte Kurve	B-56
Abbildung B.6-9	Zustand der maximalen ( $Q_0$ ) und der typischen minimalen ( $Q_z$ ) hydraulischen Leistungsfähigkeit des Messquerschnitts	B-57
Abbildung C.3-1	Höchste monatliche Werte	C-9
Abbildung C.3-2	Mittel- und Unterschreitungshauptwerte eines Niedrigwasserzeitabschnittes	C-10
Abbildung C.3-3	Sonderfall für die zeitliche Festlegung des Unterschreitungshauptwertes (Die Zuordnung des Unterschreitungshauptwertes N30Q orientiert sich an der zeitlichen Festlegung von NM30Q.)	C-11
Abbildung C.3-4	Kriterien für hydrologisch unabhängige Hochwasserscheitelwerte	C-13
Abbildung C.3-5	Dauerlinie eines Monats (31 Tage)	C-14
Abbildung C.3-6	Zuordnung der Tagesmittelwerte bei gleich hohen Werten	C-16
Abbildung D.2-1	Beispiele für Beeinflussungen des Wasserstandes in küstengewässerbeeinflussten Bereichen. Links: Gekappte Tidewelle durch Sperrwerksschließung; Rechts: Beeinflusste Tidewelle durch Oberwasserzufluss (Erläuterung: Nach Öffnung der Sieltore steigt an der seeseitigen Seite des Siels der Wasserstand durch den Binnenabfluss abrupt an.)	D-4
Abbildung E.2-1	Tidekennwerte des Wasserstandes und der Strömung	E-7

## Tabellenverzeichnis

Tabelle B.1-1	Abweichungen der Wasserstandsmessung	B-3
Tabelle B.1-2	Abweichungen der Durchflussermittlung aus Messungen	B-3
Tabelle B.1-3	Abweichungen der Durchflussermittlung aus W/Q Beziehung	B-4
Tabelle B.3-1	äußere Einflussgrößen	B-10
Tabelle B.4-1	gängige Wasserstandsmessverfahren	B-15
Tabelle B.5-1	Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten bzw. Zellen	B-22
Tabelle B.5-2	integrierende und sonstige Messverfahren	B-23
Tabelle B.5-3	kontinuierliche Messverfahren	B-24
Tabelle C.3-1	Hauptwerte nach DIN 4049	C-6
Tabelle D.1-1	übliche Schwankungsbreiten äußerer Einflussgrößen	D-3
Tabelle D.2-1	Übersicht der gängigen Messverfahren für den Wasserstand im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen	D-7
Tabelle D.2-2	Erneuerungszyklen der Messsysteme (Erfahrungswerte)	D-12
Tabelle D.2-3	Einflussarten auf die Aufzeichnungssysteme	D-13
Tabelle D.3-1	Messverfahren für den Durchfluss im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen über Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten bzw. Zellen	D-18
Tabelle D.3-2	Kontinuierlich messende Messverfahren für den Durchfluss im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen	D-19
Tabelle E.1-1	hydrologische Beeinflussungstypen in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen	E-2

<b>Tabelle E.1-2</b>	<b>Kennungen des Wasserstandes nach Eiseinfluss an der Ostsee</b>	<b>E-4</b>
<b>Tabelle E.2-1</b>	<b>Hydrologische Wasserstandsauswertung</b>	<b>E-6</b>
<b>Tabelle E.2-2:</b>	<b>Tageswerte in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen</b>	<b>E-9</b>
<b>Tabelle E.2-3</b>	<b>Hauptwerte nach DIN 4049</b>	<b>E-11</b>
<b>Tabelle E.2-4</b>	<b>Hauptwerte in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen:</b>	<b>E-15</b>

**Teil A**  
**Stammtext**

## **Autoren:**

Dörthe Eichler	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt – Sto. Hannover (Niedersachsen)
Katrin Kumke	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (Brandenburg)
Carmen Roth	Landesamt für Umwelt (Bayern)
Uwe Höhne	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

# A. Stammtext

## A.1 Rechtliche Grundlagen

Das Wasserhaushaltsgesetz des Bundes, die Wassergesetze der Länder und das Bundeswasserstraßengesetz in ihrer jeweils gültigen Fassung bilden die rechtlichen Grundlagen für die Errichtung und Beobachtung von Messstellen sowie die Auswertung und Verwendung der Daten.

## A.2 Messnetz

### A.2.1 Zweck

(1) Die Kenntnis des Abflussregimes der Gewässer ist Voraussetzung für die hydrologische Arbeit und deren Umsetzung in die ressourcenschonende wasserwirtschaftliche Praxis. Die Erfassung der Wasserstände und Durchflüsse dient der Dokumentation des Istzustandes der Gewässer.

(2) Zur Erfüllung der o.g. Aufgaben ist ein Netz von Wasserstands- und Durchflussmessstellen zu betreiben.

Die Anforderungen an dieses Messnetz werden definiert durch:

- die Zielstellungen und Zweckbestimmungen des Messnetzes,
- die Interessenten und Nutzer der gewonnenen Daten,
- die notwendige räumliche und zeitliche Auflösung der Daten.

### A.2.2 Aufbau

(1) Das Messnetz ist linien- und flächenorientiert aufzubauen.

(2) Das Messnetz muss die Entwicklung der Durchflüsse entlang der Gewässer abbilden und Anforderungen erfüllen, die sich aus

- hydrologischen Fragestellungen, Sonderuntersuchungen,
- Eingriffen des Menschen in das Abflussregime,
- nautischen Informationen,
- Verträgen mit Dritten,
- nationalen und internationalen Verpflichtungen und
- Länder- und Staatsgrenzen ergeben.

(3) Im Küstengebiet der Nordsee bzw. entlang der Küstenlinie ist das Messnetz so aufzubauen, dass der Verlauf der Tidewelle, insbesondere an Orten mit wesentlichen Änderungen der Tidewellencharakteristik im Ästuar erfasst werden kann. Im Küstengebiet der Ostsee bzw. entlang der Küstenlinie ist das Messnetz so zu gestalten, dass die Wasserstandsschwingungen erfasst werden. Dazu können auch möglichst weit in die See vorgeschobene Messstellen erforderlich sein.

(4) Die Messnetze aller Parameter (hydrologische, physikalische, chemische, biologische) sind aufeinander abzustimmen, damit der einzelne Standort möglichst vielen wasserwirtschaftlichen und naturschutzfachlichen Fragestellungen gerecht wird.

### **A.2.3 Optimierung**

(1) In regelmäßigen und hinreichend kurzen Zeitintervallen ist eine Überprüfung der Messnetze hinsichtlich der festgelegten Ziele, deren Eignung und deren Repräsentativität durchzuführen und zu dokumentieren.

(2) Eine Anpassung des Messnetzes wird erforderlich, wenn der natürliche Abfluss wesentlichen Veränderungen unterliegt.

(3) Finden sich in einem Gewässerabschnitt mehrere vieljährig betriebene Messstellen, so können diese durch eine einzige Messstelle ersetzt werden, wenn sich die Standorte hydrologisch nicht wesentlich unterscheiden.

(4) Das Messnetz kann auf der Grundlage mathematischer Modellergebnisse optimiert werden.

## **A.3 Messstelle**

### **A.3.1 Standort**

#### **A.3.1.1 Wasserstandsmessstelle**

(1) Wasserstandsmessstellen (Pegel) werden an gewässerkundlich repräsentativen Stellen des Gewässers angeordnet:

- am Oberlauf des Gewässers,
- an der Mündung des Gewässers,
- unterhalb wichtiger Zuflüsse mit markanter Zunahme der Größe des Einzugsgebietes,
- an Stauhaltungen, natürlichen und künstlichen Seen mit Wasserstandsdynamik sowie deren Zu- und Abflüssen,
- an Orten mit bedeutsamen Übergängen oder Verbindungen zum Grundwasser,
- an Orten mit wesentlichen Änderungen der Tidewellencharakteristik im Ästuar,
- am Übertritt des Gewässers in einen meteorologisch, morphologisch oder geologisch stark unterschiedlichen Naturraum,
- an Bifurkationen, an Überleitungen in ein anderes Gewässersystem,
- an der Küstenlinie.

(2) Bei der Wahl des Standortes der Wasserstandsmessstelle (Pegel) ist zu beachten, dass die Gewässerstrecke

- eine gerade und gleichmäßige uferparallele Strömung,
- ein möglichst stabiles Gewässerbett,
- gleichförmige Querschnitte und
- ein stetiges Gefälle aufweist.

Sind diese Bedingungen nicht für die gesamte betrachtete Gewässerstrecke gegeben, so soll der Pegel in dem Abschnitt errichtet werden, der den o.a. Voraussetzungen am besten entspricht. Es ist darauf zu achten, die Messstelle im oberstromigen Bereich dieser Gewässerstrecke anzuordnen. Im unterstromigen Bereich (ca. 1/3 der gesamten Abschnittslänge) sollte der Pegel aufgrund von Störeinflüssen nicht aufgebaut werden.

Muss eine Messstelle an einer Krümmung errichtet werden, ist hierfür das Ufer zu wählen, an dem der Stromstrich liegt.

(3) Der Schwankungsbereich der Wasserstände muss an den Binnenpegeln mindestens von NNW bis HHW und an den Tidepegeln von NNTnw bis HHThw erfasst werden. An den Messstellen sind ausreichende Sicherheitsbeiwerte zum NNW /NNTnw und zum HHW /HHThw zu berücksichtigen.

(4) Im Küstengebiet der Nordsee und in den angrenzenden Ästuarien sind die Standorte der Messstellen so zu wählen, dass der räumliche und zeitliche Verlauf der Tidewelle repräsentativ erfasst wird und Aussagen zum lokalen und regionalen Tidegeschehen ermöglicht werden.

(5) Im Küstengebiet der Ostsee sind die Pegelstandorte so zu wählen, dass die Wasserstandsschwingungen der Ostsee repräsentativ erfasst und Aussagen zum lokalen und regionalen Wasserstandsgeschehen ermöglicht werden.

#### **A.3.1.2 Durchflussmessstelle**

(1) Durchflussmessstellen werden an hydrologisch repräsentativen Querschnitten des Gewässers angeordnet, die eine vollständige Erfassung des Durchflusses erlauben. Der betrachtete Querschnitt sollte rechtwinklig zur Strömungsrichtung liegen.

(2) Im Binnenbereich ist zu beachten, dass

- der Messquerschnitt in unmittelbarer Nähe zum Pegel liegt,
- möglichst keine Um- und Unterläufigkeiten auftreten,
- kein veränderlicher Rückstau im Bereich der Messstelle besteht, sofern der Durchfluss auf der Basis einer W/Q-Beziehung ermittelt wird,
- die Messstelle möglichst an einem geradlinigen, ausreichend langen Gewässerabschnitt errichtet wird,
- ein möglichst stabiles Gewässerbett vorliegt.

(3) Die Anordnung von Durchflussmessstellen im Küstengebiet erfolgt unabhängig vom Standort der Wasserstandsmessstelle. Voraussetzung dafür ist die korrekte Positions-, Querprofil- und Tiefenbestimmung des Messquerschnittes.

(4) Zur Erzielung besserer Ergebnisse kann es erforderlich sein,

- unterschiedliche Messquerschnitte für den Niedrig-, Mittel- und Hochwasserbereich zu wählen oder
- die hydraulischen Bedingungen durch bauliche Maßnahmen im Gewässer zu verbessern.

#### **A.3.2 Ausstattung**

(1) Die Wasserstandsmessstelle besteht grundsätzlich aus einem Lattenpegel und kann zur kontinuierlichen Aufnahme, Registrierung, Anzeige oder Übertragung der Wasserstände mit ergänzenden Einrichtungen ausgestattet werden. Der Lattenpegel bildet den Referenzwasserstand aller weiteren Wasserstands-Messsysteme.

(2) Der Lattenpegel besteht i.d.R. aus Pegellatte und drei Pegelfestpunkten. Im Küstengebiet sind in Ausnahmefällen auch 2 Pegelfestpunkte, die am selben Bauwerk angebracht werden können, ausreichend. Werden für einen Pegel Festpunkte als Rohrfestpunkte ausgeführt, so sollte wenigstens ein Rohrfestpunkt in einem ausreichenden Abstand landeinwärts der Uferlinie bei MThw liegen.

(3) Zu den ergänzenden Einrichtungen gehören u.a. Messwertgeber, Datensammler und Datenfernübertragungssysteme.

Der Datensammler muss vor Ort ausgelesen werden können. Das automatische oder zufällige Löschen des Datenspeichers ist technisch zu unterbinden.

Die Datenfernübertragung erfolgt durch einen regelmäßigen Datenversand oder durch Datenabruf nach dem jeweiligen Stand der Technik. Die geltenden Regelungen zur Datensicherheit sind einzuhalten.

### **A.3.3 Instandhaltung und Betrieb**

(1) Für den störungsfreien Betrieb der Messstellen ist eine planmäßige Instandhaltung unerlässlich.

(2) Pegel und ergänzende Einrichtungen sind regelmäßig zu überwachen. Die Häufigkeit der Kontrollbeobachtung ist von der Bedeutung (und der daraus resultierenden maximal zulässigen Ausfallzeit des Pegels), der messtechnischen Ausstattung und der Charakteristik des Gewässers abhängig. Festgestellte Mängel und Schäden sind zu dokumentieren und zu beseitigen. Veränderungen im Gewässerbett sind aufzumessen und zu protokollieren. Weiterhin sind Besonderheiten (z.B. Eisgang, Verschlickung, Verkrautung, starker Schiffsverkehr oder Beschädigungen), die Einfluss auf die Wasserstandsmessung haben können, zu dokumentieren.

(3) Bei digitaler Aufzeichnung der Wasserstandsganglinie ohne Fernübertragung sollten die Wasserstände möglichst im monatlichen Turnus ausgelesen und der Auslesezeitpunkt sowie der dazugehörige Wasserstand in einer Liste notiert werden.

(4) Muss ein Pegel durch einen neuen Pegel an anderer Stelle ersetzt werden, sind beide Pegel parallel zu beobachten bis einwandfreie Beziehungen zwischen den Beobachtungen an beiden Pegeln aufgestellt werden können. Im Beobachtungszeitraum, der mindestens ein Jahr betragen muss, müssen zudem die Wasserstände von MNW bis MHW bzw. MNTnw und MHThw aufgetreten sein.

(5) Bei Verlegung eines Pegels sollte sich die Einzugsgebietsgröße und die Abflusscharakteristik am neuen Standort vom alten Standort möglichst wenig unterscheiden.

### **A.3.4 Lage- und Höheneinmessung**

#### **A.3.4.1 Anforderungen**

(1) Die geografischen Lagekoordinaten der Pegellatte sind die maßgebenden Ortsbezüge für die Wasserstandsmessung.

(2) Die genutzten Koordinatenreferenzsysteme (Lage und Höhe) sind zu dokumentieren.

(3) Die geodätische Einmessung des Pegels bildet die Voraussetzung für die Angabe absoluter Wasserstände.

#### **A.3.4.2 Geodätische Einmessung**

(1) Die geodätische Einmessung beinhaltet die Definition einer Höhenlage des Pegelnullpunktes (PNP) relativ zu den Pegelfestpunkten und den Anschluss der Pegelfestpunkte an übergeordnete Höhenreferenzsysteme.



(2) Die geodätische Einmessung ist in Abhängigkeit von den geologischen und sonstigen örtlichen Gegebenheiten regelmäßig zu wiederholen. Das verwendete Verfahren und die Messintervalle sind entsprechend den hydrologischen Anforderungen und den lokalen und regionalen anthropogen und geotektonisch verursachten Änderungen festzulegen. Ein Zyklus von 15 Jahren soll dabei nicht überschritten werden.

(3) Die Höhenlage des PNP ist festzulegen und so zu wählen, dass keine Wasserstände mit negativen Vorzeichen auftreten können. Der Pegelnullpunkt ist auf das übergeordnete Höhenreferenzsystem zu beziehen und mit drei Nachkommastellen anzugeben. Lage und Bezeichnung der verwendeten Höhenfestpunkte sind zu dokumentieren.

Die Sollhöhenunterschiede müssen mit dem erstmaligen Einmessen der Pegellatte bzw. ihrer Teilstücke festgelegt und dokumentiert werden.

(4) Die maximale Messunsicherheit der geodätischen Einmessung darf 2 cm nicht überschreiten.

(5) Ändert sich das Höhenreferenzsystem, so sind die Höhenangaben des PNP und der Pegelfestpunkte entsprechend zu ändern.

#### **A.3.4.3 Prüfen der Höhenlage des Lattenpegels**

(1) Im Rahmen von regelmäßigen Kontrollen der Höhenlage wird die Abweichung des Lattenpegels bzw. der Lichtlotmarke gegenüber der definierten Höhenlage des Pegelnullpunktes bestimmt. Die geodätischen Messverfahren und Messintervalle sind so zu wählen, dass die resultierende verfahrenstechnische Unsicherheit die maximale Messunsicherheit nicht überschreitet. Der Richtwert der Höhenkontrollintervalle beträgt 2 Jahre.

(2) Die regelmäßige Prüfung der Höhenlage des Lattenpegels erfolgt über definierte Sollhöhenunterschiede zu den geodätisch eingemessenen Pegelfestpunkten. Die Prüfung der Sollhöhenunterschiede ist zu dokumentieren.

(3) Wird eine höhenmäßige Fehllage des Lattenpegels von > 1cm im Binnenbereich (im Küstengebiet > 2 cm) festgestellt, muss nicht allein der Wert des Wasserstandes korrigiert werden, sondern die Pegellatte (bzw. der Pegelnullpunkt) ist wieder in die Solllage zurückzuführen. Die Notwendigkeit der Korrektur, die Höhendifferenz sowie der von der Korrektur betroffene Zeitbereich sind in den Daten zu dokumentieren.

#### **A.3.5 Stammdaten**

##### **A.3.5.1 Zweck und Erfordernis**

(1) Stammdaten beschreiben eine Messstelle einschließlich der auf die Messstelle bezogenen Messgrößen (Wasserstand, Durchfluss, Feststoffe, Wassertemperatur usw.). Die Stammdaten sind in das Pegelstammbuch aufzunehmen.

(2) Die Stammdaten sind regelmäßig zu überprüfen und fortzuschreiben.

##### **A.3.5.2 Pegelstammbuch**

(1) Es ist für jeden Pegel ein Stammbuch anzulegen und fortzuschreiben. Im Stammbuch werden alle wesentlichen Angaben über Geschichte, Bestand und Betrieb des Pegels erfasst. Dazu gehören auch Angaben zu Beobachtern, Eigentumsverhältnisse und die Beschreibung der baulichen Anlagen.

(2) Bei grundlegenden Änderungen (z.B. Änderungen des PNP durch den Betreiber) sind betreffende Dienststellen zu informieren.

### **A.3.5.3 Stammdatei**

(1) Die Kurzbeschreibung einer Messstelle ist die Stammdatei, die die Metadaten enthält, die für die Verarbeitung und Nutzung der Messdaten erforderlich sind. Die Stammdatei wird aus den Angaben des Pegelstammbuches generiert.

(2) Die Stammdatei muss folgende Angaben enthalten:

- Name des Pegels,
- Gewässer,
- Lagekoordinaten und Koordinatenreferenzsystem, Lagebeschreibung mit Erläuterung,
- Größe des oberirdischen Einzugsgebietes (bei Binnenpegeln),
- Höhe des Pegelnullpunkts mit Höhenreferenzsystem,
- Messstellennummer,
- Messgrößen,
- Betreiber,
- Beobachtungszeiten,
- Eingriffe in das Abflussregime.

## **A.4 Grundsätze der Datenerfassung und -auswertung**

### **A.4.1 Auswertung der Daten**

(1) Die Erfassung der Daten umfasst die Messwertaufnahme. Die Auswertung der Daten umfasst das Prüfen, Plausibilisieren, Berichtigen und Ergänzen sowie Dokumentation und Speicherung der Messwerte.

(2) Die Messwerte sind auf den Pegelnullpunkt zu beziehen.

(3) Tritt eine Abweichung zwischen dem Referenzwasserstand (ordnungsgemäße eindeutige Ablesung der Pegellatte) und dem digitalen Messwert von > 1 cm (bzw. 2 cm im Küstengebiet) auf, so ist der Messwert zu berichtigen.

(4) Die Auswertung muss in Mitteleuropäischer Zeit (MEZ) erfolgen.

(5) Die Rohdaten sind unverändert zu speichern und als solche zu kennzeichnen. Erforderliche Korrekturen und Ergänzungen sind in der Kopie der Rohdaten vorzunehmen und sind als bearbeitete Daten zu kennzeichnen.

(6) Durchflüsse sind mit drei gültigen Ziffern gerundet anzugeben.

(7) In der hydrologischen Zeitreihenanalyse werden die Zeitreihen durch Kenngrößen (z.B. Haupt-, Mittel-, Tageswerte) beschrieben.

(8) Mittelwerte werden unter Einbeziehung ergänzter Werte gebildet. Eine Kennzeichnung dieser Mittelwerte ist nur erforderlich, wenn mehr als ein Drittel der Werte ergänzt wurde. Es darf über Ausfallzeiten hinweg gemittelt werden. Die Ausfallzeiten sind anzugeben.

(9) Tageswerte sind die Tagesmittel der Wasserstände und der Durchflüsse. Bei Lattenpegeln gilt die Terminbeobachtung als Tageswert. Im Küstenbereich sind die Tageswerte davon abweichend Thw und Tnw.

(10) Hauptwerte sind statistische Werte, die aus vieljährigen Messreihen gebildet werden.

#### **A.4.2 Wasserstand**

(1) Um auf eine ausreichende Datenbasis für zuverlässige statistische Aussagen und Berechnungen (vieljährige Mittel- und Dauerzahlen) zurückgreifen zu können, sind lückenlose, lange, homogene Beobachtungsreihen erforderlich.

(2) Pegel ohne ergänzende Einrichtungen an Fließgewässern sind i.d.R. mindestens einmal täglich zu beobachten. Wasserstände sind gerundet mindestens auf den Zentimeter genau anzugeben. Bei Hochwasser sind zusätzliche Beobachtungen durchzuführen, mit denen der Hochwasserscheitel erfasst werden kann.

(3) Messwerte, die unmittelbar von dem Pegel übertragen, aus- oder abgelesen werden, sind ungeprüft und werden als Roh- oder Ursprungsdaten bezeichnet.

(4) Bei Pegeln mit ergänzenden Einrichtungen richtet sich das Messintervall nach der hydrologisch relevanten Dynamik des Gewässers. Die Festlegungen sind zu dokumentieren.

(5) Eine kontinuierliche redundante Messwertaufnahme ist anzustreben. Von jeder redundant ausgestatteten Messstelle werden alle Zeitreihen der Rohdaten und eine Zeitreihe mit den geprüften Daten langfristig abgelegt.

(6) Beeinflussungen des Wasserstandes sind zu dokumentieren und bei der Auswertung zu berücksichtigen.

(7) Messunsicherheiten entstehen ursächlich durch die Messgeräte bzw. Messanlagen, das Messverfahren, die Umwelt und den Menschen. Es werden systematische und zufällige Abweichungen unterschieden.

(8) Die maximale Messunsicherheit der gesamten Messkette (Erfassung - Datenübertragung - Datenspeicherung) sollte in der Standardunsicherheit kleiner sein als:

- 10 cm für den 1 Minuten Einzelwert (Küste)
- 2,5 cm für den 15 Minuten Einzelwert
- 1 cm für den Tagesmittelwert

Der maximale unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht eliminierbare, von der Größe her unbekannt systematische Fehler des Messverfahrens sollte kleiner sein als  $\pm 2$  cm.

#### **A.4.3 Durchfluss**

(1) Um auf eine ausreichende Datenbasis zur Ableitung von Abflussdaten für zuverlässige statistische Aussagen und Berechnungen (vieljährige Mittel- und Dauerzahlen, Extremwertstatistik, Trendberechnungen, Regionalisierung) zurückgreifen zu können, sind lückenlose, lange, homogene Beobachtungsreihen erforderlich.

(2) Der Durchfluss kann gemessen oder aus einer W/Q-Beziehung (Abflusskurve) ermittelt werden.

(3) Grundsätze der Durchflussmessung

- Die Messungen sind für den Niedrig-, Mittel- und Hochwasserbereich möglichst im selben Messquerschnitten durchzuführen. Die Lage der Messquerschnitte ist zu dokumentieren.

- Die Wahl des Messverfahrens richtet sich nach den hydraulischen, hydrologischen und geometrischen Randbedingungen der Messstelle. Das gewählte Verfahren und die zugehörige Messunsicherheit sind zu dokumentieren.
- Die Messverfahren zur Durchflussbestimmung sind so auszuführen, dass eine auf den Messwert bezogene relative Standardunsicherheit von weniger als 10 % erreicht wird. Größere Unsicherheiten, z.B. bei Extremereignissen, sind zu dokumentieren.

#### (4) Grundsätze der Ermittlung des Durchflusses aus einer W/Q-Beziehung

- Zur Erstellung und Validierung der W/Q-Beziehung sind regelmäßig Durchflussmessungen durchzuführen. Die Häufigkeit ist in Abhängigkeit von der Stabilität der hydraulischen Verhältnisse des Gewässers festzulegen (Eintiefung, Anlandung, Verkrautung, Eis). Eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Messungen über den gesamten Schwankungsbereich der Wasserstände ist anzustreben.
- Besteht keine eindeutige W/Q-Beziehung, so lassen sich kontinuierliche Durchflüsse nicht aus Wasserständen ableiten, sondern nur über eine kontinuierliche Messung von Strömungsgeschwindigkeit und Wasserstand ermitteln. Im Küstengebiet ist die Strömungsgeschwindigkeit i.d.R. in Einzelwerten mit einem Messintervall von 5 Minuten anzugeben. Neben der Strömungsgeschwindigkeit muss hier auch die Strömungsrichtung mit registriert werden.

### **A.4.4 Bereitstellung von gewässerkundlichen Informationen**

(1) Die Bereitstellung und Prüfung der Messdaten richtet sich nach der Aufgabenstellung der Messstelle, der Ausstattung, der jeweiligen hydrologischen Situation und den Anforderungen der Nutzer.

Die Daten sind mit folgenden Attributen organisations- und systemübergreifend zu kennzeichnen:

- Bearbeitungsstand,
- Bearbeitungszeitpunkt,
- Urheber.

(2) Die Bereitstellung der Informationen muss grundsätzlich zeitnah erfolgen:

- für Warnzwecke (z.B. Hochwasser, Sturmflut) und Bewirtschaftungsfragen auf Grundlage wasserrechtlicher Entscheidungen möglichst zeitgleich mit der Messung und erster (automatischer) Plausibilisierung der Rohdaten (mindestens stündlich),
- für aktuelle Informationen zeitnah mit erster automatischer und manueller Plausibilisierung der Rohdaten (mindestens werktäglich).

(3) Die Bereitstellung der geprüften Daten erfolgt für

- Bilanzierungs- und Bewirtschaftungsfragen zeitnah,
- Dokumentationen und als Grundlage für vertiefte Auswertungen mit abschließender Datenüberprüfung im Folgejahr,
- die vieljährige Statistik als Grundlage jeglicher wasserwirtschaftlicher Auswertungen, Regionalisierungen und Bemessungsfragen im Folgejahr,
- die rückwirkende Datenkorrektur nach neuen Erkenntnissen im Bedarfsfall.

#### **A.4.5 Qualitätssicherung**

(1) Die Qualität gewässerkundlicher Daten kann durch die Definition von Qualitätszielen nachhaltig verbessert werden.

(2) Die Qualitätsziele müssen für alle Bereiche der gewässerkundlichen Messtechnik und Messverfahren, von der Messstellenauswahl bis zum geprüften Datensatz, formuliert und dokumentiert werden.

(3) Die Qualität gewässerkundlicher Daten ist durch die Schaffung der personellen, organisatorischen und technischen Voraussetzungen zu gewährleisten, u.a.:

- die Bereitstellung der Hard- und Software zur Messung, Zwischenspeicherung, Übertragung, Prüfung, Haltung und Aufbereitung der Daten,
- die Qualifikation der Bearbeiter durch Ausbildung, Schulung, Anleitung und Motivation,
- der angepasste Personal- und Geräteeinsatz,
- die Definition der Arbeitsabläufe zur Erarbeitung der Daten,
- das Festlegen der Zuständigkeiten.

Im Einzelnen ist darauf zu achten, dass

- die Messstellen regelmäßig von geschultem Personal gewartet werden,
- Betriebs- und Wartungsanleitungen für alle im Einsatz befindlichen Geräte vor Ort zugänglich sind,
- für die Einhaltung der Verpflichtung zur zeitgerechten Bereitstellung der Daten nach Umweltinformationsgesetz (UIG) und Informationsfreiheitsgesetz (IFG) Ressourcen zusätzlich zum Messnetzbetrieb zur Verfügung zu stellen sind.

#### **A.5 Aufbewahrung der Messdaten und der Pegelunterlagen**

##### **A.5.1 Messdaten und analoge Pegelunterlagen**

Nicht mehr für den laufenden Geschäftsverkehr benötigte analoge Pegelunterlagen und analog vorliegende Messdaten sind auf Dauer in einer Registratur oder einem hydrologischen Archiv aufzubewahren und verfügbar zu halten.

##### **A.5.2 Messdaten und digitale Pegelunterlagen**

(1) Messdaten und digitale Pegelunterlagen sind zu speichern, fortzuschreiben und in eine Langzeitarchivierung zu überführen.

(2) Die Langzeitarchivierung hydrologischer Informationen ist wesentlicher Bestandteil eines Qualitätsmanagements.

(3) An die Langzeitarchivierung müssen hohe Anforderungen gestellt werden hinsichtlich der Integrität, Authentizität und der Verfügbarkeit der Daten. Die Sicherheit gegen Verluste der Daten und Informationen sowie der mit ihnen unwiederbringlich verloren gehenden Inhalte muss durch organisatorische und technische Vorkehrungen gewährleistet werden.

##### **A.5.3 Grundsätze der digitalen Datenhaltung**

(1) Langzeitarchivierung:

Die dauerhafte Bewahrung von (digitalen) Unterlagen, möglichst ohne Informationsverluste, muss gewährleistet sein.

(2) Vollständigkeit:

Die archivierungsrelevanten Unterlagen müssen vollständig sein. Sie müssen alle vorgangs-, dokumenten- oder aktenbezogenen Meta-, Bearbeitungs- und Protokollinformationen im Aktenzusammenhang enthalten.

(3) Datenträgerüberlassung:

Die Migration der Daten aus dem Kurzzeit- in das Langzeitarchiv sollte eine problemlose Auswertung der Daten mit einer Prüfsoftware und die gemeinsame Speicherung mit dem elektronischen Dokument in einer Ablage ermöglichen.

(4) Altersverschleiß:

Ein durch die Alterung von Datenträgern bedingte Datenverlust muss verhindert werden. Dazu müssen die Daten regelmäßig innerhalb der Garantiezeit eines Mediums auf neue Datenträger kopiert werden. Hierbei kann das Trägerformat aktualisiert werden. Die verlustfreie Übertragung der Daten auf den neuen Datenträger ist zu verifizieren und zu dokumentieren.

(5) Klassifizierung:

Die vorschriftsmäßige Klassifizierung der archivierungsfähigen und –notwendigen Daten und die dazugehörigen Geschäftsprozessregeln müssen mit berücksichtigt werden.

(6) Historie:

Damit die Datenhistorie lückenlos nachvollzogen werden kann, sollten zu den einzelnen Daten sowohl Metainformationen als auch Zugriffsprotokolle archiviert werden.

(7) Revisionsicherheit:

Manipulation und Veränderungen der archivierungsrelevanten Daten nach deren Erstellung müssen ausgeschlossen oder zumindest dokumentiert werden und reziprok abzuwickeln sein. Hierunter ist zu verstehen, dass durch die Rückverfolgung des amtlichen archivierten Wertes der ursprüngliche Zustand jedes einzelnen Datensatzes und der Dokumente rekonstruierbar sein muss. Dies bezieht sich auf strukturierte und unstrukturierte Daten sowie auf die zugehörigen Metadaten.

(8) Rechtsverbindlichkeit:

Bei rechtskritischen Daten sollte gewährleistet sein, dass sicherheitstechnische Maßnahmen wie z. B. digitale Signatur oder Authentifizierungszertifikate einbezogen werden.

## **A.6 Arbeitsschutz an Messstellen**

### **A.6.1 Grundsätze**

(1) Arbeitsschutz ist die Gewährleistung von Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit.

(2) Maßnahmen des Arbeitsschutzes sollen der Verhütung von Arbeitsunfällen und der Vermeidung von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren sowie der humanen Gestaltung der Arbeit dienen. Das Personal ist ordnungsgemäß in die Ausübung der Tätigkeit zu unterweisen und regelmäßig zu schulen. Für die einzelnen Anlagen und Tätigkeiten sind Gefährdungs-

analysen durchzuführen und Betriebsanweisungen zu erstellen. Die Sicherheit der Messstellen ist zu überprüfen, die festgestellten Mängel und deren Beseitigung sind zu dokumentieren.

(3) Bei dem Bau, Betrieb und der Wartung von Messanlagen sowie bei der Durchführung gewässerkundlicher Messungen sind die Anforderungen an den Arbeitsschutz zu berücksichtigen.

### **A.6.2 Rechtliche Grundlagen**

Die rechtlichen Grundlagen für Maßnahmen des Arbeitsschutzes sind das Arbeitsschutzgesetz, die Arbeitsstättenverordnung und das Siebte Buch des Sozialgesetzbuches. Die aktuell gültigen Regeln sind zu beachten.

### **A.6.3 Gefährdungsbereiche**

(1) Gefährdungen werden verschiedenen Bereichen zugeordnet.

(2) Gefährdungen können sich ergeben durch

- Mängel an Gebäuden und elektrischen Anlagen,
- chemische und biologische Gefahrstoffe (Gase, Flüssigkeiten, Betriebsstoffe, Krankheitserreger),
- unzureichende oder defekte persönliche Schutzausrüstung,
- Missachtung von Verhaltensregeln (Übermüdung, Fahren unter Alkohol, Durchführung von Elektroarbeiten ohne ausreichende Qualifikation),
- Witterung (Kälte, Hitze, Eis, Gewitter, Hochwasser),
- allergische Reaktionen.

**Teil B**

**Wasserstand und Durchfluss – Binnen**



## Autoren:

Stefan Drägerdt

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie

Uwe Köhler

Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Sachsen

Torsten Lambeck

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Cornelia Löns-Hanna

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Andreas Weiss

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg

## **B. Wasserstand und Durchfluss – Binnen**

### **B.1 Qualitätsanforderungen**

#### **B.1.1 Allgemeines**

(1) Kenntnisse der Wasserstände und Durchflüsse in den Gewässern sind Voraussetzung für nahezu jede hydrologische Arbeit und deren Umsetzung in die wasserwirtschaftliche Praxis. Diese hydrologischen Werte bilden die wesentliche Grundlage zur Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen, zur Bewirtschaftung des Wasserdargebots und für die Simulation hydrologischer und hydraulischer Prozesse mit mathematisch-physikalischen Modellen.

(2) Die vermehrte Nutzung der Wasserstands- und Durchflussdaten für die Hochwasservorhersage oder Hochwassermanagementsysteme erfordert Messdaten, die weitestgehend ausfallsicher und operationell nutzbar sind und zeitnah zur Verfügung stehen. Die Messdaten müssen bereits als ungeprüfte Rohdaten im Hochwasserfall verlässlich sein. Dies gilt auch für die aus den Wasserständen über Abflusskurven ermittelten Durchflüsse.

(3) Darüber hinaus erwarten die Fachöffentlichkeit, betroffene Bürger, Kommunen und Medien zunehmend Transparenz und Qualitätsangaben zu bereitgestellten Daten. Dies gilt gleichermaßen für den Bund-Länder-Datenaustausch und die steigenden europäischen Berichtspflichten. Es sind exakte Momentaufnahmen und lückenlose, plausible Datenreihen von Wasserstand und Durchfluss zu ermitteln. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen von der Konzeption der Messstelle über den Messvorgang bis hin zur Interpretation und Ablage der gewonnenen Daten bestimmte Qualitätsanforderungen eingehalten werden. Diese umfassen auch Vorgaben und Standards für notwendige Vermessungsarbeiten, die technische Ausrüstung und bauliche Gestaltung, sowie an den Betrieb und die Unterhaltung des Pegels.

#### **B.1.2 Unsicherheiten**

##### **B.1.2.1 Grundlagen der Ermittlung von Unsicherheiten**

(1) Jede Messung ist mit Unsicherheiten, d.h. Abweichungen vom wahren Wert, behaftet. Diese sollen so gering wie möglich sein.

(2) Unterschieden werden systematische und zufällige Abweichungen.

Systematische Abweichungen:

- sind durch die angewendeten Messmethoden und eingesetzten Verfahren bedingt,
- treten unter gleichen Messbedingungen immer mit gleichem Betrag und Vorzeichen auf,
- sind bei Messungen, die unter gleichen Bedingungen wiederholt werden, nicht erkennbar,
- werden durch eine erhöhte Anzahl von Messungen nicht verringert,
- können bei bekannter Ursache vermieden oder ausgeglichen werden und
- können einen zeitlichen Gang aufweisen. In diesem Fall können Sie wie zufällige Abweichungen wirken.

Zufällige Abweichungen:

- bilden die Unsicherheit einer Messung,

- sind bedingt durch unregelmäßige Einflüsse,
- sind nach Vorzeichen und Betrag nicht vorhersehbar und nicht reproduzierbar,
- fallen auf bei Wiederholung der Messung unter gleichen Bedingungen,
- lassen sich nicht ausschließen, aber durch die Wahl und Ausführung des Verfahrens begrenzen bzw. verringern und
- heben sich bei wiederholter Messung bzw. Verlängerung der Messzeit im Mittel auf.

(3) Die Unsicherheit wird durch Schätzung einer Standardabweichung angegeben. Nach dem ISO/IEC Guide 98 (GUM) stehen grundsätzlich zwei Methoden zur Verfügung:

- Typ-A: Schätzung durch statistische Analyse von Wiederholungsmessungen, aus denen eine äquivalente Standardabweichung aus der Wurzel der empirischen Varianz berechnet wird.
- Typ-B: Schätzung durch Beschreibung der Wahrscheinlichkeitsverteilung für den Messprozess.
- Diese kann bezogen werden aus:
  - Schätzungen für manuelle Messungen,
  - Herstellerangaben,
  - Kalibrierdaten (nach Herstellerangaben)
  - Erfahrungswerten und allgemeinen Kenntnissen über das Verhalten und die Eigenschaften von Messgeräten und Materialien.

Für das Hydrometrische Messen ist die einfache Standardabweichung (Typ A) zu berücksichtigen.

### B.1.2.2 Unsicherheit der Wasserstandsmessung

(1) Bei der Wasserstandsmessung wirken in der gesamten Messkette - von der Messung über die Datenübertragung bis in die Datenbank – die folgenden möglichen Abweichungen zusammen:

Entstehung der Abweichung	Abweichung	Abweichung bedingt durch
geodätische Einmessung der Festpunkte und Pegellatte	zufällige Abweichung	Messunsicherheit der Vermessung
Höhenreferenzsystem	systematische Abweichung	z. B. Veränderungen Geoid
Veränderung Höhenlage Pegellatte	zum PNP systematische Abweichung	z. B. Hochfrieren der Pegellatte
Neigung und Teilung der Pegellatte	systematische Abweichung	z. B. ungleichmäßige Setzungen, falscher Einbauwinkel
Ableseung Referenzwasserstand	zufällige Abweichung	abhängig von den Messbedingungen im Allgemeinen und zum Ablesezeitpunkt
Nullpunktbezug und Steigung des Messverfahrens	systematische Abweichung	z. B. falsche Justierung, Parametrisierung
Messverfahren	zufällige und systematische Abweichungen	diverse Ursachen abhängig vom Messverfahren
Umwandlung eines analogen Messsignals in digitalen Messwert	zufällige Abweichung und systematische Abweichung	abhängig von der Auflösung des Messsignals

Entstehung der Abweichung	Abweichung	Abweichung bedingt durch
zeitliche Zuordnung Messwert	systematische Abweichung	Abweichung der zeitlichen Synchronisierung
Mittelwertbildung	zufällige Abweichung	bedingt durch nicht kontinuierliche Messung oder Aufzeichnung
Daten(fern)übertragung	zufällige und systematische Abweichung	Zeitzone, Art des übertragenen Messwertes

Tabelle B.1-1 Abweichungen der Wasserstandsmessung

(2) Die maximale **Messunsicherheit in der Wasserstandsmessung** soll in der gesamten Messkette von der Wasserstandsmessung über die Datenübertragung bis in die Datenbank in der Standardunsicherheit kleiner sein als:

- 2,5 cm für den 15 Minuten Einzelwert,
- 1 cm für den Tagesmittelwert.

Die verfahrensbedingten Unsicherheiten können der Übersichtstabelle der Wasserstandsmessverfahren (B.4.1) entnommen werden.

(3) Der maximale unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht eliminierbare, von der Größe her unbekannt systematische Fehler des Messverfahrens sollte kleiner sein als +/- 2 cm.

### B.1.2.3 Unsicherheit der Durchflussermittlung aus Messungen

(1) Bei der Durchflussermittlung wirken in der gesamten Messkette von der Messung bis zur Auswertung folgende mögliche Abweichungen zusammen:

Entstehung der Abweichung	Abweichung	Abweichung bedingt durch
Messverfahren	zufällige und systematische Abweichungen	diverse Ursachen abhängig vom Messverfahren
Kalibrierung der Messgeräte	systematische Abweichung	z. B. Flügelgleichung
Ausführung der Messung	zufällige und systematische Abweichungen	z. B. Zeitnahme, Tiefen- und Breitenbestimmung, Sorgfalt, ungeeigneter Modus
Bestimmung des korrespondierenden Wasserstandes	zufällige und systematische Abweichung	Berücksichtigung von Wasserstandsänderungen während einer Messung
Fehler bei der Auswertung	systematische und zufällige Abweichung	z. B. bedingt durch die Annahme der Geschwindigkeitsverteilung und des Fließquerschnitts

Tabelle B.1-2 Abweichungen der Durchflussermittlung aus Messungen

(2) Die Messverfahren zur Durchflussermittlung sind so zu wählen und auszuführen, dass eine auf den Messwert bezogene relative Standardunsicherheit von weniger als 10 % bei der Durchflussbestimmung eingehalten wird. In Extremsituationen (z. B. Niedrig- und Hochwasser) müssen gegebenenfalls höhere Unsicherheiten in Kauf genommen werden. Die größeren Unsicherheiten sind zu dokumentieren.

### B.1.2.4 Unsicherheiten bei der Durchflussermittlung aus der W/Q-Beziehung

(1) Bei der Ermittlung der Durchflüsse aus der W/Q-Beziehung kommen zu den Messunsicherheiten der Wasserstandsmessung und der Durchflussmessung folgende mögliche Abweichungen hinzu:

Entstehung der Abweichung	Abweichung	Abweichung bedingt durch
Aufstellung der W/Q - Beziehung	systematische und zufällige Abweichung	Ausgleich der Punkteschar und Extrapolation in die nicht gemessenen Bereiche
Veränderungen des Querschnitts	systematische Abweichung	Auflandungen, Erosionen, Formänderungen
Veränderungen der Durchflussbedingungen	systematische Abweichung	Gerinnerauheit, Energieliniengefälle
zeitlich schwankende Durchflussbedingungen	systematische und zufällige Abweichung	Verkrautung, Eis, Rückstau, Hysterese, Abflussschwankungen

Tabelle B.1-3 Abweichungen der Durchflussermittlung aus W/Q Beziehung

(2) Es ist sicherzustellen, dass im Ergebnis eine auf den Messwert bezogene relative Standardunsicherheit von weniger als 10 % eingehalten wird.

### B.1.3 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

#### B.1.3.1 Voraussetzungen

Voraussetzungen für qualitativ gute Messergebnisse sind:

- die Wahl einer geeigneten Messstelle,
- die Wahl geeigneter Messverfahren,
- der Betrieb durch fachkundiges Personal,
- regelmäßige fachkundige Wartung und Instandhaltung
- regelmäßige Überprüfung der geodätischen Einmessung.

#### B.1.3.2 Qualitätssicherung bei der Wasserstandserfassung

(1) Mit der redundant-diversitären Wasserstandserfassung, d. h. dem Einsatz von zwei oder mehr voneinander unabhängigen Messverfahren wird sichergestellt, dass auch bei Ausfall eines Messwertgebers der Wasserstand erfasst und übermittelt werden kann. Damit wird das Risiko verringert, dass Datenlücken bei der Registrierung des Wasserstandes entstehen. Ebenso können systematische Abweichungen der verschiedenen Messsysteme erkannt werden. Verfälschte Wasserstände, beispielsweise verursacht durch Geschwemmsel (Treibgut) am Kontrollquerschnitt oder Rückstau vom Unterwasser, werden allerdings so nicht sichtbar.

Drei oder mehr diversitäre Wasserstandsgeber mit Fernübertragung ermöglichen eine automatisierte Erstplausibilisierung der Rohdaten der verschiedenen Geber. Bei zwei Wasserstandsgebern erhält man lediglich eine Abschätzung der ordnungsgemäßen Funktion der Geber.

(2) Zur Dämpfung von Wasserspiegelschwankungen kann es vorteilhaft sein, die Messung in einem mit dem Gewässer kommunizierenden Schacht vorzunehmen. In diesem Fall muss sichergestellt werden, dass sich der Wasserstandsverlauf im Gewässer gleichartig im Schacht ausbildet und die Verzögerung und Dämpfung schneller Wasserstandswechsel unerheblich sind.

Bei vielen Pegeln fällt beim Vergleich der Aufzeichnungen der Wasserstandsgeber auf, dass ein im Gewässer montierter Geber die Wasserstandsschwankungen besser erfasst als ein Geber im Schwimmerschacht. So kann es z.B. bei Pegeln mit Schwimmerschacht bei Hochwasserereignissen mit kurzer Dauer passieren, dass der maximale Wasserstand erheblich zu niedrig registriert wird. Ursache kann eine teilweise verstopfte Zuleitung zum Schwimmerschacht sein. Die Montage einer zweiten (höher liegenden) Zulaufleitung kann hier Abhilfe schaffen.

(3) Mit der redundanten Datenregistrierung, d. h. der Ausrüstung der Pegel mit zwei Registriergeräten, wird sichergestellt, dass bei Ausfall eines Gerätes die Wasserstände weiterhin registriert werden. Stehen zwei digitale Registriergeräte am Pegel zur Verfügung, ist bei Ausfall eines Gerätes auch die Verfügbarkeit der Daten per Datenfernübertragung (DFÜ) z. B. für den Hochwasserdienst gewährleistet. Registriert das zweite Gerät analog, so ist bei Ausfall der digitalen Registrierung noch die Aufzeichnung der Wasserstände gewährleistet. Bei der vollständigen Redundanz (Redundanz bei Messung, Speicherung und Übertragung) stehen neben zwei unabhängig voneinander betriebenen Geräten zur Wasserstandserfassung und -registrierung auch zwei voneinander unabhängige Datenübertragungswege zur Verfügung, beispielsweise ein Telefonfestnetzanschluss und eine Mobilfunkübertragung.

### **B.1.3.3 Qualitätssicherung bei der Durchflussermittlung aus Messungen**

(1) Bei Durchflussmessungen kommt zu den Maßnahmen von B.1.3.2 noch hinzu:

- Überprüfung der Messprotokolle unmittelbar an der Messstelle und zusätzlich vor dem Auswerten auf Vollständigkeit, Fehleintragungen und Irrtümer,
- dauerhafte Sicherung der Original-Messprotokolle bzw. Messdaten,
- Durchführung der Korrekturen in Messprotokollen bzw. bei Messdaten so, dass die Originaleintragungen noch lesbar bleiben,
- Wiederholungsmessungen mit anderem Personal und anderen Geräten,
- Überprüfen und Anpassen der Messdienstorganisation an die jeweiligen Gegebenheiten,
- Schulung des Personals (nur ein mit dem Messverfahren vertrautes Team kann zuverlässige Messergebnisse erbringen),
- Rückkopplung des Messergebnisses (z. B. bei festem Messquerschnitt: Abweichung der Messung zu W/Q-Beziehung, Trockenprofil, Gewässerbreite, mittlere Fließgeschwindigkeit  $v_m$ , durchströmter Fläche, ...)
- Verhinderung von Umläufigkeiten und Undichtigkeiten bei Messanlagen,
- sorgfältiges Beobachten des Wasserstandes während der Durchflussmessungen und
- sorgfältiges Messen.

(2) Zur Qualitätssicherung sollten regelmäßig Vergleichsmessungen mit unterschiedlichen Verfahren und Geräten durchgeführt werden. Die Messungen sollten möglichst zeitnah erfolgen, da sich sonst die Gegebenheiten im Gewässer geändert haben könnten. Durch diese Vergleichsmessungen lassen sich mögliche Abweichungen quantifizieren. Empfohlen wird,

die Vergleichsmessungen jedes Jahr unter veränderten Rahmenbedingungen durchzuführen.

#### **B.1.3.4 Qualitätssicherung bei der Durchflussermittlung aus der W/Q-Beziehung**

(1) Voraussetzung für die qualitätsgesicherte Ermittlung von Durchflüssen aus kontinuierlichen Wasserstandsmessungen sind außer den Maßnahmen von B.1.3.3 noch folgende:

- Gültige Abflusskurven, die über die gesamte zeitliche Gültigkeit mit Durchflussmessungen bei unterschiedlichen Wasserständen belegt sind,
- stabile hydraulische Verhältnisse am Pegel. Dies kann bauliche Maßnahmen am Gewässer erfordern sowie regelmäßige Gewässer- und Gehölzpflege im für den Durchfluss maßgeblichen Gewässerabschnitt. Insbesondere auf der Gewässerstrecke im Unterwasser müssen veränderliche Abflusshindernisse entfernt werden, bevor es zu relevantem Rückstau am Pegel kommt.
- Erfassung der für die Gültigkeit der jeweiligen Abflusskurve relevanten Querprofile.

(2) Zur Sicherstellung dieser Voraussetzungen sind Durchflussmessungen durchzuführen:

- mindestens alle drei Monate, in begründeten Fällen auch weniger häufig,
- mindestens monatlich während der Zeit, in der der Wasserstand veränderlichen Einflüssen ausgesetzt ist (z. B. durch Verkrautungen, Eis),
- zusätzlich mehrere Messungen in Niedrigwasserperioden und bei jedem maßgeblichen Hochwasser,
- zusätzlich nach und möglichst kurz vor jeder Entkrautung und Räumung der Gewässerstrecke,
- zusätzlich nach jedem Hochwasser, wenn das Gewässerbett zu morphologischen Veränderungen neigt und
- zusätzlich weitere Messungen bei Wasserständen, bei denen die W/Q-Beziehung unterdurchschnittlich belegt sind.

(3) Extrapolationsbereiche außerhalb des Bereiches der Abflusskurve, der mit Durchflussmessungen belegt ist, insbesondere für den Hochwasserbereich, müssen gesonderten Betrachtungen unterzogen werden: Vergleich mit Nachbarpegeln, hydraulische Berechnung, Extrapolation der mittleren Fließgeschwindigkeit bei bekanntem Messquerschnitt.

(4) Darüber hinaus erforderlich sind erfahrene und geschulte Bearbeiter, die mit den örtlichen Besonderheiten vertraut sind.

#### **B.1.3.5 Weitere Maßnahmen**

Die eingesetzten Messverfahren und die Art des Pegelbetriebes hängen von der Funktion des Pegels und den Eigenschaften des Gewässers ab. Zur Erreichung der Qualitätsanforderungen sind folgende Maßnahmen vorzusehen:

- Verwendung genau justierter und einwandfrei funktionierender Messgeräte,
- Vorhalten von Reservegeräten: Messgeräte, Datenlogger, Modem bzw. Übertragungsgeräte, Akkus,
- Vorrangschaltung für wichtige Telefonanschlüsse bzw. Mobilfunk: Hochwasserwarnpegel und Messnetzzentralen (wenn technisch möglich),
- genaue Kenntnis des Messquerschnitts (besonders bei Hochwassermessungen),
- gründliche und rechtzeitige Vorbereitung (Zeitdruck fördert Messfehler),

- Beachten der einschlägigen Vorschriften, Wartungs- und Bedienungsanleitungen für die Messgeräte

## B.2 Anforderungen an Betrieb und Unterhaltung

(1) Die Gewährleistung einer hohen Betriebssicherheit und die regelmäßige Wartung der Pegelanlage sind die Grundvoraussetzungen für die exakte und lückenlose Erfassung von Wasserständen und Durchflüssen.

(2) Lattenpegel an Pegelmessstellen mit selbstregistrierenden Messsystemen sollten regelmäßig von einem Pegelbeobachter abgelesen werden, um Abweichungen zwischen dem Lattenpegel und den Messsystemen feststellen zu können. Die Ablesung am Lattenpegel dient als Referenz für die anderen Messsysteme, die bei Abweichungen anhand des Lattenpegels zu justieren sind. Die Art der Ablesung und die Ermittlung des Referenzwasserstandes, sowie alle besonderen Vorkommnisse sind in einem Beobachtungsblatt zu vermerken.

(3) Betrieb und Unterhaltung umfassen regelmäßig bei jeder Kontrolle:

- Sichtkontrolle der Pegelanlage und des Gewässerprofils,
- Räumen und Freihalten der Zuwegung und der Pegeltreppe,
- Freihalten des Messprofils und Kontrollquerschnitts von Bewuchs, Geschiebe, Treibgut und Eis, sofern gefahrlos möglich,
- Ablesung und Reinigung der Pegellatte,
- gegebenenfalls Abgleich der Messsysteme mit dem Referenzwasserstand (Pegellatte),
- Prüfung der Datenlogger einschließlich Datenfernübertragung,
- Austausch der Pegelbögen bzw. Auslesen der Datenlogger und
- Dokumentation.

(4) Turnusmäßig, nach Erfordernis oder entsprechend der Prüfpflicht:

- Kontrolle der Befestigung und des baulichen Zustandes der Pegellatten,
- Kontrolle der Höhenlage der Pegellatten,
- Reinigung von Pegelschacht und Zulaufrohr,
- Freihalten des Gewässerbettes, Messprofils und Kontrollquerschnitts von Bewuchs, Geschiebe und Treibgut mit schwerem Gerät
- Reinigung der mit dem Gewässer in Verbindung stehenden Messeinrichtungen,
- Prüfung, Kalibrierung, Justierung und Instandsetzung der Messeinrichtungen,
- Prüfung und Unterhaltung der baulichen Anlagen,
- Prüfung und Unterhaltung von Seilkrananlagen, Messstegen und Ingenieurbauwerken,
- Prüfung und Instandsetzung der elektrotechnischen Anlagen,
- Prüfung und Instandsetzung der Kompressoren, Druckbehälter und Druckleitungen,
- Prüfung der unterbrechungsfreien Stromversorgung mit Akkus bzw. der Solaranlagen und Brennstoffzellen,
- Prüfung und ggf. Austausch der Backup-Batterie im Datenlogger,
- Erneuerung von Trockenmitteln,
- Prüfung und Erneuerung von Schreiberbatterien und Erneuern des Schreibstifts bzw. Nachfüllen der Tinte,
- Prüfung und Instandsetzung von Heizungs- und Klimaanlage,
- Dokumentation und Erneuerung von Geräten (Anhaltspunkte für die Lebensdauer der Geräte können den Herstellerangaben entnommen werden.).
- **Bei stationären Durchfluss-Messanlagen:** Neuaufnahme des Profils und neue Kalibrierung bzw. Justierung der Anlage bei Veränderungen nach Hochwasserereignissen.



(5) Sofern eine Wasserstandsdatenfernübertragung vorhanden ist, muss werktäglich eine automatische und manuelle Prüfung erfolgen:

- Funktionsfähigkeit der Sensoren,
- Funktionsfähigkeit der Datenübertragung,
- Vollständigkeit der Messwerte,
- Aktualität,
- Grenzwertüberschreitung,
- Vergleich mit Nachbarpegeln und
- Differenzbildung zum redundanten Sensor.

(6) Das Durchführen von Durchflussmessungen erfordert große Sorgfalt und ein mit dem Messverfahren geschultes Team. Das hierzu eingesetzte Personal ist eingehend in seine Aufgaben einzuweisen und durch ständige Schulung heranzubilden mit dem Ziel, exakte Messungen nach diesem Handbuch auszuführen. Dabei ist Folgendes zu beachten:

- Es muss gewährleistet sein, dass die Messeinrichtungen jederzeit betriebsbereit sind.
- Bei jedem Messeinsatz ist möglichst eine Ersatzrüstung mitzuführen, damit bei Beschädigung oder Verlust eines Gerätes die Messung fortgeführt werden kann.
- Die Messungen sind auf Formblättern oder in den Eingabemasken der Betriebssoftware zu protokollieren. Der Aufbau dieser Messprotokolle ist vom Messverfahren und der Auswertemethode abhängig. Besondere Vorkommnisse und Störungen während der Messung sind zu vermerken. Die Nachvollziehbarkeit der Messergebnisse ist zu gewährleisten.
- Für das Auswerten sind die Original-Messprotokolle bzw. die Original-Messdaten maßgebend.
- Die Messungen sollten umgehend ausgewertet werden, da die Messergebnisse zeigen, ob kurzfristig Wiederholungsmessungen erforderlich sind.
- Der Bezugswasserstand einer Durchflussmessung, die während einer Fehllage der Pegellatte durchgeführt wurde, ist in gleichem Maße wie die Wasserstandsaufzeichnung selbst zu korrigieren.
- Bei räumlich ausgedehnten Messstellen (z. B. bei Messungen mit Schwimmern oder Markierungsstoffen mit mehreren Schiffen) ist die Verständigung der einzelnen Mitarbeiter, z.B. über Funk sicherzustellen.
- Eine fotografische Dokumentation und Archivierung der Gegebenheiten während den Messungen ist anzustreben.

(7) Bei der Durchführung der Durchflussmessungen ist besonders auf Bedingungen zu achten, die einen Einfluss auf die Messungen und auf die Messdaten haben können:

- Baumaßnahmen am Gewässer,
- Verkrautung,
- instabile Gewässersohle bei der Messung mit mobilen Doppler-Ultraschallgeräten.

### **B.3 Anforderungen an die Messstelle**

#### **B.3.1 Anforderungen an den Standort**

##### **B.3.1.1 Hydrologische und hydraulische Anforderungen**

Die Gewässerstrecke am gewählten Pegelstandort soll:

- die Erfassung aller Wasserstandsbereiche ermöglichen,

- eine gleichmäßige, uferparallele Strömung,
- ein möglichst stabiles Gewässerbett,
- gleichförmige, kompakte Querschnitte,
- ein stetiges Gefälle,
- keine Um- und Unterläufigkeiten (auch bei Höchstwasserständen) und
- keinen veränderlichen Rückstau aufweisen.

### **B.3.1.2 Rechtliche und planerische Gesichtspunkte**

Die Messstelle soll:

- bei allen Wasserständen leicht und sicher zugänglich sein,
- Natur-, Landschafts-, und Denkmalschutz berücksichtigen,
- bestehende Wasserrechte, öffentliche und privatrechtliche Regelungen berücksichtigen, in Bebauungspläne einbezogen werden,
- die Nähe elektromagnetischer Felder meiden und
- eine geeignete Infrastruktur (Zufahrt bzw. Zuwegung mit Klärung der Verkehrssicherungspflicht, Energieversorgung, Telekommunikation) aufweisen.

### **B.3.1.3 Gestaltung des Messprofils im Gewässer bei Messstellen zur Durchflussermittlung**

(1) Die Durchflussermittlung erfolgt an der Mehrzahl der Pegel indirekt durch Umrechnung der erfassten Wasserstände in Durchflüsse. Die Beziehung zwischen Wasserstand und Durchfluss kann durch bauliche Maßnahmen im Gewässer in vielen Fällen günstig beeinflusst werden.

(2) Bei schießendem Durchfluss ist ein Gewässerquerschnitt für die Durchflussermittlung nicht geeignet. Die Auswirkungen wechselnder hydraulischer Verhältnisse im Gewässerquerschnitt auf die W/Q-Beziehung des Pegels können durch folgende bauliche Maßnahmen minimiert werden:

- Einengen des Abflussquerschnitts insbesondere für den Niedrigwasserbereich (Niedrigwasserrinne),
- Umgestaltung des Gewässerquerschnitts an der Pegelstelle, um ein günstiges Verhältnis zwischen Wasserstands- und zugehöriger Durchflussänderung zu erzielen,
- Sicherungsmaßnahmen im Gewässerraum, um vorhandene hydraulische Verhältnisse zu stabilisieren (Sohl- und Böschungssicherungen, Abstürze),  
Sicherung der Gewässersohle/des Ufers an der Pegelstelle gegen Erosion durch Befestigungen senkrecht zur Fließrichtung (z. B. eingerammte Spundwände, sohlgleiche Schwellen).
- Im Hochwasserbereich können Hochwasserleitdämme erforderlich werden, um den gesamten Durchfluss im Messquerschnitt zusammenzufassen. Der von den Leitdämmen hervorgerufene Aufstau nach Oberstrom sollte durch einen hydraulischen Nachweis festgestellt werden.

(3) Grundsätzlich sollte immer im selben Messquerschnitt gemessen werden (siehe Kap. A.3.3). Abweichend hiervon kann es jedoch zur Erzielung besserer Ergebnisse erforderlich sein, unterschiedliche Messquerschnitte für den Niedrig-, Mittel- und Hochwasserbereich zu wählen. Diese sind zu dokumentieren.

## B.3.2 Bauliche Gestaltung der Pegelstation

### B.3.2.1 Allgemeines

(1) Wichtige Voraussetzung für einen einwandfreien Betrieb der Mess- und Übertragungstechnik einer Pegelstation ist u. a. der Schutz vor unbefugten Eingriffen und vor Witterungseinflüssen. Kann diese Technik nicht in einem bestehenden Gebäude untergebracht werden, so ist eine eigene bauliche Anlage zu errichten, beispielsweise ein begehbare Pegelhaus, ein Schaltschrank oder eine Kompaktanlage. Folgendes ist zu beachten:

- Pegelanlage und Zuwegung zur Anlage sollen hochwasserfrei liegen und den Arbeitsschutzbestimmungen genügen.
- Treppen und Stege sind rutschsicher und ausreichend breit auszuführen.
- Es sind Vorkehrungen zu treffen, dass Nagetiere, Insekten und andere Tiere den Messbetrieb nicht beeinträchtigen, die Messeinrichtungen nicht schädigen und das Messpersonal nicht gefährden können.
- Die Öffnungen in Schachtabdeckungen sind klein zu halten, damit möglichst wenig Feuchtigkeit in den Innenraum eindringt.
- Es sind Maßnahmen zum Schutz der elektrischen und elektronischen Geräteteile gegen Überspannungen erforderlich. Insbesondere sind Blitzschutzeinrichtungen für Netzführung, Fernsprechanchlüsse und Signalleitungen sowie die Erdungsanlage bereits bei der Planung zu berücksichtigen.

(2) Bei der Auswahl und Dimensionierung der Messgeräte und der weiteren Einrichtungen wie Trägerkonstruktionen, Pegelschächte oder Standrohre sind gegebenenfalls die Schwankungsbreiten der in Tabelle B.3-1 aufgeführten Einflussgrößen zu beachten.

Parameter	Größenordnung
Fließgeschwindigkeit des Wassers	0 – 5 m/s
Windgeschwindigkeit	0 – 180 km/h
Lufttemperatur	- 40° – + 60° C
Luftfeuchtigkeit relativ	10 – 100 %
Wassertemperatur	- 10° – + 35° C
Salzgehalt	0 – 3,7 %
Schwebstoffgehalt	0 – 40000 mg/l

Tabelle B.3-1 äußere Einflussgrößen

### B.3.2.2 Messstrecke

(1) Bestandteil einer Pegelstation ist auch die Messstrecke. Gemeint ist damit ein Fließgewässerabschnitt am Pegel, in welchem sich das Messprofil befindet.

(2) An die Ausgestaltung der Messstrecke sind besondere bauliche Ansprüche zu stellen, die Messstrecke soll:

- ein möglichst stabiles Gewässerbett haben (ggf. ist die Messstrecke wasserbaulich zu befestigen),
- eine gerade und gleichmäßige uferparallele Strömung aufweisen,
- ohne Aufweitungen oder Einengungen sein,

- über eine ausreichende Länge verfügen, die sich nach den hydraulischen Gegebenheiten des Gewässers richtet,
- so beschaffen sein, dass sie bei allen Wasserständen strömend durchflossen wird und Durchflussänderungen sich adäquat in Wasserstandsänderungen darstellen,
- eine Wartung und Reinigung ermöglichen.

### **B.3.2.3 Pegelhaus**

Die Raumabmessungen richten sich nach den aufzustellenden Geräten, dem Platzbedarf für die Innenausstattung sowie dem erforderlichen Bewegungsraum für Betriebs-, Wartungs- und Montagearbeiten:

- Das Haus muss ausreichend beleuchtet sein. Die Pegellatte sollte möglichst vom Haus aus einsehbar sein.
- Türen und Fenster sollen dicht schließen; geöffnete Flügel sollen sicher arretierbar sein; Tür- oder Fensteröffnungen zur Wetterseite sollten möglichst vermieden werden.
- Kondenswasserbildung ist durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden. Es ist ausreichend Wandfläche für das Anbringen von Geräten u. ä. vorzusehen.
- Einem Ausfall der Energieversorgung muss durch eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) vorgebeugt werden, deshalb wird für die elektrische Ausstattung des Pegelhauses empfohlen:
  - Steckdosen für Innen- und Außenbeleuchtung, Steckdosen für Messgerätektechnik, Datenübertragungstechnik, Heizung, Seilkrananlage sowie Reservesteckdosen,
  - Schaltung und Absicherung mehrerer Stromkreise,
  - Kraftstromanschluss für Geräte für Wartungsarbeiten.
- Bei einem Pegel mit Schwimmer und Lotvorrichtung soll eine Öffnung des Geräteraumes so angeordnet sein, dass der Lotfußpunkt über dem Schwimmerschacht ohne Zwischenaufstellung einnivelliert werden kann.
- Bei Seilkrananlagen muss das Pegelhaus so groß gebaut werden, dass die Laufkatze vollständig eingefahren werden kann.
- Bei einem Haus mit Seilkrananlage soll ein Fenster den Blick auf das Gewässer nach Oberstrom freigeben, damit die Bediener der Seilkrananlage Treibzeug, Schiffe oder Boote rechtzeitig erkennen können.
- Die Eingangstür und die geöffneten Tür- oder Fensterflügel dürfen nicht in der Flucht des Trageseils einer Seilkrananlage liegen (Arbeitsschutz, Messungen bei überströmter Treppe). Für den Messflügel ist eine gesonderte Tür vorzusehen, die in geschlossenem Zustand keinen Niederschlag eindringen lässt.

### **B.3.2.4 Seilkrananlagen**

(1) Seilkrananlagen sind Vorrichtungen, mit deren Hilfe ein Messgerät (z. B. Schwimmflügel, mobile Ultraschall-Geräte) an einem über das Gewässer gespannten Drahtseil zu beliebigen Messlotrechten und in unterschiedliche Wassertiefen gefahren werden kann; sie bestehen aus zwei Stützen, dem Trage- und Verschiebeseil, der Laufkatze, den Seilspannvorrichtungen und der Doppelwinde. Mittels Seilkrananlagen kann das Messpersonal, insbesondere bei Hochwasser, sicher, schnell und effektiv messen.

(2) Seilkrananlagen sind bei größeren Gewässerbreiten und höheren Fließgeschwindigkeiten einsetzbar. Sie haben den Vorteil, dass

- das Messpersonal witterungsgeschützt in einem Schutzhaus arbeiten kann,
- die zur Durchflussmessung erforderlichen Geräte im Allgemeinen an Ort und Stelle gelagert sind und nicht herangefahren und -getragen werden müssen,
- dass Durchflussmessungen einen geringeren Kräfteinsatz erfordert, insbesondere bei elektrisch betriebenen Anlagen,
- Schwimmflügel mit schwerem Gewichtskörper (50 kg, 100 kg) verwendet werden können, die bei großen Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen wegen ihrer geringen Abdrift die Messungen überhaupt erst ermöglichen.

(3) Für die Bemessung und bauliche Ausführung von Seilkrananlagen ist Folgendes zu beachten:

- Trag- und Verschiebeseil sollen das Gewässer rechtwinklig zur Strömungsrichtung überspannen. Die gewählte Lösung sollte bei vorgegebener Spannweite einen möglichst geringen Seildurchhang haben.
- Alle Teile der Seilkrananlage müssen den Sicherheitsanforderungen genügen (Statik, Arbeitsschutz).
- Bei der Planung und Ausführung ist auf standortspezifische Gegebenheiten wie z. B. ausreichendes Lichtraumprofil für die Schifffahrt, Durchfahrtshöhen für die Deichverteidigung, land- bzw. forstwirtschaftlichen Verkehr oder Fußgängerverkehr zu achten.
- Die Winde muss in einem Schutzhaus untergebracht werden. Die Laufkatze muss in das Schutzhaus, gegebenenfalls in einen besonderen Schutzkasten, eingefahren werden können.
- Das Profil der Seilkrananlagen ist von Bewuchs freizuhalten, um die Durchführbarkeit der Messungen sicherzustellen.
- Messungen müssen bis in den Hochwasserbereich möglich sein. Tragseil und Katzfahrseil müssen deshalb ausreichend hoch liegen, auch unter Last. Gegebenenfalls kann ein Höhenzuschlag aufgrund zu erwartenden Treibgutes erforderlich sein.
- Ausreichende Gründung und Sicherung des Pegelhauses gegen Hinterspülen und Kippen, z. B. durch Einlassen in die Böschung und strömungsgünstige Ausführung.
- Anlage der Arbeitsplattform möglichst im Pegelhaus.
- Eine elektrische Ausführung ist aufgrund der schnelleren Bedienbarkeit zum Ausweichen bei Treibgut zu bevorzugen.

(4) Für Bau und Betrieb von Seilkrananlagen sind die einschlägigen Richtlinien und Verordnungen zu beachten. Seilkrananlagen sind regelmäßig durch einen Sachverständigen bzw. Sachkundigen zu prüfen.

### **B.3.2.5 Messstege**

(1) Ein Messsteg werden verwendet, um:

- beim Messvorgang sowohl Stangenflügel als auch Schwimmflügel am Brückenausleger und bei ADCP Messungen mittels Führungsseil einzusetzen zu können,
- während des Messens auftretende Störungen am Messgerät im Allgemeinen schnell erkennen und beheben zu können und
- die Stellen der Messlotrechten dauerhaft zu markieren.

(2) Beim Bau von Messstegen ist Folgendes zu beachten:

- Das Gewässer soll möglichst rechtwinklig zur Strömungsrichtung und ohne Zwischenstützen überspannt werden.

- Grundsätzlich sind Messstege für den öffentlichen Verkehr zu sperren (Hinweisschild, verschließbar).
- Die üblichen Sicherheitsanforderungen sind einzuhalten (Statik, Arbeitsschutz).
- Ein unbehindertes Arbeiten, insbesondere auch mit dem Schwimmflügel, muss möglich sein.
- Auskragende Teile sind zu vermeiden.

(3) Die Standsicherheit der Messstege ist auch bei Hochwasser zu gewährleisten. Daher ist Folgendes zu beachten:

- Die Unterkante des Messsteges ist ausreichend hoch zu legen. Ein Freibord für das zu erwartende Treibgut ist vorzusehen.
- Die Messstegfundamente sind gegen Hinterspülen und Auskolkungen zu sichern und entsprechend zu gründen.
- Der Steg ist durch Schwerlastanker bzw. Einlassen und Befestigen in einer Betonaussparung im Widerlager zu befestigen.

### **B.3.2.6 Verwendung von Brücken**

Befinden sich in Nähe des Pegelstandortes für Messungen geeignete Brücken oder Stege, kann aus Kostengründen auf den Bau von Messstegen oder Seilkrananlagen verzichtet werden. Dabei ist Folgendes zu beachten:

- Die Brücken müssen bestimmte Sicherheitsanforderungen (Arbeitsschutz, Verkehrssicherheit, Statik) erfüllen und für die Anwendung der Messtechniken (Stangenflügel, Schwimmflügel, mobile Ultraschall-Geräte) geeignet sein.
- Im Hochwasserfall muss die Brücke einstaufrei bleiben. Brückenpfeiler können die Strömung stören und müssen während der Messung berücksichtigt werden.
- Zwischen Pegelstandort und Brücke dürfen keine größeren Zuflüsse, Umläufigkeiten oder Ausuferungen auftreten.
- Die Brücke sollte rechtwinklig zur Strömungsrichtung stehen, andernfalls ist der Winkel zur Strömungsrichtung bei der Auswertung der Messungen zu berücksichtigen.
- Genehmigungen für notwendige Absperrungen bei Nutzung für Messungen sind einzuholen.

## B.4 Messverfahren Wasserstand

### B.4.1 Übersicht der gängigen Messverfahren für den Wasserstand

Messsystem	Messverfahren	Unsicherheit des Einzelwertes	Systematische Abweichungen	Vorteile	Nachteile
Lattenpegel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- visuelle Ablesung der Skala einer Pegellatte (Referenzwasserstand)</li> </ul>	0,5 cm bei ruhiger Wasseroberfläche 1 cm für senkrechten Lattenpegel im Fließquerschnitt 0,5 cm für senkrechten Lattenpegel im Pegelschacht	<ul style="list-style-type: none"> <li>- falsche Einmessung der Pegellatte</li> <li>- Veränderungen der Lage der Pegellatte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unabhängig von elektrischer Energie</li> <li>- direkte Ablesung des Wasserstandes für jedermann möglich</li> <li>- kostengünstige Beschaffung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- keine digitale Datenaufzeichnung</li> <li>- keine kontinuierlichen Messungen möglich</li> <li>- personalintensiv</li> <li>- Fehlerquelle: Ableser</li> <li>- keine Datenfernübertragung</li> <li>- keine standardisierte Mittelwertbildung möglich</li> <li>- in der Regel keine Dämpfung</li> </ul>
Schwimmerpegel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ermittlung des Wasserstandes durch einen Schwimmer in einem Schacht bzw. Pegelrohr, der mit dem Gewässer verbunden ist</li> <li>- Registrierung über Schreibstreifen und/oder Winkelkodierer</li> </ul>	0,2 bis 0,4 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- verzögerte Schwimmereinstellungen durch die erforderlichen mechanischen Stellkräfte sowie die Dämpfung durch die Verbindung zum Gewässer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- einfaches, zuverlässiges, robustes, klar erkennbares mechanisches Messprinzip</li> <li>- leichte Bedienung, Instandsetzung teilweise in Eigenregie möglich</li> <li>- Betrieb auch ohne Stromversorgung möglich (bei ausschließlicher Aufzeichnung auf Schreibbogen)</li> <li>- Datenaufzeichnung bzw. -speicherung</li> <li>- Datenfernübertragung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- in der Regel Pegelschacht oder Pegelstandrohr erforderlich</li> <li>- häufig wartungsaufwändig mit hohen Unterhaltungskosten (regelmäßige Spülungen von Vorschacht, Schachtzulauf und Schacht)</li> <li>- Gefahr des Zufrierens von Schacht und Schachtzulauf im Winter</li> <li>- durch mechanische Einflüsse beeinträchtigt (bewegte Teile)</li> <li>- bei längerem Verbindungsrohr zum Gewässer Verzögerung und Dämpfung schneller Wasserstandswechsel</li> </ul>
Einperlpegel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung des hydrostatischen Drucks der Wassersäule oberhalb einer Ausperlöffnung</li> <li>- Messung des hydrostatischen Wasserdrucks durch die Erzeugung eines gleich großen Gasdrucks</li> </ul>	0,5 bis 1cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Undichtheiten von Druckübertragungsleitungen</li> <li>- aus zu hoher Luftströmung</li> <li>- aus der Verlegung der Ausperlöffnung durch Geschiebe oder Verkalkung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bewährtes und zuverlässiges Messverfahren</li> <li>- vergleichsweise niedrige Investitions- und Unterhaltungskosten</li> <li>- Betrieb auch ohne Stromversorgung möglich (bei ausschließlicher Aufzeichnung auf Schreibbogen und Verwendung von Gasflaschen)</li> <li>- nur Druckübertragungsleitung und Ausperlmundstück werden im Gewässer verlegt, die eigentliche Messtechnik kommt mit dem Wasser nicht in Berührung</li> <li>- wartungsarm</li> <li>- Datenaufzeichnung bzw. -speicherung</li> <li>- Datenfernübertragung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Messgröße ist der hydrostatische Druck an der Stelle der Ausperlöffnung im Gewässer. Eine Dichteänderung der Wassersäule durch Temperatur oder Salzgehalt kann nicht erfasst werden.</li> <li>- Geschiebe kann Einperlöffnung blockieren, durch spezielle Konstruktionen kann diese Gefahr erheblich reduziert werden.</li> <li>- Messwerte werden beeinflusst durch hohe Fließgeschwindigkeiten bei der Ausperlöffnung.</li> <li>- Kontinuierliches Gefälle der Leitung ist notwendig, damit Kondenswasser Messergebnisse nicht verfälschen kann.</li> <li>- Bei nicht frostfrei verlegter Leitung kann im Winter Kondenswasser gefrieren und die Leitung blockieren.</li> <li>- In kalkhaltigen- oder ockerhaltigen Gewässern ist das Zusetzen der Leitung durch Verkalkung/Verockerung möglich.</li> <li>- Wartung muss von geschultem Fachpersonal durchgeführt werden.</li> <li>- erhöhter Strombedarf</li> <li>- Nullpunktdrift möglich bei kontinuierlicher Einperlung</li> </ul>
Drucksondenpegel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfassung des hydrostatischen Drucks der Wassersäule oberhalb einer Messmembran</li> </ul>	0, 2 bis 1 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkalkung oder Verockerung der Membran</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Drucksonden mit Keramikmembran eher robust und langzeitstabil</li> <li>- vergleichsweise niedrige Investitions- und Unterhaltungskosten,</li> <li>- einfache Installation</li> <li>- Datenaufzeichnung bzw. -speicherung</li> <li>- Datenfernübertragung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Messgröße ist der hydrostatische Druck an der Stelle der Messmembran. Eine Dichteänderung der Wassersäule durch eine Änderung des Salzgehalts und durch eine Änderung der Temperatur kann nicht vollständig erfasst werden.</li> <li>- je nach Typ größere Temperaturabhängigkeit bei unzureichender Kompensation der Dichteänderung des Wassers möglich</li> <li>- größere Anfälligkeit für Verschmutzung, da Installation der Sonden im Gewässer</li> <li>- größerer Wartungsaufwand bei Installation in kalkhaltigen Gewässern oder Verockerung</li> <li>- überspannungsgefährdet bei längeren Leitungen im Außenbereich</li> <li>- Luftdruckkompensation erforderlich</li> <li>- Nullpunktdrift möglich</li> </ul>
Radarpegel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laufzeitmessung elektromagnetischer Mikrowellen zwischen der Wasseroberfläche</li> </ul>	0,3 cm (K-Band) 0,1 cm (C-Band)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Höhenänderung der Trägerkonstruktion, z.B. durch Tempera-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- robust und langzeitstabil</li> <li>- berührungslos</li> <li>- relativ ausfallsicher und wartungs-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- überspannungsgefährdet bei längeren Leitungen im Außenbereich</li> <li>- Wartung kann nur von geschultem Fachpersonal vorgenommen</li> </ul>

	und dem Sensor		<p>turänderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- arm</li> <li>- Datenaufzeichnung bzw. -speicherung</li> <li>- Datenfernübertragung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- werden.</li> <li>- Beeinflussung der Messung durch Eis</li> <li>- Messort in der Regel relativ weit von der Pegellatte entfernt, dadurch können sich Differenzen ergeben.</li> <li>- Eine Trägerkonstruktion ist erforderlich,</li> <li>- Beeinflussung des Messergebnisses durch Höhenänderung der Trägerkonstruktion z. B. durch Temperaturänderung</li> <li>- Ausreichender Abstand zwischen der Messeinrichtung und dem Wasserspiegel zur Verarbeitung der Daten wegen erforderlicher Wegezeiten muss vorhanden sein.</li> <li>- fehlerhafte Messungen bei stehenden Wellen</li> </ul>	
Ultraschallpegel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laufzeitmessung akustischer Signale zwischen der Wasseroberfläche und dem Sensor</li> </ul>	<p>Ultraschallmesssysteme mit Referenzsensor: 1cm einfache Ultraschallpegel erfüllen die in der Hydrometrie geforderte Genauigkeit nicht</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Höhenänderung der Trägerkonstruktion z.B. durch Temperaturänderungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- robust und langzeitstabil</li> <li>- kein Kontakt mit dem Gewässer</li> <li>- relativ ausfallsicher und wartungsarm</li> <li>- einfache Ultraschallpegel sind relativ kostengünstig</li> <li>- Datenaufzeichnung bzw. -speicherung</li> <li>- Datenfernübertragung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ultraschallpegel mit Referenzsensor zur Kompensation der physikalischen Einflüsse sind kostenintensiv.</li> <li>- Einfache Ultraschallpegel erzielen nicht die geforderte Genauigkeit.</li> <li>- überspannungsgefährdet bei längeren Leitungen im Außenbereich</li> <li>- Wartung kann nur von geschultem Fachpersonal vorgenommen werden.</li> <li>- Beeinflussung der Messung durch Eis</li> <li>- Messort in der Regel relativ weit von der Pegellatte entfernt, dadurch können sich Differenzen ergeben.</li> <li>- nicht geeignet bei Schaumbildung und Bedeckung durch Wasserpflanzen</li> <li>- Gemessene Laufzeit des Ultraschallsignals ist temperaturabhängig.</li> <li>- Eine Trägerkonstruktion ist erforderlich.</li> <li>- Beeinflussung des Messergebnisses durch Höhenänderung der Trägerkonstruktion z. B. durch Temperaturänderung</li> <li>- Ausreichender Abstand zwischen der Messeinrichtung und dem Wasserspiegel zur Verarbeitung der Daten wegen erforderlicher Wegezeiten muss vorhanden sein.</li> <li>- fehlerhafte Messungen bei stehenden Wellen</li> </ul>

Tabelle B.4-1 gängige Wasserstandsmessverfahren



## B.4.2 Verwendete Verfahren

### B.4.2.1 Lattenpegel

(1) Ein Lattenpegel ist der maßgebende Teil des Pegels, der aus einer fest ins Gewässer eingebauten Messlatte und drei Pegelfestpunkten besteht. Er dient der regelmäßigen Ableseung des Wasserstandes. Der Lattenpegel bildet den Referenzwasserstand aller weiteren Messsysteme.

(2) Die Ausführungsart und Anordnung von Pegellatten ist so zu wählen, dass alle Wasserstände möglichst unbeeinflusst sind und gut abgelesen werden können. Eine sichere Zugänglichkeit zur Pegellatte ist zu gewährleisten; i. d. R. ist eine Pegeltreppe zu errichten.

(3) Lattenpegel können ausgeführt werden als

- senkrechte Pegellatten,
- Schrägpegel,
- Treppenpegel,
- Staffelpegel aus mehreren Pegellatten.

Senkrechte Pegellatten haben eine unverzerrte Maßeinteilung. Sie werden bevorzugt an senkrechten Flächen, wie steilen Ufern, Spundwänden, Brückenpfeilern oder Pegelschächten angebracht.

Schrägpegel werden häufig bei geböschten Ufern eingesetzt. Sie werden bündig in die Böschung eingebaut und haben demzufolge eine von der Böschungsneigung abhängige verzerrte Maßeinteilung. Bei Einbau eines Schrägpegels neben einer Treppe ist dieser oberstromseitig anzuordnen.

Treppenpegel werden i.d.R. an der oberstromseitigen Wange einer Pegeltreppe befestigt. Sie haben eine treppenförmig angeordnete, senkrechte Maßeinteilung. Gegenüber Schrägpegeln haben Treppenpegel den Vorteil, dass sie eine unverzerrte Maßeinteilung aufweisen und auch bei flacheren Böschungen noch gut ablesbar sind.

Staffelpegel werden bevorzugt an gegliederten Pegelprofilen mit Vorländern errichtet. Sie bestehen aus mehreren senkrechten Pegellatten mit höhenmäßiger Staffelung oder als Kombination aus Schräg- oder Treppenpegel. Die Oberkante einer Latte eines Staffelpegels sollte sich mit der Unterkante der nächsthöheren Latte soweit überlappen, dass Wellenschwankungen gemittelt werden können. Die Latten eines Staffelpegels werden mit römischen Ziffern nummeriert, beginnend bei der untersten Pegellatte.

(4) Um eine hohe, gleichbleibende Qualität der Messergebnisse zu erzielen, ist Folgendes zu beachten:

- An jeder Pegellatte muss ein leichtes und eindeutiges Anlegen der Nivellierlatte gewährleistet sein. Dazu empfehlen sich feste Aufsatzpunkte.
- Pegellatten sind in der Höhenlage verstellbar einzubauen, damit eine Nachjustierung leicht möglich ist.
- Pegellatten sollten aus Gründen der guten Ablesbarkeit zweifarbig gestaltet und dezimeterweise oder in Abständen von fünf Zentimetern mit einer E-Teilung versehen sein. Die Maßeinteilung beträgt i.d.R. 1 cm oder 2 cm.

(5) Systematische Abweichungen können durch eine falsche Einmessung der Pegellatte oder durch Veränderungen der Lage der Latte, z.B. durch Hochfrieren oder Setzungen, verursacht werden.

(6) Die Messunsicherheit liegt bei ruhiger Wasseroberfläche oder im Schwimmerschacht bei 0,5 cm, bei senkrechten Lattenpegeln im Fließquerschnitt bei 1 cm.

#### **B.4.2.2 Schwimmerpegel**

(1) Beim Schwimmerpegel werden die Wasserstände mit einem ins Wasser eingetauchten Schwimmkörper erfasst. Die Wasserstandsänderungen werden mit Hilfe eines Schwimmerseils auf ein Schwimmerrad übertragen, welches die Bewegungen mechanisch auf Papier (Trommelschreiber, Bandschreiber) und/oder elektronisch (Winkelkodierer mit Datensammler) aufzeichnet. Das Schwimmerseil wird durch ein Gegengewicht oder einem Zugfedermechanismus gespannt.

(2) Um eine hohe, gleichbleibende Qualität der Messergebnisse zu erzielen, ist zu beachten:

- Der Pegelschacht ist über ein Verbindungsrohr mit dem Gewässer verbunden, wodurch sich nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren im Schacht der gleiche Wasserstand wie im Gewässer einstellt.
- Zum Schutz vor Wind, Wellenschlag, Strömung, Vereisung oder Treibgut muss der Schwimmer im Pegelschacht oder in einem Rohr untergebracht sein.
- Der Durchmesser des Schwimmers hat Einfluss auf die Messgenauigkeit. Für präzise Wasserstandsmessungen können Schwimmerdurchmesser von 30 cm und mehr erforderlich werden. Zu kleine Durchmesser unter 15 cm sollten vermieden werden.
- Pegelschächte sollten möglichst nah am Gewässer errichtet werden; i.d.R. werden sie in die Uferböschung gebaut. Da sich im Schacht Schlamm ablagert und das Gegengewicht des Schwimmers nicht aufsetzen darf, sollte der Boden des Schachtes mindestens 30 cm tiefer als der niedrigste zu erwartende Wasserstand liegen. Die Höhe der Oberkante des Schachtes sollte ausreichend für die Erfassung eines extremen Hochwasserereignisses sein.
- Der Durchmesser eines Pegelschachtes muss mindestens so groß sein, dass sich Schwimmer und Gegengewicht frei bewegen können. Begehbare Schächte sollten einen Durchmesser von mindestens 1 m aufweisen, mit Einstieghilfen sowie Steigeisen oder Steigleitern ausgerüstet sein und sind durchtrittsicher abzudecken. Die Unfallverhütungsvorschriften sind zu beachten.
- Das Verbindungsrohr sollte sich möglichst nah am Lattenpegel befinden, damit die durch den Schwimmerpegel gemessenen Wasserstände mit der Wasserstandablesung am Lattenpegel übereinstimmen. Das Verbindungsrohr sollte senkrecht zur Uferlinie verlegt werden. Es muss ohne Gefälle verlegt sein. Um ein Zusetzen des Rohrs zu vermeiden, sollte das Verbindungsrohr nicht unterhalb der Gewässersohle liegen und mindestens 30 cm oberhalb des Schachtbodens einmünden. Mündet das Verbindungsrohr in eine Einlaufkammer, kann seine Sohle auch unter der Höhe der Gewässersohle liegen.
- Der Durchmesser eines Verbindungsrohrs sollte 20 cm und die lichte Weite eines Verbindungsgerinnes 80 cm nicht unterschreiten. Ggf. kann auch die Anordnung von mehreren übereinanderliegenden Verbindungsrohren sinnvoll sein, um im Hochwasserfall Fehlmessungen durch verlandungsbedingte Dämpfungen des unteren Rohres zu verhindern. Bei mehreren Verbindungsrohren in unterschiedlichen Höhen sind auch kleinere Durchmesser zulässig.
- Die Mündung eines Verbindungsrohrs in das Gewässer muss so gestaltet werden, dass Verwirbelungen und Ablagerungen möglichst gering sind. Im einfachsten Fall wird das Verbindungsrohr böschungsgleich abgeschnitten. Das Rohr kann auch in eine Einlaufkammer münden. Solche Kammern sollten einen Absetzraum von ca. 30-40 cm unter der Rohrsohle erhalten.

- Die Verbindungsrohre sollten zum Gewässer hin mit einem herausnehmbaren Gitterrost oder einer Filterplatte abgedeckt werden, um zu verhindern, dass größere Tiere (Nager) eindringen. Die Filterplatten sollten möglichst großflächig ausgeführt werden, um eine Dämpfung der Wasserstandsänderung zu vermeiden. Filterplatten müssen regelmäßig gereinigt werden. Bei kalk- oder ockerhaltigen Gewässern können sich die Filterplatten zusetzen.
- Das Schwimmerseil muss so durch die Abdeckung geführt werden, dass Schwimmer und Gegengewicht bei allen Wasserständen frei beweglich sind und ihr Auswechseln ohne Schwierigkeiten möglich ist. Gegen das Durchrutschen des Schwimmerseils sind Vorkehrungen zu treffen. Bei großen Schachttiefen muss auf einen exakt lotrechten Schachtbau geachtet werden, damit Schwimmer und Gegengewicht nicht gegen die Schachtwand anstoßen.
- Bei Messstellen mit großen Vorländern und Flüssen mit starkem Sedimenttransport empfiehlt sich die Installation einer ortsfesten Spüleinrichtung. Vorteilhaft für die Durchführung von Spülungen oder für das Leerpumpen des Schachtes ist die Installation eines Absperrschiebers vor dem Verbindungsrohr.
- Um im Winter Eisbildung im Pegelschacht zu vermeiden sind geeignete Frostschutzmaßnahmen wie Beheizung und eine gute Wärmedämmung vorzusehen. Verbindungsrohre sollten frostfrei installiert werden.
- Werden Schwimmerpegel in einem direkt im Gewässer installierten Schutzrohr untergebracht, muss sich dieses ebenfalls möglichst nah am Lattenpegel befinden, um Verfälschungen der gemessenen Wasserstände durch ein vorhandenes Wasserspiegelgefälle zu verhindern. Die Verbindung zum Gewässer wird durch Boden- bzw. Mantelöffnungen gewährleistet.

(3) Systematische Abweichungen bei Schwimmerpegeln treten vor allem durch verzögerte Schwimmereinstellung, durch den Einfluss der Schwimmerseilbewegung oder durch das Eintauchen des Gegengewichtes auf. Verzögerte Schwimmereinstellungen sowie der Einfluss der Schwimmerseilbewegung können durch die Verwendung größerer Schwimmerdurchmesser reduziert werden. Die Gefahr des Eintauchens des Gegengewichtes und der damit verbundenen Verfälschung der Wasserstandsmessung durch Auftriebskräfte kann durch einen genügend hohen Pegelschacht oder die Führung des Gegengewichtes in einem separaten Rohr vermieden werden. Bei längerem Verbindungsrohr zum Gewässer ergeben sich Verzögerung und Dämpfung schneller Wasserstandswechsel, dies wird durch kleine Öffnungen bzw. bei zu kleiner Filterplatte verstärkt.

(4) Bei Vermeidung von Messfehlern (z. B. durch falsches Ablesen des Referenzwertes, fehlerhaftes Auflegen der Pegelbögen, falsches Aufsetzen der Schreibfeder oder ungenaue Zeitmessung) und Minimierung von Messunsicherheiten können Schwimmerpegel eine Messunsicherheit von 0,2 bis 0,4 cm aufweisen.

#### **B.4.2.3 Einperlpegel**

(1) Das Messprinzip von Einperlpegeln basiert auf der Wasserstandsermittlung über die Messung des hydrostatischen Drucks. Dieser ist abhängig von der Wassersäule und der Dichte des Wassers. Bei konstanter Dichte ist der gemessene Druck proportional zum Wasserstand. Die Dichte des Wassers wird durch die Wassertemperatur, den Salzgehalt und den Schwebstoffgehalt beeinflusst.

Mit Hilfe eines Kompressors wird beim Einperlpegel Druckluft in eine Druckübertragungsleitung gepresst und zur Ausperlung gebracht. Der dafür aufzuwendende Druck ist ein Maß für die Wassersäule über der Ausperlöffnung und wird mit Hilfe eines Druckmessumformers,

zumeist einer Drucksonde, ausgewertet. Außerdem gibt es auch Einperlpegel, bei denen Stickstoff aus Druckflaschen zur Ausperlung verwendet wird.

(2) Um eine hohe, gleichbleibende Qualität der Messergebnisse zu erzielen, ist zu beachten:

- Die Ausperlöffnung sollte möglichst nah am Lattenpegel installiert werden, damit die durch den Einperlpegel gemessenen Wasserstände mit der Wasserstandablesung am Lattenpegel übereinstimmen.
- Die Ausperlöffnung, an der sich das Ausperlmundstück befindet, muss unterhalb des niedrigsten zu erwartenden Wasserstandes liegen. Die Befestigung des Ausperlmundstücks sollte unverrückbar und möglichst vor Eis und Treibgut geschützt erfolgen.
- Bei Gewässern mit starkem Sedimenttransport sollte das Ausperlmundstück möglichst dort eingebaut werden, wo keine Ablagerungen von Sedimenten stattfinden.
- Länge und Durchmesser der Druckübertragungsleitung haben Einfluss auf die Übertragungsgeschwindigkeit der Wasserstandsänderung, dies sollte bei der Dimensionierung der Anlage berücksichtigt werden. Kontinuierlich messende Systeme erlauben eine längere Druckleitung als nicht-kontinuierliche arbeitende Geräte.
- Die Leitung muss auf der gesamten Länge ein stetiges Gefälle zur Ausperlöffnung hin aufweisen, darf nicht geknickt sein und sollte frostfrei verlegt sein.

(3) Systematische Abweichungen bei Einperlpegeln resultieren hauptsächlich aus Undichtigkeiten von Druckübertragungsleitungen, aus Kondenswassereinschlüssen in den Leitungen, aus zu hoher Luftströmung oder aus der Verlegung der Ausperlöffnung durch Geschiebe oder Verkalkung. Zusätzlich werden die Messwerte durch hohe Fließgeschwindigkeiten bei der Ausperlöffnung beeinflusst.

(4) Bei fachgerechter Bedienung und Unterhaltung können Messunsicherheiten erreicht werden, die zwischen 0,5 und 1 cm liegen.

#### **B.4.2.4 Drucksondenpegel**

(1) Drucksondenpegel messen ebenso wie Einperlpegel Wasserstände über den hydrostatischen Druck, der abhängig von der Wassersäule über der Sonde und der Dichte des Wassers. Im Gegensatz zu Einperlpegeln wird der Druck jedoch in einem geschlossenen System gemessen (Drucksonde), das in einem Rohr im Gewässer oder in einem Pegelschacht installiert wird. Die Drucksonde wandelt den Messdruck in ein elektrisches Signal um, das gespeichert und übertragen werden kann.

Der gemessene Druck setzt sich aus dem hydrostatischen Druck der Wassersäule über der Sonde und dem atmosphärischen Druck zusammen. Der atmosphärische Druck muss zur Wasserstandsermittlung abgezogen werden. Dazu kann der Luftdruck getrennt gemessen werden.

Um Temperatureinflüsse bei der Drucksondenmessung zu minimieren, ist eine Temperaturkompensation erforderlich. In der Gewässerkunde sind heute ausschließlich piezoresistive oder kapazitiv-keramische Drucksensoren im Einsatz.

(2) Um eine hohe, gleichbleibende Qualität der Messergebnisse zu erzielen, ist zu beachten:

- Drucksensoren sind robust gegenüber mechanischen Belastungen, überlastbar, verschleißfrei, langzeitstabil sowie korrosions- und temperaturbeständig sind.
- In sehr kalkhaltigen Gewässern können die Drucksonden verkalken. Die Drucksonde wird durch die Kalkschicht unempfindlicher, wodurch der Messwert dann zu niedrig ist. Dies betrifft sogar die ansonsten unempfindlichen Keramiksonden. Eine regelmäßige

Entkalkung der Drucksonden ist dementsprechend vorzunehmen. Einen vergleichbaren Effekt hat eine Verockerung der Drucksonde zur Folge.

- Drucksonden benötigen für einen zuverlässigen Betrieb i.d.R. einen Blitzschutz. Bewährt hat sich darüber hinaus die direkte Verbindung des Sondenkörpers mit einer Potenzialausgleichsschiene mittels einer blitzstromtragfähigen Leitung. Außerdem sollten abgeschirmte und beidseitig mit dem Potenzialausgleich verbundene Leitungen verwendet werden. Dadurch wird die auf die Elektronik wirkende Überspannung minimiert.

(3) Drucksonden können je nach Hersteller aufgrund einer unzureichenden Temperaturkompensation im Messverfahren systematische Abweichungen bis zu 15 cm zeigen. An Pegelmessstellen sollten daher nur geeignete Drucksonden mit Temperaturkompensation eingesetzt werden.

(4) Drucksonden können Messunsicherheiten erreichen, die zwischen 0,2 bis 1cm liegen.

#### **B.4.2.5 Radarmessung**

(1) Radarpegel gehören zu den berührungslosen Messverfahren der Wasserstandsermittlung, bei denen keine Bauteile im Gewässer verlegt werden müssen. Der Sensor wird über dem Gewässer, i.d.R. an Brücken oder Messstegen, installiert. Das Verfahren beruht auf der Laufzeitmessung eines vom Sensor ausgesendeten und an der Wasseroberfläche reflektierten Mikrowellensignals. Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen, die grundsätzlich die gleichen physikalischen Eigenschaften wie Lichtwellen aufweisen. Der Einfluss von Lufttemperatur und Dichteänderungen der Luft auf Mikrowellen ist sehr gering, so dass die Radarmessung quasi unabhängig von diesen physikalischen Eigenschaften ist. Dadurch ist bei Radarsensoren keine Kompensation von externen Einflüssen erforderlich und die Messunsicherheiten können gering gehalten werden.

Es gibt verschiedene Arten von Radarmessverfahren. In der Hydrometrie werden überwiegend Puls-Radartypen eingesetzt. Im Prinzip messen die Radarsensoren den Abstand des Sensors zur Wasseroberfläche, also einen Abstich. Höhenänderungen der Trägerkonstruktion, z. B. durch Temperaturänderung, haben dementsprechend einen Einfluss auf das Messergebnis. Bei unruhigen Wasseroberflächen ergeben sich höhere Messunsicherheiten, die durch Mehrfachmessungen reduziert werden können.

(2) Um eine hohe, gleichbleibende Qualität der Messergebnisse zu erzielen, ist zu beachten:

- Der Radarsensor muss lotrecht über der Wasseroberfläche angebracht werden. Die Winkelabweichung zur Lotrechten darf 5° nicht überschreiten. Gibt es an einer Messstelle weder eine Brücke noch einen Messsteg, kann der Radarsensor auch an einem Kragarm, der über das Gewässer ragt, befestigt werden.
- Für die Prüfung des Radarsensors kann es erforderlich sein, Kontrollmessungen mit einem Abstichlot im Bereich der Radarmessstrecke durchzuführen. Dadurch kann insbesondere bei Hochwasser der Einfluss von Wellen unter dem Radarsensor erkannt werden. Es kann erforderlich sein, den Radarsensor an eine Stelle mit geringerer Wellenbildung zu versetzen.
- Wenn sich der Radarsensor nicht in der Nähe einer Pegelmessstelle befindet, ist eine Umrechnung der gemessenen Wasserstände in Durchflüsse nicht möglich. Die Radarmessung dient dann der Registrierung der Wasserspiegellagen an der Messstelle.
- Bei der Konzeption der Anlage ist zu berücksichtigen, wie sich Höhenänderungen der Tragkonstruktion auf das Messergebnis auswirken.
- Bei der Installation von Radarsensoren an Brückenbauwerken können einfache Reinigungsarbeiten wie das Entfernen von Spinnweben mit größerem Aufwand verbunden

sein, da der Sensor schwer zu erreichen ist. Die Montage der Radarsensoren sollte so erfolgen, dass die Wartung oder ein Austausch jederzeit ohne besonderen Aufwand erfolgen kann (d. h. ohne Abseilen eines Monteurs oder Verwendung eines Steigers).

(3) Systematische Abweichungen entstehen bei der Radarmessung durch Höhenänderung der Trägerkonstruktion, z.B. infolge von Temperaturschwankungen.

(4) Radarpegel haben eine Unsicherheit von 0,3 cm (K-Band) bzw. 0,1 cm (C-Band).

## B.5 Durchfluss-Messverfahren

### B.5.1 Übersicht der gängigen Messverfahren für den Durchfluss

#### B.5.1.1 Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten bzw. Zellen

Messsystem	Messprinzip	minimale Fließgeschwindigkeit	minimale Fließtiefe	Resttiefe Sohle	Resttiefe oben	Messdauer	Vor- und Nachteile
Messflügel	Umdrehungszählung	> 0,025 m/s bauartabhängig	ab wenigen cm, abhängig von den bauartbedingten Abmessungen	jeweils ab 2 cm, abhängig von den bauartbedingten Abmessungen		mindestens 30 s für den Einzelpunkt	+ einfache, leicht nachvollziehbare Funktionsweise + Signalleitung über die Tragkonstruktion möglich + nur geringer Strombedarf für die Aufzeichnung + langlebig - hoher Wartungsaufwand, regelmäßiger Ölwechsel - empfindlich für mechanische Beschädigung - sehr anfällig für Belegung mit Treibzeug, Kraut - Blockade durch Sandkörner, Vereisung möglich - großer zeitlicher Aufwand bei Hochwasser - Beeinflussung durch Schiffstoß und Eis
Magnetisch-induktive Strömungsmesser	Faradaysches Induktionsgesetz	ab 0,001 m/s	ab wenigen cm, abhängig von den bauartbedingten Abmessungen	ab 2 cm, abhängig von den bauartbedingten Abmessungen	unter Umständen etwas größer als im Sohlbereich	mindestens 30 s für den Einzelpunkt	+ weniger anfällig für Belegung mit Treibzeug + Signal direkt proportional v, einfache Nullpunktkontrolle - Störung durch Magnetfelder und elektrisch leitende Materialien - Elektroden müssen frei von Öl und Fett sein - kein standardisierter Einsatz an Seilkrananlagen - Handhabung bei größeren Fließtiefen umständlich - großer zeitlicher Aufwand bei Hochwasser
Ultraschall, Punktmessung	Doppler-Effekt bzw. Echokorrelation	ab 0,010 m/s	ab wenigen cm, abhängig von den bauartbedingten Abmessungen	jeweils ab 2 cm, abhängig von den bauartbedingten Abmessungen		mindestens 30 s für den Einzelpunkt	+ weniger anfällig für Belegung mit Treibzeug - Mindestabstand der Schallkeulen zu Seitenwänden - kein standardisierter Einsatz an Seilkrananlagen - Handhabung bei größeren Fließtiefen umständlich - Sensoren und Bediengeräte nicht austauschbar - großer zeitlicher Aufwand bei Hochwasser
Ultraschall, Messung in Lotrechten bzw. section by section	Doppler-Effekt	ab 0,010 m/s	> 20 cm für Geräte zum Einsatz an Stange	ab 8 cm	ab 2 cm	mindestens 30 s für die einzelne Lotrechte	+ wenig anfällig für Belegung mit Treibzeug + vergleichsweise zügiges Messverfahren + sehr hohe Messzellenauflösung in der Lotrechten - Mindestabstand der Schallkeulen zu Seitenwänden - gemessene Werte nicht exakt räumlich zu verorten
			> 30 cm für Geräte auf Boot, abwärts messend	mindestens 6 % der Fließtiefe	ab etwa 10 cm		
Ultraschall, Moving Boat-Methode	Doppler-Effekt	theoretisch entsprechend dem Punkt- oder Lotrechtenverfahren ab 0,010 m/s  Da sich die Eigenbewegung des Geräts unterhalb der gemessenen Fließgeschwindigkeit bewegen sollte, sind der Anwendung bei geringen Fließgeschwindigkeiten Grenzen gesetzt.	> 30 cm	mindestens 6 % der Fließtiefe	ab etwa 10 cm	für die einzelne Messung mindestens: Spiegelbreite / Bootsgeschwindigkeit, Bootsgeschwindigkeit < v gemessen Durchflussergebnis üblicherweise aus vier oder mehr Einzelmessungen gemittelt	+ wenig anfällig für Belegung mit Treibzeug + sehr zügige Erfassung auch breiter und tiefer Querschnitte + sehr hohe zeitliche und räumliche Auflösung + Bezug auf Normalquerschnitt nicht erforderlich, aber möglich + automatische Fehlerermittlung aus mehreren Messfahrten - großer Mindestabstand der Schallkeulen zu Seitenwänden - Durchflussanteile im Randbereich lassen sich nur extrapolieren - in flachen Profilen ist der tatsächlich messbare Anteil klein - bei geringen Gewässerbreiten wird das Messergebnis unsicher - bewegtes Sohlsubstrat verfälscht das Messergebnis - Störung durch abrupte Tiefenänderungen und hohe Turbulenz - gemessene Werte sind nicht exakt räumlich zu verorten
Oberflächen-Schwimmer	Laufzeitmessung	unterhalb der minimalen Werte für Messflügel	keine Einschränkung	annähernd die gesamte Fließtiefe, es wird nur die Geschwindigkeit an der Oberfläche ermittelt	keine	mindestens 30 s <u>oder</u> 50 m Schwimmerstrecke für die einzelne Schwimmerfahrt	+ einfaches, robustes Messverfahren + kein Strombedarf + insbesondere bei Hochwasser geeignet, wenn kein anderes Verfahren sinnvoll einsetzbar ist - benötigt längere, gerade und gleichförmige Gewässerstrecke - bekanntes Querprofil erforderlich - Indexverfahren, sehr begrenzter tatsächlicher Messbereich - Messunsicherheiten unter 10 % schwer zu erreichen

Tabelle B.5-1 Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten bzw. Zellen

### B.5.1.2 integrierende und sonstige Messverfahren

Messsystem	Messprinzip	minimale Fließgeschwindigkeit	minimale Fließtiefe	Resttiefe Sohle	Resttiefe oben	Messdauer	Vor- und Nachteile
Ablaufmessung mit Messflügel	Umdrehungszählung	> 0,025 m/s, bauartabhängig	> 1 m	üblicherweise 18 cm, abhängig von den bauartbedingten Abmessungen	keine	bei 2 cm/s Ablaufgeschwindigkeit: Fließtiefe - Resttiefe [cm] = gesamte Messdauer [s] der Einzellotrechten, abwärts und aufwärts gemessen	+ Zeitersparnis gegenüber ansonsten vergleichbarer Punktmessung + Messung über die gesamte erfassbare Tiefe - keine Information über die Geschwindigkeitsverteilung - Seilkrananlage mit exakter Geschwindigkeitssteuerung notwendig
Gefäßmessung	Füllzeitmessung	Es wird keine bestimmte Tiefe oder Fließgeschwindigkeit, aber ein abgelöster Überfallstrahl ausreichender Fallhöhe benötigt.		Anstelle der Resttiefe sind hier die exakte Bestimmung des Füllzeitpunkts und die Vermeidung von Spritzverlusten einschlägig.		mindestens 5 s für die Einzelmessung  Durchflussergebnis üblicherweise aus drei oder mehr Einzelmessungen gemittelt	+ zügige und exakte Erfassung auch geringster Durchflüsse + einfaches und sehr gut nachvollziehbares Messprinzip - erfordert entsprechende bauliche Gestaltung der Messstelle - mögliche Konflikte mit der ökologischen Durchgängigkeit - Durchflüsse von mehr als 20 l/s können in der Regel nur noch mit erheblichem Aufwand erfasst werden
Tracermessung	Messung der Konzentration des verwendeten Tracers	prinzipiell keine Einschränkung; Mit sinkender Fließgeschwindigkeit kann der zeitliche Aufwand aber unverhältnismäßig werden.	keine Einschränkung	Anstelle der Resttiefe ist hier die Hintergrundkonzentration des Tracers im Gewässer von Belang sowie die Justierung der Tracerzugabe (Verdünnungsmethode) bzw. die Vermeidung von Tracerverlusten oder „Tailing“(Integrationsmethode).		Die Dauer der Messung ergibt sich in erster Linie aus der erforderlichen Vor- und Nachbereitung, wobei der Aufwand bei der Verdünnungsmethode vorwiegend durch die Tracerzugabe, bei der Integrationsmethode durch die Konzentrationsmessung bestimmt wird.	+ kein definierter Gewässerquerschnitt erforderlich + auch bei extremer Turbulenz, hohem Treibgutauflkommen und sehr unregelmäßiger Sohle uneingeschränkt anwendbar - gute Durchmischung, entsprechende Gewässerstrecke nötig - Stellt nach Gesetz eine Gewässerbenutzung dar, die formale Zulässigkeit und ggf. Auflagen müssen im Vorfeld geklärt werden.
Kettenschwimmer	Laufzeitmessung	unterhalb der minimalen Werte für Messflügel	bauartabhängig	5 - 25 % der Fließtiefe  Für den effektiven Einsatz im Gelände liegt die Resttiefe eher im oberen Bereich.	keine	mindestens 30 s für die einzelne Schwimmerfahrt	+ einfaches, robustes Messverfahren + kein Strombedarf - längere, gerade und gleichförmige Gewässerstrecke notwendig - vorherige Peilung erforderlich, hoher Vorbereitungsaufwand - Messunsicherheiten unter 10 % schwer zu erreichen
Tauchstab nach Jens	Drehmomentwaage	0,200 m/s im Mittel  Anpassungen für niedrigere Fließgeschwindigkeiten sind möglich und praktisch erprobt.	> 5 cm  Der Einsatz ist auf Wassertiefen bis 60 cm Beschränkt.	im Bereich von 1 cm	keine	Bei entsprechender Routine nur einige s für die Einzellotrechte; Messung sollte mindestens einmal wiederholt werden.	+ robustes, einfaches und sehr zügiges Messverfahren + kein Strombedarf - keine Information über die Geschwindigkeitsverteilung - eingeschränkte Ablesegenauigkeit - Winddruck kann das Ergebnis verfälschen.
horizontale Integration mit Messflügel	Umdrehungszählung	> 0,025 m/s, bauartabhängig	sinnvoll einsetzbar nur in sehr breiten Profilen ab ca. 1 m Tiefe	Die nicht erfasste horizontale Strecke sollte < 6% sein.		für die einzelne Lamelle: Breite / Fahrgeschwindigkeit, Fahrgeschwindigkeit < 80% v gemessen	+ Zeitersparnis gegenüber ansonsten vergleichbarer Ablaufmessung + Messung über die gesamte erfassbare Breite - begrenzte Genauigkeit des ermittelten Durchflussergebnisses

Tabelle B.5-2 integrierende und sonstige Messverfahren



### B.5.1.3 kontinuierliche Messverfahren

Messsystem	Messprinzip	minimale Fließgeschwindigkeit	minimale Fließtiefe	Resttiefe Sohle	Resttiefe oben	Messdauer	Vor- und Nachteile
Messwehre	Bestimmung des Wasserstandes im Kontrollquerschnitt	ein abgelöster, vollständig hinterlüfteter Überfallstrahl und eine ausreichende Beruhigung der Fließgeschwindigkeit im Oberwasser müssen durch entsprechende bauliche Anlagen sichergestellt werden		Ein scharfkantiges Dreiecksmesswehr sollte mindestens eine Überfallhöhe von 5 cm und eine Resttiefe zwischen Dreiecksspitze und Gewässersohle von 45 cm aufweisen.  Abweichungen sind möglich, können aber die erreichbare Genauigkeit beeinträchtigen.		Die Messdauer und die Frequenz der Aufzeichnung lassen sich entsprechend der verwendeten Wasserstandsmessung wählen.	+ hohe erreichbare Genauigkeit, auch bei geringen Durchflüssen + allenfalls geringer Strombedarf für die Aufzeichnung + allgemein anerkannte Bemessungsverfahren, Abschätzung des Durchflusses auch ohne vorhergehende Kalibrierung möglich - hoher konstruktiver Aufwand für die Einrichtung der Messstelle - mögliche Konflikte mit der ökologischen Durchgängigkeit - in der Regel nur an Gewässeroberläufen, Quellen zu realisieren - in der Regel hoher Unterhaltungsaufwand, abhängig von Form, Sedimentfracht und Treibgutauflaufen
Ultraschall-Laufzeit-Verfahren	Messung der Laufzeitdifferenz	ab 0,001 m/s	> 20 cm	kein Blankingbereich; Messbereich ist eine Ebene über die gesamte Pfadlänge zwischen den Wandlern an den Ufern.		In Abhängigkeit von der Pfadlänge ab wenigen Millisekunden für die Einzelmessung	+ vergleichsweise geringer Eingriff in das Gewässerbett + umfangreicherer Messbereich als horizontaler Doppler - stellt hohe Ansprüche an die Konzeption und Evaluierung - Indexverfahren, begrenzter tatsächlicher Messbereich - regelmäßige Kontrolle des maßgeblichen Gewässerprofils nötig - keine Information über die Geschwindigkeitsverteilung - höherer konstruktiver Aufwand als horizontaler Doppler - verhältnismäßig hoher Strombedarf - hohe Schwebstofffracht kann die Messung unterbrechen - mögliche Störung durch Luftblasen - mögliche Störung durch inhomogene Temperatur bzw. Dichte
Ultraschall-Doppler, Horizontalaufstellung	Doppler-Effekt	ab 0,010 m/s	> 10 cm	horizontaler Blankingbereich ab 10 cm aufwärts, Restweite zum jenseitigen Ufer stark von der Gerinnegeometrie abhängig		ab wenigen Millisekunden für die Einzelmessung	+ geringer konstruktiver Aufwand, auch bei sehr breiten Profilen + geringer Eingriff in das Gewässerbett - stellt hohe Ansprüche an die Konzeption und Evaluierung - regelmäßige Kontrolle des maßgeblichen Gewässerprofils nötig - Indexverfahren, begrenzter tatsächlicher Messbereich - mögliche Störung durch Luftblasen - mögliche Störung durch Schwebstoffe bei anlaufender Hochwasserwelle
Ultraschall-Doppler, Vertikalaufstellung	Doppler-Effekt bzw. Echokorrelation	ab 0,010 m/s	> 20 cm	ab 8 cm	ab 2 cm	ab wenigen Millisekunden für die Einzelmessung	+ hochaufgelöste Messung des vertikalen Geschwindigkeitsprofils + hohe Genauigkeit ohne vorhergehende Kalibrierung erreichbar + gute Vergleichbarkeit mit Ergebnissen aus Punkt-, Lotrechten- und moving-boat-Messungen - erfordert nach Möglichkeit eine starre Gerinnesohle - Konstruktionsaufwand nimmt mit der Gerinnebreite stark zu. - Positionierung bedingt stärkere Beanspruchung durch Geschiebe - mögliche Störung durch Luftblasen
Oberflächenradar	Doppler-Effekt	ab etwa 0,15 m/s  Voraussetzung ist die Ausbildung einer markanten Wellenstruktur.	Die Oberfläche sollte Wellen von mindestens 3 mm Höhe aufweisen, ansonsten keine Einschränkungen.	Es wird nur die Oberflächengeschwindigkeit in einem eng begrenzten Bereich gemessen.		ab wenigen Millisekunden für die Einzelmessung	+ vollständig berührungslose Messung - stellt hohe Ansprüche an die Konzeption und Evaluierung - regelmäßige Kontrolle des maßgeblichen Gewässerprofils nötig - Indexverfahren, sehr begrenzter tatsächlicher Messbereich - erfordert Aufhängepunkt über dem Gewässer - Konstruktionsaufwand nimmt mit der Gerinnebreite stark zu - Beeinflussung der gemessenen Geschwindigkeit durch Wind - Beeinflussung der gemessenen Geschwindigkeit durch Regen möglich

Tabelle B.5-3 kontinuierliche Messverfahren

## **B.5.2 Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten bzw. Zellen**

Im Folgenden wird nur auf die in der Gewässerkunde praktikabelsten Verfahren eingegangen.

### **B.5.2.1 Einführung in die Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten**

(1) Über Lotung und Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten des Gewässerquerschnitts lassen sich die mittlere Fließgeschwindigkeit und der Durchfluss nach der Geschwindigkeitsflächen-Methode bestimmen. In der Gewässerkunde werden hierfür insbesondere Messflügel, magnetisch-induktive Strömungsmesser und entsprechende Ultraschall-Messgeräte eingesetzt.

Mit Ausnahme der unterbrechungslosen Messung vom bewegten Boot (Moving-Boat-Verfahren) setzt diese Methode immer eine parallele, möglichst senkrechte Anströmung des Messprofils voraus, da sich nur so der maßgebliche Fließquerschnitt richtig bestimmen lässt. Um eine möglichst wirklichkeitsgetreue Abbildung der Fließverhältnisse zu erreichen, ist der Gewässerquerschnitt in repräsentative Lotrechten bekannten Abstands aufzuteilen, innerhalb derer das Messgerät Messpunkte in verschiedenen Tiefen aufnimmt, die eine Integration der vertikalen Geschwindigkeitsverteilung erlauben. In ausreichend großen Querschnitten ermöglichen mobile Ultraschall-Doppler-Messgeräte eine hochauflösende Erfassung des vertikalen Geschwindigkeitsprofils in Zellen mit vorgewählter Höhenausdehnung. Beim Moving-Boat-Verfahren erübrigt sich die Aufteilung in Lotrechten durch hohe zeitliche Dichte der Messwertaufnahme und selbsttätige Verortung des Geräts (bottom-track).

(2) Die Bestimmung der Wassertiefe erfolgt klassisch über das Trägersystem des Messinstruments: Messstangen, ggf. mit Überschubrohr, oder Senkgewichte mit Grundtaster, abhängig von der Wassertiefe und den örtlichen Gegebenheiten. Neuere Systeme verfügen vielfach auch über integrierte Druckaufnehmer, die eine hochgenaue Tiefenmessung erlauben, sofern der Atmosphärendruck hinreichend kompensiert ist. Ultraschall-Doppler auf Bootsträgern ermitteln den Abstand zur Gewässersohle aus Laufzeit und Intensität des Echosignals.

(3) Die Befestigungssysteme der einsetzbaren Messgeräte sind vielfach kompatibel. Bei der Montage an Messstange oder Senkgewicht bieten die klassischen Messflügel den Vorteil, dass die elektrische Impulsleitung über ein Kabel, das mit dem Messflügel zu den Messpunkten geführt wird und ggf. an der Stange fixiert bzw. ein Hubseil mit isolierter Seele erfolgen kann, was die Handhabung bei Hochwasser im Vergleich zu den übrigen Punktmessverfahren deutlich erleichtert. Auch sind Messgerät und Zählgerät in diesem Fall grundsätzlich austauschbar, während bei Ultraschall-Messgeräten und magnetisch-induktiven Sonden vielfach auf die richtige Zuordnung der spezifischen Komponenten geachtet werden muss.

(4) Bei der Tiefenermittlung mit skalierten Messstangen muss der Nullpunkt mit der Gewässersohle zusammenfallen. Ein Einsinken der Stange im Sohlsubstrat ist durch Montage einer ausreichend großen Grundplatte auszuschließen. Bei Messung auf starren Sohlen muss die resultierende Höhendifferenz zwischen Nullpunkt des Messsystems und Sohle bei der Tiefeneinstellung des Sensors berücksichtigt werden.

(5) Am Seil abgehängte Messgeräte können in Abhängigkeit von Anströmdruck und Wassertiefe mehr oder weniger stark verdriften. Die Tiefenmessung über den Ablauf des Hubseils liefert in diesem Fall zu große Wassertiefen. Die Differenz lässt sich für den einzelnen Mess-

punkt näherungsweise aus der gemessenen Ablenkung des Seils von der Senkrechten bestimmen. Eine entsprechende Korrektur ist erforderlich, wenn die Abweichung 1% des Tiefenwerts übersteigt. Um die strömungsbedingte Abdrift gering zu halten, sind je nach Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe stromlinienförmige Gewichtskörper (Mittelstücke) von mindestens 25 kg, besser jedoch von 50 oder 100 kg, zu wählen. Bei geringen Fließgeschwindigkeiten können auch geringere Gewichte gleichwertig verwendet werden.

(6) Bei der Messung mit Ultraschall-Doppler-Sensoren auf abgehängtem Bootsträger kann eine zu große Abdrift die korrekte Ermittlung des Uferabstands erschweren. Hier können Gewichte an Seil oder Führungsstange Abhilfe schaffen. Es ist grundsätzlich vorteilhaft, die Abdrift durch enge Führung des Bootes so weit wie möglich zu reduzieren. Dabei ist darauf zu achten, dass die vorgesehene Eintauchtiefe erreicht wird und nicht Luft unter die Wandler gerät und die Messung stört, insbesondere bei erhöhtem Anströmdruck.

(7) Anzahl und Lage der Messlotrechten sind nach der Form des Messquerschnittes und unter Berücksichtigung des vorgesehenen Auswerteverfahrens festzulegen. In Bereichen, in denen sich die Wassertiefe oder Fließgeschwindigkeit stark ändert (Ufer, senkrechte oder steile Böschungen, Absätze, Übergang vom Flussschlauch zum Vorland), sind gegebenenfalls zusätzliche Messlotrechten vorzusehen. Bei der Messung mit bewegtem Boot ist dies entsprechend durch verlangsamte Fahrt umzusetzen.

(8) Während der gesamten Messdauer sind Wasserstandsbeobachtungen so durchzuführen, dass der für die Durchflussmessung maßgebende Wasserstand genau ermittelt werden kann.

(9) Stehen an der Messstelle keine ortsfesten Messeinrichtungen (Brücke, Steg, Seilkrananlage) zur Verfügung oder eignen sich Brücken wegen ungünstiger Strömungen an Pfeilern oder wegen Brückenstaus nicht für Messungen, so können den örtlichen Gegebenheiten entsprechend folgende Messeinrichtungen eingesetzt werden:

- zerlegbarer Behelfsmesssteg,
- transportable Seilkrananlage,
- Messfloß, Boot,
- Messschiff.

Sofern Wassertiefe und Strömung es zulassen, kann auch watend mit einer Stange gemessen werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Fließverhältnisse durch die Messung nicht wesentlich gestört werden.

Die Forderung gilt entsprechend auch für Messungen vom Floß oder Schiff aus.

(10) Schwimmende Fahrzeuge für den Messeinsatz sollen den Anforderungen des jeweiligen Messverfahrens genügen.

(11) Bei gegliederten Messquerschnitten kann es unter bestimmten Umständen erforderlich sein, verschiedene Messverfahren zu kombinieren (z. B. Messung mit Seilkrananlage im Hauptstrom, auf gering überströmten Vorländern Messungen mit dem Stangenflügel).

### **B.5.2.2 Messflügel**

(1) Der Messflügel ist für die Durchflussermittlung eines der am vielseitigsten einsetzbaren Messgeräte. Mit Messflügeln können innerhalb eines Querschnitts die Anströmgeschwindigkeiten in einzelnen Messpunkten oder integrierend in Messlotrechten erfasst werden. Die Messausrüstung besteht aus drei Hauptteilen:

- Flügel (Schaufel und Flügelkörper)
- Führung/Halterung (z. B. Stange/Kabel)
- Zählvorrichtung oder Anzeige.

Messflügel sind in verschiedenen Größen und Formen für jeweils unterschiedliche Einsatzbedingungen erhältlich.

Ein Schalter erzeugt bei jeder vollen Umdrehung der Schaufel durch Öffnen und Schließen eines Stromkreises einen Impuls, der sich mit einem Messgerät zählen oder direkt in einem Auswerteprogramm verarbeiten lässt. Die Dauer der Messung lässt sich über Zeit- oder Impulsvorwahl steuern. Aus der Anzahl der Umdrehungen (Flügelimpulse) pro Zeiteinheit lässt sich die Fließgeschwindigkeit über eine gerätespezifische Umrechnungsformel berechnen. Diese sogenannte Flügelgleichung wurde zuvor im Prüfkanal durch Schleppen des Messflügels mit bekannter Fließgeschwindigkeit ermittelt. Auch zwischen verschiedenen Kalibrieranstalten können selbst unter optimalen Bedingungen bereits Abweichungen von 0,5 % auftreten.

Flügelschaufeln mit sogenannter Komponentenwirkung können die Fließgeschwindigkeit auch bei nicht axialer Anströmung in Grenzen richtig wiedergeben. Im Bereich der zulässigen Winkelabweichung verringert sich das gemessene Ergebnis in diesem Fall gegenüber der auf den Normalquerschnitt wirkenden Geschwindigkeitskomponente entsprechend dem Kosinusverhältnis. Dadurch ist gewährleistet, dass nur der senkrechte Geschwindigkeitsanteil des durchströmten Messquerschnittes berücksichtigt wird.

(2) Um eine hohe, gleichbleibende Qualität der Messergebnisse zu erzielen, ist Folgendes zu beachten:

- Die Gültigkeit der Flügelgleichung ist in wiederkehrenden Intervallen, in Abhängigkeit von der Beanspruchung des Geräts, zu überprüfen und mit ihrer Historie zu dokumentieren. Das Intervall sollte nicht größer als fünf Jahre sein.
- Eine für den Anwendungsbereich geeignete Kombination von Schaufel, Flügelkörper und Halterung ist zu verwenden.
- Messflügel sind jeweils nur für einen bestimmten Geschwindigkeitsbereich kalibriert und sollten nur für diesen verwendet werden.
- Zur Gewährleistung eines gleichbleibend geringen Reibungswiderstands des Lagers im Flügelkörper ist das Öl nach Herstellerangaben zu verwenden und regelmäßig auszu-tauschen.
- Der Messflügel ist vor Messbeginn und nach Messende auf Einsatztauglichkeit zu überprüfen (Funktionsprüfung). Der Messvorgang darf erst nach einer ausreichenden Anlaufzeit gestartet werden.
- Die minimal erforderliche Messdauer beträgt 30 Sekunden, dabei muss in jedem einzelnen Messpunkt mindestens ein Ergebnis von 10 Impulsen erreicht werden.
- Zur Optimierung der Messung kann die Vorgabe einer minimalen Anzahl von Impulsen vorteilhafter sein, insbesondere bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten.
- Die Mechanik des Messflügels ist sehr empfindlich für Störungen durch Treibzeug und kann auch durch Sandtreiben beeinträchtigt werden.
- Bei Frost sollte das Messgerät nach Möglichkeit ständig eingetaucht bleiben, um ein Einfrieren zu vermeiden.
- Bei auffällig unregelmäßiger oder gestörter Impulsfolge, zu erkennen an den Zeitunterschieden zwischen den einzelnen Signalen, ist die Ursache der Beeinträchtigung zu er-

gründen und zu beseitigen. Nach einer Funktionsprüfung der Messausrüstung ist die Messung zu wiederholen.

- In Bereichen mit stark schwankender Anströmung ist keine exakte Ableitung von Fließgeschwindigkeiten aus den aufgenommenen Signalen möglich.
- Störungen sowie die festgestellten Ursachen und Messwiederholungen sind im Messprotokoll zu vermerken.

### B.5.2.3 Magnetisch-induktive Strömungsmesser

(1) Die magnetisch-induktive Strömungsmessung beruht auf dem Faraday'schen Induktionsgesetz. Hierbei wird die Spannung abgegriffen, die der Leiter Wasser bei der Bewegung durch ein Magnetfeld erzeugt.

Es gilt:

$$U = k \cdot v_m$$

$U$	induzierte Spannung [V]
$k$	Konstante aus Elektrodenabstand [V·s/m]
$v_m$	mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]
$Q$	Durchfluss [m <sup>3</sup> /s]
$A$	benetzter Querschnitt [m <sup>2</sup> ]

Für den Durchfluss  $Q$  gilt dann:

$$Q = \frac{1}{k} \cdot A \cdot U$$

Der Vorzug des Verfahrens besteht darin, dass das Messsignal direkt proportional der gemessenen Fließgeschwindigkeit ist. Eine systematische Fehlerquelle besteht in einer möglichen Nullpunktdifferenz in der Größenordnung von je nach Fabrikat bis zu  $\pm 0,015$  m/s. Diese sollte von Zeit zu Zeit durch Messungen in einem ausreichend großen, unbewegten Wasservolumen überprüft werden.

Bauartbedingt werden die einkanalige Strömungssonde für die Durchflussmessung und der zweikanalige Strömungs- und Richtungsmesser unterschieden.

(2) Um eine hohe, gleichbleibende Qualität der Messergebnisse zu erzielen, ist Folgendes zu beachten:

- Die Elektroden sind für die Messung stets sorgfältig öl- und fettfrei zu halten, was die Anwendung in abwasserbelasteten Gewässern einschränken kann.
- Der Kontakt mit Ölfilmen auf der Wasseroberfläche muss gegebenenfalls beim Eintauchen des Geräts durch geeignete Schutzhüllen ausgeschlossen werden.
- Magnetfelder und elektrisch leitfähige Materialien in der Umgebung der Sonde können systematische Abweichungen des Ergebnisses erzeugen, die bei der Messung nicht zwangsläufig auffallen müssen.
- Bei Messungen nahe an der Wasseroberfläche oder an den Gerinnewandungen ist die Ausdehnung des elektromagnetischen Felds zu berücksichtigen. Die minimalen Abstände nach Herstellerangaben sind zu beachten.
- Die Kalibriereigenschaften können je nach Montage variieren.
- Bei einkanaligen Sonden ist auf die parallele Anströmung zum Messgerät besonders zu achten.

#### B.5.2.4 Ultraschall Punktmessung

(1) Auch mittels akustischer Verfahren lässt sich eine punkthafte Messung der mittleren Fließgeschwindigkeit in einem bekannten, eng begrenzten Wasservolumen realisieren. Das Messprinzip beruht dabei entweder auf dem Doppler-Effekt oder der Auswertung der Phasenverschiebung zeitlich versetzter Echomuster (Echokorrelation).

Neben der relativen Messgenauigkeit ist bei Ultraschallmessungen eine minimale absolute Unsicherheit zu berücksichtigen, die von den verschiedenen Herstellern einhellig in der Größenordnung von 0,25 cm/s angegeben wird. Auch wenn das Ergebnis vielfach in einer Auflösung von 0,1 cm/s angezeigt und ausgegeben wird, ist eine Angabe der gemessenen Fließgeschwindigkeit unterhalb von 1 cm/s nicht mehr in hinreichender Genauigkeit möglich.

(2) Um eine hohe, gleichbleibende Qualität der Messergebnisse zu erzielen, ist Folgendes zu beachten:

- In jedem Messpunkt muss eine Mindestfließgeschwindigkeit von 0,01 m/s überschritten sein.
- Bereiche mit schlechter Signalqualität sind zu meiden.
- Bei Messgeräten mit Druckaufnahme ist vor jeder Messung ein Atmosphärenausgleich vorzunehmen. Auf die richtige Berücksichtigung der Resttiefe des Geräts ist hier besonders zu achten.
- Üblicherweise werden die Geräte an einer Stange, gegebenenfalls mit Überschubrohr, in die gewünschte Tiefe positioniert. Eine von den Herstellervorgaben abweichende Montage kann unter Umständen Auswirkungen auf das Messergebnis haben.

#### B.5.2.5 Ultraschall Messung in Lotrechten bzw. „section by section“

(1) Durchflussmessungen mit mobilen Doppler-Ultraschall-Geräten ermöglichen die direkte Aufnahme der Geschwindigkeitsflächen in der Vertikalen.

Bei diesen Geräten wird das Strömungsprofil akustisch abgetastet. Vom Messgerät ausgesandte Schallimpulse werden von Schwebeteilchen im Wasser reflektiert und wieder als Echo empfangen. Anhand des Doppler-Effektes wird die Ortsänderung dieser Partikel pro Zeiteinheit ermittelt. Die Ortsänderung entspricht der anzunehmenden Fließbewegung des umgebenden Wasserkörpers.

Das Ultraschall-Doppler-Gerät ist in der Lage, Echos aus verschiedenen Tiefenschichten zu unterscheiden und so ein Geschwindigkeitsprofil zu konstruieren. Der Querschnitt wird dabei in Messzellen vorgewählter Höhenausdehnung aufgeteilt, deren Lage sich aus der Laufzeit und deren mittleren Fließgeschwindigkeit als resultierende Frequenzverschiebung des Ultraschallsignals ergibt:

$$v_m = C \cdot \frac{F_D}{2 \cdot F_S}$$

$v_m$	mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]
$F_D$	vom Gerät gemessene Doppler-Frequenzverschiebung [Hz]
$F_S$	die Frequenz des ausgesendeten Signals [Hz]
$C$	Konstante [m/s]

Messgeräte sind mit mehreren, voneinander unabhängigen Wandlern (Transducer) ausgestattet. Es werden in der Regel die gleichen Wandler zum Senden und Empfangen der Schallsignale genutzt. In dem dazu erforderlichen Abklingzeitraum zwischen Senden und Empfangen ergibt sich entsprechend der Ultraschall-Laufzeit der sogenannte Blankingbereich, in dem keine Messwerte ermittelt werden können.

Die Geräte können auf verschiedene Weise, beispielsweise auf einem Schwimmkörper oder an Stangen geführt, eingesetzt werden. Die Aufteilung des Messprofils in repräsentative Lotrechten erfolgt analog den Punktmessverfahren mit dem Unterschied, dass die vertikale Geschwindigkeitsverteilung in einem Zug gemessen wird. Damit ergibt sich eine erhebliche Zeitersparnis, insbesondere bei größeren Wassertiefen. Eine exakte räumliche Verortung der gemessenen Fließgeschwindigkeiten ist aber wegen der Ermittlung aus den Messungen mehrerer unterschiedlich gerichteter Schallkeulen in virtuell in die Vertikale projizierten Zellen nicht mehr möglich.

Die Resttiefe an der Oberfläche ermittelt sich bei den von einem Schwimmkörper abwärts messenden Geräten aus dem Blankingbereich und der gerätespezifischen Eintauchtiefe bis zur Wandlermitte, die regelmäßig unter realen Einsatzbedingungen zu überprüfen ist. Gegebenenfalls kann es erforderlich sein, den Blankingbereich größer als minimal möglich zu wählen, um einen Einfluss des Schwimmkörpers auf die gemessene Geschwindigkeitsverteilung auszuschließen. Insgesamt ist darauf zu achten, dass das Geschwindigkeitsprofil möglichst umfangreich, minimal zu 50 % des Abflussanteils, durch Messzellen abgedeckt ist.

Bei den an einer Stange aufwärts messenden Geräten ist der Blankingbereich gegenüber den vom Schwimmkörper abwärts messenden Geräten deutlich reduziert. Die Resttiefe ergibt sich hier im Wesentlichen aus der Aufbauhöhe des Geräts selbst. Die Positionierung auf der Sohle im Bereich der geringsten Abflussanteile ist grundsätzlich vorteilhaft. Allerdings muss die Wassertiefe ausreichend groß sein, um den charakteristischen Geschwindigkeitsverlauf durch die erfassten Messzellen richtig wiedergeben zu können. Die angegebene Mindestfließtiefe von 20 cm stellt das absolute Minimum dar und kann lediglich die geforderte Abdeckung von mehr als 50 % des Gesamtdurchflusses sicherstellen.

(2) Um eine hohe, gleichbleibende Qualität der Messergebnisse zu erzielen, ist Folgendes zu beachten:

- Der von den Schallkeulen erfasste Gewässerabschnitt sollte eine gleichbleibende Wassertiefe und eine gleichförmige, uferparallele Strömung aufweisen. Das Messergebnis gegensinnig gerichteter Schallkeulen sollte dementsprechend betragsmäßig annähernd gleich groß sein.
- Die exakte Resttiefe des Geräts von der Wandlermitte bis zur Wasseroberfläche bzw. zur Gewässersohle muss bekannt und richtig berücksichtigt sein.
- Das Gerät ist rechtzeitig vor Beginn der Messung zu Wasser zu lassen, damit sich die Temperatursensoren an die Wassertemperatur angleichen können. Bereiche mit ungleichmäßiger Temperaturverteilung sind zu meiden.
- Der vertikale Messbereich ist größer als die maximale zu erwartende Wassertiefe zu wählen. Gegebenenfalls sind zunächst Orientierungsmessungen vorzunehmen.
- Die Wandler müssen jederzeit vollständig eingetaucht sein und dürfen auch nicht durch Luftblasen beeinträchtigt werden.
- Bei auffälligen Störungen, Messunterbrechungen oder Geschwindigkeitsabfall ist die Ursache der Beeinträchtigung zu ergründen und zu beseitigen. Nach einer Funktionsprüfung der Messausrüstung ist die Messung zu wiederholen.
- Bewuchs, Zäune und andere Hindernisse können durch Reflektion des Ultraschalls wie eine Gewässersohle erscheinen und so eine zu geringe Wassertiefe vortäuschen.

### B.5.2.6 Ultraschall Moving-Boat-Verfahren

(1) Doppler-Ultraschall-Geräte zum Einsatz auf einem bewegten Boot messen die Fließgeschwindigkeit nach demselben Prinzip wie für das Lotrechtenverfahren beschrieben. Bei ihrer Fahrt über den Messquerschnitt senden sie kontinuierlich Schallimpulse aus, die das Strömungsprofil in vier oder mehr unterschiedlich gerichteten Keulen räumlich erfassen. Aus den gemessenen Geschwindigkeiten der verschiedenen Schallkeulen wird die mittlere Fließgeschwindigkeit in direkt unter der Sonde angenommenen Zellen vorgegebener Höhenausdehnung berechnet. Darüber hinaus liefern Schallreflexionen, die von der Sohle zurückgeworfen werden, die Information über die Geschwindigkeit des Trägerkörpers über Grund und die Fahrtrichtung. Das Gerät ist dadurch in der Lage, die während der Messung zurückgelegte Strecke räumlich nachzuvollziehen. Rollen des Bootes um seine Längsachse (engl. roll), Stampfen nach vorn oder hinten (engl. pitch) und Gieren in der Horizontalen (engl. yaw) wird fortlaufend registriert und kann in gewissem Umfang rechnerisch ausgeglichen werden. Das Gerät soll möglichst stetig von Ufer zu Ufer geführt werden, wobei die Bewegungsgeschwindigkeit kleiner als die zu messende Fließgeschwindigkeit sein muss.

Die Strömungsverteilung kann aus gerätetechnischen Gründen nur im Kernbereich des Fließquerschnitts gemessen werden. Im oberen Randbereich vom Wasserspiegel bis zur Kernzone sowie im unteren Randbereich von der Kernzone bis zur Sohle können keine Fließgeschwindigkeiten erfasst werden. Die Durchflussanteile der Randzonen werden jedoch rechnerisch durch Extrapolation der Messwerte des Kernbereichs berücksichtigt. Die Ausdehnung der Randbereiche ist sehr stark von der Art des verwendeten Ultraschall-Doppler-Gerätes (Frequenz, Strahlwinkel), der Art des verwendeten Trägerkörpers (Form, Eintauchtiefe) und der Anströmgeschwindigkeit (Verwirbelungen vor den Ultraschallwandlern) abhängig.

Die gemessenen Rohdaten werden weiterverarbeitet. Die dafür erforderliche Software wird von den Herstellern mitgeliefert. Die Software bietet Grafiken und Tabellen, mit denen die Ergebnisse bereits vor Ort visualisiert werden können. Sie muss dem in Kapitel B.6 beschriebenen Verfahren entsprechen und eine Projektion der Ergebnisse auf einen Normalquerschnitt ermöglichen. Ein fundiertes Ergebnis ist dann gegeben, wenn die mittlere Abweichung der einzelnen für die Auswertung verwendeten Überfahrten vom Mittelwert weniger als 5 % beträgt und der Anteil des nicht gemessenen Durchflusses der Blankingbereiche kleiner als 50 % ist. Bei geeigneten hydraulischen Bedingungen können auch Messungen mit geringerem gemessenem Anteil verwendet werden. Zum Beispiel kann es im Hochwasserfall durch breite, flache Uferbereiche auch zu gemessenen Anteilen kleiner 50 % kommen. Hier ist eine individuelle Entscheidung über die Verwertbarkeit der Daten durch den Messtrupp zu treffen. Bei einer ADCP-Durchflussmessung im Moving-Boat-Verfahren sollten grundsätzlich mindestens 4 auswertbare Überfahrten durchgeführt werden.

(2) Um eine gleichmäßig hohe Qualität der Messergebnisse zu gewährleisten, ist zusätzlich zu den Angaben ab dem zweiten Spiegelstrich in 5.2.5 (2) Folgendes zu beachten:

- für die Qualitätssicherung der Messung sind folgende Angaben notwendig:
  - eindeutige Bezeichnung der Ergebnisdateien,
  - Wasserstand und exakte Uhrzeit (MEZ) zu Beginn und Ende jeder Messfahrt,
  - Q und zugehöriges W der Einzelmessung,
  - Abstand zum linken und rechten Ufer und Fahrtrichtung,
  - Bootsgeschwindigkeit der Einzelmessung (bei Messungen mit kleinem v),
  - Angabe der Messunsicherheit von Q (Mittel),



- Anteil des gemessenen Q in Prozent. Zu beachten ist, dass die Messunsicherheit für den nicht gemessenen Bereich 20 bis 40 % nach aktuell geltender DIN EN ISO beträgt,
- Angabe der Einstellungen des Gerätes: Messmodus der Messung, Blankingbereich, Messzellengröße, v-Messbereich,
- Eintauchtiefe der Schallwandler von der Wandlermitte bis zum Wasserspiegel
- besondere Begebenheiten sind anzugeben, z. B.: Rückströmung, Messort.
- Durchführung von Wiederholungsmessungen, um Messunsicherheiten auszugleichen und um Ausreißer zu erkennen (zumindest zwei Hin- und Rückfahrten). Das Ergebnis wird in diesem Fall gemittelt. Ausreißer können aus der Messserie entfernt werden.
- Insbesondere bei Hochwasser ist ein Test auf bewegte Sohle und ggf. eine Korrektur erforderlich.
- Durchführung zusätzlicher Messungen nach der Punktmessmethode in den nicht vom Ultraschallverfahren erfassbaren Bereichen.

(3) Höhere **Messunsicherheiten** sind zu erwarten bei:

- schwebstoffarmem Wasser, hier ist die Reflexion gering,
- sehr niedrigen Fließgeschwindigkeiten, hier ist der Doppler-Effekt sehr klein,
- geringer Wassertiefe, hier ist der messbare Querschnittsanteil stark begrenzt,
- geringer Spiegelbreite, hier macht sich die Unsicherheit der Bestimmung des Start- und Endpunkts und der Durchflussanteile im Uferbereich besonders bemerkbar,
- instationären Fließverhältnissen,
- hoher Turbulenz,
- hoher Schleppspannung mit Substratumlagerung
- starkem Luftblaseneintrag (z.B. unterhalb von Wehren/Abstürzen),
- unberücksichtigtem Salzgehalt,
- Temperaturschichtung vertikal/horizontal,
- falscher Sensoreintauchtiefe,
- unzureichende Kompasskalibrierung,
- sprunghaften Übergängen zwischen Ufer und Sohle.

### **B.5.3 Integrierende und sonstige Messverfahren**

#### **B.5.3.1 Einführung in die integrierenden und sonstigen Messverfahren**

(1) Eine Vereinfachung gegenüber der Punktmessung stellen Verfahren dar, die direkt die mittlere Fließgeschwindigkeit der Lotrechten liefern. Die Fließgeschwindigkeit wird dabei entweder durch gleichmäßige Bewegung des Messgerätes über die Tiefe integriert (Ablaufmessung) oder aus dem Anströmdruck in den Lotrechten abgeleitet (Tauchstäbe, Kettenchwimmer). Mit den erhaltenen Ergebnissen der einzelnen Lotrechten lässt sich der Abfluss im Fließquerschnitt im Weiteren nach der Geschwindigkeitsflächen-Methode bestimmen.

(2) Die integrierenden Verfahren erlauben es, die nicht erfassbaren Resttiefen zu minimieren, liefern aber keine Information über die vertikale Geschwindigkeitsverteilung und erreichen häufig nicht ganz die mögliche Messgenauigkeit der Punktmessverfahren. Beispielhaft ist im Folgenden die Ablaufmessung mit dem Messflügel dargestellt. Das Verfahren lässt sich analog mit weiteren Messgeräten und prinzipiell auch in der Horizontalen umsetzen, sofern die technischen Voraussetzungen für eine gleichmäßige Fahrt mit bekannter Geschwindigkeit gegeben sind und systematische Messabweichungen durch die Eigenbewegung mit

hinreichender Genauigkeit ausgeschlossen oder gegebenenfalls rechnerisch korrigiert werden können.

### **B.5.3.2 Ablaufmessung mit dem Messflügel**

(1) Bei der Ablaufmessung wird die mittlere Fließgeschwindigkeit in der Messlotrechten über die Umdrehungszählung eines gleichmäßig über die Wassertiefe ab- und dann wieder aufwärts bewegten Flügels ermittelt. Der gesamte messbare Tiefenbereich trägt so gleichmäßig zum Ergebnis bei, ein Fehler infolge unzureichender oder falscher Positionierung einzelner Messpunkte ist ausgeschlossen. Dafür liefert das Verfahren keine Information über den Verlauf der Fließgeschwindigkeit über die Tiefe. Unregelmäßigkeiten und mögliche Störeinflüsse lassen sich nicht erkennen. Die Messung ist schneller durchführbar als die Punktmessung und hat damit Vorteile insbesondere bei instationären Durchflussverhältnissen.

Zur Durchführung der Messung sind grundsätzlich Schwimmflügel mit Grundtaster einzusetzen. Dieses Verfahren soll nur bei Fließgewässern angewendet werden, die in der überwiegenden Anzahl der Messlotrechten Wassertiefen über 1,0 m und Randzonen mit mehr als 0,6 m aufweisen.

Bei der Ablaufmessung können nur dann einwandfreie Ergebnisse erzielt werden, wenn der Messflügel mit gleichbleibender Geschwindigkeit abgesenkt oder gehoben wird. Dazu werden in der Regel Kabelwinden mit mechanischem Regulierwerk (Ablaufwinden) oder elektrisch geregelte Winden verwendet. Ein Absenken oder Heben des Flügels bei der Messung durch „gleichmäßiges Drehen“ der Kurbel mit der Hand ist ungenau und deshalb unzulässig.

Bei Flügeln, die durch ihr Eigengewicht ablaufen, ist vor Messbeginn nach dem Einstellen des Zählwerkes der Messflügel zunächst 10 bis 20 cm über den Wasserspiegel anzuheben, da er nach dem Lösen der Bremsen einige Zeit benötigt, um die volle Ablaufgeschwindigkeit zu erreichen. Das Einschalten des Zählwerkes zur Erfassung der Flügelimpulse und der Stoppuhr für die Zeitnahme darf erst erfolgen, wenn die Achse des ablaufenden Messflügels den Wasserspiegel schneidet. Bei elektrischen Winden wird der Flügel vor Beginn der Messung in eine Stellung gebracht, bei der die Flügelachse in der Wasserspiegelebene liegt. Vor dem Start werden die Zählgeräte für Zeit, Schaufel, Umdrehungen und Tiefe auf null gestellt.

Bei neueren Zählgeräten beginnt die Messung mit dem ersten Schließen des Flügelkontaktes, d.h. ab diesem Zeitpunkt werden Zeit, Schaufelumdrehungen und Tiefe in den jeweiligen Zählern gezählt. Nach Durchlaufen der Messlotrechten werden bei automatischen Geräten durch den Grundtaster das Zählgerät und die Uhr selbsttätig abgeschaltet. Anderenfalls sind die Zählwerke (für Schaufelumdrehungen und Ablaufzeit des Flügels) sofort anzuhalten, wenn das durch den Grundtaster ausgelöste Signal ertönt. Eine genaue Tiefenermittlung ist nur möglich, wenn der Grundtaster sofort nach Berühren der Sohle anspricht.

(2) Um eine hohe, gleichbleibende Qualität der Messergebnisse zu erzielen, ist Folgendes zu beachten:

- Die Ablaufgeschwindigkeit ist in der Regel auf 2 cm/s einzustellen. Höhere Ablaufgeschwindigkeiten bis 4 cm/s sind nur bei großen Wassertiefen zulässig.
- In jeder Messlotrechten sind zwei Messungen durchzuführen (bei elektrischen Winden mit Abwärts- und anschließender Aufwärtsbewegung).
- Weichen die Ergebnisse beider Messungen deutlich voneinander ab (um mehr als 5 %), so sollten zusätzliche Messungen durchgeführt werden.

- Alle Messergebnisse sind zu protokollieren. Wenn möglich, sind die Ursachen für Abweichungen anzugeben.

### B.5.3.3 Gefäßmessung

(1) Sehr kleine Durchflüsse können vielfach relativ leicht und mit großer Genauigkeit durch Auffangen in Messgefäßen ermittelt werden. Gefäßmessungen eignen sich auch zum Kalibrieren von Messwehren und für nachfolgende Kontrollmessungen. In kleinen Einzugsgebieten erfolgt die Abflussbestimmung vielfach ausschließlich mit Hilfe von Gefäßmessungen. Bei diesem Verfahren wird der Durchfluss  $Q$  direkt bestimmt:

$$Q = \frac{V}{t} [m^3/s]$$

$Q$	Durchfluss [ $m^3/s$ ]
$V$	Volumen [ $m^3$ ]
$t$	Zeit, die zur Füllung des Volumens erforderlich ist [s]

Voraussetzung für eine exakte Durchflussmessung mit Messgefäßen ist eine hierfür geeignete Messstelle.

Als transportable Messgefäße kommen Eimer und Wannen bis etwa 100 l Fassungsvermögen zum Einsatz. Bei einer minimalen Messdauer von 5 Sekunden lassen sich so Durchflüsse von maximal 20 l/s messen. Für die Bestimmung größerer Durchflüsse sind transportable Messgefäße aufgrund der resultierenden Größe meist nicht mehr gut geeignet. Zur exakten Handhabung des Gefäßes sind oberhalb einer Größe von 15 l einnivellierte Führungsschienen hilfreich. Größere Durchflüsse würden Gefäße erfordern, die aufgrund ihrer Größe nicht mehr handelbar sind, so dass in diesem Fall die Gefäßmessung ungeeignet ist. Bei entsprechender Dimensionierung lässt sich darin im Vergleich zu anderen Verfahren der Durchfluss mit der höchsten erreichbaren Genauigkeit ermitteln. Voraussetzung ist auch hier die Möglichkeit, den Zufluss durch entsprechende Schieber schlagartig an- und abstellen zu können.

(2) Um eine gleichmäßig hohe Qualität der Messergebnisse zu gewährleisten, ist Folgendes zu beachten:

- Die Umrandung des Gefäßes muss allseitig höhengleich liegen.
- Das Gefäß muss bis zur Vollfüllung stabil und standsicher sein.
- Das Volumen muss mit einer relativen Unsicherheit von höchstens 1 % bestimmbar sein.
- Der Durchfluss muss vollständig aufgefangen werden. Hierzu muss ein vollkommener Überfall bestehen oder zumindest kurzfristig erzeugt werden.
- Spritzverluste sind zu vermeiden. Dazu kann z. B. vor der Messung ein exakt bekanntes Anfangsvolumen eingefüllt werden, in das der Strahl gedämpft eintaucht.
- Ein nur einseitiges Überschwappen des Messgefäßes darf nicht als Kriterium für seine vollständige Füllung gewertet werden. Es ist daher sorgfältig darauf zu achten, dass der Messvorgang nicht zu früh – aber auch nicht zu spät – beendet wird.
- Je Messstelle sind grundsätzlich mehrere Messungen durchzuführen und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen. In der Regel reichen drei Einzelmessungen für eine exakte Durchflussermittlung aus.
- Die mit der Stoppuhr gemessenen Füllzeiten sind mit Angabe der Zehntelsekunden im Messprotokoll zu vermerken.
- Wird die geforderte mittlere relative Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert von 5% überschritten, was z. B. bei sehr kurzen Füllzeiten (5 bis 10 Sekunden) der Fall sein

kann, ist es erforderlich, weitere Messungen anzuschließen, um einen repräsentativen Mittelwert zu erhalten. Messungen mit Füllzeiten unter fünf Sekunden erlauben keine hinreichende Genauigkeit.

- Bei höheren Durchflüssen und größeren Überfallhöhen kann die Bestimmung des Füllzeitpunkts durch den im Messgefäß auftretenden Schwalleffekt erschwert sein. In solchen Fällen kann es erforderlich werden, zunächst einige Probemessungen durchzuführen.

#### **B.5.3.4 Tracermessung**

(1) Die bisher dargestellten Durchflussmessverfahren erfordern eindeutig definierte Durchflussquerschnitte, eine gleichgerichtete Strömung in Hauptfließrichtung ohne Querströmungen und größere Turbulenzen sowie eine ausreichende Wassertiefe. In Fällen, in denen diese Voraussetzungen nicht gegeben sind und keine Möglichkeit zu Gefäßmessungen besteht, erlaubt die Messung mittels Tracer die Ermittlung von Durchflüssen mit ausreichender Zuverlässigkeit ohne bauliche Eingriffe in das Gewässer. Insbesondere bei Messungen von Durchflüssen aus Quellen und kleinen Gewässern im Hochgebirge (Wildbachcharakter) hat sich dieses Verfahren seit langem bewährt.

Bei der Durchflussmessung mittels Tracer wird ein Markierungsstoff in das Gewässer eingebracht. Nach vollständiger Durchmischung im Querschnitt wird seine Konzentration unmittelbar im Gewässer oder anhand von entnommenen Proben im Labor bestimmt. Unter der Annahme, dass das Gewässer mit dem Tracer nicht vorbelastet ist, kann aus der eingegebenen Menge des Markierungsstoffes und seiner Konzentration im Entnahmekuerschnitt der Durchfluss berechnet werden.

Das Einbringen von Markierungsstoffen stellt eine Gewässerbenutzung nach den Wassergesetzen des Bundes und der Länder dar, die eine entsprechende Zulassung erfordert. Die zu beachtenden Auflagen sind mit der zuständigen Wasserbehörde vorab zu klären. Insbesondere die potenziellen Mess- bzw. Eingabestellen, der vorgesehene Markierungsstoff sowie die Messanordnung und -durchführung sollten bereits im Vorfeld mit den zuständigen Dienststellen (Wasserbehörde, Fischereisachverständiger und Gewässerunterhaltungspflichtiger) abgestimmt werden.

Es sind vor allem zwei Methoden gebräuchlich, die Methode mit konstanter Einspeisung (Verdünnungsmethode) und die Integrationsmethode (momentane Eingabe).

Bei der Methode mit konstanter Einspeisung (Verdünnungsmethode) wird an der Eingabestelle so lange mit konstanter Eingaberate und konstanter Konzentration der Tracer eingegeben, bis an der stromabwärts gelegenen Entnahmestelle über einen ausreichenden Zeitraum eine konstante Konzentration über den ganzen Querschnitt erreicht ist. Daneben sorgt ein ausreichender Abstand zwischen Tracerzugabestelle und dem Messquerschnitt für eine vollständige Durchmischung und eine annähernd einheitliche Konzentration im Messquerschnitt. Dieses Verfahren erfordert einen verhältnismäßig hohen Aufwand für die Eingabe, bei der Konzentration und Eingabefluss unbedingt gleichmäßig sein müssen (Mariott'sche Flasche, Dosierpumpe). Die Entnahme von Proben am Ende der Durchmischungsstrecke ist hingegen weniger aufwändig.

Vorteile des Verfahrens sind:

- Veränderungen der Größe des Durchflusses oder der Hintergrundbelastung des Gewässers sind zu erkennen.

- Keine fehlerhaften Resultate infolge "Tailing" Messung kann beendet werden, wenn sich ein stabiles Konzentrationsplateau eingestellt hat.
- Einfache Auswertung, weil der Durchfluss sich direkt aus dem Verhältnis zwischen Tracereingabe und Konzentrationserhöhung ergibt.

Bei der Integrationsmethode (Momentane Eingabe) wird eine Eingabemenge des Markierungsstoffes in konzentrierter Form möglichst kurzfristig in das Gewässer, im Allgemeinen in Gewässermitte, eingebracht. Die Eingabe des Markierungsstoffes in das Gewässer ist verhältnismäßig einfach, für die Bestimmung des dabei zu lösenden Integrals ist jedoch ein größerer Aufwand bei der Probenahme bzw. ein Einsatz aufwändiger Messgeräte im Gelände erforderlich.

Vorteile der Integrationsmethode sind:

- Einsatz ist überall möglich (keine Probleme bei der Positionierung der Mariott'schen Flasche oder der Dosierpumpe mit Vorratsbehälter),
- weniger zeitaufwändige Vorbereitungen (Justierung der Mariott'schen Flasche entfällt),
- insgesamt geringerer Zeitbedarf für Eingabe und Messung; dies ist vor allem wichtig bei Hochwassermessungen.

Aufgrund des deutlich geringeren Aufwands im Gelände wird bevorzugt die Methode der Momentaneingabe angewendet.

(2) Um bei beiden Vorgehensweisen eine gleichmäßig hohe Qualität der Messergebnisse zu gewährleisten, ist Folgendes zu beachten:

- Die Durchmischungsstrecke muss ausreichend lang bemessen sein, um eine Durchmischung zu erreichen und eine qualitätsgerechte Messung bzw. Beprobung des Tracers vornehmen zu können.
- Die natürliche Hintergrundkonzentration muss ausreichend lang gemessen werden bzw. die Beschaffenheit des Gewässers muss bekannt sein, um den Durchgang der Tracerwolke korrekt erfassen zu können.
- Beschaffenheitsverändernde Einleitungen in das Gewässer innerhalb der Durchmischungsstrecke wie Straßenabläufe (Tausalz) oder Kanalisation müssen ausgeschlossen werden.

### B.5.3.5 Messungen mit Schwimmern

(1) Schwimmermessungen sind ein einfaches und anschauliches Verfahren. Ermittelt wird die Fließgeschwindigkeit  $v$ :

$$v = \frac{L}{T} [m/s]$$

$V$	Fließgeschwindigkeit [m/s]
$L$	Messstrecke [m]
$T$	Laufzeit des Schwimmers [s]

In Abhängigkeit von der jeweiligen gewässerkundlichen Problemstellung und den Randbedingungen kommen verschiedene Schwimmer zur Anwendung. Je nach Schwimmerart kann

- die Oberflächengeschwindigkeit,
- die mittlere Fließgeschwindigkeit in der Schwimmerbahn, auch in schwach durchströmten Querschnitten oder
- die Geschwindigkeit in einer bestimmten Tiefe gemessen werden.

Dabei wird die Wassertiefe zur Bestimmung der durchflossenen Fläche durch Peilung bzw. Profilnivellement bestimmt.

Schwimmertypen sind:

- Oberflächenschwimmer,
- Zylinderschwimmer,
- Kettenschwimmer.

Die Auswertung kann rechnerisch oder grafisch erfolgen. Bei bestehenden Pegeln mit vorliegenden Messungen ist die Auswertung über eine Ermittlung der Beziehung  $v_m/v_{o,max}$  möglich.

(2) Um eine gleichmäßig hohe Qualität der Messergebnisse zu gewährleisten, ist zu beachten:

- Zum einwandfreien Beobachten der Schwimmerbahnen sollten gerade und übersichtliche Gewässerstrecken gewählt werden.
- Zum Einrichten der Messstelle werden von einer Basislinie am Ufer rechtwinklig zum Wasserlauf in der Regel drei (in Ausnahmefällen auch nur zwei) Querprofile eingemessen und für die Dauer der Messung mit Fluchtstangen abgesteckt. Bei einer Dauermessstelle können zusätzliche Einrichtungen oder Markierungen das Aufstellen der Fluchtstangen erleichtern.
- Die Abstände der Querprofile und damit die Länge der Schwimmerbahnen richten sich nach der vorhandenen Fließgeschwindigkeit; sie sollten zwischen 5 und 40 m betragen.
- Laufzeiten über 400 Sekunden sind zu vermeiden. Aus der gemessenen Fließgeschwindigkeit muss auf die mittlere Fließgeschwindigkeit im Messquerschnitt geschlossen werden.
- Für Messungen im Hochwasserfall ist die Ermittlung der maximalen Oberflächengeschwindigkeit  $v_{o,max}$  durch Einbringung des Schwimmers in genau diesem Bereich vorzunehmen.
- Es sind in Abhängigkeit vom Gewässerprofil mehrere Einzelmessungen (mindestens 3, besser 5 bis 10) durchzuführen und zu dokumentieren, auf deren Grundlage eine korrekte Mittelwertbildung für die weitere Auswertung möglich ist.

## **B.5.4 Ortsfeste, kontinuierlich messende Verfahren**

### **B.5.4.1 Messwehre**

(1) Messwehre, die durch Anhebung der Gewässersohle und Einschnürung des Fließquerschnittes einen Fließwechsel vom Strömen zum Schießen herbeiführen, erlauben eine Ermittlung des Durchflusses über die sich einstellende Grenztiefe  $h$  [m] im Kontrollquerschnitt und die Bauwerksgeometrie. Durch den damit verbundenen konstruktiven Aufwand und die einhergehende Beeinträchtigung der ökologischen Durchgängigkeit sind der Anwendung in natürlichen Gewässern enge Grenzen gesetzt. Für die Ermittlung von kleinen bis sehr kleinen Durchflüssen, insbesondere Quellschüttungen, können sie aber das Verfahren der Wahl darstellen.

Die genauesten Messungen erlauben vollkommene Überfälle über scharfe Überfallkanten von lediglich 1 bis 2 mm Kronenbreite, die vollständig hinterlüftet und auf der Luftseite gegebenenfalls angeschrägt sind (mindestens 45°) um eine größere Wandstärke zu erreichen. Aus statischen Gründen und wegen der erforderlichen Maßhaltigkeit bietet es sich an, sie in Form auswechselbarer Metallstreifen auf den eigentlichen Staukörper aufzusetzen. Es ist da-

rauf zu achten, dass die Kronenflächen stets glatt, unbeschädigt und frei von Korrosion bleiben.

Dünnplatten-Wehre mit dreieckigem Kronenausschnitt eignen sich aufgrund der deutlichen Wasserstandsreaktion auf Veränderungen des Durchflusses besonders gut, insbesondere für sehr kleine Durchflüsse. Die allgemeine Formel für Dreiecksüberfälle mit einem Öffnungswinkel  $20^\circ < \alpha < 100^\circ$  ist

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \cdot h^{5/2}$$

Weite Verbreitung gefunden hat der rechtwinklige Dreiecksüberfall nach THOMSON. Mit  $\tan 45^\circ = 1$  vereinfacht sich die Formel hier zu

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{5/2} = 2,36 \cdot \mu \cdot h^{5/2}$$

Die Überfallhöhe  $h$  [m] ermittelt sich durch Messung des Wasserstands im Abstand der 2- bis 4-fachen maximalen Überfallhöhe von der Wehrkrone abzüglich des Wasserstands bei Durchflussnull. Der exakte Überfallbeiwert  $\mu$  ist abhängig von  $h$  und muss durch Vergleichsmessungen bei wechselnden Wasserständen bekannt sein. Hierzu stehen die einschlägigen Verfahren für Momentaufnahmen des Durchflusses zur Verfügung (Gefäßmessung, Punktmessung, Tracer). Eine theoretische Berechnungsformel nach STRICKLAND ist.

Eine theoretische Berechnungsformel ist

$$\mu = 0,565 + \frac{0,0087}{\sqrt{h}}$$

Die Gültigkeit der genannten Beziehungen setzt eine ausreichende Beruhigung der Strömung im Oberwasser voraus. Auch darf das Verhältnis von Überfallhöhe zu Resttiefe und Überfallbreite zu Gerinnebreite bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Die Einhaltung dieser Bedingungen trägt maßgeblich zum hohen konstruktiven Aufwand solcher Bauwerke bei und setzt eine regelmäßige Räumung des Oberwasserbereichs voraus. Zur Kontrolle der Gültigkeit der  $W/Q$ -Beziehung sollten auch die Vergleichsmessungen in regelmäßigen Abständen wiederholt werden.

Es sind zahlreiche weitere geometrische Formen beschrieben (z. B. Rechtecküberfälle nach REHBOCK und PONCELET, ohne und mit Seitenkontraktion). Wegen der Vielzahl der Varianten wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

In vergleichbarer Weise können auch Venturikanäle mit Fließwechsel, Ausflussöffnungen aus beruhigten Becken oder sogenannte Flumes Anwendung finden.

(2) Um eine gleichmäßig hohe Qualität der Messergebnisse zu gewährleisten, ist Folgendes zu beachten:

- Die Wehrplatte ist mit einem Winkel von  $90^\circ$  quer zum Zulaufgerinne zu positionieren. Sie soll oberwasserseitig glatt und bei jedem auftretenden Wasserstand starr sein. Die

Oberflächenbeschaffenheit der Überfallkanten sollte mindestens derer von Walzblech gleichwertig sein.

- Die Breite der Überfallkanten sollte nicht mehr als 1 bis 2 mm betragen. Der Überfallstrahl muss jederzeit vollständig hinterlüftet sein und darf nicht an der Luftseite der Wehrplatte anliegen.
- Die Überfallkanten müssen stets frei von Geschwemmsel sein. Das kann manche Standorte grundsätzlich ausschließen oder den Einbau entsprechender Abweiser erfordern. Eine Beschädigung der Überfallkanten, auch z. B. durch Reinigungsmaßnahmen, ist unbedingt zu vermeiden.
- Die bei der Bemessung angesetzten geometrischen Abmessungen müssen durch regelmäßige Räumung des Oberwasserbereichs auch für künftige Beobachtungszeiträume sichergestellt sein. Die Räumung ist in den Pegelunterlagen zu dokumentieren.
- Ein vollkommener Überfall muss bei allen Wasserständen gewährleistet sein. Gegebenenfalls kann eine Räumung des Unterwassers erforderlich werden, um einen Einstau auszuschließen.
- Die Bestimmung von Überfallhöhe und Durchflussnull erfordert besondere Sorgfalt. Wegen der Absenkung des Wasserspiegels ist es unzulässig, den Wasserstand im Nahbereich der Wehrkante für die Bestimmung dieser Größen heranzuziehen.
- Die Gültigkeit der angegebenen Wehrformel ist nur für Überfallhöhen im Bereich von 0,05 m bis 0,45 m hinreichend experimentell belegt.

#### **B.5.4.2 Ultraschall-Laufzeitverfahren**

(1) Das Messprinzip beruht auf der direkten Messung der Laufzeit eines akustischen Signals zwischen zwei Ultraschallköpfen, den sogenannten hydroakustischen Wandlern. Eine Schallwelle, die sich in einem Gewässer entgegen der Fließrichtung bewegt, benötigt eine längere Laufzeit als eine Schallwelle, die mit der Fließrichtung wandert. Die Ultraschallsignale haben keine negativen Auswirkungen auf die im Wasser lebenden Fischarten.

Die Differenz der Laufzeiten ist direkt proportional zur Fließgeschwindigkeit im Messpfad und damit bei bekannter Querschnitts- und Strömungsgeometrie proportional zum Durchfluss.

Die Laufzeitmessung wird technisch mit unterschiedlichen Verfahren realisiert. Genannt seien hier das Frequenzbandverfahren und das Impulsverfahren. Beim Frequenzbandverfahren wird eine definierte Frequenzfolge in das Gewässer abgegeben und dessen Laufzeit vom Sender zum Empfänger gemessen. Beim Impulsverfahren wird die Laufzeit eines kurzzeitigen Schallimpulses mit einer definierten Frequenz gemessen.

#### **(2) Möglichkeiten der Anlagenkonfiguration**

In Abhängigkeit von den hydraulischen Verhältnissen, der Gewässergeometrie, der Infrastruktur an der jeweiligen Messstelle sowie der geforderten Messgenauigkeit kommen verschiedene Ausführungen zur Anwendung:

- Einstreckenanlage: Die einfachste Anordnung einer Ultraschallanlage bilden zwei sich schräg gegenüberliegende, hydroakustische Wandler. Voraussetzung ist, dass die Hauptströmung parallel zu den Ufern verläuft. Diese Voraussetzung ist am besten in Kanälen und kanalartig ausgebauten Querschnitten von Fließgewässern gegeben.
- Kreuzstreckenanlage: In natürlichen Gewässern verläuft die Hauptströmung nur selten parallel zum Ufer. Krümmungen des Gewässerverlaufs und die Querschnittsform beeinflussen die Hauptströmungsrichtung bei unterschiedlichen Wasserspiegellagen nachhaltig. In solchen Fällen wird die Kreuzstrecken-Anordnung eingesetzt, bei der mit Hilfe



eines zweiten Messpfades zusätzlich der Winkel zwischen der Hauptströmungsrichtung und einem Ufer berechnet wird.

- Responderanlage: Nicht immer ist eine Verlegung der die Wandler verbindenden Kabel zum gegenüberliegenden Ufer möglich. Alternativ werden dann die Wandler auf der gleichen Flussseite an das Ultraschallmessgerät angeschlossen und am anderen Ufer ein automatisch arbeitendes Antwortgerät (Responder) installiert.
- Reflektoranlage: Während bei einer Responderanlage das Signal durch den Responder aktiv verstärkt wird, wird es bei einer Reflektoranlage ausschließlich durch eine Reflektoroberfläche reflektiert. Aufgrund der verdoppelten Pfadlänge und der daraus resultierenden Dämpfung des Signals ist das Einsatzgebiet dieses Anlagentyps auf geringe Gewässerbreiten beschränkt.
- Mehrebenenanlage: In Messquerschnitten mit extrem schwankenden Wasserständen oder ausufernden Gewässerquerschnitten (gegliederte Querschnitte) wird der Einsatz einer Mehrebenen-Anordnung empfohlen. Jede Ebene kann in Ein- oder Kreuzstreckenordnung konfiguriert werden.

(3) Die Anordnung der Wandler hängt im Wesentlichen von den hydraulischen Verhältnissen, der Gewässergeometrie, der Infrastruktur an der jeweiligen Messstelle sowie der geforderten Messgenauigkeit ab. Die Messunsicherheit ist bei einer Mehrebenen-Kreuzstreckenanlage am geringsten, da bei dieser Anordnung die Unsicherheiten bezüglich der Annahmen über die Hauptströmungsrichtung und das Strömungsprofil am wenigsten Einfluss auf das Berechnungsergebnis haben. Die Messunsicherheit wird allerdings zusätzlich neben der Unsicherheit der Messung des Wasserstandes für die Ermittlung der durchflossenen Fläche auch durch während der Messung nicht verifizierbare Unsicherheiten beeinflusst, beispielsweise: Veränderliche Anströmung durch Bewuchs oder Anlandung, wodurch darüber hinaus die durchflossene Fläche beeinflusst wird. Eine Messunsicherheit kann erst durch Vergleich mit einer ausreichenden Anzahl an Durchflussmessungen abgeschätzt werden.

(4) Bei der hydrometrischen Kalibrierung von Ultraschallanlagen muss aufgrund des im Allgemeinen unbekanntes Geschwindigkeitsprofils ein Bezug zwischen der gemessenen Fließgeschwindigkeit und der mittleren Fließgeschwindigkeit hergestellt werden. Dieser Bezug kann über Momentaufnahmen mit anderen Messverfahren oder näherungsweise durch theoretische Ableitungen oder mathematische Modelle hergestellt werden.

(5) Um eine gleichmäßig hohe Qualität der Messergebnisse zu gewährleisten, ist Folgendes zu beachten:

- Zur Kontrolle der Ultraschallanlage sind Vergleichsmessungen in regelmäßigen Abständen durchzuführen.
- Die Vegetation in der direkten Messstrecke der Ultraschallwelle muss umgehend entfernt werden, da die Schallausbreitung gestört wird.
- Die Vegetation, bzw. Anlandungen im Messprofil entlang der eigentlichen Messstrecke müssen umgehend entfernt werden, da dadurch die durchflossene Fläche reduziert wird und dies direkt in die Messunsicherheit für den Durchfluss eingeht. Darüber hinaus wird in der Regel eine ansonsten uferparallele Strömung beeinflusst und es treten Sekundärströmungen auf. Hierdurch werden zusätzlich die gemessenen Geschwindigkeiten beeinflusst.
- Die Wandler sind regelmäßig zu reinigen.
- Das Messprofil ist auf Veränderungen hin regelmäßig zu überwachen (alle 2 Jahre sowie nach Hochwasserereignissen), die Kalibrierung der Anlage entsprechend anzupassen.

- Für die Beurteilung der Qualität der Durchflussermittlung ist es erforderlich zu wissen, aus welchen Messpfaden der jeweilige Durchflusswert ermittelt wurde.
- Zur Beurteilung der Messstelle ist es erforderlich, neben den Parametern W und Q auch sämtliche Messwerte abzuspeichern, die zur Berechnung von Q erforderlich sind, sowie die vom System abgespeicherten Signalstärken der einzelnen Messpfade. Dazu gehören auch die Fehlerstatistik der Einzelwerte bzw. der Gesamtanlage.

(6) Der Bau einer Ultraschall-Laufzeitanlage erfordert in der Regel einen erheblichen Investitionsaufwand. Deswegen ist vorab im Hinblick auf folgende Restriktionen bei der Anwendung eine detaillierte Evaluierung der Messstelle erforderlich:

- Das Profil oberhalb des Messquerschnittes sollte nach einer Faustregel über eine Strecke von etwa dem Fünffachen der Flussbreite weitgehend konstant sein.
- In der gesamten Messstrecke dürfen keine veränderlichen Ablagerungen auftreten. Die Länge des akustischen Pfades kann zwischen 1 m und 1000 m liegen. Um Reflexionen zu vermeiden, muss um den akustischen Pfad ein Freiraum verbleiben. Dies erfordert Mindestabstände der Messebene über der Sohle bzw. unter der Wasseroberfläche.
- Insbesondere bei Hochwasser treten erhöhte Schwebstofffrachten auf, die die Länge des möglichen akustischen Messpfades erheblich reduzieren können.
- Die Reichweite hängt von der Sendeleistung und der Frequenz ab, wobei die Dämpfung des Signals mit der Frequenz zunimmt.
- Umgekehrt wird im Hochwasserfall (bei gleicher Pfadlänge) mit u. U. hohen Schwebstoffkonzentrationen die Zuverlässigkeit der Messwerterhebung durch eine niedrige Sendefrequenz wesentlich gesteigert.
- Schwebstoffe im Wasser dämpfen die Schallausbreitung. Je größer die Partikel sind und je höher die Frequenz ist, desto größer ist die Dämpfung. Ultraschall-Laufzeitanlagen können bei Hochwasserwellen mit hoher Schwebstofffracht zeitweise ausfallen.
- Da bei der Wellenausbreitung, die Welle immer zum Medium mit der größeren Dichte hin abgelenkt wird, kann dies bei Gewässern, bei denen eine Temperaturschichtung auftritt, dazu führen, dass das akustische Signal von seiner normalerweise horizontalen Ausbreitung abgelenkt wird. Die Auslenkung ereignet sich im ungünstigsten Fall so weit, dass das Signal nicht mehr auf den Empfänger trifft.
- Luftblasen im Messprofil behindern die akustische Ausbreitung der Schallwellen und können zu Datenausfall führen.

#### **B.5.4.3 Ultraschall-Doppler-Messgeräte in Horizontalaufstellung**

(1) In geeigneten Querschnitten ist die Verwendung von Horizontal-Doppler-Messgeräten ein Verfahren der kontinuierlichen Geschwindigkeitserfassung. Die erforderlichen Installationen können auf den Böschungsbereich eines Ufers beschränkt bleiben, gleichwohl kann der erfassbare Messbereich entsprechend der Ausdehnung der Schallkeule weit in das Gewässer hineinreichen. Erhöhte Schwebstofffrachten können die Reichweite des Schallsignals zeitweise einschränken, unterbrechen die Messung aber trotz der niedrigen Leistung der Wandler in der Regel nicht vollständig. Vorteilhaft für die Aufstellung sind kompakte Querschnitte. Sehr breite und gleichzeitig flache, sowie unregelmäßige Profile wirken sich dagegen ungünstig aus. Als Faustregel sollte ein Verhältnis Tiefe zu Breite von 1:10 nicht unterschritten werden.

(2) Da die Höhenausdehnung der Schallkeulen entsprechend ihrem Öffnungswinkel mit zunehmendem Abstand vom Ufer zunimmt, störende Reflexionen des Schallsignals von der Sohle oder Wasseroberfläche aber unbedingt vermieden werden müssen, hat die Querschnittsgeometrie einen maßgeblichen Einfluss auf die Reichweite. Horizontale Ultraschall-Doppler-Messgeräte können typischerweise nur einen begrenzten Ausschnitt des Gewässerprofils erfassen. In der Regel kann das Messergebnis daher nur als Index der anzunehmenden mittleren Fließgeschwindigkeit im betrachteten Profil dienen. Eine Ableitung kontinuierlicher Abflusszeitreihen erfordert eine eingehende Evaluierung unter Berücksichtigung von vergleichenden Momentaufnahmen mit anderen Messverfahren für alle interessierenden Abflusszustände. Zeitlich fortschreitende oder periodische Veränderungen der Querschnittsfläche oder der Geschwindigkeitsverteilung können erhebliche systematische Abweichungen der Messwerte vom tatsächlichen Durchfluss bewirken, die nur durch regelmäßige Vergleichsmessungen zu erkennen sind.

#### **B.5.4.4 Ultraschall-Doppler-Messgeräte in Vertikalaufstellung**

(1) Vertikal in Richtung Wasseroberfläche messende Doppler haben sich für Anwendungen in Kanalnetzen und Kläranlagen etabliert, wo die Verankerung auf einer unveränderlichen Sohle unproblematisch ist. Da sie dementsprechend robust und wenig empfindlich gegen Verschlammung gestaltet sind, ist unter entsprechenden Rahmenbedingungen auch ein Einsatz in natürlichen Gewässern möglich. Gegenüber den Horizontal-Dopplern bieten sie den Vorteil, dass für den gewählten Installationspunkt das Fließgeschwindigkeitsprofil annähernd über die gesamte Wassertiefe erfasst wird. Durch die Positionierung mehrerer Geräte an repräsentativen Profilknoten lässt sich so der Durchfluss im gesamten Querschnitt über Lotrechten entsprechend der Geschwindigkeitsflächen-Methode abbilden. Mit zunehmender Breite des betrachteten Querschnitts steigt jedoch der Konstruktionsaufwand dabei verglichen mit den anderen akustischen Verfahren signifikant an.

(2) Um eine gleichmäßig hohe Qualität der Messergebnisse zu gewährleisten, ist Folgendes zu beachten:

- Für die Anwendung des Verfahrens empfehlen sich kompakte Querschnitte mit homogener Geschwindigkeitsverteilung und stabilen Strömungsverhältnissen.
- Die Wandler sind so anzuordnen, dass die Schallkeule bei allen Abflusszuständen bis in den Bereich der größten Fließgeschwindigkeiten reicht. Ihr Messbereich darf nicht durch störende Randbedingungen wie Kehrströmungen oder durch Bewuchs beeinträchtigt sein.
- Im Messbereich muss eine parallele, gleichförmige Strömung vorliegen. Das Messergebnis gegensinnig gerichteter Schallkeulen sollte dementsprechend betragsmäßig annähernd gleich groß sein.
- Die Stärke des empfangenen Signals gibt einen Anhaltswert für das Ausmaß von Störeinflüssen. Bei Zellen schlechter Signalqualität ist mit erhöhten Abweichungen zu rechnen. Sie sollten daher in geeigneter Weise ausgefiltert werden und nicht in die Abflussberechnung eingehen.
- Veränderungen der Querschnittsgeschwindigkeit müssen sich in einer deutlichen Veränderung der gemessenen Geschwindigkeit niederschlagen. Die Korrelation der beiden Größen ist für alle auftretenden Abflusszustände über Momentaufnahmen zu ermitteln und zu dokumentieren.

- Um die Einhaltung der oben stehenden Kriterien sicherstellen zu können, sind vor der Entscheidung für einen Standort Erkundungsmessungen in ausreichendem Umfang vorzunehmen.
- Die Empfindlichkeit der verschiedenen Fabrikate für Ablagerungen auf den Wandlerflächen ist sehr unterschiedlich. Eine Möglichkeit zur Reinigung und Revision der Wandler ist bereits bei der Konzeption der Anlage vorzusehen.

#### B.5.4.5 Oberflächen-Radar

(1) Mit Hilfe des für die Wasserstandsmessung bereits beschriebenen Mikrowellen-Radars ist auch eine Messung der lokalen Fließgeschwindigkeit in einem eng begrenzten Bereich der Wasseroberfläche möglich. Diese kann vergleichbar der Messung mit Oberflächen-schwimmern oder stationären Ultraschall-Dopplern als Index der mittleren Fließgeschwindigkeit im betrachteten Querschnitt fungieren.

Es kommen grundsätzlich gleichartige Sensoren wie für die Wasserstandsmessung zum Einsatz. Der Sensor befindet sich über der Gewässeroberfläche, wobei das Signal schräg in Fließrichtung ausgesendet wird. Dieses Verfahren macht sich den Doppler-Effekt zunutze, indem die Frequenzverschiebung von Mikrowellen registriert wird, die von Wellenstrukturen an der Wasseroberfläche reflektiert werden. Der Radarstrahl wird dazu in einem Winkel  $\alpha$  von  $30^\circ$  bis  $60^\circ$  gegen die Fließrichtung gerichtet. Als Optimum ist ein Montagewinkel von  $45^\circ$  anzustreben. Unter der Annahme, dass die beobachteten Wellenstrukturen sich mit der Geschwindigkeit des Wassers bewegen, ermittelt sich die lokale Fließgeschwindigkeit zu:

$$v = \Delta f \cdot \frac{k}{2 \cdot \cos \alpha} \text{ [m/s]}$$

$\Delta f$	Differenz der ausgesandten und empfangenen Frequenz [Hz]
$\alpha$	Abstrahlwinkel zur Horizontalen [-]
$k$	Systemkonstante [m]
$v$	Fließgeschwindigkeit [m/s]

Die Lage und Ausdehnung des betrachteten Ausschnitts der Wasseroberfläche verändern sich mit wechselndem Wasserstand in Abhängigkeit vom Abstrahlwinkel. Das Verfahren empfiehlt sich deshalb insbesondere zur Gewinnung zusätzlicher Informationen über die Verhältnisse im Hochwasserbereich.

(2) Um eine gleichmäßig hohe Qualität der Messergebnisse zu gewährleisten, ist Folgendes zu beachten:

- Für die Anwendung des Verfahrens empfehlen sich kompakte Querschnitte mit homogener Geschwindigkeitsverteilung und stabilen Strömungsverhältnissen.
- Der Messbereich ist so einzurichten, dass er bei allen Abflusszuständen im Bereich der größten Fließgeschwindigkeiten oder mindestens in dessen Nähe liegt. Er darf nicht durch Störungen wie z.B. Kehrströmungen oder Bewuchs beeinträchtigt sein.
- Bei allen Abflusszuständen sollten im Messbereich markante Wellenbewegungen und Oberflächengeschwindigkeiten über 0,3 m/s vorliegen.
- Als Optimum ist für den Radarstrahl ein Montagewinkel von  $45^\circ$  anzustreben. Der vom Gerätehersteller vorgeschriebene Mindestabstand des Montagepunkts zur Wasseroberfläche ist einzuhalten.
- Das Verhältnis  $v_m/v_o$  muss hinreichend durch Messungen belegt sein.
- Eine maßgebliche systematische Fehlerquelle sind Oberflächenbewegungen infolge von Wind, insbesondere bei nur geringen Fließgeschwindigkeiten. Der mögliche Einfluss muss bei der Konzeption der Messstelle berücksichtigt werden.

## **B.6 Auswerteverfahren**

### **B.6.1 Durchflussermittlung aus den Fließgeschwindigkeiten in einzelnen Punkten**

#### **B.6.1.1 Einführung in die Durchflussermittlung**

(1) Beim Punktmessverfahren werden die Profilform und die Fließgeschwindigkeitsverteilung des betrachteten Querschnitts über Lotung und Punktmessungen in repräsentativen Lotrechten abgebildet. Die Verteilung der Messlotrechten muss den Querschnitt und den Geschwindigkeitsverlauf hinreichend genau wiedergeben. Dazu ist sowohl auf eine ausreichende Messpunktdichte als auch auf die Erfassung markanter Knickpunkte zu achten. Eine Mindestvorgabe ist die Aufteilung in zehn Messlotrechten gleichen Abstands bei mittlerem Wasserstand. Somit trägt keine Lotrechte mit mehr als 10% zum Gesamtdurchfluss bei. Bei größeren Gewässern, Hochwasser mit Ausuferungen oder komplizierten geometrischen Verhältnissen ist die Anzahl der Messlotrechten zu erhöhen, bei kleinen Gewässern kann die Anzahl der Lotrechten verringert werden. Bei der Einteilung in Messlotrechte sollten Erfahrungen aus vorangegangenen Messungen genutzt werden.

(2) Bei der Vielpunktmethode sind die Messpunkte auf der Messlotrechten wie folgt anzuordnen:

- ein Messpunkt möglichst dicht an der Wasseroberfläche, jedoch so tief darunter, dass das Messgerät dauernd vollständig eingetaucht und unbeeinflusst ist,
- ein Messpunkt möglichst dicht an der Gewässersohle, abhängig von den bauartbedingten Mindestabständen, jedoch oberhalb der turbulenten Grenzschicht, in der keine gerichtete Fließbewegung messbar ist,
- mindestens ein weiterer Messpunkt so nah an der Gewässersohle, dass die charakteristische Abnahme der Fließgeschwindigkeit über die Wassertiefe wirklichsgetreu abgebildet wird,
- Gesamtzahl der Messpunkte entsprechend der Wassertiefe und den Strömungsverhältnissen mindestens:
  - Wassertiefe bis 1 m = 3 Messpunkte,
  - Wassertiefe 1 bis 3 m = 4 Messpunkte,
  - Wassertiefe 3 bis 7 m = 5 Messpunkte,
  - Wassertiefe über 7 m = 6 Messpunkte.

(3) Anzahl und Lage der Messpunkte auf der Messlotrechten beeinflussen das Ergebnis der Durchflussmessung. Auf der Grundlage von Messungen mit verdichtetem Raster können Unsicherheiten abgeschätzt und optimierte Anordnungen entwickelt werden.

#### **B.6.1.2 Durchflussermittlung mit der Geschwindigkeits-Flächenmethode**

Dieses Verfahren wurde für die Auswertung von Punktmessungen entwickelt, bietet aber auch die Grundlage für die Auswertungen der Messungen mit integrierenden Messverfahren. In der Vergangenheit wurde das Durchflussergebnis dabei überwiegend durch Auftragen der Geschwindigkeitsprofile auf Millimeterpapier und anschließende grafische Ermittlung der Geschwindigkeitsflächen (Auszählen der Kästchen, Planimetrieren) gewonnen. Für eine näherungsweise Bestimmung unter Verwendung einer reduzierten Anzahl von Messpunkten kamen rechnerische Verfahren zur Anwendung. Heute werden EDV-gestützte Verfahren sowohl zur Bestimmung der Geschwindigkeitsflächen in den Messlotrechten als auch zur Berechnung des Durchflusses verwendet.

Zunächst wird für jede Messlotrechte die vertikale Geschwindigkeitsfläche  $f_v$  als Integral der Geschwindigkeiten über die Höhe der Messlotrechten ermittelt (Abb. B.6-1).

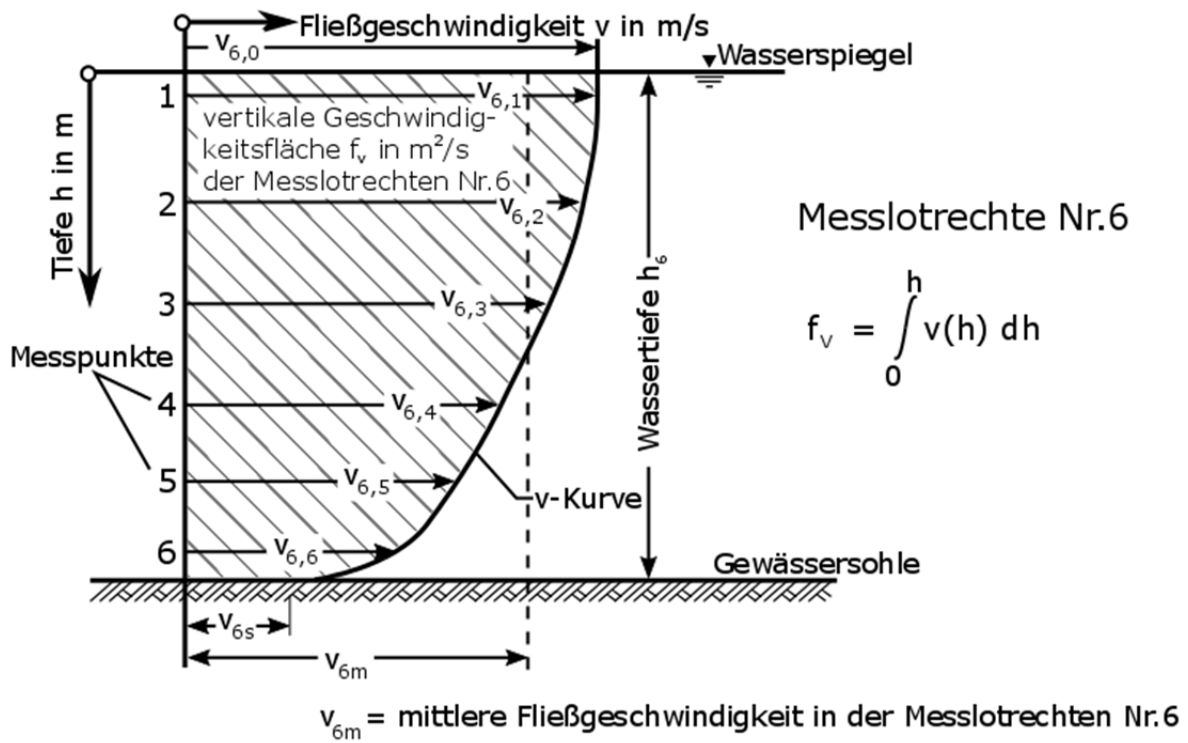


Abbildung B.6-1 vertikale Geschwindigkeitsfläche  $f_v$

Aus dem Integral aller ermittelten Geschwindigkeitsflächen über den Messquerschnitt kann der Durchfluss bestimmt werden (Abb. B.6-2).

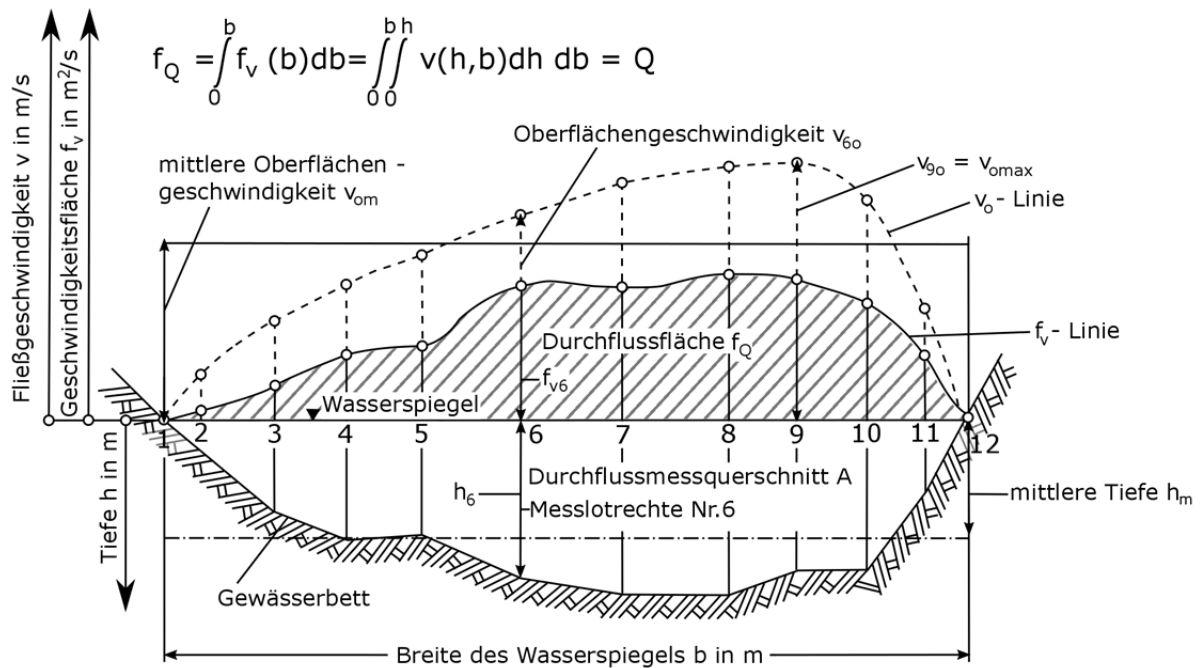


Abbildung B.6-2 Bestimmung des Durchflusses über alle ermittelten Geschwindigkeitsflächen

### B.6.1.3 Graphische Verfahren bei der Punktmessung

(1) Für die Auswertung mit Hilfe der Geschwindigkeitsflächen-Methode sind zunächst die Geschwindigkeitsflächen der einzelnen Messlotrechten zu bestimmen. Senkrecht zur Messlotrechten werden die in den einzelnen Messpunkten ermittelten Fließgeschwindigkeiten als Strecke aufgetragen und durch einen stetigen Linienzug (Geschwindigkeitsverteilungskurve) miteinander verbunden. Über den obersten Messpunkt hinaus wird der Linienzug bis zur Wasseroberfläche verlängert. Für die Sohle wird im Allgemeinen die halbe Geschwindigkeit des untersten Messpunktes angesetzt; hier geht der Linienzug tangential in die Waagerechte in Sohlenhöhe über.

Die Fläche zwischen der Geschwindigkeitsverteilungskurve ( $v$ -Kurve) und der Messlotrechten  $i$  ist die Geschwindigkeitsfläche  $f_{vi}$ .

$$f_{vi} = v_{im} \cdot h_i [m^2/s]$$

$v_{im}$	mittlere Geschwindigkeit in der Messlotrechten $i$ [m/s]
$h_i$	Wassertiefe in der Messlotrechten $i$ [m]

(2) In einem rechtwinkligen Koordinatensystem, in dem die Wasseroberfläche als Grundlinie gewählt wird, werden die Geschwindigkeitsflächen  $f_v$  einer jeden Messlotrechten als Ordinate senkrecht zur Wasseroberfläche als Strecke aufgetragen. Die Endpunkte dieser Strecken werden durch eine Linie miteinander verbunden ( $f_v$ -Linie). Die von der  $f_v$ -Linie und der Wasseroberfläche (Abszisse) eingeschlossene Fläche repräsentiert den Durchfluss  $Q$  des Querschnittes A. Der Durchfluss wird durch Ausplanimetrieren ermittelt. Die mittlere Querschnittsgeschwindigkeit  $v$  des Durchflusses ergibt sich als Quotient aus Durchfluss und Durchflussmessquerschnitt ( $v = Q/A$ ).

Um den Verlauf der Gewässersohle zwischen den Messlotrechten besser zu erfassen, können in weiteren Lotrechten (Peil- oder Zusatzlotrechten) die Wassertiefen gemessen werden. Dies gilt insbesondere bei Hochwassermessungen, wenn zur Verkürzung der Messdauer die

Anzahl der Messlotrechten verringert wird. Die Zusatzlotrechten können in die Auswertung mit einbezogen werden.

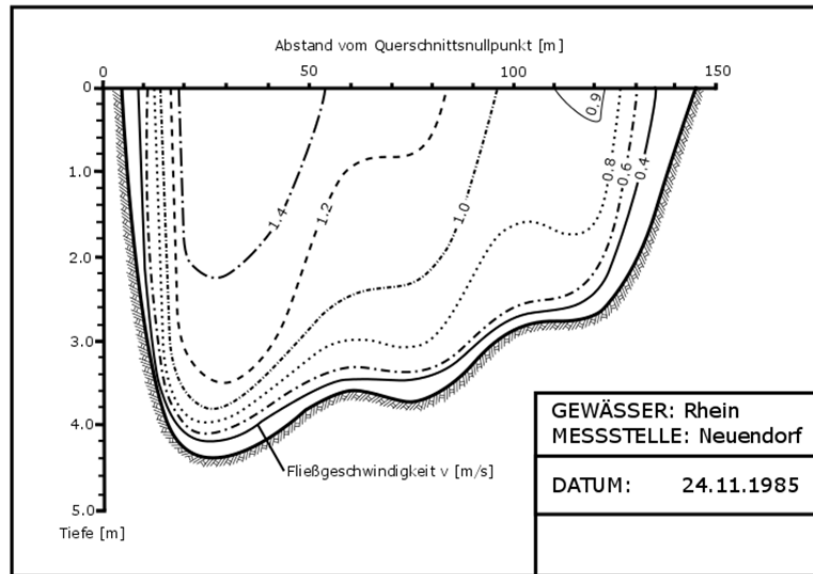


Abbildung B.6-3 Isotachenplan

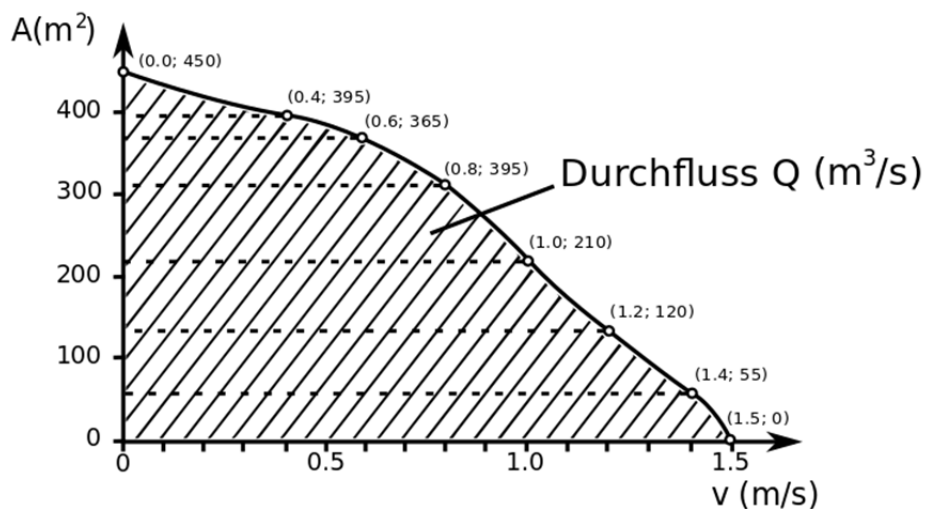


Abbildung B.6-4 Durchflussermittlung aus dem Isotachenplan

Anhand der Geschwindigkeitsverteilungskurven in den Messlotrechten kann zusätzlich für den Messquerschnitt ein Plan mit Linien gleicher Geschwindigkeit gezeichnet werden (Abb. B.6-3).

Auch aus einem Isotachenplan kann der Durchfluss graphisch ermittelt werden. Die von den Isotachen umschlossenen Flächen werden ausplanimetriert und in einem Diagramm mit den Koordinaten Geschwindigkeit und Fläche aufgetragen. Die Verbindungslinie der Punkte ( $v$ ,  $A$ ) umschließt die Durchflussfläche, die dem Durchfluss entspricht (Abb. B.6-4). Die Abbildung B.6-4 wird folgendermaßen konstruiert: Beginnend mit der höchsten Geschwindigkeit



im Abflussprofil wird für jede Geschwindigkeit die zugehörige kumulierte Fläche aufgetragen. Im obigen Beispiel ist die Fläche für 1,5 m/s gleich Null, da hierfür keine Isotache existiert und angenommen wird, dass 1,5 m/s zwar im Querschnitt als maximale Geschwindigkeit auftritt, aber keine Fläche einschließt. Die nächste Isotache ist mit 1,4 m/s angegeben und umschließt eine Fläche von 55 m<sup>2</sup>. Für 1,2 m/s beträgt die aufsummierte umschlossene Fläche 120 m<sup>2</sup> (Fläche der Isotachen von 1,2 m/s und 1,4 m/s). Man fährt mit dieser Aufsummierung fort, bis zur Geschwindigkeit von 0 m/s, was natürlich der Gesamtfläche des Querschnitts entspricht (im Beispiel entspricht das 450 m<sup>2</sup>). Anhand der gestrichelten Linien in Abbildung B.6-4 erkennt man sofort, dass durch dieses Verfahren Trapeze entstanden sind mit der Fläche  $Q_i = (v_{i+1} - v_i) \cdot A_i$ . Die Summe der Flächen  $Q_i$  ergibt dann den Gesamtdurchfluss  $Q$  (vgl. Abb. B.6-4).

Die aus einer möglichst großen Anzahl Durchflussmessungen bei unterschiedlichen Wasserständen ermittelten Geschwindigkeitsflächen in festen Messlotrechten können dazu dienen,  $f_v$ -Werte in Abhängigkeit von  $W$  durch Extra- oder Interpolation zu ermitteln. Mit den so gewonnenen Werten können unvollständige Durchflussmessungen ergänzt oder Durchflussergebnisse überprüft werden.

Bei Extrapolation für alle Messlotrechten des Messquerschnittes kann der daraus ermittelte Durchfluss für die Extrapolation einer Abflusskurve im Hochwasserbereich verwendet werden. Die Anwendung dieses Verfahrens setzt voraus, dass die einmal gewählten Messlotrechten beibehalten werden.

#### B.6.1.4 Rechnerische Verfahren

(1) Ablauf und Ergebnisse mathematischer Verfahren müssen den Gegebenheiten der graphischen Auswertung entsprechen. Die Größe der Geschwindigkeitsfläche  $f_v$  kann auf rechnerischem Wege ermittelt werden. Um den Kurvenverlauf von  $f_v$  zwischen den Stützstellen genauer zu ermitteln, sind umfangreiche hydraulische Betrachtungen durchzuführen, die von der Erfahrung des jeweiligen Bearbeiters abhängig sind. Häufig werden daher einfache lineare oder Spline-Interpolationen verwendet.

(2) Zur Berechnung des Durchflusses, die auch im Felde relativ schnell durchgeführt werden kann, wird das Trapezverfahren benutzt. Dabei werden die Teildurchflüsse zwischen zwei benachbarten Messlotrechten zunächst einzeln ermittelt und dann zum gesamten Durchfluss zusammengezählt. Für den Teildurchfluss z. B. zwischen den benachbarten Messlotrechten 2 und 3 gilt:

$$Q_{2,3} = \frac{f_{v2} + f_{v3}}{2} \cdot b_{2,3} \quad \text{in } m^3/s$$

mit $f_{v2} = v_{2m} \cdot h_2$	in $m^2/s$
$f_{v3} = v_{3m} \cdot h_3$	in $m^2/s$
$v_{2m} =$ mittlere Fließgeschwindigkeit in der Messlotrechten 2	in $m/s$
$v_{3m} =$ mittlere Fließgeschwindigkeit in der Messlotrechten 3	in $m/s$
$h_2 =$ Tiefe in der Messlotrechten 2	in $m$
$h_3 =$ Tiefe in der Messlotrechten 3	in $m$
$b_{2,3} =$ Abstand zwischen den Messlotrechten 2 und 3	in $m$

### **B.6.1.5 Vereinfachte Verfahren**

- (1) Das Ermitteln der mittleren Fließgeschwindigkeiten bei verkürztem Messverfahren in den einzelnen Messlotrechten kann rechnerisch über die Einpunktmethode oder die Zweipunktmethode vorgenommen werden. Voraussetzung hierfür ist der wiederholte Nachweis der Gleichwertigkeit von Messungen nach dieser Methode mit den Ergebnissen von Vielpunktmessungen für die jeweiligen Strömungsverhältnisse an der Messstelle.
- (2) Bei der Zweipunktmessung wird in der 0,2fachen und 0,8fachen Wassertiefe gemessen. Die mittlere Fließgeschwindigkeit in einer Messlotrechten ergibt sich als arithmetisches Mittel beider Einzelwerte.
- (3) In Sonderfällen, wenn keine Viel- oder Zweipunktmessung möglich ist (z. B. bei stark veränderlichen Wasserständen während eines Hochwassers), oder für orientierende Untersuchungen kann eine Einpunktmessung in der 0,4fachen Wassertiefe über Sohle durchgeführt und das Ergebnis als Näherung für die mittlere Geschwindigkeit der jeweiligen Messlotrechten angesetzt werden. Ist auch dies wegen Treibzeug nicht möglich, kann eine Messung der Strömungsgeschwindigkeit nahe der Oberfläche mit Schwimmern einen Anhalt für die Schätzung des Durchflusses geben.

### **B.6.1.6 Bezugswasserstand für die Durchflussermittlung**

- (1) Durchflussmessungen zur Ermittlung oder Kontrolle einer W/Q-Beziehung muss ein bestimmter Wasserstand am Bezugspegel zugeordnet werden. Wenn die Veränderungen des Wasserstandes am Bezugspegel während der Messung geringer als 5 cm sind, ist der Mittelwert aller Wasserstandsablesungen während der Messung als Bezugswasserstand anzunehmen. Der Wert von 5 cm gilt jedoch nicht bei Niedrigwasser und kleinen Gewässern, da hier bereits geringe Wasserstandsänderungen zu hohen Durchflussänderungen führen können.
- (2) Sind die Veränderungen größer, muss die Auswertung modifiziert werden, (Abb. B.6-5). Dafür wird bei der graphischen Ermittlung der Wasserstand für die einzelnen Abschnitte in Stufen oder als ausgeglichener Linienzug aufgetragen. Über dieser getreppten oder ausgeglichenen Wasseroberfläche wird die Linie  $f_v = v_m \cdot h$  aufgetragen. Die von ihr eingeschlossene Fläche entspricht dem gesamten Durchfluss im Messquerschnitt.

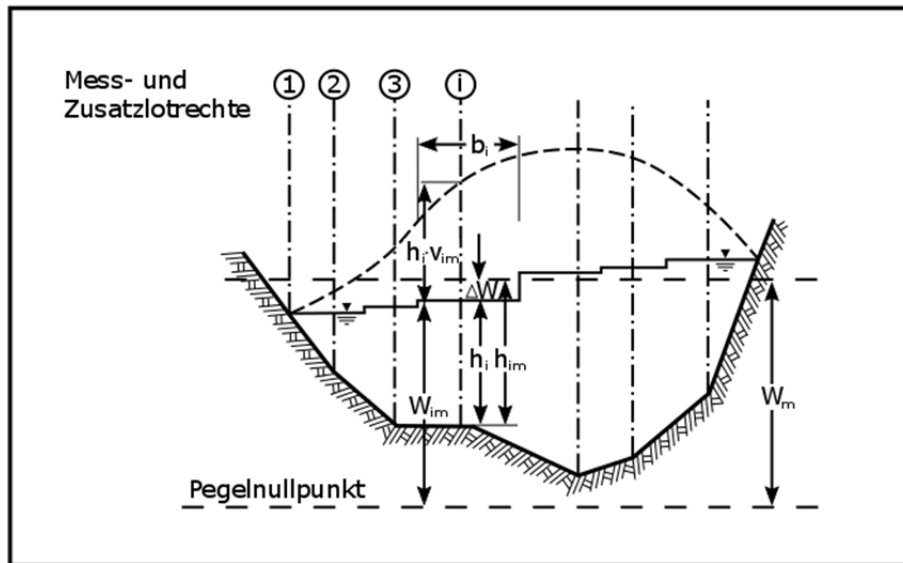


Abbildung B.6-5 Ermittlung des Bezugswasserstandes bei Wasserstandsänderungen

## B.6.2 Durchflussermittlung aus integrierenden Messverfahren

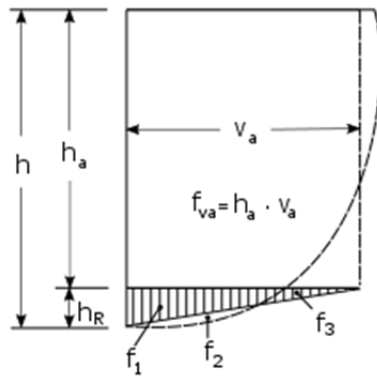
### B.6.2.1 Ablaufmessung

(1) Der von der Ablaufmessung erfasste Tiefenbereich, der als Ablauftiefe vom Tiefenzähler angezeigt wird, ist kleiner als die Gesamttiefe  $h$  der Messlotrechten, und zwar um den Abstand von Flügelachse bis Unterkante Grundtaster. Der Durchfluss im nicht erfassten Bereich wird über das Restglied der Fläche gesondert ermittelt.

Für die Restglied-Bestimmung bestehen mehrere Möglichkeiten:

- Abschätzen aus einer Punktmessung in der Nähe der Gewässersohle (Restgliedmessung),
- Abschätzen aus der Umdrehungszahl vor dem Ansprechen des Grundtasters durch spezielle Zählgeräte mit eingebautem Rechneranteil,
- rechnerische Erfassung aus der mittleren Geschwindigkeit während des Ablaufens.

(2) Bei der Auswertung wird zur Berechnung der mittleren Geschwindigkeit  $v_m$  in der Messlotrechten die durchschnittliche Anzahl der Umdrehungen des Flügels in der Zeiteinheit (U/s) während des Ablaufvorgangs bestimmt und mit Hilfe der „Flügelgleichung“ in die mittlere Geschwindigkeit  $v_a$  für die Ablaufstrecke  $h_a$  umgerechnet. Die Geschwindigkeitsfläche  $f_{va}$  (Abb. B 6-6) ist dann  $f_{va} = v_a \cdot h_a$ . Da am Ende der Ablaufstrecke  $h_a$  der Bereich zwischen Flügelachse und Grundtaster (Gewässersohle) von der Ablaufmessung nicht erfasst wird, muss die Geschwindigkeitsfläche  $f_{va}$  für die Ablaufstrecke  $h_a$  des Flügels noch um das Restglied  $f_{vR}$  zur Geschwindigkeitsfläche  $f_v$  der ganzen Messlotrechten ergänzt werden.



$$f_v = f_{va} + f_{vR}$$

$$f_{vR} = f_1 + f_2$$

$$f_2 = f_3$$

$$f_{vR} = f_1 + f_3$$

$$f_{vR} = \frac{h_R v_a}{2}$$

$$f_v = v_a h_a + \frac{v_a}{2}(h - h_a)$$

$$f_v = v_a \left( h_a + \frac{h_R}{2} \right)$$

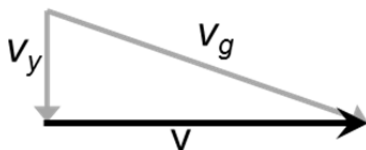
Abbildung B.6-6 Restgliedererfassung

### B.6.2.2 Horizontale Integration

(1) Bei der horizontalen Integration mit bewegtem Messgerät kann

- die Oberflächengeschwindigkeit als Index der mittleren Fließgeschwindigkeit,
- die Geschwindigkeit in 0,4 der Wassertiefe entsprechend der Einpunktmessung,
- die Geschwindigkeit in 0,2 und 0,8 der Wassertiefe entsprechend der Zweipunktmessung oder
- die Geschwindigkeit in verschiedenen repräsentativen Ebenen wie bei der Vielpunktmessung

ermittelt werden. Mit Ausnahme der Messung der Oberflächengeschwindigkeit muss dazu eine annähernd einheitliche Wassertiefe über eine ausreichende Breite gegeben sein. Die Anwendbarkeit des Verfahrens ist anhand von Vergleichsmessungen mit anderen Verfahren zu belegen. Im Unterschied zur Ablaufmessung wird das Messgerät bei der horizontalen Integration in der Regel deutlich schneller und damit annähernd in der Größenordnung der Fließgeschwindigkeit bewegt. Das Messergebnis muss entsprechend nach dem Satz des Pythagoras um die Eigenbewegung quer zur Fließrichtung korrigiert werden:



$$v = (v_g^2 - v_y^2)^{1/2}$$

$v$  = mittlere Fließgeschwindigkeit der gemessenen horizontalen Lamelle [m/s]  
 $v_g$  = Messergebnis [m/s]  
 $v_y$  = Geschwindigkeit des Messgeräts quer zur Fließrichtung [m/s]

(2) Die Auswertung kann im Weiteren wie für die Punktmessung beschrieben erfolgen. Nicht erfassbare Uferbereiche müssen gegebenenfalls mit einem anderen Messverfahren aufgenommen oder sinnvoll extrapoliert werden.

### B.6.3 Durchflussermittlung über die W/Q-Beziehung (Abflusskurve)

(1) Aus der kontinuierlichen Wasserstandsmessung kann die Durchflussermittlung indirekt über eine W/Q-Beziehung (Abflusskurve) erfolgen. Zur Aufstellung dieser W/Q-Beziehung sind Durchflussmessungen bei unterschiedlichen Wasserständen erforderlich (Abb. B 6-7).

(2) Liegt an einem Pegel eine W/Q-Beziehung vor, dann sind zur Kontrolle weitere Messungen in regelmäßigem Turnus durchzuführen.

(3) Die W/Q-Beziehung ist für ihren zeitlichen Geltungsbereich mit Messungen und Hilfsbeziehungen zu hinterlegen, so dass eine eindeutige Zuordnung auch im Nachhinein jederzeit möglich ist. Abweichungen zwischen den Messungen und der gewählten W/Q-Beziehung sind regelmäßig in definierten, der Messstelle angepassten Intervallen zu ermitteln und einer Analyse zu unterziehen.

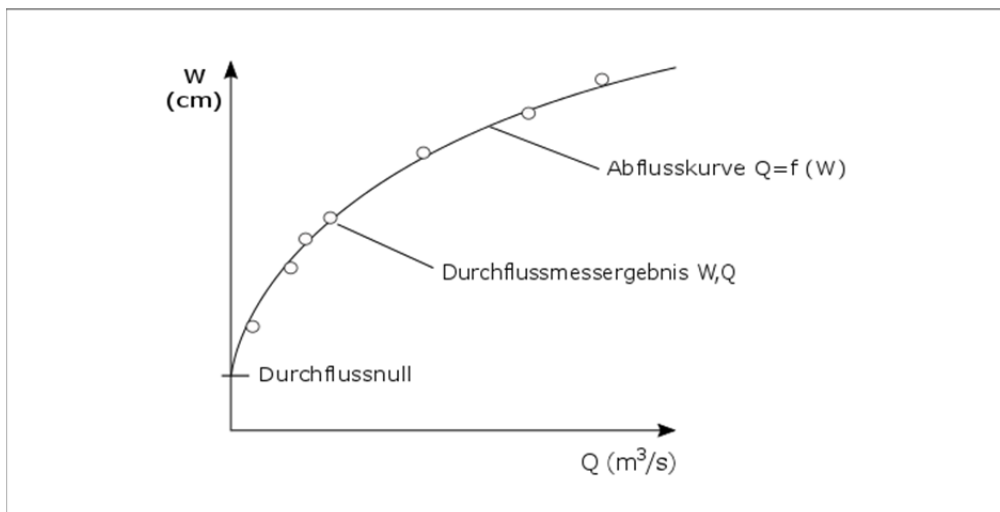


Abbildung B.6-7 W/Q-Beziehung (Abflusskurve)

Voraussetzung für eine eindeutige W/Q-Beziehung sind unveränderliche hydraulische Bedingungen im Pegelbereich:

- unveränderliches Gewässerbett,
- kein veränderlicher Rückstau,
- strömender Durchfluss über den gesamten Messbereich.

Das gesamte Spektrum des Wasserstandes zwischen seinen Extrema sollte mit Messungen so belegt sein, dass nachvollziehbar eine W/Q-Beziehung aufgestellt werden kann. Die Durchführung von Messungen, die einen noch nicht belegten Bereich betreffen, sollte Vorrang vor Messungen im regelmäßigen Turnus haben.

(4) Für die Hoch- und Niedrigwasserbereiche liegen oftmals keine oder wenige, teilweise nur ungenaue Durchflussmessungen vor. Erforderlich ist deshalb die Extrapolation der Abflusskurve, um den möglichen Durchflussbereich am Pegel erfassen zu können. In natürlichen und unter Umständen auch in ausgebauten Gewässern sind die Profilgeometrien und die hydraulischen Bedingungen mit der Zeit Änderungen unterworfen, so dass W/Q-Beziehungen eine zeitlich begrenzte Gültigkeit aufweisen können.

Bei der Festlegung des Verlaufes der Abflusskurve in dem durch Messungen belegten Kurvenbereich ist eine umfassende Bewertung der Durchflussmessergebnisse vorzunehmen. Dabei ist zu beachten, dass nicht jedem Messergebnis das gleiche Gewicht zukommt. Die

Bedeutung jeder Einzelmessung für das Festlegen der Durchflusskurve wird durch folgende Einflussgrößen bestimmt:

- dem Gerinnezustand während der Messung,
- dem Wasserstands- und Durchflussverlauf und
- der Ausführung der Messung selbst.

Somit darf jedes Durchflussmessergebnis einerseits nur als Momentaufnahme eines ganz spezifischen Gerinnezustandes gesehen werden, während andererseits nur Messungen miteinander vergleichbar sind, die einander hinsichtlich Wasserstand, Messverfahren, äußeren Bedingungen und Qualität der Durchführung entsprechen.

In der Praxis sind diese Forderungen jedoch nur unvollkommen erfüllbar. Die anzustrebende Qualität der Messverfahren ist im B.5 beschrieben.

Kriterien für die Wichtung der einzelnen Messungen sind:

- Messmethode und Durchführung,
- eingesetzte Messgeräte,
- Auswerteverfahren,
- Wasserstandsverlauf während der Messung,
- Zustand des Gewässerabschnitts und der bei höheren Wasserständen überfluteten Flächen im Pegelbereich einschließlich des die W/Q-Beziehung beeinflussenden Bereichs ober- und vor allem unterhalb des Messquerschnitts hinsichtlich zeitweiliger oder ständiger Beeinflussungen,
- Wettergeschehen.

Methodisch einwandfreie und nicht durch Treibgut, Versatz oder Wasserstandsänderungen gestörte Messungen erhalten das größte Gewicht.

Besondere Sorgfalt ist bei der Beurteilung von Hochwassermessungen geboten. Häufig bestehen hier – u. a. wegen starker Änderung der Wasserführung während der Messung und großer Turbulenz – erhebliche Schwierigkeiten, dem Durchflussmessergebnis den richtigen Wasserstand zuzuordnen. Zu beachten ist ferner, dass die Beziehung zwischen Wasserstand und Durchfluss bei Hochwasser nicht eindeutig ist. Infolge des größeren Wasserspiegelgefälles ist der Durchfluss theoretisch im ansteigenden Ast der Hochwasserwelle bei gleichem Wasserstand größer als im abfallenden Ast (Hysterese).

Im Niedrigwasserbereich ist die Angabe des Wasserstandes in Zentimetergenauigkeit oftmals zu grob. Besonders bei kleinen Gewässern kann bereits eine Differenz von einem Zentimeter bei der Wasserstandsermittlung erhebliche prozentuale Abweichungen des korrespondierenden Durchflusses bewirken.

Messungen, die durch Verkrautungen und Eis sowie Veränderungen der Sohle während der Messung beeinflusst wurden, sind auszugliedern und einer gesonderten Bewertung zu unterziehen. Die Ergebnisse von Durchflussmessungen, bei denen der Wasserstand durch Eisstau, Verkläuserung oder Verkrautung beeinflusst wurden, dürfen zur Aufstellung der W/Q-Beziehung des unbeeinflussten Zustands nicht verwendet werden. Zur Aufstellung von W/Q-Beziehungen gibt es vier Möglichkeiten:

- grafische Aufstellung,
- rechnerisch-statistische Aufstellung,
- Einsatz ein- oder zweidimensionaler numerisch-hydraulischer Simulationsmodelle,
- hydraulische Modellversuche in einem Wasserbaulabor.

### B.6.3.1 Grafische Aufstellung der W/Q-Beziehung

Bei der **grafischen Aufstellung** der W/Q-Beziehung werden gemessene Durchflüsse Q (als Abszissenwerte) und zugehörige Wasserstände W (als Ordinatenwerte) in ein rechtwinkliges lineares Koordinatensystem eingetragen. Durch die Punkteschar dieser Wertepaare (W, Q) wird eine ausgleichende, monoton steigende Linie, die W/Q-Beziehung, gezogen. Die W/Q-Beziehung gleicht einerseits die Unsicherheiten der einzelnen Messungen teilweise aus, darf andererseits aber nicht die messprofilspezifischen Gegebenheiten glätten.

Ist es nicht möglich den gesamten Bereich der W/Q-Beziehung durch ein und dieselbe Funktion abzubilden, ist eine abschnittsweise Anpassung erforderlich. Dies kann z.B. am Übergang zum Ausuferungsbereich und/oder an starken Wechseln der Flussbetrauhtigkeit liegen. Um solche Besonderheiten berücksichtigen zu können, sollten bei der Aufstellung der W/Q-Beziehung als Hilfskurven die Wasserstand-Durchflussquerschnitt-Beziehung  $A = f(W)$  und die Wasserstand-Fließgeschwindigkeit-Beziehung  $v_m = f(W)$  hinzugezogen werden.

Zur Abgrenzung einzelner Durchflussteilbereiche oder um Rauheitswechsel im Durchflussmessquerschnitt zu erkennen, können die Hilfskurven

$$f(W) = \frac{v_m}{v_o}$$

$v_m$	mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]
$v_o$	mittlere Oberflächengeschwindigkeit [m/s]
$v_{max}$	maximale Geschwindigkeit [m/s]

und

$$f(W) = \frac{v_m}{v_{max}}$$

genutzt werden.

### B.6.3.2 Rechnerisch-statistische Aufstellung der W/Q-Beziehung

Analytische Ansätze werden zur **rechnerisch-statistischen Aufstellung** genutzt und sind insbesondere für die Durchflussberechnung und die Aufstellung einer W/Q-Beziehung geeignet. Gebräuchliche mathematische Ansätze finden sich als Potenzfunktion in der Form

$$Q = a (W - W_0)^n \quad (1)$$

Q	Durchfluss [m³/s]
W	am Bezugspegel beobachteter Wasserstand [cm oder m]
$W_0$	Wasserstand beim Durchfluss $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$ [cm oder m]
a	Durchfluss bei der Wasserstandsdifferenz $(W - W_0) = 1,0$ cm oder 1,0 m
n	als Ausdruck der Neigung der Abflusskurve

oder näherungsweise als Polynom n-ten Grades,

$$Q = a_0 + a_1 \cdot W^1 + a_2 \cdot W^2 + a_3 \cdot W^3 + \dots + a_n \cdot W^n \quad (2)$$

Q	Durchfluss [m³/s]
W	Wasserstand [cm od. m]
$a_0, a_n$	konstante Parameter

wobei der letztgenannte Ansatz nicht extrapolationsfähig ist. Die Gleichung 1 beschreibt eine Potenzfunktion n-ten Grades mit einer Nullpunktverschiebung auf der Ordinate. In der Regel

lassen sich diese Funktionen abschnittsweise für einzelne Durchflussteilbereiche (Flussbett, Ausuferungsbereich(e)) gut an die vorhandenen Wertepaare  $W$  und  $Q$  anpassen. Für die Schätzung der Funktionsparameter  $a$ ,  $n$  und  $W_0$  können Regressionsanalysen genutzt werden. Einfach und anschaulich ist die graphische Näherung. Im doppelt-logarithmischen Maßstab linearisiert sich die Potenzfunktion bei richtiger Wahl von  $W_0$ :

$$\lg Q = \lg a + n \cdot \lg(W - W_0) \quad (3)$$

### **B.6.3.3 Einsatz ein- und zweidimensionaler numerisch-hydraulischer Simulationsmodelle**

Sind die hydraulischen Bedingungen z. B. durch Ausuferungen in das Vorland, gekrümmten Gewässerverlauf oder Einbauten (Brückenpfeiler) sehr komplex bzw. sind im Extrembereich keine Durchflussmessungen technisch möglich, wird gegebenenfalls der Einsatz ein- oder zweidimensionaler **numerisch-hydraulischer Simulationsmodelle** notwendig.

### **B.6.3.4 Hydraulische Modellversuche in einem Wasserbaulabor**

Eine weitere, aber sehr aufwändige Möglichkeit zur Aufstellung von  $W/Q$ -Beziehungen besteht im Rahmen von **hydraulischen Modellversuchen** in einem Wasserbaulabor, die bevorzugt für die Planung und den Entwurf von Durchflussmessbauwerken genutzt werden können.

### **B.6.3.5 Extrapolation von $W/Q$ -Beziehungen**

Bei der Extrapolation der  $W/Q$ -Beziehungen in Bereiche ohne gemessene Werte sollten immer die rechnerischen Möglichkeiten mit hydraulischen Ansätzen verknüpft werden. Voraussetzung sind reproduzierbare geometrische Aufnahmen von Gewässer- und Talquerschnitten mit gleichzeitigen Wasserspiegelfixierungen, insbesondere talwärts, die für die Beschreibung der hydraulischen Verhältnisse im Durchflussmess- und Lattenpegelquerschnitt relevant sind. Die geometrischen Aufnahmen sind regelmäßig – und zusätzlich bei Verdacht auf Änderungen – zu überprüfen und erforderlichenfalls fortzuschreiben. Bei der Extrapolation der Abflusskurve ist der Durchfluss, der durch Umflut nicht direkt am Pegel erfasst werden kann, zu berücksichtigen. Zur Extrapolation von  $W/Q$ -Beziehungen in den Niedrigwasserbereich genügt häufig die Bestimmung des Wasserstandes, bei dem  $Q = 0 \text{ m}^3/\text{s}$  (Durchflussnull) ist, aus den geometrischen Gerinnedaten. Zur Extrapolation von  $W/Q$ -Beziehungen in den Hochwasserbereich eignen sich vier Methoden:

Extrapolation über **doppelt-logarithmische Verlängerung**: Die sich aus Gleichung (3) ergebende Gerade kann bis zum nächst höher liegenden Profilknickpunkt im Durchflussmessquerschnitt verlängert werden, wenn sich die Rauheit nicht wesentlich ändert.

Extrapolation über **Hilfskurven**: Die Kurve  $A = f(W)$  ist aus der geometrischen Aufnahme des Durchflussmessquerschnitts gut belegbar. Die Beziehung  $v_m = f(W)$  weist im Normalfall nur eine geringe Krümmung auf und lässt sich so näherungsweise extrapolieren. Aus dem Produkt von  $A$  und  $v_m$  lässt sich der korrespondierende Durchfluss  $Q$  für den Wasserstand  $W$  im Extrapolationsbereich bestimmen.



Extrapolation mit Hilfe **hydraulischer Kurven**: Um den Einfluss von Rauheit, Gefälle und Form des Durchflussmessquerschnitts zu berücksichtigen, kann eine empirische Fließformel der Form

$$Q = C \cdot \sqrt{I} \cdot P \quad (4)$$

Q	Durchfluss [m <sup>3</sup> /s]
C	Rauheitsbeiwert für den Durchflussmessquerschnitt [m <sup>1/2</sup> /s]
I	Wasserspiegellängsgefälle im Bereich der einzelnen Messlotrechten bzw. gemittelt über den Messquerschnitt [-]
P	Profilwert für einen Bezugswasserstand [m <sup>5/2</sup> ]

benutzt werden. P bestimmt sich aus den Wassertiefen h der Messlotrechten und der Wasserspiegelbreite b mit

$$P = \int_0^b h^{3/2} db$$

Aus den Beziehungen  $P = f(W)$  (aufgestellt aus der geometrischen Aufnahme des Durchflussmessquerschnitts) und  $C \cdot \sqrt{I} = f(W) = \frac{Q}{P}$  (abgeleitet aus den Durchflussmessungen und näherungsweise extrapolierbar) kann für jeden Wasserstand der Durchfluss nach Gleichung (4) berechnet werden (Abb. B.6-8).

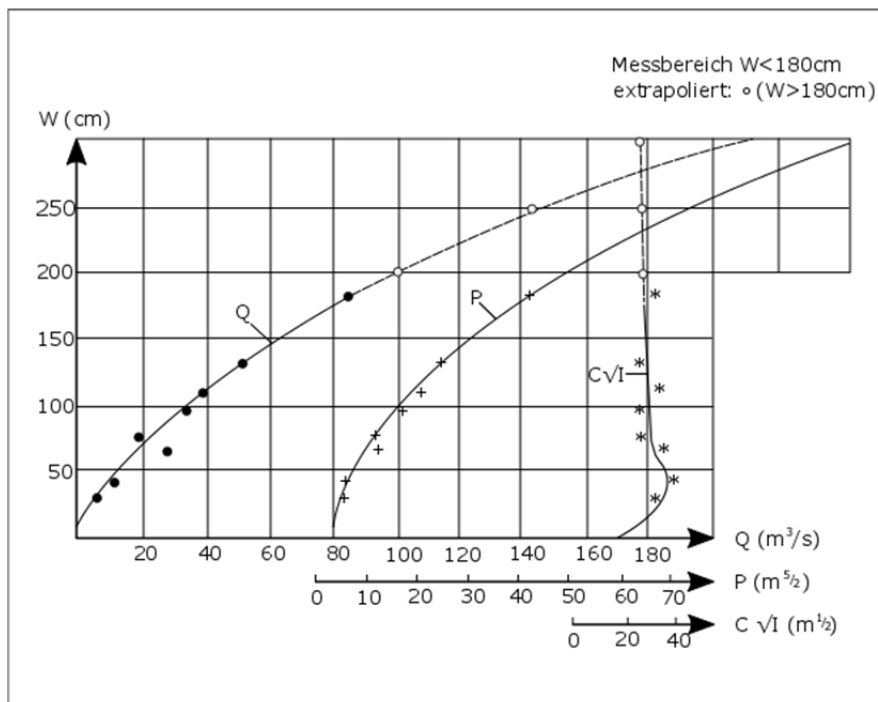


Abbildung B.6-8 Beispiel für die Extrapolation einer Abflusskurve aus berechneter P-Kurve und extrapolierter Kurve

Das von van Rinsum (1941) entwickelte Verfahren kann analog für die Geschwindigkeitsformel nach Manning-Strickler entwickelt werden.

$$Q = k_{st} \cdot \sqrt{I} \cdot P_{st}$$

mit  $P_{st} = \int_0^b h^{5/3} db \quad [m^{8/3}]$

Extrapolation mit Hilfe **numerisch-hydraulischer Modelle**: Im Hochwasserfall treten oftmals ungleichförmige Strömungen auf, die das Wasserspiegellagengefälle beeinflussen. Im Gegensatz zu den vorstehenden Verfahren, die auf der Annahme gleichförmiger Strömung basieren, erfordert eine ungleichförmige Strömung die Anwendung numerisch-hydraulischer Modelle.

### B.6.3.6 Verfahren zur Berücksichtigung von Veränderungen in der Gerinnehydraulik

Bei sich ständig änderndem Gewässerzustand infolge von **Verkrautung oder häufiger Änderungen der Gerinnehydraulik** kann keine eindeutige, über einen längeren Zeitraum gültige Abflusskurve aufgestellt werden. Mit dem  $\Delta Q$ - bzw. ETA-Verfahren oder dem  $\Delta W$ -Verfahren lassen sich diese Einflüsse quantifizieren. Alternativ besteht die Möglichkeit, für unterschiedliche (Verkrautungs-)Zustände jeweils eigene  $W/Q$ -Beziehungen aufzustellen. Voraussetzung für die Anwendung der oben genannten Verfahren ist, dass der Verlauf der hydraulischen Beeinflussung einer bestimmten zeitlichen, insbesondere jahreszeitlichen Systematik (z. B. Krautwuchs, Belaubung, auch Anlandungs- und Erosionsprozesse) folgt.

Beim ETA-Verfahren wird die  $W/Q$ -Beziehung nicht durch eine einzelne Funktion wiedergegeben, sondern durch Hüllkurven, die den Zustand der maximalen ( $Q_0$ ) und der typischen minimalen ( $Q_z$ ) hydraulischen Leistungsfähigkeit des Messquerschnitts wiedergeben und so den Schwankungsbereich der aufgenommenen Messergebnisse eingrenzen (Abb. B.6-9).

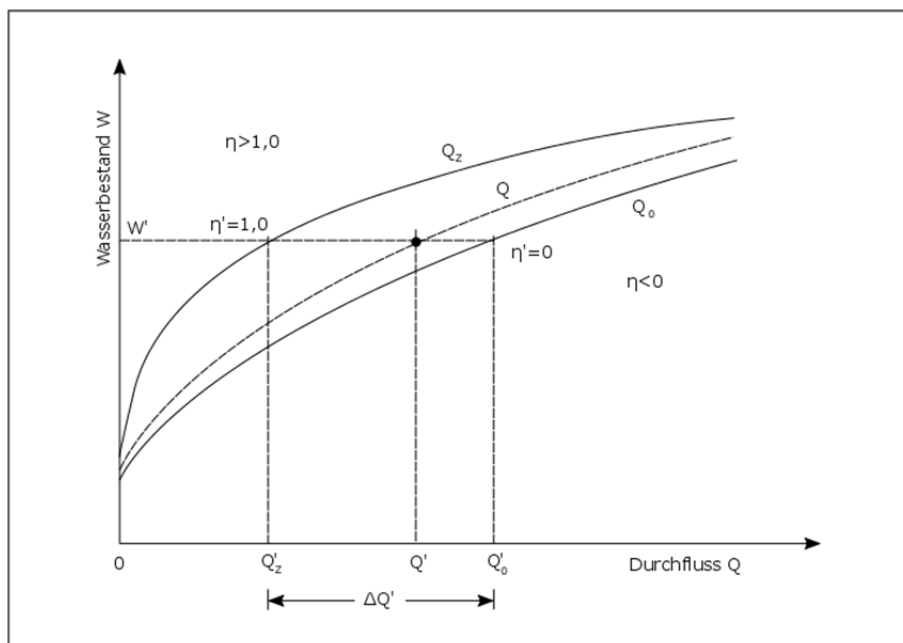


Abbildung B.6-9 Zustand der maximalen ( $Q_0$ ) und der typischen minimalen ( $Q_z$ ) hydraulischen Leistungsfähigkeit des Messquerschnitts

Das Maß für den Gerinnezustand, wie er zum Zeitpunkt einer Messung vorgefunden wurde, bildet der Veränderungswert ETA oder  $\eta$ :

$$\eta' = \frac{(Q_0' - Q')}{(Q_0' - Q_z')}$$

Die Ganglinie der in dichter zeitlicher Folge – möglichst monatlich sowie vor und nach bekannten kurzfristigen Veränderungen – durch Kontrollmessung ermittelten ETA-Werte stellt dann näherungsweise den Verlauf der hydraulischen Beeinflussung bzw. die resultierende Verschiebung der  $W/Q$ -Beziehung dar. Eine lineare Interpolation zwischen diesen Werten ist dabei aber nur dann zulässig, wenn zwischen den Zeitpunkten keine abrupten Veränderungen im Gewässer (Entkrautung, Hochwasser mit Veränderung des Gerinnezustandes, Ansammlung oder Abgang von Treibzeug oder Eis, etc.) eingetreten sind. Gegebenenfalls müssen solche Ereignisse durch Ansatz plausibler virtueller ETA-Werte abgebildet werden, die den mutmaßlichen zeitlichen Verlauf der Änderung des Gerinnezustandes wiedergeben. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die direkte Übertragbarkeit des ETA-Werts bei Wasserständen, die von der Messung abweichen, nicht immer gegeben ist.

Der mutmaßliche Verlauf der Kurven lässt sich gut durch lineare Verbindung der entsprechenden Messergebnisse in doppelt-logarithmischer Darstellung ermitteln. Dabei kann es erforderlich sein, unplausible bzw. nicht vergleichbare Ausreißer auszusondern. Das gilt insbesondere für die Festlegung der  $Q_z$ -Kurve, die theoretisch jederzeit durch Messungen bei noch ungünstigeren Gerinnezuständen überschritten werden kann und insofern in ihrem Verlauf weniger gut definierbar ist. Solche Zustände sind dann oft sinnvoller durch ETA-Werte  $> 1$  abzubilden.

Das  $\Delta Q$ - bzw. ETA-Verfahren kann in besonderen Fällen durch das  $\Delta W$ -Verfahren ersetzt werden. Dabei wird vereinfachend angenommen, dass die Abflusskurve zum Zeitpunkt der Messung um die ermittelte Wasserstandsdifferenz  $\Delta W$  parallel verschoben ist, und dass dieser Betrag auch auf angrenzende Zeiträume mit wechselnden Wasserstandsverhältnissen übertragen werden kann. Diese unterstellte Parallelität der Wasserstands-Abfluss-Beziehung gilt hinreichend genau aber nur für einen Wasserstandsbereich, der nicht wesentlich von dem Wasserstand  $W'$  zum Zeitpunkt der Bezugsmessung abweicht. Deshalb empfiehlt sich das  $\Delta W$ -Verfahren nur bei Pegeln, an denen die Wasserstände nicht stark schwanken.

Bei **Eisbildungen** ändern sich die Fließbedingungen z. B. durch die Einengung des Fließquerschnittes und/oder die Änderung der Rauheiten. Die  $W/Q$ -Beziehung für den eisfreien Zustand ist somit nicht mehr anwendbar. Aufgrund der temperaturabhängigen Veränderungen der Eisverhältnisse lässt sich in der Regel keine eindeutige  $W/Q$ -Beziehung für die Eisperiode aufstellen. Für diese Fälle kann der Durchfluss vereinfacht durch die Differenzen der Wasserstände bzw. durch die Quotienten der Durchflüsse im unbehinderten und behinderten Zustand konstruiert werden, wozu eine ausreichende Anzahl von Durchflussmessungen während der Vereisung des Gewässers erforderlich ist oder im Vergleich mit eisfreien Nachbarpegeln bestimmt werden. Sind Durchflussmessungen bei Eisbeeinflussungen nicht möglich, können Wasserstandsreduktionen erfolgen, indem zwischen dem am Beginn des eisbedingten Wasserstandsanstiegs und dem am Ende der Eisperiode ermittelten Reduktionswert linear interpoliert und mit dieser Hilfsgröße (reduzierter Wasserstand) über die  $W/Q$ -Beziehung der Durchfluss bestimmt wird. Auch das ETA-Verfahren ist anwendbar.

#### **B.6.3.7 Festlegung des zeitlichen Gültigkeitsbereichs**

Der zeitliche Gültigkeitsbereich der  $W/Q$ -Beziehung hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab. Falls mit Durchflussmessungen Veränderungen der für die Abflusskurve maßgebenden Gerinnehydraulik belegt werden können, ist eine neue Abflusskurve aufzustellen.

Für das Festlegen von Zeitabschnitten mit der Gültigkeit aufeinanderfolgender Abflusskurven ist zu prüfen, ob ein bestimmtes Ereignis, z. B. ein Hochwasser, zur Veränderung der W/Q-Beziehung geführt hat oder ob eine allmähliche Veränderung der Durchflussverhältnisse vorliegt. Ist ein bestimmtes Ereignis für die Änderung der W/Q-Beziehung maßgebend, so ist mit diesem Ereignis die neue Abflusskurve einzuführen. Ergeben sich dadurch sprunghafte Änderungen der Durchflussganglinie, sind diese durch die Wahl eines geeigneten Zeitpunktes für den Wechsel der W/Q-Beziehung zu vermeiden oder über den Zeitraum, in dem sich die Veränderung vollzogen hat, auszugleichen. Alternativ zur Verwendung von Abflusskurven mit zeitlich begrenzter Gültigkeit kann auch eines der für veränderliche Gerinnezustände beschriebenen Verfahren angewandt werden, soweit der verwendete Messquerschnitt und die Gerinnehydraulik sich nicht geändert haben.

### B.6.3.8 Unsicherheitsbetrachtung

Um eine W/Q-Beziehung sicher aufstellen zu können, muss eine ausreichende Anzahl an Durchflussmessungen vorliegen. Eine Abflusskurve kann im Allgemeinen als durch Messungen belegt angenommen werden, wenn der Abstand zwischen den Einzelmessungen 10% des Schwankungsbereichs des Wasserstandes nicht überschreitet. Bei unregelmäßigen Gewässerprofilen, insbesondere im Ausuferungsbereich von gegliederten Querschnitten, ist der Abstand entsprechend zu verringern.

Die Steigung der W/Q-Beziehung bestimmt maßgeblich sowohl die Unsicherheit der Ableitung des Wasserstandes zum gemessenen Durchfluss als auch der Ableitung des Durchflusses aus gemessenen Wasserständen. Bei der Durchflussbestimmung erzielen steile Kurven eine geringere Unsicherheit als flache Kurven. Der Gradient der Beziehung lässt sich durch geeignete Standortwahl, erforderlichenfalls durch Einbauten, z. B. Einengung des Querschnittes, günstig beeinflussen.

Jede Aufstellung einer W/Q-Beziehung stellt ein Näherungsverfahren dar. Zwischen den Messwerten und der Abflusskurve bestehen zufällige Abweichungen. Der gemessene Durchfluss  $Q_g(W)$  kann mit dem entsprechenden Wert  $Q_t(W)$  der Abflusskurve verglichen und dessen relative Abweichung  $\Delta Q_r$  bestimmt werden:

$$\Delta Q_r = 100 \cdot \left[ \frac{Q_g(W) - Q_t(W)}{Q_t(W)} \right] \quad [\%]$$

Werden überwiegend positive oder negative Abweichungen festgestellt, ist eine Korrektur der W/Q-Beziehung vorzunehmen.

Mit zunehmender Anzahl der Messungen sollten sich zufällige Abweichungen im Mittel ausgleichen. Ein Maß für die Unsicherheit der Wasserstands-Durchfluss-Beziehung ist die Wurzel der mittleren quadratischen relativen Abweichung  $m_{Q(W)}$ . Unter Annahme einer linearen Zunahme der Varianz mit steigendem Durchfluss ermittelt sich diese zu:

$$m_{Q(W)} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{gi} - Q_{ti}}{Q_{ti}} \right)^2} \quad [\%]$$

$N$	Anzahl der Messwerte [-]
$Q_{gi}$	gemessener Durchfluss [ $m^3/s$ ]
$Q_{ti}$	Durchfluss entsprechend der angenommenen Wasserstands-Durchfluss-Beziehung [ $m^3/s$ ]

Es wird hier von dem einfachsten Fall ausgegangen, dass der Verlauf der W/Q-Beziehung durch eine Gerade oder Potenzfunktion genähert wird. Für komplexere Näherungsfunktionen ist die Zahl der Freiheitsgrade entsprechend zu verringern ( $n - 3$  für ein quadratisches Polynom,  $n - 4$  für ein Polynom 3. Grades, usw.).

Eine getrennte Betrachtung der Unsicherheit jeweils für den Niedrig- ( $Q \leq 0,5 \text{ MQ}$ ), Mittel- ( $0,5 \text{ MQ} < Q \leq 2 \text{ MQ}$ ) und Hochwasserbereich ( $Q \geq 2 \text{ MQ}$ ) wird empfohlen. Die quadratische relative Abweichung sollte sich dabei jeweils unterhalb der folgenden Grenzwerte bewegen:

- 20 % im Niedrigwasserbereich,
- 5 % im Mittelwasserbereich,
- 10 % im Hochwasserbereich.

Für Pegel, die nach dem ETA-Verfahren ausgewertet werden, ist eine direkte Unsicherheits-schätzung aus Wiederholungsmessungen nicht möglich. Eindeutige, unveränderliche W/Q-Beziehungen sind daher auch unter dem Gesichtspunkt der Qualitätssicherung grundsätzlich zu bevorzugen und nach Möglichkeit geeignete Maßnahmen sicherzustellen.

**Teil C**  
**Daten und Kenngrößen – Binnen**

## Autoren:

Uwe Büttner	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Jiri Cemus	Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Hann. Münden
Yvonne Henrichs	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
Markus Kowalewski	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Hildegard Stoffels	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

## **C. Daten und Kenngrößen – Binnen**

### **C.1 Datenerhebung**

#### **C.1.1 Ablesung**

(1) Wasserstände werden an einer Pegellatte visuell abgelesen und mit Angabe des Ableszeitpunktes dokumentiert.

(2) Abgelesene Messwerte besitzen eine hohe Vertrauenswürdigkeit und dienen als Referenz für die Korrektur der Messwerte kontinuierlich registrierender Geräte. Zugleich sind sie Fixpunkte für die Überprüfung der mit registrierenden Geräten erfassten Ganglinie.

#### **C.1.2 Analoge Messwertaufnahme**

(1) Analog registrierte Messwerte sind stufenlos verarbeitete Messsignale des Wasserstandes von ununterbrochen arbeitenden Messwertgebern (z. B. Schwimmer, Drucksonde), die mechanisch auf Papier (Pegelbogen, Pegelrolle) oder elektronisch übertragen werden. Die Aufzeichnung sollte in einem geeigneten Maßstab erfolgen.

(2) Ihre Korrektur ist nur manuell mit besonderem Sachverstand unter Hinzuziehung aller verfügbaren Informationen über den Wasserstands- und Durchflussverlauf möglich. Dazu gehören auch Informationen über den Witterungsverlauf sowie Kenntnisse über Einflüsse u. a. durch Eis, Vegetation und Abflusshindernisse.

(3) Die aufgezeichnete und ggf. korrigierte Wasserstandsganglinie kann durch Digitalisierung in numerische Werte überführt und danach rechentechnisch weiterverarbeitet werden.

#### **C.1.3 Digitale Messwertaufnahme**

(1) Digital registrierte Messwerte sind stufenweise numerisch erfasste Messsignale des Wasserstandes oder des Durchflusses, die elektronisch unter Angabe des Zeitstempels (als MEZ) abzuspeichern sind und rechentechnisch weiterverarbeitet werden können.

(2) Aus den digital registrierten Messwerten, die in bestimmten Zeitabständen (Messintervallen) derzeit z.B. 1-minütlich im Binnenbereich und 5-sekündlich im Küstenbereich erfasst werden, werden folgende Werte gebildet:

- Momentanwerte: Mittelwerte bzw. Extremwerte aus bis zu 5 aufeinander folgenden Messwerten,
- Einzelwerte: arithmetisches Mittel der Messwerte eines bestimmten Zeitintervalls, in der Regel 15 Minuten,
- Tagesmittelwerte: arithmetisches Mittel der Einzelwerte eines Tages.

Zudem werden noch folgende Extremwerte ermittelt:

- Tagesmaximum: höchster Momentanwert des Tages,
- Tagesminimum: niedrigster Einzelwert des Tages.



### **C.1.4 Messunsicherheit und Auflösung**

(1) In Bezug auf die bei den einzelnen Messverfahren für Wasserstand und Fließgeschwindigkeit auftretenden Unsicherheiten wird auf die einschlägigen DIN EN ISO Normen sowie die Teile „Stamtext“ und „Wasserstand – Durchfluss Binnen“ verwiesen.

(2) Messwerte und die aus ihnen aggregierten Werte dürfen durch Angabe vieler Nachkommastellen keine über der Messunsicherheit liegende Genauigkeit vortäuschen. Grundsätzlich beträgt die Auflösung für den Wasserstand 1 cm. In Sonderfällen kann eine höhere Auflösung hilfreich beim Erkennen von sich allmählich entwickelnden Beeinflussungen sein.

## **C.2 Qualitätssicherung bei Prüfung, Korrektur und Freigabe von Daten**

### **C.2.1 Plausibilitätskontrolle von Einzelwerten**

(1) Fernübertragene Einzelwerte sind arbeitstäglich auf Vollständigkeit zu kontrollieren und Lücken nach Möglichkeit zu füllen. Plausibilitätskontrollen können

- gegen zwei festgelegte Grenzwerte, die z. B. einen aus der langjährigen Erfahrung heraus im hydrologisch möglichen Spektrum sehr unwahrscheinlichen hohen und niedrigen Wasserstand oder Durchfluss im Messquerschnitt beschreiben, und
- mittels einer festgelegten maximalen Differenz zwischen zwei zeitlich unmittelbar aufeinanderfolgenden Einzelwerten

vorgenommen werden. Die Festlegungen der Grenzwerte sind abhängig von den hydraulischen Eigenschaften des Gewässers am Pegel und dem Abflussverhalten des Einzugsgebietes.

(2) Werden zur Erhöhung der Ausfallsicherheit die Daten mehrerer Messsysteme übertragen, können die Messdaten der beiden Messsysteme auch gegeneinander verglichen werden. Für die arbeitstägliche Kontrolle kann die Differenz verwendet werden.

(3) Ergibt die Plausibilitätsprüfung, dass die Daten auch nach einem Nachabruf bei beiden Messsystemen nicht vollständig sind und/oder auf einen Fehler am Pegel schließen lassen, ist die Fehlerbehebung schnellstmöglich einzuleiten.

(4) Ausgelesene Daten und Kontrollwerte von Pegeln ohne Datenfernübertragung sollten mindestens vierteljährlich in das Pegeldatenbearbeitungssystem eingepflegt werden.

### **C.2.2 Weitergehende Prüfung der registrierten Werte**

(1) Die Prüfung von Wasserstands- und (über die direkte Messung der Fließgeschwindigkeit abgeleiteten) Durchflussganglinien im Pegeldatenbearbeitungssystem muss folgende Punkte beinhalten:

- Ausreißersuche z.B. in der grafischen Darstellung, gegebenenfalls mit Softwareunterstützung,
- Lückensuche grafisch und/oder automatisiert,
- Vergleich der redundanten Ganglinien zueinander, hierbei Prüfung auf Abweichungen bzw. Differenzen und unplausible Verläufe,
- Vergleich mit abgelesenen und dokumentierten Wasserständen oder gemessenen Durchflüssen.

(2) Sind am Pegel redundante Messwertgeber vorhanden, legt der Pegelbetreiber fest, welcher primär verwendet wird. Der primäre Messwertgeber ist jener, von dem auszugehen ist, dass er eine höhere Zuverlässigkeit hat.

(3) Abweichungen redundant erfasster Wasserstandsganglinien eines Pegels sind bei der Prüfung i.d.R. unerheblich, wenn sie kleiner als  $\pm 2$  cm sind. Je nach Pegel und hydrologischer Situation (z.B. bei Niedrigwasser) können Korrekturen auch bei Differenzen  $< \pm 2$  cm erforderlich sein. Die Ursachen für die Abweichungen müssen kurzfristig beseitigt werden.

(4) Messstellenspezifische hydraulische Effekte (Turbulenzen oder Pulsationen und Richtungsänderungen der Strömung, Änderungen des Wasserspiegellagengefälles) können bei extremem Hochwasser mitunter zu Differenzen zwischen Pegellattenablesungen und aufgezeichneten oder gespeicherten Wasserständen führen. Zur Korrektur bedarf es besonderer Sorgfalt.

(5) Datenlücken können geschlossen und registrierte Werte korrigiert werden, wenn ausreichende Informationen über die jeweiligen hydraulischen und hydrologischen Gegebenheiten vorliegen. Für die Schließung von Datenlücken und die Korrektur geräte- oder softwaretechnisch bedingter, fehlerhafter Wasserstandsdaten können folgende Informationen verwendet werden, soweit diese vorliegen:

- Pegellattenablesungen und dokumentierte Hochwasserstände,
- Wasserstandsganglinie eines redundanten Messwertgebers,
- Wasserstandsganglinie eines ober- oder unterhalb am selben Gewässer liegenden Pegels oder eines Pegels an einem benachbarten Gewässer mit vergleichbarem Abflussverhalten,
- (Luft- und) Wassertemperatur sowie Niederschlagsdaten zur Identifizierung von eisbedingten Aufstauerscheinungen,
- Informationen über künstliche Einflüsse, z.B. Baumaßnahmen mit Einfluss auf das Messprofil; Zeitpunkt von Pegelnullpunktänderungen, Wehrsteuerungen,
- Informationen über das Ausmaß von Verkräutung im Gewässer und Uferbewuchs,
- Informationen über sonstige natürliche Einflüsse wie z.B. Geröllanlandungen nach Hochwasser, Geschwemmsellinien.

(6) Wasserstände, die durch anthropogene oder natürliche Einflüsse mittelfristig verändert sind (z.B. durch Verkräutung oder andauernde Bauarbeiten, die zu einer Beeinflussung von mehreren Wochen führen) werden nicht korrigiert. Eine korrekte Durchflussberechnung aus dem Wasserstand wird über Veränderungswerte sichergestellt. Der beeinflusste Zeitraum der Wasserstandsganglinie wird gekennzeichnet.

Ist der Wasserstand nur kurzzeitig beeinflusst, dann kann die Wasserstandsganglinie korrigiert und entsprechend gekennzeichnet werden.

(7) Um Bearbeitungsfehler zu vermeiden, sind die geprüften Werte einer nochmaligen Kontrolle durch eine andere fachkundige Person zu unterziehen.

(8) Alle Korrekturen sind nachvollziehbar, insbesondere auch im Pegeldatenbearbeitungssystem, zu dokumentieren. Ziel sollte sein, die Daten spätestens sechs Monate nach ihrer Erfassung abschließend freizugeben. Nach der Freigabe sind u.U. rückwirkende Korrekturen notwendig, wenn durch neue Erkenntnisse fehlerhafte Daten festgestellt werden.

### **C.2.3 Zusätzliche Prüfung von Abflussdaten**

(1) Weitergehende Möglichkeiten zur Prüfung und Fehlerberichtigung von Abflussdaten bestehen mit

- der Prüfung im Vergleich mit den Daten von ober- oder unterhalb gelegenen Pegeln,
- dem Vergleich der auf das Einzugsgebiet bezogenen Abflussspenden benachbarter Pegel mit ähnlichen Gebietseigenschaften,
- der Prüfung unter dem Gesichtspunkt der hydrologischen Bilanz,
- Wasserhaushaltsbetrachtungen,
- der Prüfung der Genauigkeit der W/Q-Beziehung.

(2) Im Längsschnitt eines Gewässers können an den Pegeln verglichen werden:

- die Monats-, Halbjahres- und Jahresabflüsse, wobei die Beiträge der Zuflüsse bzw. Zwischeneinzugsgebiete durch Vergleich der entsprechenden Abflussspenden beurteilt werden,
- die Ganglinien von Einzelwerten unter Beachtung der Fließzeit und bekannter Einflüsse (z.B. innertägliche Schwankungen durch den Betrieb von Wasserkraftanlagen oder Schleusungen),
- die Ganglinien einzelner Ereignisse, z.B. bei Hochwasser, durch visuelle Beurteilung oder durch Summen- bzw. Differenzbildung,
- die Spenden der miteinander korrespondierenden Hochwasserscheitel (Doppelsummenanalyse),
- die Abflussfüllen der einzelnen Hochwasserereignisse unter Einbeziehung der zugehörigen Niederschlagssummen und der Größe der Einzugsgebiete.

(3) Unter der Annahme keiner wesentlichen Landnutzungsänderungen im Einzugsgebiet kann bereits die Prüfung der Ganglinien der wichtigsten Pegel eines Einzugsgebietes durch Längsschnittvergleich der Abflüsse unter Beachtung der Fließzeiten ausreichend sein. Unter Einbeziehung der Abflüsse von Nebenflüssen sind nicht nur der visuelle Vergleich, sondern auch die Summen- und Differenzbildung von Ganglinien, die Detaildarstellung für kurze Zeitabschnitte sowie die Darstellung von Summenlinien hilfreich.

(4) Als weitere Methode zur Prüfung der ermittelten Abflüsse kann die Darstellung des zeitlichen Verlaufes der Abflüsse und der im betrachteten Einzugsgebiet gemessenen Niederschläge angesehen werden.

(5) Bei instationären Abflüssen kann es erforderlich sein, die Abflüsse an den Pegeln zusätzlich mit Hilfe von Regressionsbeziehungen, z.B. Pegelbeziehungen, oder mit Ergebnissen von Niederschlags-Abfluss-Modellen zu vergleichen.

(6) Beim Vergleich der Abflüsse sind die Einflüsse sowohl der unterschiedlichen natürlichen Gegebenheiten als auch der Nutzungen im Einzugsgebiet, wie Entnahmen, Überleitungen, Speicher usw. zu berücksichtigen.

## **C.3 Hydrologische Auswertungen**

### **C.3.1 Voraussetzung**

Die hydrologische Beurteilung des Wasserstands- und Durchflussverhaltens erfolgt in der Regel unter statistischen Gesichtspunkten. Voraussetzung dafür sind konsistente, d.h. nicht durch Fehler oder systematische Abweichungen beeinflusste Daten, die bei der Messung

(Gerätedefekte, Wechsel des Messgerätes oder der Messmethodik, Stationsverlegung, Ablesefehler u.ä.) oder der Auswertung (unzutreffende Wasserstands- Durchfluss-Beziehungen, unerkannte Aufzeichnungsfehler) auftreten können. Nachfolgend werden die gebräuchlichsten Auswertungen beschrieben.

### **C.3.2 Tageswerte**

Die Tageswerte sind zu dokumentieren und mit folgenden Informationen zu ergänzen:

- Pegelname, Gewässername, Messstellenummer und Betreiber,
- Einzugsgebietsgröße,
- Höhe des Pegelnullpunktes,
- Lage des Pegels mit der Angabe des Fließgewässerkilometers, bezogen auf die Entfernung zur Mündung des Gewässers oder Entfernung von oder zur Staatsgrenze,
- Kennzeichnung als Mittel- oder Terminwert,
- Korrekturwerte, mit denen die Abflüsse ermittelt wurden,
- Kennzeichnung von errechneten und ergänzten Werten mit „e“,
- Kennzeichnung des Auftretens eines Wertes an weiteren Tagen mit „+“,
- Beeinflussungen mit folgenden Kennungen:
  - D ... Eisdecke, Eisstand,
  - G ... Grundeis,
  - V ... Eisversetzung, Eisstau,
  - R ... Randeis,
  - T ... Treibeis,
  - K ... Verkrautung
  - / ... Entkrautung,
  - b ... andere Beeinflussungen,
- Bemerkungen über zeitweise und ständige Beeinflussungen,
- Bemerkungen über Änderungen der W-Q-Beziehung,
- die Kennzeichnung kann bei Hauptwerten mitgeführt werden.

### **C.3.3 Hauptwerte**

#### **C.3.3.1 Überblick**

(1) Hauptwerte sind die gebräuchlichsten statistischen Werte. Sie sind in Tabelle C.3-1 zusammengefasst.

Zeile				W	Wasserstand in cm
				Q	Durchfluss in m³/s oder l/s*
1	niedrigste, mittlere und höchste Werte	untere Werte **	NN. niedrigster bekanntester Wert	NNW	niedrigster bekannter Wasserstand
				NNQ	niedrigster bekannter Durchfluss
N. niedrigster			NW	Niedrigwasserstand	
		NQ	Niedrigwasserdurchfluss		
3		mittlere Werte	MN. mittlerer niedrigster	MNW	mittlerer Niedrigwasserstand
				MNQ	mittlerer Niedrigwasserdurchfluss
4			mittlere Werte	nM. niedrigster mittlerer	nMW
	nMQ	niedrigster mittlerer Durchfluss			
	M. arithmetisc h mittlerer	MW		Mittelwasserstand	
		MQ		mittlerer Durchfluss	
		hM. höchster mittlerer		hMW	höchster Mittelwasserstand
				hMQ	höchster mittlerer Durchfluss
5	höchste Werte	MH. mittlerer höchster	MHW	mittlerer Hochwasserstand	
			MHQ	mittlerer Hochwasserdurchfluss	
6		H. höchster	HW	Hochwasserstand	
			HQ	Hochwasserdurchfluss	
7	HH. höchster bekanntester Wert	HHW	höchster bekannter Wasserstand		
		HHQ	höchster bekannter Durchfluss		
8	Werte der Dauerlinie	Z. Median Zentralwert	ZW	Zentralwert Z, der gleich häufig unter- und überschritten wird	
ZQ					
9	Werte aus Niedrigwasserabschnitten	x̄.	x̄W	der Tagesmittelwert, der an x Tagen unterschritten wird, wobei die Tage in der Regel nicht zusammenhängen	
x̄Q					
10	Werte mit Jährlichkeit	NMx̄.	NMx̄W	das niedrigste arithmetische Mittel von x aufeinanderfolgenden Tagesmittelwerten in einem Niedrigwasserzeitabschnitt	
NMx̄Q					
11	Werte mit Jährlichkeit	Nx̄.	Nx̄W	der niedrigste Tagesmittelwert, der an mindestens x aufeinanderfolgenden Tagen in einem Niedrigwasserzeitabschnitt unterschritten wird	
Nx̄Q					
12	Werte mit Jährlichkeit	NMx̄-T	NMx̄W <sub>T</sub>	der Wert gemäß Zeile 10, der im Mittel in T Jahren einmal auftritt oder unterschritten wird	
NMx̄Q <sub>T</sub>					
13	Werte mit Jährlichkeit	Nx̄-T	Nx̄W <sub>T</sub>	der Wert gemäß Zeile 11, der im Mittel in T Jahren einmal auftritt oder unterschritten wird	
Nx̄Q <sub>T</sub>					
14	Werte mit Jährlichkeit	M-T	MQ <sub>T</sub>	der mittlere Durchfluss, der im Mittel in T Jahren einmal erreicht oder unterschritten wird	
15			H-T	HW <sub>T</sub>	der Scheitelwert, der in T Jahren einmal erreicht oder überschritten wird
	HQ <sub>T</sub>				

Tabelle C.3-1 Hauptwerte nach DIN 4049

\*) Durchflüsse zu den Hauptwerten des Wasserstandes sind mit dem Zeichen Q und in nachfolgender Klammer mit dem Zeichen des zugehörigen Hauptwertes zu versehen, z. B. Q(MW).

\*\*\*) Untere Werte sind Tagesmittelwerte

- Die Zeichen der Zeilen 2 bis 6 sowie 8 und 9 beziehen sich ohne weiteren Zusatz auf das volle Jahr von 365 oder 366 Tagen eines Abflussjahres (1.Nov. bis 31.Okt.) oder einer Jahresreihe aus Abflussjahren; die Jahreszahlen sind dem Zeichen anzuhängen. Bei den niedrigsten und höchsten bekannten Werten (Zeilen 1 und 7) tritt an die Stelle dieser Jahreszahlen das Eintrittsdatum des als Extremwert festgestellten Wertes. Alle Werte (außer die Halbjahresangaben) können auch auf Kalenderjahre bezogen werden. Sie sind dann durch ein nachgestelltes K zu kennzeichnen (z. B. MNQ 1981/2010 K).

Beispiele:

HQ 2010                      höchster Durchfluss des Abflussjahres 2010  
 HQ 1976/2010              höchster Durchfluss der Jahresreihe 1976/2010  
 NNQ 18.10.1959 (seit 1946)    niedrigster bekannter Durchfluss seit 1946

Auch den Werten mit Jährlichkeit (Zeilen 12 bis 15) ist immer die Jahresreihe anzuhängen, die für die Ermittlung des Wertes zur Verfügung stand (HQ<sub>100</sub>1961/2010).

- Bei Halbjahreswerten ist die Abkürzung Wi für das Winterhalbjahr und So für das Sommerhalbjahr voranzustellen, bei Monatswerten die Abkürzungen Nov, Dez, Jan, Feb, Mrz, Apr, Mai, Jun, Jul, Aug, Sep, Okt.

Beispiele:

WiHW 2010                      höchster Wasserstand im Winterhalbjahr 2010 (1.11.2009 bis 30.04.2010)  
 WiHW 1976/2010              höchster Wasserstand in den 35 Winterhalbjahren (Jahresreihe 1976/2010)  
 NovHW 2010                    höchster Wasserstand im November 2010 (im Abflussjahr 2011)  
 JanHW 1956/2010              höchster Wasserstand aus den Januarwerten (Jahresreihe 1956/2010)

- Arithmetische Mittelwerte dürfen nur aus Werten gleichen statistischen Gewichtes gebildet werden.

Beispiel:

$$MHW\ 2001/2005 = \frac{HW\ 2001+HW\ 2002+HW\ 2003+HW\ 2004+HW\ 2005}{5}$$

Sind z. B. nur die beiden Werte MW 2001/2009 = 261 cm und MW 2010 = 285 cm bekannt und ist der Wert 2001/2010 gesucht, so muss das gewichtete Mittel gebildet werden:

Beispiel:

$$MW\ 2001/2010 = \frac{9 \cdot 261\text{cm} + 1 \cdot 285\text{cm}}{10} = 263\text{cm}$$

- Zu den Zeilen 1 und 7: Die niedrigsten und höchsten bekannten Werte sind zusätzlich zu den Werten der Zeilen 2 und 6, die sich auf die angegebene Zeitspanne beziehen, nur dann anzugeben, wenn sie aus einer längeren Zeitspanne als bei Zeile 2 oder 6 stammen (siehe auch Beispiel im ersten Spiegelstrich). Die niedrigsten bzw. höchsten bekannten Werte werden nur für das volle Jahr und nie für die Halbjahre und Monate angegeben.
- Zu den Zeilen 2 und 6: Im Gegensatz zu den Werten gemäß Zeilen 1 und 7 beschränken sich die Werte der Zeilen 2 und 6 auf die angegebene Zeitspanne. Sie können mit den niedrigsten und höchsten bekannten Werten identisch sein.
- Zu den Zeilen 3 und 5: Der mittlere niedrigste bzw. höchste Wert sind das arithmetische Mittel aus den niedrigsten bzw. höchsten Werten mehrerer aufeinanderfolgender Abflussjahre oder der einzelnen Halbjahre oder der jeweils gleichen Monate mehrerer aufeinanderfolgender Abflussjahre.

Beispiele:

MHW 1986/2010 Mittel aus den 25 HW-Werten der 25 aufeinanderfolgenden Abflussjahre 1986 bis 2010

NovMHW 1986/2010 Mittel aus den 25 NovHW-Werten der 25 aufeinanderfolgenden Abflussjahre 1986 bis 2010

- Zu Zeile 4: Die Angaben der niedrigsten und höchsten Mittelwerte des Durchflusses ergänzen den mittleren Durchfluss. Sie werden als Monats-, Halbjahres- oder Jahreswerte gebildet und beziehen sich auf die gleiche Zeitspanne wie die zugehörigen mittleren Durchflüsse.

Beispiele:

nMQ 1946/2010 Niedrigster mittlerer Jahresdurchfluss in den Abflussjahren 1946 bis 2010

NovhMQ 1946/2010 Höchster mittlerer Monatsdurchfluss in allen November-Monaten der Abflussjahre 1946 bis 2010

- Zu den Zeilen 10 und 11: Das Datum des Beginns des Niedrigwasserzeitabschnittes ist anzugeben.

Beispiel:

NM30Q 19.10.1999 Mittel der Durchflüsse 30 aufeinanderfolgender Tage beginnend mit dem Tagesmittelwert am 19.10.1999; Zuordnung zum Abflussjahr 2000.

- Zu den Zeilen 12 bis 15: Die Jährlichkeit  $T$  wird auch als Wiederkehrintervall  $T$  oder Wiederholungszeitspanne  $T$  bezeichnet. Sie bezeichnet die mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet (Hochwasserabfluss) bzw. einmal erreicht oder unterschreitet (Niedrigwasserabfluss). Sie ist bei der Hochwasserstatistik als Kehrwert der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit ( $T = 1/P_u$  mit  $P_u$  = Überschreitungswahrscheinlichkeit) und bei der Niedrigwasserstatistik als Kehrwert der jährlichen Unterschreitungswahrscheinlichkeit ( $T = 1/P_u = 1/(1-P_u)$ ) mit  $P_u$  = Unterschreitungswahrscheinlichkeit) definiert. Die Art der Ermittlung muss erkennbar sein.

(2) Der niedrigste Wert eines Zeitabschnittes ist der kleinste Tagesmittelwert, der höchste Wert der größte Momentanwert mit Datum und Uhrzeit. Höchste Werte am Monatsanfang

(0.00 Uhr) oder am Monatsende (23.59 Uhr) sind höchste Werte, auch wenn sie keine Scheitelwerte (OktHW in der Abb. C.3-1) sind.

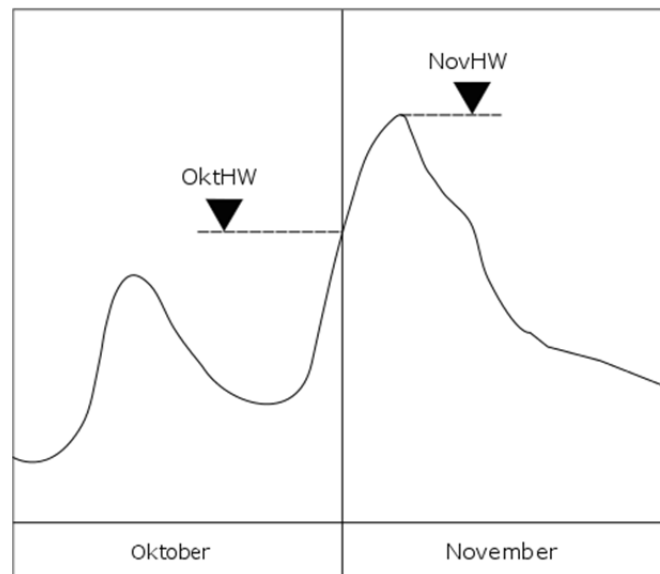


Abbildung C.3-1      Höchste monatliche Werte

Niedrigste und höchste Werte sind in der Monats- bzw. Jahresliste anzugeben. Bei mehrfachem Auftreten wird der Zeitpunkt des ersten Auftretens angegeben und mit dem Zeichen + gekennzeichnet. Bei der Erstellung von Monats- bzw. Jahreslisten aus den Beobachtungswerten eines Lattenpegels sind auch die außerordentlichen Beobachtungen zur Feststellung des höchsten Wertes zu berücksichtigen.

(3) Die Hauptwerte für Monate, Halbjahre, Einzeljahre und Jahresreihen können in Tabellen der Hauptwerte (Haupttabellen) und der unterschrittenen Tagesmittelwerte (Dauertabellen) für jeden Pegel getrennt zusammengefasst werden.

(4) Langfristig wirkende Beeinflussungen sind in den Haupttabellen unter Bemerkungen anzugeben, z. B. Speicherbau, Wasserkraftanlagen.

### C.3.3.2 Niedrigwasserbereich

(1) Alle für die Beschreibung dieses Bereiches verwendeten Hauptwerte werden aus Tagesmittelwerten gebildet. Sie können in Niedrigwasserperioden durch künstliche Rückhaltung bzw. Einleitung und Entnahme beeinflusst sein. Deshalb eignen sich einzelne Tagesmittelwerte nicht oder nur beschränkt zur Beschreibung des Abflussverhaltens in Niedrigwasserzeiten.

Aus diesem Grunde werden zusätzlich zu den niedrigsten Werten Hauptwerte für mehrtägige Perioden gebildet (Tabelle C.3-1, Zeilen 9 bis 13). Ihre Ermittlung erfolgt in der Regel nur für die Durchflüsse.

#### a) Niedrigste Werte

- NN. ist der niedrigste bekannte Tagesmittelwert des Wasserstandes (NNW) oder des Durchflusses (NNQ). Der Zeitpunkt des Auftretens ist anzugeben.
- N. 19./20. ist der niedrigste Tagesmittelwert in der angegebenen Zeitspanne (Niedrigwasserstand NW, Niedrigwasserdurchfluss NQ).



- MN. 19./20. ist das arithmetische Mittel der N-Werte der einzelnen Monate, Halbjahre oder Jahre einer Jahresreihe (mittlerer Niedrigwasserstand MNW, mittlerer Niedrigwasserdurchfluss MNQ).

#### b) Unterschreitungshauptwerte

Der xQ-Wert (Tabelle C.3-1, Zeile 9) ist der an x Tagen unterschrittene Tagesmittelwert des Durchflusses im Monat, Halbjahr oder Jahr. Bezogen auf die Jahresreihe wird der Durchschnittswert aller Einzeljahre des Betrachtungszeitraums angegeben. Er kann der Dauerlinie (Abschn. C.3.3.3) entnommen werden.

#### c) Mittelwerte und Unterschreitungshauptwerte eines Niedrigwasserzeitabschnittes

(1) NMxQ (Tabelle C.3-1, Zeile 10) ist das niedrigste arithmetische Mittel von x aufeinanderfolgenden Tagesmittelwerten des Durchflusses in einem Niedrigwasserzeitabschnitt.

NxQ (Tabelle C.3-1, Zeile 11) ist der niedrigste Tagesmittelwert des Durchflusses, der an mindestens x aufeinanderfolgenden Tagen in einem Niedrigwasserzeitabschnitt unterschritten wird.

Beide Werte werden direkt aus der Ganglinie abgeleitet, und zwar aus einer vorgegebenen Anzahl (x) zeitlich aufeinander folgender Tagesmittelwerte (Abb. C.3-2).

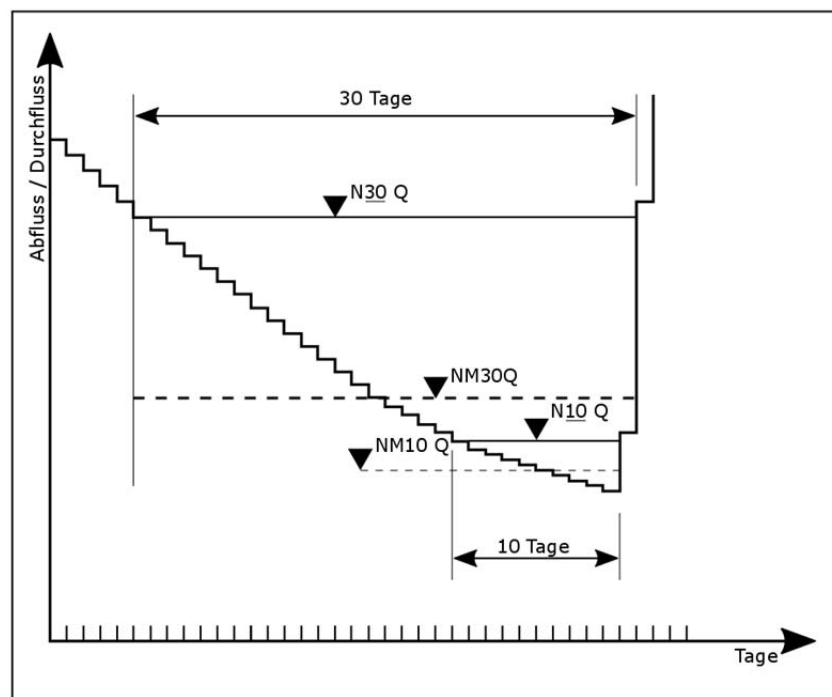


Abbildung C.3-2 Mittel- und Unterschreitungshauptwerte eines Niedrigwasserzeitabschnittes

(2) Die Werte  $NM_x Q$  und  $N_x Q$  eines Niedrigwasserzeitabschnittes dürfen nur in die Statistik eingehen, wenn sie unabhängig von den Werten des jeweils benachbarten Zeitabschnittes sind. Um diese Forderung angenähert zu erfüllen und um eine einheitliche Ermittlung zu gewährleisten, wird folgendes Kriterium festgesetzt:

Der einzelne Wert gilt nur dann als hydrologisch unabhängig, wenn zwischen dem Auftreten der Niedrigwasserzeitabschnitte die jährliche Grundwasser-Neubildungsperiode liegt. Dies ist einigermaßen gewährleistet, wenn nur ein Ereignis pro Jahr für die Niedrigwasserstatistik

verwendet wird. Als maßgebender Zeitabschnitt wird deshalb der 1. April bis 31. März empfohlen.

Liegt das Niedrigwasserereignis im Bereich dieser Zeitgrenze, dann ist der Zeitabschnitt maßgebend, der den größeren Anteil hat. Ist der Anteil gleich, so ist die zweite Hälfte bestimmend.

Offensichtlich ist gemeint:

Für die Zuordnung des  $N_xQ$  ist in Zweifelsfällen bestimmend, zu welchem Zeitraum das  $NM_xQ$  des jeweiligen Niedrigwasserereignisses zugeordnet worden ist (Abb. C.3-3).

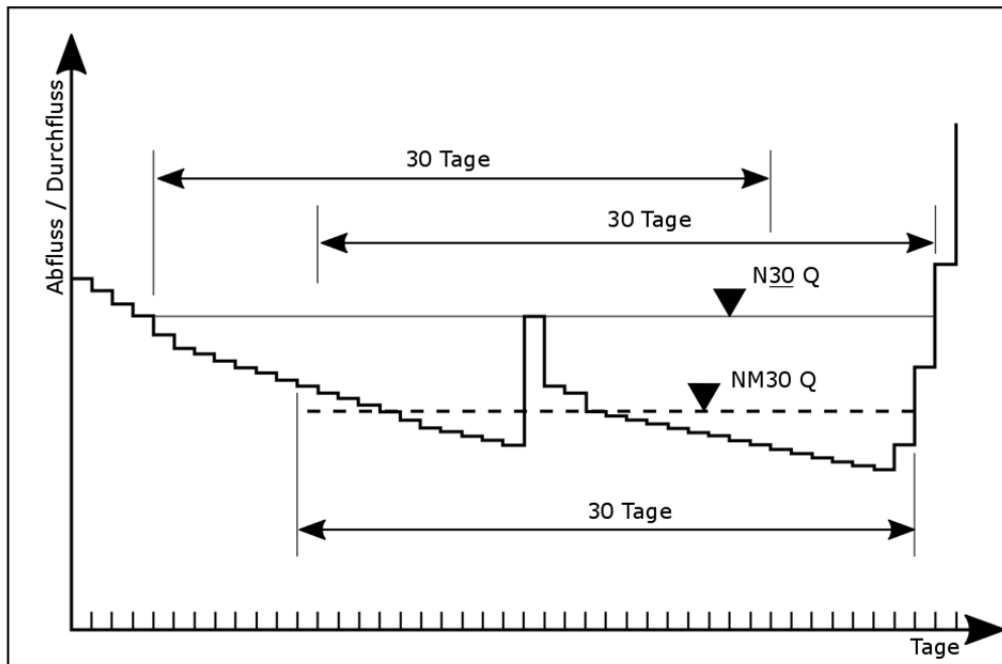


Abbildung C.3-3 Sonderfall für die zeitliche Festlegung des Unterschreitungshauptwertes (Die Zuordnung des Unterschreitungshauptwertes  $N_{30}Q$  orientiert sich an der zeitlichen Festlegung von  $NM_{30}Q$ .)

#### d) Niedrigwasserwerte mit Jährlichkeit $T$

(1)  $NM_xQ_T$  bzw.  $N_xQ_T$  nach Zeilen 12 und 13 der Tabelle C.3-1 ist derjenige Durchfluss gemäß C.3.3.2. Abs.1c, der in der angegebenen längeren Reihe von  $n$  aufeinanderfolgenden Jahren in der Zeitspanne von  $T$  Jahren im Mittel einmal, somit insgesamt  $n/T$  mal, erreicht oder unterschritten wird. In Sonderfällen kann dieser Wert auch für kürzere Zeitabschnitte als ein Jahr, z.B. Winter oder Sommer, gebildet werden; für Monate ist dies nicht sinnvoll.

(2) In der Regel wird die Jährlichkeit  $T$  mit Hilfe von wahrscheinlichkeitstheoretischen Verfahren berechnet. Die statistischen Anforderungen an die Ausgangsdaten hinsichtlich Konsistenz, Homogenität und Unabhängigkeit sowie die Anwendungsgrenzen dieser Verfahren sind zu beachten, insbesondere auch bei Extrapolationen über die beobachtete Zeitspanne hinaus.

#### C.3.3.3 Mittelwasserbereich

(1) Mittelwasserstand  $MW$ , mittlerer Durchfluss  $MQ$

Mittel für Halbjahre und Abflussjahre des Wasserstandes  $W$  bzw. des Durchflusses  $Q$  werden als arithmetische Mittel der Tagesmittelwerte des entsprechenden Zeitabschnittes gebildet.

Die Mittelwerte von Jahresreihen  $M_{19./20.}$  werden als arithmetische Mittel der betreffenden Monats-, Halbjahres- oder Jahresmittel gebildet; sie sind also Mittel aus Mittelwerten.

Dabei werden Jahre ohne Messergebnisse (Ausfalljahre) - aber nur dann, wenn es nicht möglich ist, die fehlenden Werte hydrologisch begründet zu ergänzen - nicht berücksichtigt. Die Ausfalljahre sind anzugeben, z. B. MaiMQ 1941/50 (ohne 1945).

(2) Median (auch Zentralwert) ZW bzw. ZQ

Der Median ZW bzw. ZQ wird in einem Zeitabschnitt oder einer Zeitspanne (Monat, Halbjahr, Jahr, Jahresreihe) gleich häufig über- und unterschritten. Er kann der Dauerlinie (Abschn. C.3.3.5) entnommen werden.

(3) Niedrigste und höchste mittlere Durchflüsse nMQ und hMQ

Die Werte nMQ und hMQ (Tabelle C.3-1, Zeile 4) sind die kleinsten und größten Monats-, Halbjahres- oder Jahresmittelwasserwerte in einer Zeitspanne. Sie sind zusammen mit dem mittleren Durchfluss MQ die Kenngrößen für den Schwankungsbereich des Mittelwasserdurchflusses.

(4) Mittelwasserwerte mit Jährlichkeit  $T$

$MQ_T$  ist der mittlere Durchfluss nach Tabelle C.3-1, Zeile 14, der im Mittel in einer längeren Reihe von  $n$  aufeinanderfolgenden Jahren in der Zeitspanne von  $T$  Jahren einmal, somit insgesamt  $n/T$  mal erreicht oder unterschritten wird (Beispiel: AugMQ<sub>T</sub>).

#### **C.3.3.4 Hochwasserbereich**

(1) Der Hochwasserbereich kann statistisch beschrieben werden durch die höchsten Werte (Tabelle C.3-1, Zeilen 5 bis 7), durch die  $H_{-T}$ -Werte (Tabelle C.3-1, Zeile 15) und darüber hinaus z. B. durch die Abflussfüllen über bestimmten Schwellenwerten.

(2) Die Hochwasserscheitelstatistik wird auf der Grundlage von Momentanwerten erstellt.

(3) Die  $H_{-T}$ -Werte werden im Binnenland im Allgemeinen nur für die Durchflüsse ermittelt, da Wasserstände infolge Erosion oder Sedimentation über längere Zeitspannen meist nicht vergleichbar sind. Deshalb wird bei diesen Werten im Folgenden immer das Zeichen  $Q$  eingesetzt.

(4) Höchste Werte

HH. ist der höchste bekannte Momentanwert des Wasserstandes (HHW) oder des Durchflusses (HHQ). Der Zeitpunkt des Auftretens ist anzugeben. Der HH. kann auf historischen Aufzeichnungen beruhen, und dann eventuell außerhalb der digitalen Zeitreihe liegen.

$H_{19./20.}$  ist der höchste Momentanwert in der angegebenen Zeitspanne (HW, HQ).

$MH_{19./20.}$  ist das arithmetische Mittel der  $H_{-}$ -Werte (C.3.3.2 Abs.2) der einzelnen Monate, Halbjahre oder Jahre einer Jahresreihe (MHW, MHQ).

(5) Hochwasserscheitelwerte mit Jährlichkeit  $T$

$HQ_T$  (Tabelle C.3-1, Zeile 15) ist derjenige Scheitelabfluss bzw. -durchfluss, der in der Zeitspanne von  $T$  Jahren (Jährlichkeit) einmal erreicht oder überschritten wird. Deren Berech-

nung beruht auf der statistischen und wahrscheinlichkeitstheoretischen Analyse von Jahreshöchstabflüssen bzw. -durchflüssen (Reihe der HQ aus den einzelnen Beobachtungsjahren) oder Hochwasserscheiteln über einem bestimmten Grenzwert (partielle Reihen), indem an diese Werte eine theoretische Verteilungsfunktion angepasst wird. Partielle Serien werden für Jährlichkeiten  $< 5$  Jahren empfohlen. Die Auswahl einer geeigneten Verteilungsfunktion muss auf einer Experteneinschätzung unter Hinzuziehung aller verfügbaren Informationen über das regionale Hochwasserregime beruhen. Der Ermittlung der Jährlichkeit  $T$  von HQ-Werten müssen Jahresreihen mit mindestens 20 bis 30 Werten zugrunde gelegt werden. Je größer die Jährlichkeit  $T$ , desto umfangreicher sollte die Stichprobe werden. Die Unsicherheit der berechneten  $HQ_T$  wächst mit dem Unterschied zwischen der Länge der Beobachtungs- oder Wertereihe und  $T$  deutlich, so dass die zeitliche Extrapolation in Abhängigkeit des Beobachtungsumfanges und der Informationslage begrenzt werden muss. Extrapolationen über das 2-fache  $T$  der Anzahl der Stichprobenglieder hinaus sollten ganz vermieden werden. Bekannte historische Ereignisse außerhalb der verwendeten Zeitreihe sollten in die Berechnungen mit einbezogen werden.

Der Wert  $HQ_T$  kann auch für die Halbjahre (Winter und Sommer) gebildet werden; für die Monate ist dies im Allgemeinen nicht sinnvoll. Bei der Ermittlung von  $HQ_T$  dürfen nur unabhängige Hochwasserscheitelwerte berücksichtigt werden. Dabei muss der Abfluss bzw. Durchfluss zwischen zwei benachbarten Hochwasserscheiteln mindestens bis auf die halbe Höhe des kleineren Scheitelwertes - bezogen auf das MQ der betrachteten Jahresreihe - abgesunken sein. Von dieser Bedingung kann abgewichen werden, wenn die benachbarten Scheitelwerte einen Abstand von mindestens 7 Tagen haben (Abb. C.3-4).

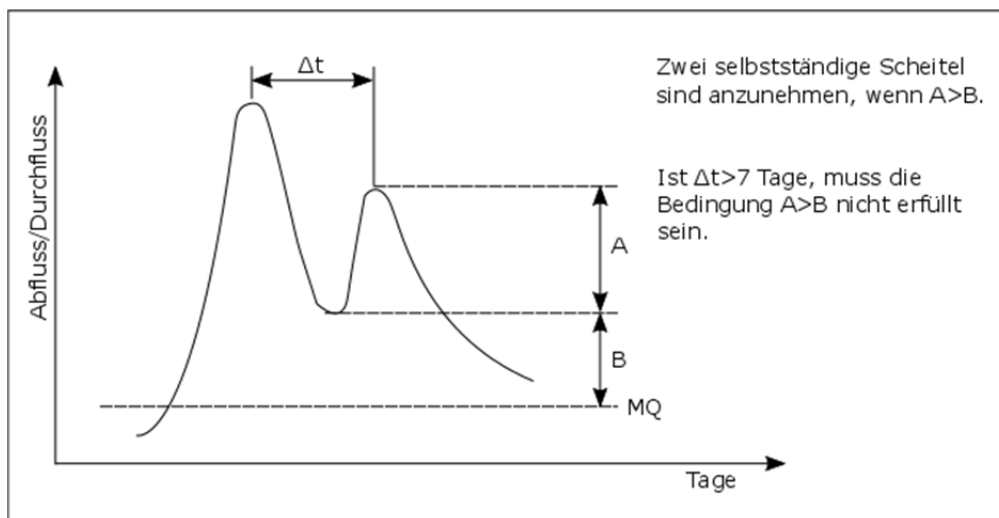


Abbildung C.3-4 Kriterien für hydrologisch unabhängige Hochwasserscheitelwerte

Diese Bedingung ist eine notwendige Festlegung, die eine einheitliche Ermittlung gewährleisten soll. Sie dokumentiert nicht in jedem Fall die hydrologische Unabhängigkeit der einzelnen Hochwasserscheitelwerte voneinander.

Wie bei der Niedrigwasserstatistik ist auch hier die Stichprobe auf Konsistenz und Homogenität zu prüfen.

### C.3.3.5 Dauerlinie

(1) Die Dauerlinie ist die Darstellung (zeichnerisch und/oder tabellarisch) von statistisch gleichwertigen Messwerten in der Reihenfolge ihrer Größe. Sie stellt Unterschreitungs- bzw. Überschreitungshäufigkeiten der Messwerte in einem bestimmten Zeitraum dar.

(2) In der Regel werden Tagesmittelwerte  $W$  oder  $Q$  auf Unterschreitungstage (Dauerzahlen) bezogen. Die Dauerzahl gibt somit an, an wie vielen Tagen eines Zeitabschnittes oder einer Zeitspanne ein bestimmter Tagesmittelwert unterschritten wird.

(3) Im Folgenden ist das Verfahren zur Ermittlung der Dauerlinie für den Regelfall, d. h. unter Verwendung von Unterschreitungstagen, dargestellt; die Dauerlinie unter Verwendung von Überschreitungstagen kann durch einfache Umrechnung ermittelt werden (Abb. C.3-5).

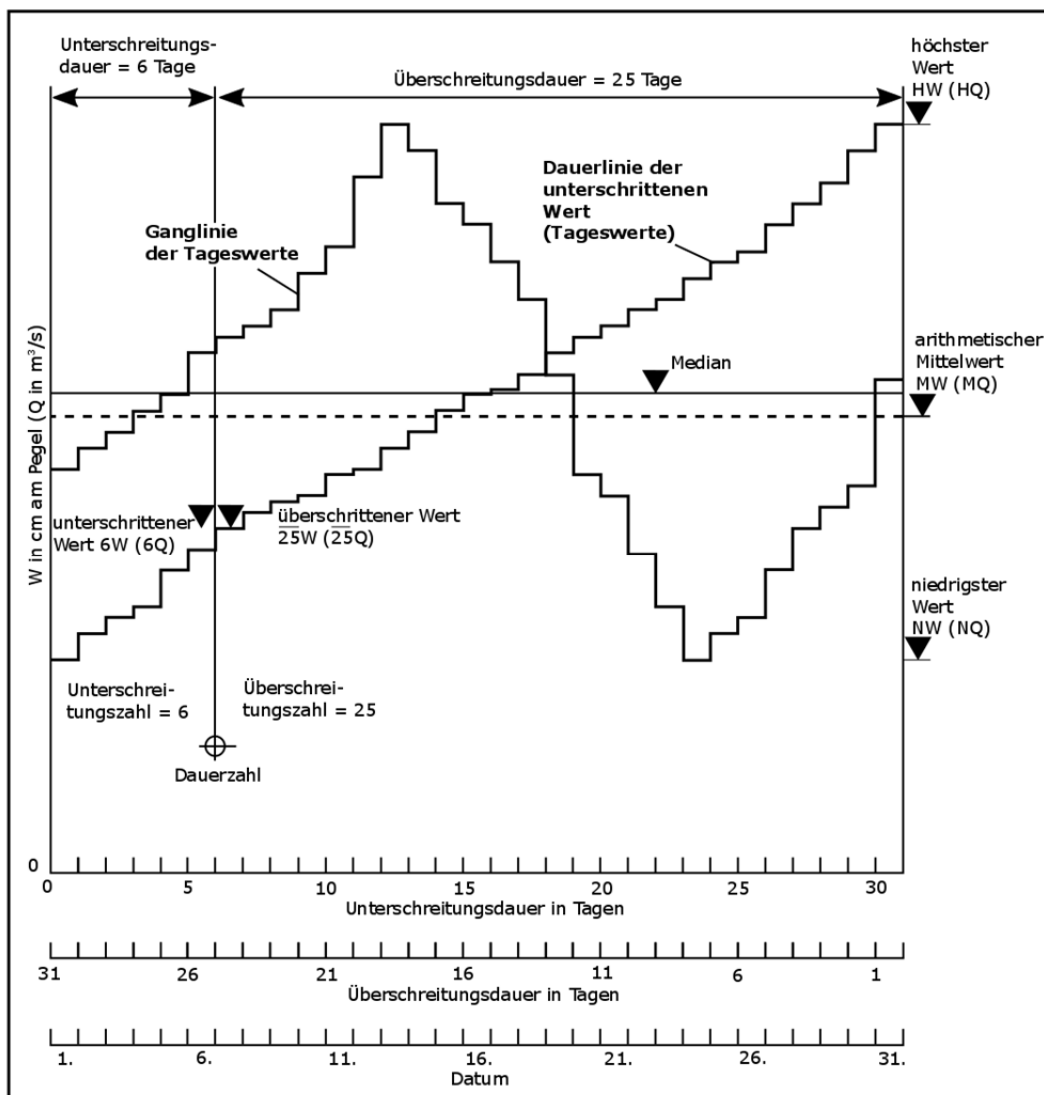


Abbildung C.3-5

Dauerlinie eines Monats (31 Tage)

a) Darstellung für das Einzeljahr

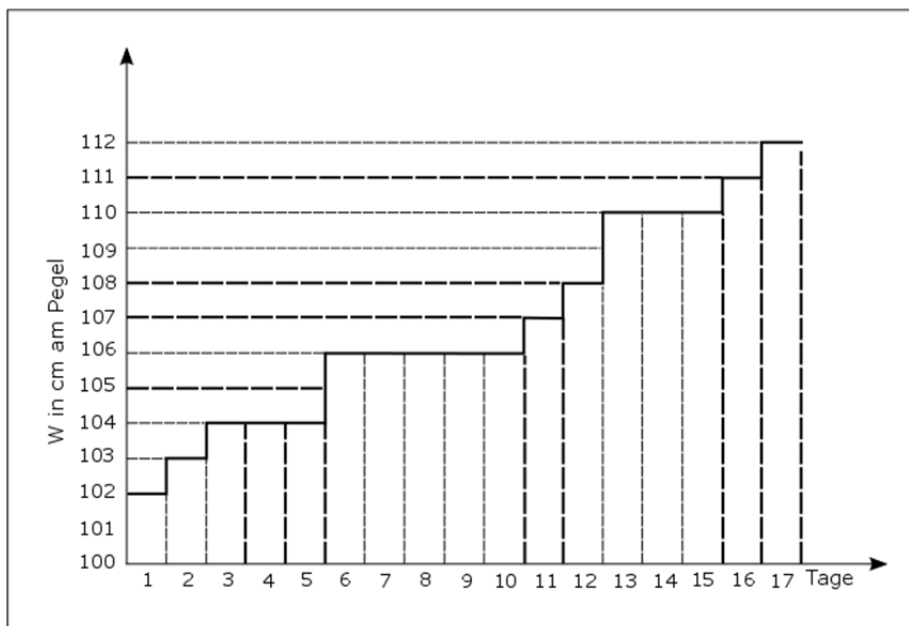
- Tabellarische Darstellung

Es werden den Dauerzahlen (Unterschreitungstagen) die unterschrittenen Wasserstände oder Durchflüsse zugeordnet. Die Rangzahl R des einer vorgegebenen Dauerzahl zugeordneten Tagesmittelwertes ergibt sich aus der Beziehung:

$$R = u + 1$$

R      Rangzahl  
u      gewählte Unterschreitungszahl 0 bis 364 (bzw. 365)

Treten mehrere gleichhohe Werte auf, so ist der Dauerzahl dem nächst höherem Tagesmittelwert zuzuordnen (Abb. C.3-6). Bei dieser Art der Ermittlung wird jeder Dauerzahl der Unterschreitung ein tatsächlich aufgetretener Tagesmittelwert W oder Q zugeordnet. Tritt der höchste Wert mehrfach auf, so ist den betroffenen Dauerzahlen hilfsweise der nächst höhere Wert zuzuordnen. Dieser Wert ergibt sich für die Wasserstände durch Erhöhung um 1 cm und bei den Durchflüssen durch Erhöhung der dritten gültigen Ziffer um 1.



Rang	Tageswerte	Unterschreitungsdauer in Tagen (Dauerzahlen)	Dauerwerte
17	112	16	112
16	111	15	111
15	110	14	111
14	110	13	111
13	110	12	110
12	108	11	108
11	107	10	107
10	106	9	107
9	106	8	107
8	106	7	107
7	106	6	107
6	106	5	106

5	104	4	106
4	104	3	106
3	104	2	104
2	103	1	103
1	102	0	102

Abbildung C.3-6 Zuordnung der Tagesmittelwerte bei gleich hohen Werten

- Graphische Darstellung

Es sind alle Tagesmittelwerte aufzutragen. Die Tagesmittelwerte werden auf der Ordinate, die Unterschreitungstage auf der Abszisse aufgetragen. Der erste Wert der Dauerlinie entspricht dem Hauptwert NW bzw. NQ des betrachteten Zeitabschnittes und ist der Unterschreitung von 0 Tagen (Dauerzahl 0) zuzuordnen (Bsp. Abb. C.3-5).

b) Darstellung mehrjähriger Reihen

Alle Tagesmittelwerte (W oder Q) der betrachteten Zeitspanne werden der Größe nach geordnet. Die Aneinanderreihung der Tagesmittelwerte vom kleinsten bis zum größten Wert ergibt die Dauerlinie für die Gesamtdauer der Reihe von n Jahren, d. h. für die Dauer von n-mal 365 Tagen plus der Anzahl b der darin enthaltenen Schaltjahre. Die Dauerlinie der mehrjährigen Reihe wird in der Regel auf die Zeitspanne eines Jahres reduziert. Bei dieser mittleren Dauerlinie mit der Länge von 365 Tagen ist das Intervall zwischen zwei Einzelwerten 1/n Tage.

- Tabellarische Darstellung

Den Dauerzahlen werden die unterschrittenen Wasserstände oder Durchflüsse des mittleren Jahres zugeordnet. Die Rangzahlen R der Tagesmittelwerte, die den Dauerzahlen zuzuordnen sind, ergeben sich aus der Beziehung

$$R = n \cdot u + 1$$

<i>R</i>	<i>Rangzahl</i>
<i>n</i>	<i>Anzahl der Jahre der mehrjährigen Reihe</i>
<i>u</i>	<i>gewählte Unterschreitungszahl 0 bis 364 (bzw. 365)</i>

Liegen mehrere gleich hohe Tagesmittelwerte W oder Q vor, so ist bei der Bestimmung des einer vorgegebenen Unterschreitung zuzuordnenden Tagesmittelwertes der nächst höhere Tagesmittelwert der Dauerlinie für die Gesamtdauer der Jahresreihe zu verwenden.

Sind am oberen Ende der Dauerlinie mehrere Tagesmittelwerte gleich groß, so muss bei der Angabe des höchsten unterschrittenen Wertes ein nicht aufgetretener Wasserstand oder Abfluss angegeben werden. Dieser Wert wird ermittelt, indem der Wasserstand bei den mehrfach vorliegenden höchsten Werten um 1 cm, der Q-Wert in der dritten gültigen Ziffer um 1 erhöht wird.

Bei dieser Art der Ermittlung wird jeder Dauerzahl der Unterschreitung - ausgenommen eventuell für u = 364 - ein tatsächlich aufgetretener Tagesmittelwert W oder Q zugeordnet.

Der an keinem Tag unterschrittene Wasserstand oder Durchfluss (u = 0) entspricht dem NW- oder dem NQ-Wert des betrachteten Zeitabschnittes.

Zur Ergänzung der Dauerlinien mehrjähriger Reihen werden für die ausgewählten Dauerzahlen zusätzliche untere und obere Hüllwerte angegeben. Sie sind die niedrigsten und höch-

ten Tagesmittelwerte gleicher Rangzahl aus allen Einzeljahren der betrachteten Jahresreihe. Der niedrigste untere Hüllwert ( $u = 0$ ) ist NW bzw. NQ des betrachteten Zeitabschnitts.

- Graphische Darstellung

Auf der Abszisse werden die 365 Unterschreitungstage ( $u$ ) des "mittleren" Jahres aufgetragen, auf der Ordinate die Tagesmittelwerte  $W$  oder  $Q$ . Es werden in der Regel ausgewählte Tagesmittelwerte dargestellt. Sie ergeben sich für die Unterschreitungstage ( $u$ ) aus den zugeordneten Rangzahlen (Abschn. C.3.3.5 Abs.3a).

Je nach Bedarf können für die Darstellung der Dauerlinie auch Zwischenwerte aufgetragen werden. Dabei ergibt sich die Abszissen-Position eines beliebigen Tagesmittelwertes wiederum aus der Division der zugehörigen tatsächlichen Unterschreitungstage durch die Anzahl der betrachteten Jahre. Die unteren und oberen Hüllwerte sind den Unterschreitungstagen zuzuordnen.



**Teil D**  
**Wasserstand und Durchfluss – Küste**

## Autoren

Andreas Engels	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Niedersachsen
Bodo Heyenga	Hamburg Port Authority, Hamburg
Dr. Thomas Hirschhäuser	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume, Schleswig-Holstein
Frerk Jensen	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz, Schleswig Holstein
Volker Neemann	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt - Außenstelle Kiel
Doris Wolf	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz, Schleswig Holstein

## D. Wasserstand und Durchfluss – Küste

### D.1 Technische und bauliche Anforderungen an den Messstandort

(1) Die im Folgenden aufgeführten technischen und baulichen Anforderungen an den Messstandort unter Berücksichtigung der konkreten örtlichen Verhältnisse stellen neben den im Kapitel B.4 beschriebenen Vor- und Nachteilen einzelner Messverfahren die Grundlagen für die Festlegung eines geeigneten Messsystems dar.

#### (2) Pegellatte

Der Lattenpegel besteht i.d.R. aus Pegellatte und drei Pegelfestpunkten. Im Küstengebiet sind in Ausnahmefällen auch 2 Pegelfestpunkte, die am selben Bauwerk angebracht werden können, ausreichend. Werden für einen Pegel Festpunkte als Rohrfestpunkte ausgeführt, so sollte wenigstens ein Rohrfestpunkt in einem ausreichenden Abstand landeinwärts der Uferlinie bei MThw liegen.

Zur Erfüllung der Anforderung an die Messunsicherheit ist der Genauigkeit der Einmessung der Pegellatte als Basis für die weitergehende Messwerterfassung oberste Priorität beizumessen. Als Erfahrungswert kann die Messunsicherheit für den Küstenbereich mit 3 cm angegeben werden. Bei der ersten Einmessung soll der Pegelnullpunkt auf – 500 cm bezogen auf ein amtliches Höhenreferenzsystem (derzeit DHHN) festgelegt werden. Hinsichtlich weiterer Anforderungen an die Pegel einmessung siehe Kapitel A.3.4.

Für das Küstengebiet und die küstengewässerbeeinflussten Bereiche sind insbesondere die im Weiteren genannten baulichen Voraussetzungen zur Installation der Pegellatte von grundsätzlicher Bedeutung:

- Die Pegellatte ist in einem Bereich zu installieren, der möglichst frei von Stau- und Sinkeinflüssen (z.B. aufgrund der Tideströmung) und möglichst im gesamten Messbereich einsehbar ist.
- Die Pegellatte und die ergänzenden Messeinrichtungen sind so zu installieren, dass möglichst für alle gleiche hydrologische Verhältnisse bestehen.
- Der Standort und die Einrichtung des Lattenpegels und der Pegelanlage sind so zu wählen, dass von der Messanlage keine Beeinflussung auf betriebliche Anlagen am Gewässer und auf die Nutzungen des Gewässers ausgeht.
- Sollten die örtlichen Verhältnisse es nicht zulassen, eine Pegellatte zu installieren (wie es z.B. in Hafengebieten bei Kaianlagen der Fall sein kann), ist alternativ die Möglichkeit für eine Messung mit Kabellichtloten zu schaffen. Hierzu ist ein eingemessener Festpunkt (der als Ablesepunkt eindeutig gekennzeichnet werden muss) an der Lotstrecke erforderlich. Der Bereich der Lotung ist vor Windeinfluss z.B. durch ein Rohr zu schützen.

#### (3) Bauliche Anforderungen an die Messstelle

Der Standort und die Messtechnik eines Pegels sind so zu wählen bzw. einzurichten, dass ein Messbereich von NNTnw -1,00 m bis +1,00 m über dem jeweiligen HHThw für die Nordsee und den tidebeeinflussten Binnenbereichen sowie NNW -1,00 m bis +1,00 m über dem jeweiligen HHW für die Ostsee abgedeckt wird, sofern der untere Messbereich nicht von der Sohlhöhe des Gewässers bzw. durch lokale Verhältnisse des Standortes begrenzt ist oder Bauwerke den oberen Messbereich begrenzen.

Bei der Standortwahl der Messstelle ist auf eine mögliche Beeinflussung durch Verschlickung oder Versandung zu achten und gegebenenfalls sind entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Werden Pegelschächte oder Pegelstandrohre genutzt, so sind die Zuläufe so zu dimensionieren, dass abhängig von den örtlichen Verhältnissen, Wellenbewegungen (z.B. durch Schiffspassagen oder Windeinflüsse) ausreichend gedämpft werden, schnelle Anstiegs- oder Sinkgeschwindigkeiten im Schacht bzw. Pegelrohr jedoch korrekt erfasst werden können. Bei schwankenden Salzgehalten sind messtechnische Einrichtungen zu dessen Bestimmung vorzusehen, um den Einfluss auf die Wasserstandsbestimmung korrigieren zu können. Um Eisbildung im Schacht zu verhindern, ist gegebenenfalls eine Schachtheizung vorzusehen. Möglichkeiten zur Wartung des Pegelschachtes und des Zulaufes sind bei der Konstruktion zu berücksichtigen. Hierbei sollten insbesondere Einrichtungen zum Spülen des Pegelschachtes und des Zulaufes vorgesehen werden. Außerdem sollte das Zulaufrohr des Pegelschachtes mit einem Schieber ausgestattet werden. Dieser wird zur Einstellung der Schachtdämpfung und bei vollständigem Verschluss zum Spülen des Schachtes und des Zulaufrohres benötigt. Bei der Anordnung des Schiebers und der Ausgleichsöffnungen zum Dichteausgleich ist die Anströmung des Bauwerks zu beachten. Weiterhin sind Steigleitern sowie weitere Einrichtungen zum Arbeitsschutz für Wartungs- und Kontrollarbeiten zu installieren.

#### (4) Ergänzende Einrichtungen

Für die Wasserstandsermittlung im Küstengebiet und den küstengewässerbeeinflussten Bereichen wird der Einsatz von ergänzenden Einrichtungen wie automatische Mess-, Speicher- und Übertragungssysteme empfohlen. Diese Systeme müssen so eingerichtet werden, dass die Ablesung des Lattenpegels von diesem Standort erfolgen kann und dass die automatischen Messsysteme den gleichen Wasserstand erfassen wie der Lattenpegel.

Die Messeinrichtung muss hochwassersicher untergebracht werden und wenn möglich auch im Hochwasserfall erreichbar sein.

Bei der Einrichtung der Messtechnik ist darauf zu achten, dass die Geräte vor mechanischen und klimatischen Einflüssen geschützt werden. Je nach Art des Messverfahrens und der örtlichen Gegebenheit kann eine Außen- oder Inneninstallation erforderlich sein.

Die Installation von Messgeräten und –trägerkonstruktionen ist so auszuführen, dass Beschädigungen durch galvanische Ströme (Galvanische Korrosion) vermieden werden.

Bei der Auswahl und Dimensionierung der Messgeräte und der weiteren Einrichtungen wie Trägerkonstruktionen, Pegelschächten oder Standrohren sind gegebenenfalls die Schwankungsbreiten der in Tabelle D.1-1 aufgeführten Einflussgrößen zu beachten.

Parameter	Größenordnung
Fließgeschwindigkeit des Wassers	0 – 4 m/s
Windgeschwindigkeit	0 – 180 km/h
Lufttemperatur	- 40° – + 60 °C
Luftfeuchtigkeit relativ	10 – 100 %
Wassertemperatur	- 10° – + 30° C
Salzgehalt	0 – 3,7 %
Schwebstoffgehalt	0 bis >> 10000 mg/l

Tabelle D.1-1 übliche Schwankungsbreiten äußerer Einflussgrößen

## D.2 Wasserstand

### D.2.1 Allgemeines

(1) Die Wasserstände im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen werden im Wesentlichen durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Gezeiten,
- Wind,
- Seegang,
- Eigenschwingungen (u.a. Seiches),
- Dichte des Wassers (insbesondere Salzgehalt),
- Luftdruckschwankungen,
- Fernwellen,
- Topographie,
- Oberwasserzufluss,
- schiffserzeugte Wellen,
- Schöpfwerks-, Sperrwerks- und Sielbetrieb.

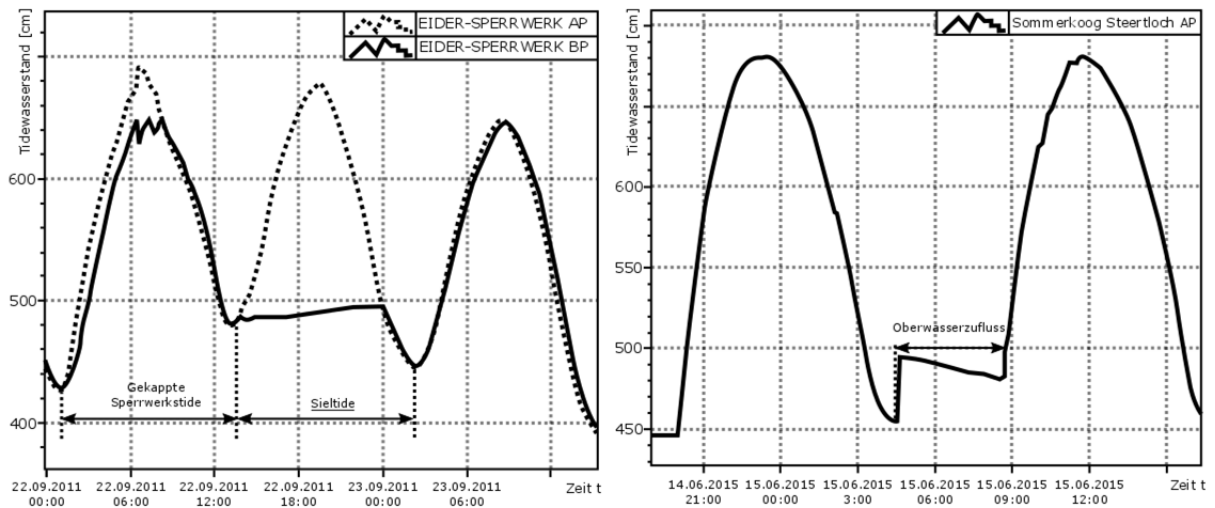


Abbildung D.2-1 Beispiele für Beeinflussungen des Wasserstandes in küstengewässerbeeinflussten Bereichen. Links: Gekappte Tidewelle durch Sperrwerksschließung; Rechts: Beeinflusste Tidewelle durch Oberwasserzufluss (Erläuterung: Nach Öffnung der Sieltore steigt an der seeseitigen Seite des Siels der Wasserstand durch den Binnenabfluss abrupt an.)

(2) Die Wasserstände im Küstengebiet der Nordsee sind geprägt von der Tide. Die Tide hängt von der periodischen Gezeitenkraft, welche letztlich auf die Gravitationskräfte anderer Himmelskörper (speziell Mond und Sonne) zurückgeht, sowie von den topographisch-morphologischen Gegebenheiten ab. Weiteren Einfluss auf die Wasserstände im Küstengebiet haben aperiodische meteorologische Faktoren wie Luftdruck, Windgeschwindigkeit und -richtung sowie der Oberwasserabfluss.

(3) An der Ostseeküste hat der Gezeiteneinfluss eine geringere Bedeutung. Vielmehr sind hier die Eigenschwingung der Ostsee, der Windstau und der Füllungsgrad der Ostsee die maßgebenden Faktoren für die Wasserstände.

(4) Eine Sonderform der Auslenkung des Wasserstandes sind die in der Regel durch lokale Winde oder auch Schiffsverkehr verursachten kurzperiodischen Wellen sowie längere Dünungswellen. Sie werden im Rahmen dieses Leitfadens aber nicht eingehender betrachtet.

(5) Referenzwasserstand

Die Ableseung des Wasserstandes am Lattenpegels bzw. der ersatzweise durch eine Lotung bzw. Messung des Abstichs von einem Höhenmesspunkt ermittelte Wasserstand bildet den Referenzwasserstand, der für alle ergänzenden Einrichtungen der Messstelle maßgebend ist. Dieser Referenzwasserstand muss den aktuellen Ruhewasserstand an dem Messstandort wiedergeben.

## D.2.2 Messverfahren

### D.2.2.1 Allgemeines

(1) Da sich die Messverfahren im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen nur teilweise von denen im Binnenbereich unterscheiden, stehen in der nachfolgenden Beschreibung die Besonderheiten des Küstengebiets im Mittelpunkt. Hinsichtlich einer darüber hinausgehenden Darstellung der Messsysteme wird auf Kapitel B.4 verwiesen.

(2) In den hier behandelten Gewässern treten spezifische Messbedingungen auf, die technisch bauliche Anforderungen an den Messstandort und an die Auswahl eines geeigneten Messverfahrens stellen. Als wichtige beeinflussende Faktoren sind zu nennen:

- großer zeitlicher Wasserstandsgradient,
- Seegang,
- schiffserzeugte Wellen,
- Gischt,
- starke Salzgehaltsschwankungen,
- hohe Sediment- oder Feststoffkonzentration,
- Bewuchs und Tiere.

(3) Weiterhin können folgende Punkte einen Einfluss auf die Qualität der Wasserstandserfassung haben:

- verminderte Kontrollmöglichkeit aufgrund exponierter Lage der Messstation (weite Anreise, unter Umständen per Schiff),
- verminderte Datenkontrolle bei Pegelstandorten ohne Netz-, Daten- und Funkverbindung,
- Beeinflussung durch bauliche Konstruktionen und Bauwerke (z.B. Wellenbrecher, Wellenreflexion in Hafenbecken) und
- mangelnde Instandhaltung (Wartungsintensität).

(4) Übersicht der gängigen Messverfahren

Messsystem	Messverfahren	Erreichbare Messunsicherheit	Vorteile	Nachteile
Lattenpegel	Visuelle Ablesung der Skala einer Pegellatte (Referenzwasserstand)	3 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unabhängig von Stromversorgung</li> <li>- direkte Ablesung des Wasserstandes möglich</li> <li>- kostengünstige Beschaffung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- keine digitale Datenaufzeichnung</li> <li>- keine kontinuierliche Messungen möglich</li> <li>- Fehlerquelle: Ablesefehler</li> <li>- keine Datenfernübertragung</li> <li>- keine standardisierte Mittelwertbildung möglich</li> <li>- in der Regel keine Dämpfung</li> <li>- Beeinflussung durch Bewuchs</li> <li>- Beeinflussung durch Schiffstoß und Eis</li> </ul>
Schwimmerpegel	Ermittlung des Wasserstandes durch einen Schwimmer in einem Schacht bzw. Pegelrohr, der mit dem Gewässer verbunden ist	4,5 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- einfaches, zuverlässiges, robustes, klar erkennbares mechanisches Messprinzip</li> <li>- leichte Bedienung, Instandsetzung teilweise in Eigenregie möglich</li> <li>- Betrieb auch ohne Stromversorgung möglich (bei ausschließlicher Aufzeichnung auf Schreibbogen)</li> <li>- Datenaufzeichnung bzw. -speicherung</li> <li>- Datenfernübertragung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- in der Regel ein Pegelschacht oder ein Pegelstandrohr erforderlich</li> <li>- häufig wartungsaufwändig mit hohen Unterhaltungskosten (regelmäßige Spülungen)</li> <li>- Gefahr des Einfrierens des Schwimmers</li> <li>- Beeinträchtigung durch mechanische Einflüsse (bewegte Teile)</li> <li>- Beeinflussung durch Bewuchs</li> </ul>
Drucksondenpegel	Erfassung des hydrostatischen Drucks der Wassersäule oberhalb einer Messsonde	8 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Drucksonden mit Keramikmembran sind robust und langzeitstabil</li> <li>- niedrige Investitions- und Unterhaltungskosten</li> <li>- einfache Installation</li> <li>- Datenaufzeichnung bzw. -speicherung</li> <li>- Datenfernübertragung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfälligkeit für Verschmutzung und Bewuchs, da Installation der Sonden im Gewässer Luftdruckkompensation erforderlich</li> <li>- Nullpunktdrift möglich</li> <li>- Beeinflussung durch Dichte des Wassers</li> <li>- Beeinflussung durch Bewuchs</li> </ul>
Radarpegel	Laufzeitmessung mittels Mikrowellen zwischen der Wasseroberfläche und dem Sensor	2 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- robust und langzeitstabil</li> <li>- berührungslos</li> <li>- relativ ausfallsicher und wartungsarm</li> <li>- Datenaufzeichnung bzw. -speicherung</li> <li>- Datenfernübertragung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beeinflussung des Messergebnisses durch Höhenänderung der Trägerkonstruktion z.B. durch Temperaturänderung und Wind</li> <li>- Beeinflussung der Messung durch Eis</li> <li>- Beeinflussung durch Gischt</li> <li>- Beeinflussung durch Seegang</li> <li>- Beeinflussung durch Tiere (z.B. Spinne)</li> </ul>
Einperlpegel	Erfassung des hydrostatischen Drucks der Wassersäule oberhalb einer Ausperlöffnung durch die	8 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- niedrige Investitions- und Unterhaltungskosten</li> <li>- Betrieb auch ohne Netzstromversorgung möglich (bei ausschließlicher Aufzeichnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geschiebe kann Einperlöffnung blockieren, durch spezielle Konstruktionen kann diese Gefahr erheblich reduziert werden.</li> <li>- Messwerte werden beeinflusst durch hohe</li> </ul>



	Erzeugung eines gleich großen Gasdruckes		<p>auf Schreibbogen und Verwendung von Gasflaschen)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nur Druckübertragungsleitung und Ausperlmundstück werden im Gewässer verlegt, die eigentliche Messtechnik kommt mit dem Wasser nicht in Berührung</li> <li>- wartungsarm</li> <li>- Datenaufzeichnung bzw. –speicherung</li> <li>- Datenfernübertragung möglich</li> </ul>	<p>Fließgeschwindigkeiten bei der Ausperlöffnung.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kontinuierliches Gefälle der Leitung ist notwendig, damit Kondenswasser Messergebnisse nicht verfälschen kann</li> <li>- bei nicht frostfrei verlegter Leitung kann im Winter Kondenswasser gefrieren und die Leitung blockieren</li> <li>- in kalkhaltigen oder ockerhaltigen Gewässern ist Zusetzen der Leitung durch Verkalkung / Verockerung möglich</li> <li>- Wartung muss von geschultem Fachpersonal durchgeführt werden</li> <li>- Beeinflussung durch Dichte des Wassers</li> <li>- erhöhter Strombedarf</li> <li>- Nullpunktdrift möglich bei kontinuierlicher Einperlung</li> </ul>
Ultraschallpegel	Laufzeitmessung akustischer Signale zwischen der Wasseroberfläche und dem Sensor	Ultraschallmesssysteme mit Referenzsensor : 3 cm, einfache Ultraschallpegel erfüllen die in der Hydrometrie geforderte Genauigkeit nicht.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- robust und langzeitstabil</li> <li>- relativ ausfallsicher und wartungsarm</li> <li>- einfache Ultraschallpegel sind kostengünstig</li> <li>- Datenaufzeichnung bzw. –speicherung</li> <li>- Datenfernübertragung möglich</li> <li>- eigentliche Messtechnik kommt mit dem Wasser nicht in Berührung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gemessene Laufzeit des Ultraschallsignals ist temperaturabhängig</li> <li>- Ultraschallpegel mit Referenzsensor zur Kompensation der physikalischen Einflüsse sind kostenintensiv</li> <li>- einfache Ultraschallpegel erzielen nicht die geforderte Genauigkeit</li> <li>- Beeinflussung des Messergebnisses durch Höhenänderung der Trägerkonstruktion z.B. durch Temperaturänderung und Wind</li> <li>- Beeinflussung der Messung durch Eis</li> <li>- nicht geeignet bei Seegang, Gischt, Schaumbildung und Bedeckung durch Wasserpflanzen</li> </ul>

\*In der Praxis erreichbare Messgenauigkeit des Messsystems (zufällige und systematische Abweichung)

Tabelle D.2-1 Übersicht der gängigen Messverfahren für den Wasserstand im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen

### **D.2.2.2 Messverfahren ohne kontinuierliche Registrierung**

(1) Vereinzelt können auch Messverfahren ohne kontinuierliche Registrierung ausreichend sein. In der Regel werden Lattenpegel verwendet, die eine visuelle Ablesung des Wasserstands ermöglichen, hierbei ist es erforderlich, dass der Lattenpegel an einem Pegelfestpunkt höhenmäßig angeschlossen ist. Alternativ kann die Ablesung des Wasserstandes durch eine Messung des Abstichs von einem Höhenmesspunkt aus erfolgen.

(2) Der Wasserstand muss den aktuellen Ruhewasserstand an dem Messstandort wiedergeben. Dafür kann es erforderlich sein, mehrere Einzelmessungen durchzuführen und die Messergebnisse zu mitteln.

(3) Bei diesen manuellen Messungen ist es in jedem Fall erforderlich, dass die Messwerte protokolliert werden und die Besonderheiten der Messungen und der Messstelle notiert werden.

### **D.2.2.3 Selbstregistrierende Messverfahren**

(1) Zur kontinuierlichen Wasserstandsmessung werden heute meist selbstregistrierende Pegel eingesetzt. Zu den selbstregistrierenden Pegeln zählen mechanische Schwimmerpegel, aber auch pneumatisch oder elektrisch arbeitende Pegel. Bei selbstregistrierenden Messverfahren werden die Messdaten entweder analog auf Papier aufgezeichnet oder elektronisch zwischengespeichert und gegebenenfalls übertragen. Während bei der mechanischen Aufzeichnung eine Schreibfeder den jeweiligen Wasserstand kontinuierlich auf Papierbögen überträgt, erfolgt die digitale (elektronische) Registrierung in Messintervallen. Die digitalen Aufzeichnungsintervalle sollten eine Frequenz von 1 Wert pro Minute erreichen.

#### **(2) Schwimmerpegel**

Schwimmersysteme werden in einem Schacht mit Zulauf zum Gewässer bzw. in einem im Gewässer stehenden Pegelrohr installiert. Die Wasserstände bzw. die Veränderung der Wasserstände werden durch einen im Wasser eingetauchten Schwimmkörper mit Hilfe eines Schwimmerseiles oder einer Schwimmerkette gemessen, die die Wasserstandsbewegungen auf einen analogen Pegelschrieb und/oder über einen entsprechenden Wandler/Datenlogger aufzeichnen. Sie sind in der Regel robust und einfach zu installieren und aufgrund ihrer teilweise mechanischen Funktionsweise einfach zu warten.

Messunsicherheiten bei Schwimmerpegeln treten vor allem durch verzögerte Reaktion des Schwimmers auf Wasserstandsänderungen, durch eine verzögerte Reaktion des Schwimmerseils oder durch das Eintauchen des Gegengewichtes auf. Verzögerte Schwimmerstellungen sowie der Einfluss der Schwimmerseilbewegung können durch die Verwendung größerer Schwimmerdurchmesser reduziert werden. Die Gefahr des Eintauchens des Gegengewichtes und der damit verbundenen Verfälschung der Wasserstandsmessung durch Auftriebskräfte kann durch einen genügend hohen Pegelschacht oder die Führung des Gegengewichtes in einem separaten Rohr vermieden werden. Bei längerem Verbindungsrohr zum Gewässer ergeben sich Verzögerungen und Dämpfungen schneller Wasserstandswechsel, diese Gefahr besteht vor allem bei kleinen Öffnungen bzw. bei zu kleinen Filterplatten.

Bei Vermeidung von Messfehlern (z.B. durch falsches Ablesen des Referenzwertes, fehlerhaftes Auflegen der Pegelbögen, falsches Aufsetzen der Schreibfeder oder ungenaue Zeitmessung) und Minimierung von Messunsicherheiten können Schwimmerpegel eine Genau-

igkeit von kleiner 1 cm erreichen. Die in der Praxis erreichbare Messunsicherheit, die sich aus zufälligen und unbekannt systematischen Abweichungen vom wahren Wert ergibt, liegt bei 4,5 cm.

### (3) Drucksondenpegel

Die Einrichtung von Drucksystemen ist gegenüber dem Schwimmersystem mit geringerem baulichem und auch kostenmäßigem Aufwand möglich. Das System ist geeignet, den Wasserstand auch bei Eisgang zuverlässig zu erfassen. Die Registriereinheit muss außerhalb des hochwassergefährdeten Bereichs liegen. Bei der Drucksondenmessung sind Maßnahmen zur Berücksichtigung von Salzgehalts- und Wassertemperaturschwankungen sowie Luftdruckänderungen vorzusehen. Drucksonden können wartungs- und kalibrierungsintensiv sein. Bei Sonden mit Differenzdruckmessungen muss der Druckausgleich gewährleistet sein. Bei der Verwendung von Drucksonden ist bei der Konstruktion der Sondenhalterungen, Schienen oder Aufholmechanismen für die Messeinrichtung zu berücksichtigen, dass der Bereich des Einbauortes über der Sonde frei von Stau- und Sogeffekten ist. Insbesondere durch die Trägerkonstruktion (z.B. Dalben oder weitere konstruktive Elemente) kann in Bereichen starker Tidenströmungen eine erhebliche Beeinflussung der Wasserstandsmessung auftreten. Bei der Planung der Träger und Haltevorrichtungen der Drucksonden ist ein einfaches Aufholen und Einbringen der Sonden zu ermöglichen, um diese zu regelmäßigen Wartungs- und Kontrollzwecken bergen zu können. Die Sonden sind in geeigneter Weise gegen Eigenbewegungen zu sichern, die insbesondere bei Eisbildung auftreten können.

Die in der Praxis erreichbare Messunsicherheit, die sich aus zufälligen und unbekannt systematischen Abweichungen vom wahren Wert ergibt, liegt vor allem wegen der Abhängigkeit von der Dichte bei 8 cm. Ohne Maßnahmen zur Dichtekompensation werden die Qualitätsanforderungen an die Wasserstandsmessung im Küstengebiet und dem küstengewässerbeeinflussten Bereich in der Regel nicht erreicht.

### (4) Einperlpegel

Bei pneumatischen Verfahren der Einperlmethode wird Druckluft oder Stickstoff über eine dünne Messleitung in das Gewässer eingepert. In der Messleitung stellt sich dabei ein Druck ein, der dem Druck der Wassersäule über der Einperlöffnung entspricht. In einem offenen pneumatischen System verhält sich der Druck proportional zum Wasserstand. Der wasserstandsabhängige hydrostatische Druck in der Messleitung wird auf eine Druckdose übertragen. Dort wird der hydrostatische Druck in Bezug zum Luftdruck gesetzt. Aus der Differenz beider Signale ergibt sich nach Umrechnung der Wasserstand. Bei Druckluftsystemen werden die Messgeräte außerhalb des Gewässers installiert, was den Instandsetzungs- und Wartungsaufwand gegenüber Drucksonden reduzieren kann. Als Nachteil der Druckluftsysteme kann die geringere Zuverlässigkeit und die höhere Empfindlichkeit der Technik genannt werden.

Die in der Praxis erreichbare Messunsicherheit, die sich aus zufälligen und systematischen Abweichungen vom wahren Wert ergibt, liegt bei 8 cm und erfüllt damit die Qualitätsanforderungen an die Wasserstandsmessung im Küstengebiet und dem küstengewässerbeeinflussten Bereich in der Regel nicht.

### (5) Radarmessung

Das Radarverfahren ist ein berührungsloses Messverfahren, bei welchem das Prinzip der Laufzeitmessung Anwendung findet. Die Systeme können außerhalb des Bauwerks angebracht werden, aber auch in Pegelschächten oder -rohren. Hierbei wird eine elektromagnetische Welle im Gigahertz-Frequenzbereich von einem Sender abgestrahlt und nach Reflexion

an der Wasseroberfläche von einem Empfänger ausgewertet. Radarwellen liegen größtenteils im Mikrowellenbereich und können aufgrund der Abtastfrequenz auch höherfrequente Wasserstandschwankungen erfassen. Für dieses Messsystem kann aufgrund der berührungslosen direkten Messung und der hohen Messfrequenz eine geringere Unsicherheit des Messwertes angegeben werden als für andere Messsysteme. Radarmessgeräte sind in der Regel relativ einfach zu installieren und wartungsarm im Betrieb. Bei Eisgang sind die Messungen beeinflusst, so dass gegebenenfalls keine korrekten Daten aufgenommen werden.

Die in der Praxis erreichbare Messunsicherheit, die sich aus zufälligen und systematischen Abweichungen vom wahren Wert ergibt, liegt bei 2 cm.

#### (6) Ultraschallmessung

Mit einem Ultraschallgerät wird der Wasserstand berührungslos gemessen. Bei den Ultraschallgeräten werden in der Regel Schallwellen mit einer Frequenz von 16 – 33 Kilohertz verwendet, die von der Wasseroberfläche reflektiert und als Echo wieder empfangen werden. Die Schallgeschwindigkeit hängt sehr stark von der Umgebungstemperatur ab; Eis und starke Gischtbildung behindern und beschränken die Messung, sodass diese Geräte im Küstengebiet selten eingesetzt werden. Bei einigen Instrumenten werden diese systematischen Fehler mittels einer Referenzmessstrecke größtenteils kompensiert. Beim Einsatz von Ultraschallmessgeräten sollten diese Apparate bevorzugt eingesetzt werden.

Die in der Praxis erreichbare Messunsicherheit, die sich aus zufälligen und unbekannt systematischen Abweichungen vom wahren Wert ergibt, liegt bei 3 cm, wenn das System mit einem Referenzsensor ausgestattet ist. Einfache Ultraschallpegel erfüllen die Qualitätsanforderungen an die Wasserstandsmessung im Küstengebiet und dem küstengewässerbeeinflussten Bereich in der Regel nicht.

### **D.2.3 Betriebliche Anforderungen**

(1) Die Ermittlung des Referenzwasserstandes sowie alle besonderen Vorkommnisse sind in einem Beobachtungsblatt zu vermerken.

(2) Wasserstandsmessungen sollen möglichst geschlossene und plausible Rohdatenreihen liefern. Zur Minimierung von Mess- und Aufzeichnungsfehlern sind daher hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Funktionsfähigkeit der Systeme und des Messbetriebes zu stellen.

(3) Die Höhenlage des Pegels muss verlässlich bekannt sein, sie ist regelmäßig zu kontrollieren und die Kontrolle ist zu dokumentieren (siehe auch Kapitel A.3.4.3). Als Richtwert für die regelmäßige Kontrolle kann 2 Jahre angesetzt werden. Gegebenenfalls sollte auch nach Eiswintern oder größeren oder mehreren Sturmfluten eine Kontrolle erfolgen. Für die Lage des Pegelstandortes sind die Koordinaten des Lattenpegels maßgebend und entsprechend als Referenzwert festzulegen. Die Festlegung der Lage des Lattenpegels und gegebenenfalls der ergänzenden Einrichtungen soll im jeweiligen von der Vermessungsverwaltung als amtlich festgelegtem Koordinatensystem erfolgen, bei Seepegeln gegebenenfalls auch in geographischen Koordinaten.

(4) Die Zeitzuordnung der aufgenommenen Wasserstandsdaten erfolgt grundsätzlich in Mitteleuropäischer Zeit MEZ, die Veröffentlichung in gesetzlicher Zeit (GZ). Auch bei den noch vereinzelt eingesetzten analogen Aufzeichnungen der Wasserstandsganglinien erfolgt grundsätzlich eine Zeitzuordnung in MEZ.

(5) Bei Pegelmessstationen, die über keine Datenfernübertragung verfügen, erfolgt eine erste Datenkontrolle beim Wechsel des Pegelbogens bzw. Auslesen des Datensammlers. Dabei ist der aktuell beobachtete Wasserstand am Lattenpegel als Referenzwert mit den Aufzeichnungen des Pegelbogens bzw. der Aufzeichnung des Datensammlers zu vergleichen. Auf dem Pegelbogen sind die Uhrzeit und die Referenzwasserstände zum Zeitpunkt des Bogenwechsels einzutragen. Wenn die Wasserstandsganglinie ausschließlich digital aufgezeichnet wird, sollten die Wasserstände im monatlichen Turnus ausgelesen und Auslesezeitpunkt sowie der dazugehörige Referenzwasserstand auf einer Liste notiert werden. Weiterhin sind Besonderheiten zu dokumentieren, die Einfluss auf die Wasserstandsmessung haben könnten, wie z.B. Eisgang, Verschlickung, Verkrautung, starker Schiffsverkehr oder Beschädigungen. Die möglichst genaue Ablesung des Referenzwasserstands setzt eine ruhige Wasseroberfläche voraus.

(6) Bei Küstenpegeln - insbesondere bei exponierten Seepiegeln - ist aufgrund des Seegangs eine genaue Ablesung der Pegellatte oft nicht durchführbar. Hierbei ist es erforderlich, z. B. durch Mehrfachablesungen oder unter Einsatz von geeigneten Hilfsmitteln wie Dämpfungsrohren eine verlässliche Ermittlung des Referenzwasserstands zu gewährleisten.

(7) Werden Wasserstandszeitreihen gleichzeitig durch zwei Messwertgeber erhoben, sollte die Datenerhebung im Sinne der Konsistenz und Kontinuität der Zeitreihe in der gleichen zeitlichen Auflösung erfolgen. Bei Ausfall eines Messwertgebers kann durch den zweiten Messwertgeber die Zeitreihe ergänzt werden.

Treten, gemittelt über eine längere Zeit, Abweichungen von mehr als 2 cm zwischen Referenzwert und aufgezeichnetem Wert auf, so ist umgehend vor Ort die Fehlerursache zu ergründen. Die Messeinrichtung ist auf ihre offensichtliche Funktionstüchtigkeit zu prüfen und auf eventuelle Beschädigungen zu untersuchen.

Abhängig von der Fehlerursache ist die Abweichung bei der späteren Datenaufbereitung auszugleichen, entweder über den betreffenden Zeitraum verteilt oder ab dem Zeitpunkt, an dem der Fehler aufgetreten ist.

(8) Sofern eine Wasserstandsdatenfernübertragung vorhanden ist, sollte möglichst werktäglich eine Kontrolle mit folgenden Tests durchgeführt werden. Dies kann sowohl automatisch als auch durch Inaugenscheinnahme erfolgen:

- Funktionsfähigkeit der Sensoren,
- Funktionsfähigkeit der Datenübertragung,
- Vollständigkeit der Messwerte,
- Aktualität,
- Überschreitung von Plausibilitätsgrenzen,
- Ausreißertest,
- Vergleich mit Nachbarpegeln,
- Differenzbildung zum redundanten Sensor.

(9) Bei einer manuellen Übernahme von Wasserstandsdaten zur Weiterverarbeitung werden zeitnah die Vollständigkeit der Messwerte und eine Grenzwertüberschreitung geprüft. Ein Vergleich mit Nachbarpegeln und die Übereinstimmung mit einem redundanten Sensor kann ggf. angestellt werden.

## D.2.4 Qualitätsanforderungen

### D.2.4.1 Unterhaltung von Messgeräten

Die Messgeräte sind regelmäßig zu unterhalten und besitzen nur eine begrenzte Lebensdauer. Es wird empfohlen, die Messsysteme gemäß den Angaben nachfolgender Tabelle auszutauschen.

Sensor	Lebensdauer
Lattenpegel mit Parallaxe und Auflösung	ca. 10 Jahre
Schwimmerpegel mit Winkelkodierer	ca. 10 Jahre
Druckmesssonde	ca. 4 Jahre
Radarpegel und geführte Mikrowelle	ca. 5 Jahre
Ultraschallpegel	ca. 5 Jahre

Tabelle D.2-2 Erneuerungszyklen der Messsysteme (Erfahrungswerte)

### D.2.4.2 Ermittlung des Referenzwertes

Der Wasserstand der über den Lattenpegel oder eine Lotvorrichtung ermittelt wird, ist der Referenzwert. Er dient zum Abgleich mit allen weiteren automatisch erfassten Wasserstandsdaten. Ursachen für Qualitätseinbußen können die Messunsicherheit des Messsystems, dessen Messstabilität sowie die störenden Umwelteinflüsse und Beeinflussungen durch die Pegelanlage selbst sein. Im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen muss gegebenenfalls eine höhere Messunsicherheit als im Binnengebiet hingenommen werden. Die maximale Messunsicherheit eines 1 Minuten Einzelwertes wird im Bereich der Küste ein Wert von bis zu 10 cm angegeben, der sich aus zufälligen und unbekannt systematischen Abweichungen vom wahren Wert zusammensetzt.

Anzustreben ist eine deutlich geringere Messunsicherheit.

Bei exponierten Pegelstandorten im Küstengebiet ist gegenüber den von Land aus zugänglichen Pegeln aufgrund von Anfahrtsbedingungen oft nur ein seltener Wartungsbesuch möglich, daher bleibt ein Trend (Drift) häufig unbemerkt und die Unsicherheit erhöht sich. Ein Sprung (Offset) in der Wasserstandszeitreihe ist ein deutliches Zeichen für eine Fehlfunktion der Messstelle, so dass eine außerordentliche Wartung erforderlich ist.

### D.2.4.3 Ermittlung der gesamten Messunsicherheit

Nach Wahl des Messverfahrens muss für jeden Standort die Summe aller Messunsicherheiten gebildet werden. Dies erfolgt durch Addition der Unsicherheiten entweder nach Tabelle D.2-1 oder nach eigenen Feststellungen z. B.:

- Schwimmerpegel mit Winkelkodierer  
Einmessung LP + Ablesung LP + Pegelschacht + Sensor + Seil/Kette,
- Radarpegel an einer Trägerkonstruktion  
Einmessung LP + Ablesung LP + Trägerkonstruktion + Sensor.

Alle bisher im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen eingesetzten Messverfahren erreichen insbesondere bei extremen Verhältnissen nicht grundsätzlich die gewünschte Qualität, so dass hier mit größeren Messunsicherheiten als im Binnengebiet gerechnet werden muss.

#### D.2.4.4 Redundanter Betrieb

Die Ausrüstung einer Messstelle mit redundanten Mess- und Übertragungseinrichtungen erhöht die Ausfallsicherheit und trägt somit zur Verbesserung der Datenqualität bei. Bei einem Einsatz eines redundanten Systems kann gegebenenfalls der routinemäßige Instandhaltungszyklus verlängert werden.

#### D.2.4.5 Instandhaltung

(1) Die Instandhaltung umfasst Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung.

(2) Die Tabelle D.2-3 stellt die verschiedenen natürlichen Einflüsse auf das Aufzeichnungsverhalten dar. Sie zeigt Ursache, Wirkung und die Pflegeart und -intensität.

Arten	Einfluss	Auftreten	Abhängigkeit	Unterhaltung	
				Art	Takt
Biologisch	Muscheln	permanent ganzjährig	Wasserinhaltsstoffe	mechanisch	regelmäßig
	Benthos	diskontinuierlich	jahreszeitlich	biologisch	ereignisgesteuert
Physikalisch	Schwebstoffe organisch und anorganisch (Feinsande, Lehme, Tone)	diskontinuierlich	hydrologische Verhältnisse, teilweise in Beziehung zur Jahreszeit	mechanisch	regelmäßig
Chemisch	Elektrolyse (Korrosion, Oxidation)	permanent z. T. mit Jahresgang	Wasserinhaltsstoffe in Verbindung mit der Hydrometeorologie	mechanisch chemisch	regelmäßig

Tabelle D.2-3 Einflussarten auf die Aufzeichnungssysteme

(3) Die Inspektion der Messanlagen ist mindestens monatlich durchzuführen, sofern es die Rahmenbedingungen zulassen gilt dies auch für Standorte in exponierter Lage.

Die Messeinrichtung ist auf ihre offensichtliche Funktionstüchtigkeit zu prüfen und auf eventuelle Beschädigungen zu untersuchen. Zusätzlich ist eine Kontrolle der Anlagen hinsichtlich der Erfordernisse der Arbeitssicherheit durchzuführen.

Mit der monatlichen Inspektion sind bei Messstellen mit digitaler Aufzeichnung der Wasserstandsganglinie ohne Fernübertragung die Wasserstände auszulesen und der aktuelle Wasserstand (Referenzwert) am Lattenpegel oder anhand der Lichtlotmessung mit der dazugehörigen Zeit abgelesen und dokumentiert werden. Dabei sind Besonderheiten wie z.B. Eisgang, Verschlickung, Verkrautung oder Beschädigungen, die Einfluss auf die Wasserstandsmessung haben können, zu dokumentieren.

Werden bei der Pegelkontrolle Unstimmigkeiten erkannt, und tritt eine Abweichung vom Referenzwert von 2 cm auf oder ist die Messung beeinflusst, ist dies umgehend zu melden und zu dokumentieren.

Mögliche Fehlerursachen können sein:

- fehlerhafte Funktion der Messstelle (beim Pegelschacht Vergleich des Außen- und Innenwasserstandes),

- Beschädigung der Messstelle,
- Sollhöhenunterschied (z.B. durch Hochfrieren des Pegels),
- Strömungsaufstau,
- Temperatur,
- Dichteschichtung,
- falsches Ablesen Pegellatte (Referenzwasserstand) und Vergleich mit Messergebnis, gegebenenfalls Justierung,
- keine Kontrolle der Aufzeichnung auf Vollständigkeit und besondere Ereignisse,
- kein Überprüfen der Messgeräte und der Spannungsversorgung, besonders bei netz-unabhängig betriebenen Geräten,
- Fehlablesung durch Verschmutzung der Pegellatte,
- beeinflussende Veränderungen des Gewässers auf den Wasserstand,
- Verunreinigungen des Schachtes und der Sensoren durch z.B. Treibgut und Spinnweben.

(4) Die Wartung und die Instandsetzung sind mindestens halbjährlich durchzuführen.

- Tätigkeiten gemäß „Inspektion“,
- Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen,
- Pflege des Pegelumfeldes, Spülen des Pegelschachtes/Pegellochrohres,
- gegebenenfalls Batteriewechsel.

Darüber hinaus sind in einem größeren Turnus umfangreichere Arbeiten an der Pegelanlage und deren Umfeld wie Beseitigung von Muschel- und Seepockenbewuchs durchzuführen.

(5) Die Verbesserung / Modernisierung ist anlassbezogen durchzuführen, mögliche Anlässe könnten eine wiederholte Störung oder Ausfall der Anlage oder erhöhte Anforderungen an die Funktion der Messstelle sein.

### **D.3 Durchfluss**

(1) Im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen, im Besonderen bei Tideeinfluss, besteht keine eindeutige Wasserstands-Durchfluss-Beziehung, so dass sich kontinuierliche Durchflüsse nicht aus Wasserständen ableiten, sondern nur über eine Messung der Strömungsgeschwindigkeit und des Durchflussquerschnittes ermitteln lassen.

(2) Die Strömungsgeschwindigkeiten und deren Verteilung sind die Grundlage zur Bestimmung des Durchflusses eines bestimmten Querschnittes.

(3) Die Tidebewegung, die an der Nordsee und den angrenzenden Ästuaren den dominanten hydrologischen Einflussfaktor darstellt, hängt von periodischen astronomischen Kräftewirkungen, von aperiodischen, insbesondere meteorologischen Einflüssen, sowie von geografischen und topografisch-morphologischen Gegebenheiten ab. Sie ist je nach Mondphase, Windstärke und -richtung, Oberwasserzufluss, Verlauf der Küstenlinie und Wassertiefen unterschiedlich. Im Einflussbereich der Tide ändern sich die Fließgeschwindigkeiten örtlich und zeitlich differenziert in Richtung und Stärke. Dieses trifft auch für jede Tiefenposition einer Lotrechten zu.

(4) In tidebeeinflussten Gewässern wird das Durchflussgeschehen durch die Tidewelle überlagert oder bei Sielentwässerung im Tiderhythmus unterbrochen. Dieses trifft auch für den Betrieb von Sturmflusperrwerken zu. Darüber hinaus tritt für den Entwässerungsvorgang bei Schöpfwerksbetrieb eine künstliche Beeinflussung auf.



(5) Der Aufwand an Zeit und Geräten für Strömungs- und Durchflussmessungen in dem hier betrachteten Gebiet ist ungleich größer als für Messungen im Binnengebiet. Daher sollte geprüft werden, ob weitergehende Kenngrößen aufgenommen werden, die die Durchflussmessungen beeinflussen, wie z. B. Leitfähigkeit und Wassertemperatur. Diese Parameter können anschließend zur Verifikation der Durchflussmessungen herangezogen werden. Beim Einsatz von autarken Strömungsmessgeräten kann es sinnvoll sein, diese mit Multiparametersonden (Temperatur, Leitfähigkeit, Druck etc.) auszurüsten.

(6) Auch in der Ostsee und deren Einflussbereich gibt es keine eindeutige Wasserstands-Durchfluss-Beziehung, weshalb auch hier zur kontinuierlichen Durchflussermittlung kontinuierliche Strömungsgeschwindigkeitsmessungen notwendig sind.

(7) Nachfolgend ist eine Auswahl von Punkten aufgeführt, aus denen sich eine Notwendigkeit der Strömungsmessung und entsprechender Durchflussermittlung ergibt:

- Grundlage für wasserbauliche Planungen und der Beweissicherung nach deren Umsetzung,
- Bestimmung der Morphodynamik und Abschätzung der zu erwartenden Entwicklungstendenz,
- Erhebung des Wasseraustauschs,
- Ermittlung der Fluktuation bzw. der Fracht von u.a. Nährstoffen, Salz und Schwebstoffen,
- Bestimmung des Wasserhaushaltsparameters Abfluss,
- Grundlage der Kalibrierung hydronumerischer Modelle.

(8) Für Tideflüsse lässt sich die Notwendigkeit der Strömungsmessung und gegebenenfalls Abfluss- oder Durchflussermittlung im Längs- und Querschnitt konkretisieren:

- Einfluss von Oberwasserzufluss und Tideintensität; saisonale Variabilität und Extrembedingungen (Oberwasserwelle; Sturmflut)
- Einfluss von Ausbaumaßnahmen, Beweissicherung  
Stromspaltung (Häfen, Inseln, Bänke), Verlandungs-, Verlagerungs- und Vertiefungstendenz, Flut- und Ebberinnen; Fahrwassergestaltung

(9) Strömungsmessungen im Tidebinnengebiet finden statt, zur:

- Erfassung der Sielzugmengen, Überprüfung der Sielleistung, als Grundlage zur Erstellung von Sielzugformeln,
- Bestimmung der Schöpfmengen, Überprüfung der Förderleistung der Schöpfwerke.

(10) Im Küstenvorfeld der Nordsee kommen ergänzend hinzu:

- Durchflüsse in Tideströmen, Seegaten und im Watt,
- Morphodynamik der Wattflächen und Priele, Windeinfluss,
- Verlagerung und Veränderung von Außentiefs (Spülkraft des Entwässerungssystems).

(11) Für das Küstengebiet der Ostsee sind ergänzend zu nennen:

- Phytogene Verlandung (Schilfgürtel),
- Drift- und Gefälleausgleichsströmung.

### **D.3.1 Messverfahren**

(1) Da sich die Messverfahren im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen nur teilweise von denen im Binnenbereich unterscheiden, stehen in der nachfolgen-

den Beschreibung die Besonderheiten des Küstengebiets im Mittelpunkt. Hinsichtlich einer darüber hinausgehende Darstellung der Messsysteme wird auf das Kapitel B.5 verwiesen.

(2) Die Messungen lassen sich in mobile und stationäre Verfahren einteilen. Bei den stationären Verfahren findet in der Regel eine kontinuierliche Messung statt, während bei den mobilen Verfahren lediglich kurzzeitig gemessen wird, z.B. über eine Sichelzugzeit oder über eine oder mehrere aufeinanderfolgende Tiden.

(3) Strömungsmessgeräte und automatische Durchflussmessgeräte stellen ein im Betrachtungsgebiet universell einsetzbares Messsystem dar. Dabei handelt es sich um Geräte, die stationär an einem Punkt oder übereinander als Messkette im Gewässer verankert werden. In der Regel werden die Geräte schwimmend mit einem Ankergewicht und einer Leine auf der Gewässersohle verankert oder schwimmend unterhalb eines Auftriebskörpers mit festem Abstand zur Wasseroberfläche ausgelegt, so dass der Abstand der Messgeräte von der Sohle sowie untereinander definiert ist. Auch die Installation dieser Messgeräte an einem speziellen Geräteträger oder Messpfahl kann sinnvoll sein. Je nach örtlicher Gegebenheit erfolgt eine Kombination beider Installationsformen in einer Messkette. Die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung wird z.B. akustisch oder magnetisch-induktiv in der jeweiligen Installationshöhe oder bei an der Sohle zu installierenden Geräten auch über die gesamte Wassertiefe erfasst. Bei der Durchführung von Durchflussmessungen mit Dauerstrommessgeräten ist die Anordnung der Geräte so zu wählen, dass das Tiefen- und Querprofil ausreichend abgedeckt sind. Strömungsmessgeräte lassen sich auch in Bereichen einsetzen, die zeitweise trockenfallen. In diesem Fall wäre eine Installation des Gerätes in einem flachen Gestell sinnvoll, das z.B. auf einer Sandbank positioniert werden könnte. Die Geräte verfügen über eine interne Energieversorgung und Datenspeicherung, so dass der Betrieb über mehrere Wochen autark erfolgen kann. Die Berechnung des Durchflusses kann nur erfolgen, wenn die Dichte der Messmatrix ausreichend hoch ist. Die Geräte lassen sich zudem mit zusätzlichen Sensoren bestücken, mit denen sich u.a. der Wasserdruck, die Trübung, die elektrische Leitfähigkeit, die Temperatur und der Sauerstoffsättigungsindex bestimmen lassen. Einige Messsysteme können mit Datenfernübertragung ausgestattet werden.

(4) Übersicht der gängigen Messverfahren für den Durchfluss im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen:

Messsystem	Messprinzip	minimale Fließgeschwindigkeit	minimale Wassertiefe	Vor- und Nachteile
magnetisch-induktive Sonde	Faraday'sches Induktions-Gesetz	ab 0,001 m/s	ab wenigen cm, abhängig von den bauartbedingten Abmessungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ weniger anfällig für Belegung mit Treibzeug</li> <li>+ Signal direkt proportional <math>v</math>, einfache Nullpunktkontrolle</li> <li>- Störung durch Magnetfelder und elektrisch leitende Materialien</li> <li>- Elektroden müssen frei von Öl und Fett sein</li> <li>- erfordert Mindestleitfähigkeit, im Gewässer i. d. R. gegeben</li> <li>- kein standardisierter Einsatz an Seilkrananlagen</li> <li>- Handhabung bei größeren Fließtiefen umständlich</li> <li>- Sensoren und Bediengeräte sind nicht austauschbar</li> </ul>
mobiler Ultraschall-Doppler (Moving Boat-Methode)	Doppler-Effekt	<p>theoretisch entsprechend dem Punkt- oder Lotrechtenverfahren ab 0,010 m/s</p> <p>praktische Einschränkungen, da sich die Eigenbewegung des Geräts unterhalb der gemessenen Fließgeschwindigkeit bewegen sollte</p>	> 30 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ wenig anfällig für Belegung mit Treibzeug</li> <li>+ sehr zügige Erfassung auch breiter und tiefer Querschnitte</li> <li>+ sehr hohe zeitliche und räumliche Auflösung</li> <li>+ Bezug auf Normalquerschnitt nicht erforderlich, aber möglich</li> <li>+ automatische Fehlerermittlung aus mehreren Messfahrten</li> <li>- blanking distance, keine Messwerte im Bereich der Oberfläche und im Randbereich</li> <li>- Durchflussanteile im Randbereich lassen sich nur extrapolieren</li> <li>- in flachen Profilen ist der tatsächlich messbare Anteil klein</li> <li>- bei geringen Gewässerbreiten wird das Messergebnis ungenau</li> <li>- bewegtes Sohlsubstrat verfälscht das Messergebnis</li> <li>- Störung durch abrupte Tiefenänderungen und hohe Turbulenz</li> </ul>
mobiler Ultraschall Doppler für Punktmessung	Doppler-Effekt	ab 0,010 m/s	ab wenigen cm, abhängig von den bauartbedingten Abmessungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ weniger anfällig für Belegung mit Treibzeug</li> <li>- Mindestabstand der Schallkeulen zu Seitenwänden</li> <li>- kein standardisierter Einsatz an Seilkrananlagen</li> <li>- Handhabung bei größeren Fließtiefen umständlich</li> <li>- Sensoren und Bediengeräte sind nicht austauschbar</li> <li>- blanking distance, keine Messwerte im Bereich der Oberfläche und im Randbereich</li> </ul>
mobiler Ultraschall-Doppler, vertikal integrierend bzw. Section by Section	Doppler-Effekt	ab 0,010 m/s	<p>&gt; 20 cm für Geräte zum Einsatz an Stange, aufwärts messend</p> <p>&gt; 30 cm für Geräte auf Boot, ab-</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ wenig anfällig für Belegung mit Treibzeug</li> <li>+ vergleichsweise zügiges Messverfahren</li> <li>+ sehr hohe Messzellenauflösung in der Lotrechten</li> <li>- blanking distance: keine Messwerte im Bereich der Oberfläche und im Randbereich</li> </ul>

			wärts messend	
Messflügel	Umdrehungs- zählung	> 0,025 m/s, bauartabhängig	ab wenigen cm, abhängig von den bauartbedingten Abmessungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ einfache, leicht nachvollziehbare Funktionsweise</li> <li>+ Signalleitung über die Tragkonstruktion möglich</li> <li>+ nur geringe Stromversorgung für die Aufzeichnung</li> <li>- hoher Wartungsaufwand</li> <li>- empfindlich für mechanische Beschädigung</li> <li>- sehr anfällig für Belegung mit Treibzeug, Kraut</li> <li>- Blockade durch Sandkörner, Vereisung möglich</li> <li>- Handhabung bei größeren Gewässertiefen umständlich</li> <li>- eingehende Eichung erforderlich</li> </ul>

Tabelle D.3-1 Messverfahren für den Durchfluss im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen über Messung der Fließgeschwindigkeit in einzelnen Punkten bzw. Zellen

Messsystem	Messprinzip	minimale Fließgeschwindigkeit	minimale Wassertiefe	Vor- und Nachteile
vertikaler Ultraschall-Doppler	Doppler-Effekt	ab 0,010 m/s	> 20 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ hochaufgelöste Messung des vertikalen Geschwindigkeitsprofils</li> <li>+ hohe Genauigkeit ohne vorhergehende Kalibrierung erreichbar</li> <li>+ gute Vergleichbarkeit mit Ergebnissen aus Punkt-, Lotrechten- und moving-boat-Messungen</li> <li>- erfordert nach Möglichkeit eine starre Gerinnesohle</li> <li>- Konstruktionsaufwand nimmt mit der Gerinnebreite stark zu</li> <li>- Positionierung bedingt stärkere Beanspruchung durch Geschiebe</li> <li>- mögliche Störung durch Luftblasen</li> </ul>
Ultraschall-Laufzeit-Anlage	Messung der Laufzeitdifferenz	ab 0,001 m/s	> 20 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ vergleichsweise geringer Eingriff in das Gewässerbett</li> <li>+ Messungen über größere Querschnittsbreite möglich</li> <li>- stellt hohe Ansprüche an die Konzeption und Evaluierung</li> <li>- regelmäßige Kontrolle des maßgeblichen Gewässerprofils nötig</li> <li>- keine Information über die Geschwindigkeitsverteilung</li> <li>- höherer konstruktiver Aufwand als horizontaler Doppler</li> <li>- verhältnismäßig hoher Strombedarf</li> <li>- hohe Schwebstofffracht kann die Messung unterbrechen</li> <li>- mögliche Störung durch Luftblasen</li> <li>- mögliche Störung durch inhomogene Temperatur bzw. Dichte</li> <li>- blanking distance: keine Messwerte im Bereich der Oberfläche und im Randbereich</li> </ul>
horizontaler Ultraschall-Doppler	Doppler-Effekt	ab 0,010 m/s	> 10 cm	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ geringer konstruktiver Aufwand, auch bei sehr breiten Profilen</li> <li>+ geringer Eingriff in das Gewässerbett</li> <li>- stellt hohe Ansprüche an die Konzeption und Evaluierung</li> <li>- regelmäßige Kontrolle des maßgeblichen Gewässerprofils nötig</li> <li>- Indexverfahren, begrenzter tatsächlicher Messbereich</li> <li>- der Hauptströmungsbereich ist zumindest teilweise zu erfassen</li> <li>- mögliche Störung durch Luftblasen</li> <li>- blanking distance: keine Messwerte im Bereich der Oberfläche und im Randbereich</li> </ul>

Tabelle D.3-2: Kontinuierlich messende Messverfahren für den Durchfluss im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen

### **D.3.1.1 Messflügel und magnetisch-induktives Geschwindigkeitsmessgerät**

(1) Die Funktion eines herkömmlichen Messflügels und eines magnetisch-induktiven Geschwindigkeitsmessgeräts wird in Kapitel B.5 eingehend beschrieben und hier nicht weiter behandelt.

(2) Die Durchflussmessung mit Messflügel oder induktiven Strömungssonden wird nur bei kleinen Sielquerschnitten Verwendung finden, bei denen der Einsatz eines mobilen Ultraschall-Doppler-Messgerätes wegen der Randbeeinflussungen ungeeignet ist. Zu diesem Zweck werden je nach Sielgeometrie Stangenflügel, induktive Strömungssonden oder Flügel an einer Seilkonstruktion eingesetzt. Sich schnell verändernde Strömungsverhältnisse und Wasserstände können mit dieser manuellen Messmethode allerdings nicht immer zuverlässig erfasst werden.

### **D.3.1.2 Ultraschall-Doppler-Messung**

(1) Über die mobile Ultraschall-Doppler-Messung kann die Geschwindigkeitsverteilung in einem Messquerschnitt oder -bereich dreidimensional erfasst werden. Bei der moving-boat Methode wird eine Ultraschall-Doppler-Sonde an einem Schiff, einem Boot oder einem geschleppten Trägerkörper installiert. Letztere lassen sich unter Umständen von einem Querbauwerk aus an einem Seil führen. Die während der Fahrt von der Sonde in Richtung Gewässersohle ausgesendeten Schallsignale werden an Schwebstoffen und der Gewässersohle reflektiert und anschließend wieder von ihr als Echo empfangen. Dabei unterscheidet das Gerät Echos verschiedener Tiefenschichten und liefert ein differenziertes Geschwindigkeitsprofil der jeweiligen Position bzw. des Messquerschnitts oder -bereichs. Ein integriertes Pendel erfasst die Stampf- und Rollbewegung des Schiffes, außerdem wird in der Regel die jeweilige Fahrtrichtung dokumentiert. Über das von der Sohle erhaltene Echo werden die Wassertiefe, die Fortschrittsgeschwindigkeit und der Pfad (bottom-track) des Gerätes über Grund ermittelt, so dass in Bezug darauf die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung des Wassers eindeutig identifiziert werden kann. Mit der Erfassungssoftware lässt sich der Durchfluss eines Messquerschnittes ermitteln. Voraussetzung dafür ist allerdings eine feste und unbewegte Gewässersohle, da die gemessene Strömung vom fahrenden Schiff aus regelmäßig auf den über Grund gemessenen Fahrweg bezogen wird. Im Küstenbereich sind überwiegend Ultraschall-Doppler-Geräte mit einer Ultraschall-Frequenz von 600 kHz gebräuchlich, auch Geräte mit höheren Frequenzen sind im Einsatz. Mit der höheren Messfrequenz kann die Messung in höherer räumlicher Auflösung erfolgen und somit ist auch ein Einsatz in kleineren Querschnitten, z.B. im oberen Abschnitt der Tideflüsse oder auch bei geringerer Wassertiefe möglich. Problematisch für die Messung ist eine hohe Schwebstoffkonzentration, die dazu führt, dass eine höhere Ultraschall-Frequenz den Wasserkörper nicht ausreichend oder gar nicht mehr durchdringt. Selbst Ultraschall-Doppler-Geräte mit einer Frequenz von 600 kHz stellen nicht grundsätzlich einen zuverlässigen Messbetrieb bei hohen Schwebstoffkonzentrationen sicher, wie sie z.B. im Bereich der Trübungszone auftreten. Geräte mit niedrigerer Messfrequenz als 600 kHz wären bei hoher Schwebstoffkonzentration zwar zuverlässiger, erfordern aber größere Wassertiefen, sodass auch der Einsatz derartiger Systeme begrenzt ist. In tieferen Bereichen ist die Schwebstoffbelastung jedoch kein Ausschlusskriterium, da dort die Konzentration geringer ist als in der Trübungszone. Luftblasen, wie sie z.B. unterhalb von Sperrwerken, Wehren oder hinter Schiffen auftreten können, stellen zudem eine Beeinträchtigung der Messung dar. Im Küstengebiet ist oft eine über die Standardinstallation hinausgehende Ausstattung erforderlich, die die im Küstengebiet in der

Regel vorhandene instationäre Gewässersohle mit dem dort teilweise vorhandenen weichen Material (z.B. Flüssigschlick) berücksichtigt.

(2) Eine Zusatzausstattung mit einem Echolot zum eindeutigen Detektieren der Gewässersohle und einer Satellitennavigation zur Positions-, Richtungs- und Geschwindigkeitsbestimmung ist häufig notwendig. Die Satellitennavigation stellt auch bei breiten Messquerschnitten eine zuverlässigere Methode zur Ermittlung des Fahrwegs als das sogenannte bottom-track dar und ermöglicht zudem u.a. eine einfachere Darstellbarkeit der Messergebnisse in den Geoinformationssystemen. Die tidebedingte Änderung der Strömungs- und Tiefenverhältnisse führt bei langen Messfahrten zu Beeinflussungen der Messergebnisse. Bei starker Änderung sind die Daten daher erst mit geeigneter Software zu bearbeiten (post-processing), bevor aus diesen ein korrekter Durchflusswert ermittelt werden kann. Neben der o.g. Beeinflussung der Messung durch Schwebstoffe ist die Ausbreitung von Ultraschall im Wasser hauptsächlich abhängig von der Wassertemperatur und vom Salzgehalt, die parallel zur Messung erfasst werden müssen, um deren Einfluss spätestens im post-processing berücksichtigen zu können.

(3) Bei der Messung sollte ein repräsentativer Anteil des Messquerschnitts erfasst werden. Auch die korrekte Einstellung der Eintauchtiefe der Ultraschallwandler hat für die Datenqualität eine erhebliche Bedeutung.

(4) Bei mobilen Ultraschall-Doppler-System-Messungen in engen Querschnitten, z.B. in Sielkammern mit geringen Breiten aber großen Wassertiefen ist zu beachten, dass die Schallkeule an den Rändern eine Ablenkung erfährt, so dass die Messsignale aus dem Randbereich unbrauchbar sind. Dadurch wird der tatsächlich messbare Bereich auf einen kleinen Teil des Querschnittes eingeengt.

(5) Mobile Ultraschall-Doppler-System-Messungen eignen sich als Kontroll- und Vergleichsverfahren für stationär eingebaute Ultraschall-Laufzeitmessenanlagen.

(6) Bei einer stationären horizontalen Ultraschall-Doppler-Messung wird das Gerät unterhalb des niedrigsten zu erwartenden Wasserstands installiert und sendet den Schallimpuls schräg in Fließrichtung durch das Gewässer. Analog zur mobilen Vertikalmessung kann eine differenzierte Geschwindigkeitsverteilung innerhalb des Messweges wahrgenommen werden. Über eine zugrunde gelegte vertikale Geschwindigkeitsverteilung sind das Strömungsbild des gesamten Querschnitts und der Durchfluss zu schätzen.

### **D.3.1.3 Ultraschall-Laufzeit-Verfahren**

(1) Das Ultraschall-Laufzeit-Verfahren ist ein weiteres stationäres Messprinzip. Bei den gebräuchlichen Anlagen werden die Laufzeit von Ultraschallimpulsen und die Tatsache, dass sich ein Schallsignal gegen eine Strömung langsamer ausbreitet als mit ihr, zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit genutzt (Rupert, 1987). Die Impulse werden schräg zur Hauptströmungsrichtung horizontal zum gegenüberliegenden Ufer gesendet und die Laufzeitdifferenz der Hin- und Rückstrecke ermittelt. Diese steht in einem eindeutigen Bezug zur mittleren Strömungsgeschwindigkeit dieser Messebene und bietet die Grundlage zur Berechnung des Durchflusses. Bei veränderlichen Sohlen ist immer eine höhere Messunsicherheit zu erwarten. Hier ist eine häufige Überprüfung der Höhenlage der Gewässersohle erforderlich.

(2) Der Einfluss von Querströmungen auf die Messqualität kann durch den Einsatz eines Messkreuzes bei Laufzeitverfahren oder durch die Anordnung von 2 Dopplersystemen, die in

unterschiedlichen Richtungen ausgerichtet sind, ausgeglichen werden. Bei größeren Wassertiefen sind Messungen in mehreren Höhenebenen erforderlich.

(3) Die Überprüfung des Messsignals auf Störeinflüsse ist für die Qualität der Messung von besonderer Bedeutung. Oft kann ein zu hoher Schwebstoffanteil, ein Belag auf den Wandlern oder ein Pflanzenbewuchs zwischen den Wandlern am Signal erkannt werden.

(4) Zur Kalibrierung der Anlage sind Referenzmessungen mit mobilen Messverfahren erforderlich.

### **D.3.2 Auswerteverfahren**

(1) Für die stationär eingebauten Durchflussmessanlagen sollen vollständige, homogene Zeitreihen erfasst werden. Weil es in der Regel keine vergleichende Referenzstation gibt, ist das Schließen von Lücken oft gar nicht möglich. Durch die Hinzuziehung des Wasserstandes und möglicherweise vorhandener weiterer Stationen kann gegebenenfalls eine Möglichkeit gefunden werden, Lücken in den Durchflussdaten zu füllen. Grundsätzlich ist die Art und Weise der Lückenschließung für jede Messstelle individuell festzulegen. Eine regelmäßige Überprüfung der Messergebnisse mit mobilen Durchflussmessgeräten ist dringend zu empfehlen. So können Korrekturen bei der geräteinternen Berechnung des Durchflusses rechtzeitig umgesetzt werden, um eine durchgehende, möglichst hohe Qualität beizubehalten. Auch hier ist für jede Messstelle individuell festzulegen, in welchen zeitlichen Abständen und bei welchen hydrologischen Gegebenheiten (z.B. bei Hochwasser) Kontrollmessungen durchzuführen sind.

(2) Bei der Durchführung der mobilen Durchflussmessung mit Ultraschall-Doppler-Messgeräten wird eine Vielzahl von Parametern erfasst, die für die Beurteilung des Messergebnisses zur Verfügung stehen. Mit allen Herstellerprogrammen ist es möglich, die Geschwindigkeitsergebnisse der einzelnen Messzellen in einer Graphik zu visualisieren und somit die Verwendbarkeit der Messung zu prüfen. Grundsätzlich empfiehlt es sich, mehrere Überfahrten durchzuführen, um einen gesicherten Mittelwert für das Durchflussmessergebnis zu bekommen. Mindestens vier Überfahrten sind zu empfehlen. Bei Überfahrten auf breiteren Gewässern ist die Anzahl der Überfahrten individuell festzulegen. Bei sich schnell verändernden Strömungsverhältnissen sind Verlaufsmessungen durchzuführen. Hier ist jede Überfahrt als einzelnes Messergebnis zu betrachten. Es kann dann nur geprüft werden, ob die Messergebnisse dem erwarteten Verlauf der Fließgeschwindigkeiten entsprechen. Die Einzelmessungen sind untereinander zu vergleichen. Abweichungen sind individuell zu behandeln, gegebenenfalls sind einzelne Messergebnisse zu verwerfen.

### **D.3.3 Betriebliche Anforderungen**

(1) Bei der Durchführung von Strömungs- und Durchflussmessungen ist besonders auf Bedingungen zu achten, die einen Einfluss auf die Messungen und auf die Messdaten haben können. Diese sind:

- Baumaßnahmen am Gewässer,
- Verkrautung,
- instabile Gewässersohle bei der Messung mit Ultraschall-Doppler-Geräten,
- Ablagerungen auf den Wandlern von Ultraschall-Laufzeitanlagen,
- großer Schwebstoffgehalt im Gewässer bei der Messung mit Horizontaldopplern,



- nicht erfasste Veränderungen im Messprofil, die die Durchflussberechnung beeinflussen,
- Schichtungen im Gewässer, die Dichteströmungen oder Signalablenkung verursachen.

(2) Eine umfangreiche Dokumentation der Messungen und der Rahmenbedingungen ist zwingend durchzuführen.

(3) Die Speicherung der Messdaten erfolgt generell digital mit Datenloggern. Aufzeichnungen auf Papier sind nicht gebräuchlich. Der Mess- und Speichertakt ist der für die Fragestellung benötigten Datendichte und Datenqualität, individuell für jede Messstelle, anzupassen. Die Durchflussmessgeräte sind in regelmäßigen Abständen zu eichen bzw. zu kalibrieren.

#### **D.3.4 Qualitätsanforderungen**

(1) Obwohl die Messgeräte selbst mit einer geringen Unsicherheit die Strömungsgeschwindigkeit erfassen können, ist die erreichbare Qualität der Durchflussermittlung im Messquerschnitt stark abhängig von den äußeren Gegebenheiten.

(2) Die Messverfahren und die Messdurchführung zur Durchflussbestimmung sind so zu wählen und auszuführen, dass grundsätzlich die Messunsicherheit gering gehalten wird. Die für einzelne Durchflussmessungen im Binnengebiet angegebene auf den Messwert bezogene relative Standardunsicherheit von weniger als 10 % ist im Küstengebiet und den küstengewässerbeeinflussten Bereichen nicht immer zu erreichen. Höhere Unsicherheiten müssen bei besonderen Situationen in Kauf genommen werden. Hierzu zählen Hoch- oder Niedrigwasser, keine eindeutige Profiluordnung, Turbulenzen sowie Strömungs- und Salzgehaltsschichtungen. Eine umfangreiche Dokumentation der Messungen und der Rahmenbedingungen ist unverzichtbar. Folgende Punkte sind zu beachten:

- Plausibilisierung der gemessenen Strömung bzw. Durchflüsse (z. B. durch Vergleichsmessung),
- Durchführung von regelmäßigen Vergleichs- und Kontrollmessungen (gegebenenfalls in Abhängigkeit festgestellter Abweichungen, siehe auch Kapitel 4.1.4 Grundsätze zur Qualitätssicherung in der Gewässerkunde),
- Laufende Kontrolle und Kalibrierung der Messgeräte,
- Durchführung von Ergänzungsmessungen wie Wasserstand, Seegang, Temperatur, Leitfähigkeit, Wind, Lotungen,
- Überprüfung des Messquerschnitts in Abhängigkeit der morphologischen Dynamik.

Alle Messungen sind zu dokumentieren. Wenn von den definierten Qualitätszielen abgewichen werden muss, ist diese Abweichung zu begründen und zu dokumentieren.

**Teil E**  
**Daten und Kenngrößen – Küste**

## Autoren

Andreas Engels	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Niedersachsen
Bodo Heyenga	Hamburg Port Authority, Hamburg
Dr. Thomas Hirschhäuser	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume, Schleswig-Holstein
Frerk Jensen	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz, Schleswig Holstein
Volker Neemann	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt - Außenstelle Kiel
Doris Wolf	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz, Schleswig Holstein

## E. Daten und Kenngrößen – Küste

### E.1 Datenerhebung und -aufbereitung

#### E.1.1 Allgemeines

(1) Die am Pegel ermittelten Wasserstände und Durchflüsse geben die örtlichen, am Pegel vorhandenen, hydrologischen Verhältnisse wieder. Sie sollten in Bereichen mit hohem Wasserstandsgradienten in einer Auflösung von 1 Minute und ansonsten in einer Auflösung kleiner als 5 Minuten vorliegen. Es können Momentanwerte sein oder auch Mittelwerte mehrerer Einzelwerte (z.B. Tageswerte).

(2) Die Aufbereitung und Ermittlung von Tages- und Hauptwerten erfolgt auch mit Hilfe statistischer Methoden mit dem Ziel,

- die lokalen hydrologischen Verhältnisse in ihrer zeitlichen Varianz anhand weniger Kennwerte zu charakterisieren und
- die hydrologischen Verhältnisse für einen größeren Bereich anhand vergleichbarer Parameter zu beschreiben.

(3) Die hydrologischen Verhältnisse im Küstengebiet und in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen unterscheiden sich grundlegend von denen des Binnengebietes:

Im Gegensatz zum Binnengebiet, wo in der Regel der Durchfluss als dominante Größe die Höhe des sich einstellenden Wasserstandes bestimmt, ist im Küstengebiet der Wasserstand aufgrund des quasi unendlichen Wasservolumens der dominante hydrologische Faktor.

An der Nordsee ist das Tidegeschehen der dominante hydrologische Einflussfaktor, der aufgrund der Zyklizität der Tide eine differenzierte hydrologische Auswertung erfordert.

Zwischen Binnen- und Küstengebiet erstreckt sich ein Bereich, der entweder als frei fließender Übergang ausgestaltet ist oder durch eine scharfe Trennung in Form eines Bauwerks zu einer charakteristischen Veränderung der hydrologischen Verhältnisse führt.

(4) Die hydrologische Auswertung muss diesen grundlegenden Unterschieden Rechnung tragen. In den küstengewässerbeeinflussten Bereichen können folgende prinzipielle Beeinflussungen auftreten, die hinsichtlich der Ermittlung von Kennwerten differenziert zu betrachten sind. Die einzelnen Typen können sich auch gegenseitig überlagern. Aufgrund der Randbedingungen kann sich die Zuordnung zum Beeinflussungstyp zeitweise ändern:

Typen	Tide	Ostsee
Freier Übergang – küstendominant	Freier Übergang zwischen Binnenbereich und Küste - küstendominant	Freier Übergang zwischen Binnenbereich und Küste – küstendominant
Freier Übergang – binnendominant	Freier Übergang zwischen Binnenbereich und Küste - binnendominant	Freier Übergang zwischen Binnenbereich und Küste – binnendominant
regelmäßige Absperrung	sielbeeinflusste Systeme	nicht vorhanden
zeitweilige Absperrung	sperrwerksbeeinflusste Systeme	siel- oder sperrwerksbeeinflusste Systeme
künstliche Entwässerung	Schöpfwerk	Schöpfwerk

Tabelle E.1-1 hydrologische Beeinflussungstypen in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen

(5) Folgende Gesichtspunkte sind ohne Anspruch auf Vollständigkeit bei der hydrologischen Auswertung an Pegeln in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen zu bedenken:

**Freier Übergang – küstendominant:** Bei einer küstengebietsorientierten Auswertung ist zu beachten, dass die Wasserstände vom Binnenabfluss beeinflusst sein können. Bei der hydrologischen Auswertung von Durchflüssen ist zu beachten, dass im Wesentlichen Küstenwasserbewegungen gemessen werden.

**Freier Übergang – binnendominant:** Bei einer binnengebietsorientierten Auswertung ist zu beachten, dass der Einfluss der Küstengebietswasserstände mit abnehmendem Abfluss steigt und bei zunehmendem Abfluss fällt. Bei der hydrologischen Auswertung von Durchflüssen ist zu beachten, dass es zu wechselnden Durchflussrichtungen kommen kann.

**Regelmäßige Absperrung (sielbeeinflusste Systeme):** Bei der Ermittlung von Tageswerten ist zu beachten, dass die Wasserstandsverhältnisse im Allgemeinen im Tiderhythmus variieren. Bei einer binnengebietsorientierten Auswertung ist zu beachten, dass maximaler und minimaler Durchfluss nicht mit dem maximalen und minimalen Wasserstand zusammenfallen, negative Durchflüsse möglich sind und die Niedrigwassersituationen stark durch die hydrologischen Verhältnisse im Küstengebiet geprägt sein können.

**Zeitweilige Absperrung (sperrwerksbeeinflusste Systeme Tide, siel- und sperrwerksbeeinflusste Systeme Ostsee):** Bei der hydrologischen Auswertung ist zu beachten, dass zusätzlich zu den bei der Auswertung zu berücksichtigenden Faktoren des freien Übergangs temporär die Beeinflussungen einer Absperrung zu beachten sind.

**Künstliche Entwässerung (Schöpfwerksentwässerung):** Bei der hydrologischen Auswertung ist zu beachten, dass Wasserstände und Durchflüsse stark von der technischen Leistungsfähigkeit des Schöpfwerks sowie vom Ein- und Ausschaltpegel abhängen.

## E.1.2 Plausibilisierung der Messdaten

(1) Die Plausibilisierung von Messwerten ist die Grundlage für eine weitere statistische Auswertung hydrologischer Daten. Die Datenreihe hat folgende Kriterien zu erfüllen:

### Kontinuität

- Sämtliche Verfahren zur statistischen Auswertung von Wasserstandszeitreihen sowie zur Bestimmung mittlerer Tidekurven setzen lückenfreie Zeitreihen voraus.

## Konsistenz

- Bei Daten, die durch Gerätedefekte, Gerätefehler oder Ablese- und Übertragungsfehler beeinflusst sind, ist der Fehler in der Zeitreihe zu korrigieren und zu dokumentieren.

## Homogenität

- Für die weitere Auswertung ist es hilfreich an der Datenreihe zu vermerken, wann eine Veränderung am Gewässer durch anthropogene Einflüsse (Baumaßnahmen) oder Sedimentation und andere Beeinträchtigungen der Wasserstandsaufnahme zu verzeichnen sind.
- In der hydrologischen Praxis ist die Homogenität einer Abflusszeitreihe gegeben, wenn das dadurch beschriebene Regime nicht durch natürliche oder anthropogene Beeinflussungen im Einzugsgebiet verändert ist.

## Plausibilität

- Die Daten müssen in ihrer Größenordnung nachvollziehbar sein.

(2) Bei der Datenkontrolle und Datenaufbereitung sind folgende Arbeitsschritte durchzuführen:

### Abgleich (Höhe und Zeit) mit dem vorhergehenden Registrierabschnitt

- Wenn Abweichungen zwischen Beobachterwerten und registrierten Werten bereits ausgeglichen wurden, dürfte es bei den Anschlüssen keine Verschiebungen oder Sprünge geben. Ausnahme ist eine Fehlangebe des Beobachters.

### Prüfung auf Lücken:

- Bei einer Ganglinie können kleinere Lücken manuell oder durch Interpolation geschlossen werden.
- Zum Schließen größerer Lücken ist auf Redundanzmesswerte (zusätzlicher Messwertgeber am gleichen Messort) zurückzugreifen. Anderenfalls ist die Lücke mit Hilfe eines Vergleichspegels zu schließen.
- Lücken sollten nur dann gefüllt werden, wenn die Werte hydrologisch sinnvoll sind.
- Die ermittelten Tidescheitel sind als eigene Zeitreihe zu betrachten. Fehlen Tidescheitel in der Zeitreihe, sind diese zu ergänzen.

### Prüfung auf Ausreißer:

- Ausreißer über nur einige Messintervalle sind in der Regel offensichtlich und können manuell ausgeglichen werden.
- Ausreißer über einen längeren Zeitraum sind zu eliminieren und die dabei entstehende Lücke entsprechend des weiter oben geschilderten Vorgehens zu schließen.

### Ganglinienvergleich von Mess- und Vergleichsmessstellen:

- Unabhängig vom Auftreten von Lücken und Ausreißern sollte der Ganglinienverlauf mit den Daten der Redundanzmessung(en) (wenn vorhanden) oder einer Vergleichsmessstelle verglichen werden.
- Wenn sich der Zusammenhang zwischen Messstelle und Vergleichsmessstelle ändert, kann die Ursache in fehlerhaften Messwerten oder in einer tatsächlichen Änderung des Wasserstandsverlaufs z.B. aufgrund von geänderten morphologischen Gegebenheiten liegen. Für die Erkundung der Ursache eines geänderten Verlaufs ist die Ortskenntnis von wesentlicher Bedeutung.

Über- bzw. Unterschreiten eines vorgegebenen Wertes:

- Für manche Messstellen können Grenzwerte für den Wasserstand definiert werden. Dies ist z.B. bei einem Pegel, der im Tideverlauf trockenfällt, der Fall.

(3) Eine Datenkorrektur ist zu dokumentieren, Fehlerursache und Höhe der Korrektur sind hierbei anzugeben.

(4) Sind am Pegel redundante Messwertgeber vorhanden, legt der Pegelbetreiber fest, welcher primär verwendet wird. Der primäre Messwertgeber ist jener, von dem auszugehen ist, dass er eine höhere Zuverlässigkeit hat.

### E.1.3 Kennungen der plausibilisierten Zeitreihe

#### E.1.3.1 Kennzeichnung durch Kennungen

(1) Zur Bezeichnung ergänzter oder veränderter Wasserstandswerte sind folgende Kennungen zu verwenden:

„e“ Ergänzung / Korrektur von Fehlwerten bzw. Lücken, die länger als 15 min sind

„b“ beeinflusste Werte (z.B. durch Steuerung eines Bauwerkes)

Die Kennungen werden bei Hauptwerten, die aus der Ganglinie erzeugt werden, mitgeführt.

(2) Der beobachtete Eisstand an den Pegeln ist zu dokumentieren. Dies ist vom jeweiligen Pegelbeobachter an den Pegelbetreiber zu melden. Die Attribute werden den Tagen auf der Wasserstandsliste zugeordnet.

Schlüsselzahlen gemäß Ostsee-Eiskode (WMO) A <sub>B</sub> Menge und Anordnung des Meereises		Attribut gemäß Wasserstandsliste
0	eisfrei	entfällt
1	offenes Wasser Bedeckungsgrad kleiner 1/10	R
2	sehr lockeres Eis Bedeckungsgrad 1/10 bis 3/10	T
3	lockeres Eis Bedeckungsgrad 4/10 bis 6/10	
4	dichtes Eis Bedeckungsgrad 7/10 bis 8/10	
5	sehr dichtes Eis Bedeckungsgrad 9/10 bis 9+/10	D
6	zusammengeschobenes oder zusammenhängendes Eis Bedeckungsgrad 10/10	
7	Eis außerhalb der Festeiskante	V
8	Festeis	
9	Rinne in sehr dichtem oder zusammengeschobenen Eis oder entlang der Festeiskante	
/	außerstande zu melden	entfällt

R = Randeis, T = Treibeis, D = Eisdecke und Eisstand, V = Eisversetzung, Eisstau

Tabelle E.1-2 Kennungen des Wasserstandes nach Eiseinfluss an der Ostsee

#### E.1.3.2 Mitführung von Kennungen bei abgeleiteten Zeitreihen

(1) Hochauflösende Werte und Terminwerte

Eine Kennung „e“ erhalten alle diejenigen Werte in der abgeleiteten Zeitreihe, bei denen bei den entsprechenden Werten in der Entstehungszeitreihe eine Kennung „e“ vorhanden ist.

(2) Mittelwerte (auch Tidemittelwasser)

Eine Kennung „e“ erhalten in der abgeleiteten Zeitreihe alle diejenigen Werte, bei denen mehr als 1/3 der relevanten Werte der Entstehungszeitreihe eine Kennung „e“ aufweisen. Dabei werden Jahre ohne Messergebnisse (Ausfalljahre) aber nur dann nicht berücksichtigt, wenn es nicht möglich ist, die fehlenden Werte hydrologisch begründet zu ergänzen. Die Ausfalljahre sind anzugeben, z.B. MaiTmw 1941/50 (ohne 1945).

(3) Scheitelwerte im Tidebereich

Manuelles Setzen der Kennung „e“ per Hand für einen Wert ist möglich.

## **E.2 Hydrologische Auswertung**

### **E.2.1 Definitionen**

(1) In Tabelle E.2-1 sind Definitionen zur Wasserstandsauswertung aufgeführt.



<b>Tidennummer</b>	Die Tiden werden für jedes Abflussjahr fortlaufend durchnummeriert. Die Tide, bei der am Pegel Borkum Fischerbalje das erste Hochwasser eines Abflussjahres eintritt, erhält die Nummer 1.	Wert zwischen 1 und 708
<b>Zeitangaben</b>	Tages- / Monatsanfang	00:00 Uhr
	Tages- / Monatsende	23:59 Uhr
	Zeitintervall	Zeitabschnitt zur Bestimmung der Einzelwerte
		Im Küstengebiet in der Regel 1 Minute, in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen teilweise bis 5 Minuten
	Zeitabschnitt	zusammenhängende Teile bis zu einem Jahr
	Zeitspanne	zusammenhängende Reihe mehrerer Jahre
	weitere Kennwerte	Eintrittszeitdifferenzen $E_{d_{Thw}}$ und $E_{d_{Tnw}}$ ; $T_F + T_E$ ; $T_T$
<b>Wasserstandswerte der elektronischen Erfassung</b>	Messwerte	In Intervallen gemessene Werte, z. B. 1 Minute
	Momentanwerte	Mittelwerte aus 1 bis zu 5 aufeinander folgenden Messwerten
<b>Wasserstandswerte der hydrologischen Auswertung</b>	Einzelwerte	Momentanwert oder Mittel der Messwerte eines Zeitintervalls, Angabe in „cm“
	Tageswerte	<u>Tide</u> : Thw und Tnw mit ihren Eintrittszeiten
		<u>Ostsee</u> : Tagesmittel, Terminwert, HW und NW mit Eintrittszeiten
	Hauptwerte	statistische Werte (DIN 4049-1, 4049-3)
weitere Kennwerte Tide	Thb, Tmw, $T_{1/2w}$ , $T_T$ , $T_F$ , $T_E$ , Tidestieg, Tidefall.	
<b>Rundung</b>	Wasserstand	Gerade-Zahl-Regel
	Zeiten	≥ 30 Sekunden Aufrundung

Tabelle E.2-1 Hydrologische Wasserstandsauswertung

(2) In Abbildung E.2-1 sind die bedeutendsten Tidekennwerte visualisiert.

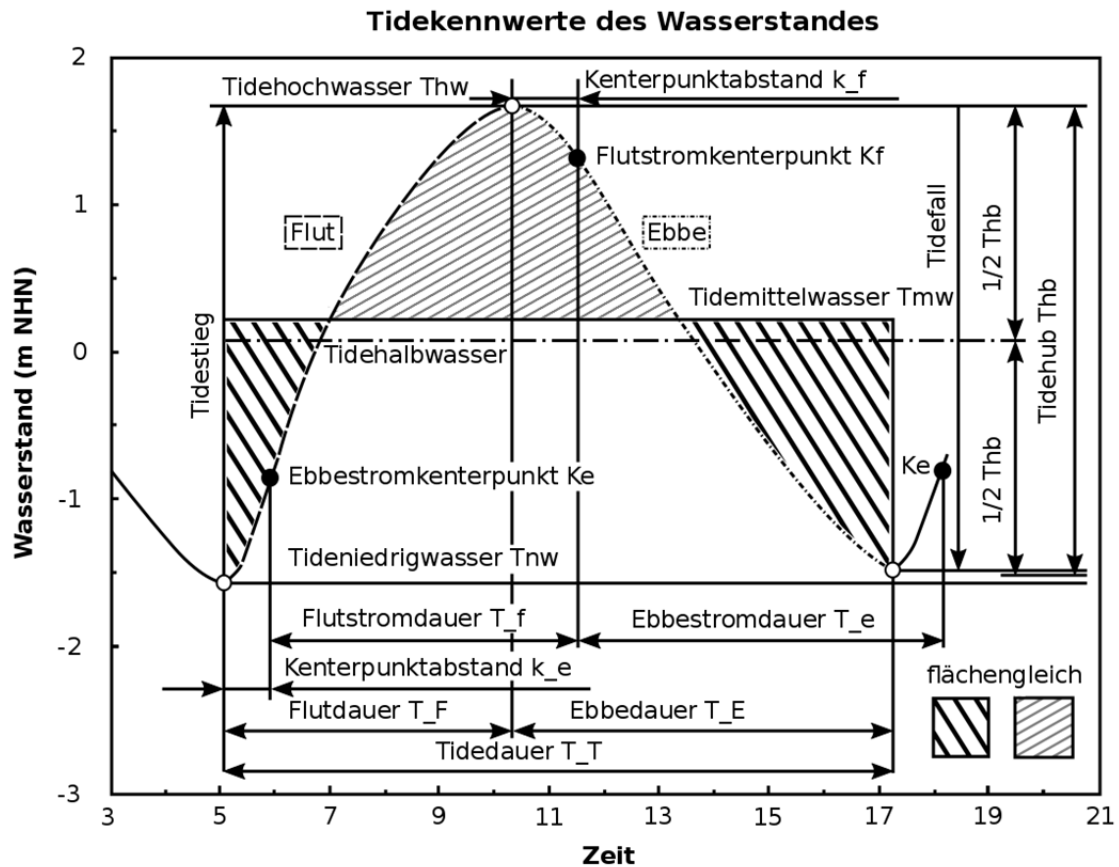


Abbildung E.2-1 Tidekennwerte des Wasserstandes und der Strömung

## E.2.2 Tageswerte

### E.2.2.1 Tageswerte im Küstenraum der Nordsee und ihrer Ästuarie

- (1) Eine Tide beginnt beim Tideniedrigwasser (Tnw) und geht über das folgende Tidehochwasser (Thw) bis zum nächsten Tnw. Alle Tiden werden fortlaufend nummeriert, die Tide, bei der am Pegel Borkum-Fischerbalje das erste Hochwasser eines Abflussjahres eintritt, erhält die Nummer 1.
- (2) Das Tidehochwasser (Thw) ist der höchste Wert der Tidekurve zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tideniedrigwasser (Tnw). Das Tideniedrigwasser (Tnw) ist der niedrigste Wert der Tidekurve zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tidehochwasser (Thw).
- (3) Tageswerte sind die täglichen Tnw und Thw mit ihren Eintrittszeiten. Der Mittelwasserbereich ist im Allgemeinen nicht beschrieben. Entsprechende Werte werden nur in Sonderfällen errechnet.
- (4) Bei digital vorliegenden Daten werden die Tageswerte in der Regel aus 1-Minuten-Werten berechnet. Die Scheitelwerte werden mit mathematischen Verfahren ermittelt. Im Bedarfsfall sind Plausibilitätsprüfungen vorzunehmen.
- (5) Ist das Tnw oder Thw derart beeinflusst, dass die Aufzeichnung fast horizontal verläuft, sind die Scheitel festzulegen und zu kennzeichnen.

(6) Die Tageswerte, ihre Monatssummen sowie die daraus errechneten Mittelwerte werden in Monatslisten zusammengestellt. Die Tiden sind ab Beginn des Abflussjahres durchnummerieren. Die Nummern sind in den Monatslisten aufzuführen.

(7) Bei außergewöhnlichen Tideabläufen (nicht klar erkennbare Tnw oder Thw bzw. Auftreten zusätzlicher Maxima und Minima) sind so viele Tageswerte zu bestimmen, wie astronomisch zu erwarten wären, und zu kennzeichnen.

### **E.2.2.2 Tageswerte im Küstengebiet der Ostsee**

(1) Tageswerte sind die Tagesmittelwerte.

(2) Da die Ostsee kaum Tidehub aufweist, werden keine Tidescheitelwerte ermittelt. Windbedingt können innerhalb eines Tages erhebliche Wasserstandsschwankungen auftreten, so dass zusätzlich der niedrigste und der höchste Wert des Tages aufzuführen sind.

(3) Bisher erfolgte die Auswertung teilweise auf täglich einem Terminwert. Um keinen Bruch in der Statistik längerer Reihen entstehen zu lassen, können bis auf weiteres auch diese Werte aufgeführt werden.

### **E.2.2.3 Tageswerte in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen**

(1) Es wird empfohlen, die in Tabelle E.2-2 dargestellten Werte je nach Fragestellung und Anforderung als Tageswerte zu ermitteln.

(2) Je nachdem, welche hydrologische Beeinflussung im Betrachtungsgebiet (Beeinflussungstypen) vorherrschen, sollten auch die entsprechenden Tageswerte ausgewertet werden. Für den Beeinflussungstyp "freier Übergang - küstendominant" sind die Kriterien für die entsprechende Küste zu verwenden. Für die Typen „freier Übergang- binnendominant, regelmäßige Absperrung und künstliche Entwässerung“ sind die Kriterien für den Binnenbereich zu verwenden. Für den Typ „zeitweilige Absperrung“ sind die Kriterien für die jeweils dominant vorherrschende Beeinflussung zu verwenden.

(3) In der Regel werden die Tagesmittelwerte aus den hochaufgelösten Zeitreihen einschließlich der beiden Tagesextremwerte gebildet oder es werden die Tidescheitel bestimmt. Bei Sonderfällen können auch beide Auswertungen erforderlich sein. Werden an siel- oder sperrwerksbeeinflussten Gewässern Thw und Tnw ermittelt, so sind die Tidenummern des Außenpegels zu verwenden.

				Typ Freier Übergang, küstendominant	Typ Freier Übergang, binnendominant	Typ zeitweilige Absperung	Typ regelmäßige Absperung	Typ künstliche Entwässerung
Tageswerte	Mittelwert	Binnen	$W_{\text{mittel,Tag}}$	-	+	+ od. -	+	+
			$Q_{\text{mittel,Tag}}$	-	+	+ od. -	+	+
	Minimalwert	Tide	Tnw	+	-	+ od. -	-	-
			Thw	+	-	+ od. -	-	-
Maximalwert								

Tabelle E.2-2: Tageswerte in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen

+: Auswertung in der Regel sinnvoll;

–: Auswertung in der Regel nicht sinnvoll;

+ od. –: Auswertung je nach Fragestellung sinnvoll

## E.2.3 Hauptwerte

### E.2.3.1 Überblick

(1) Hauptwerte sind die gebräuchlichsten statistischen Werte.

Sie sind in Tabelle E.2-3 zusammengefasst. Folgende Hinweise werden gegeben:

- Die Zeichen der Zeilen 2 bis 6 sowie 8 und 9 beziehen sich ohne weiteren Zusatz auf das volle Jahr von 365 oder 366 Tagen eines hydrologischen Jahres (1. November bis 31. Oktober) oder einer Jahresreihe aus hydrologischen Jahren; die Jahreszahlen sind dem Zeichen anzuhängen. Bei den niedrigsten und höchsten bekannten Werten (Zeilen 1 und 7) tritt an die Stelle dieser Jahreszahlen das Eintrittsdatum des als Extremwert festgestellten Wertes. Alle Werte (außer die Halbjahresangaben) können auch auf Kalenderjahre bezogen werden. Sie sind dann durch ein nachgestelltes K zu kennzeichnen (z. B. MNTnw 1981/2010 K).

Beispiele:

HThw 2010: höchster Tidehochwasserstand des hydrologischen Jahres 2010

HThw 1976/2010: höchster Tidehochwasserstand der Jahresreihe 1976/2010

NNTnw 18.10.1959 (seit 1946): niedrigster bekannter Tideniedrigwasserstand seit 1946

- Auch den Werten mit Jährlichkeit ist immer die Jahresreihe anzuhängen, die für die Ermittlung des Wertes zur Verfügung stand (HThw<sub>100</sub>1961/2010). Bei Halbjahreswerten ist die Abkürzung Wi für das Winterhalbjahr und So für das Sommerhalbjahr voranzustellen, bei Monatswerten die Abkürzungen Nov, Dez, Jan, Feb, Mrz, Apr, Mai, Jun, Jul, Aug, Sep, Okt.
- Arithmetische Mittelwerte dürfen nur aus Werten gleichen statistischen Gewichtes gebildet werden.
- Zu den Zeilen 1 und 7: Die niedrigsten und höchsten bekannten Werte sind zusätzlich zu den Werten der Zeilen 2 und 6, die sich auf die angegebene Zeitspanne beziehen,

nur dann anzugeben, wenn sie aus einer längeren Zeitspanne als bei Zeile 2 oder 6 stammen. Die niedrigsten bzw. höchsten bekannten Werte werden nur für das volle hydrologische Jahr angegeben.

- Zu den Zeilen 2 und 6: Im Gegensatz zu den Werten gemäß Zeilen 1 und 7 beschränken sich die Werte der Zeilen 2 und 6 auf die angegebene Zeitspanne. Sie können mit den niedrigsten und höchsten bekannten Werten identisch sein.

Zeile				<b>Tidegebiet</b>		
				<i>Tide...wasserstand</i>		
				...niedrig...	...hoch...	
				Tnw	Thw	
				[cm]		
1	niedrigste, mittlere und höchste Werte	untere Werte	<b>NN.</b> niedrigster bekanntester	Wert	niedrigster bekannter Tide ...wasserstand	
2			<b>N.</b> niedrigster		niedrigster Tide ...wasserstand	
3			<b>MN.</b> mittlerer niedrigster	<b>NNTnw</b>	<b>NNThw</b>	
4		mittlere Werte	<b>mM.</b> niedrigster mittlerer	Wert einer Zeitspanne	mittlerer niedrigster Tide ...wasserstand	
			<b>M.</b> arithmetisc h mittlerer		<b>MNTnw</b>	<b>MNThw</b>
			<b>hM.</b> höchster mittlerer		mittlerer Tide...wasserstand	
5		höchste Werte	<b>MH.</b> mittlerer höchster		<b>MTnw</b>	<b>MThw</b>
	<b>H.</b> höchster		mittlerer höchster Tide...wasserstand			
<b>HH.</b> höchster bekanntester	<b>MHTnw</b>		<b>MHThw</b>			
6	<b>H.</b> höchster		höchster Tide...wasserstand			
7			Wert	<b>HTnw</b>	<b>HThw</b>	
				Wert	höchster bekannter Tide...wasserstand	
					<b>HHTnw</b>	<b>HHThw</b>
8	sonstige statistische Werte	Werte der Dauerlinie	Z. Median Zentra- lwert		im Tidegebiet nicht ermittelt	
9			$\bar{x}$			
10		Werte aus Niedrigwasser- zeitabschnitten	$N\bar{M}_x$			
11			$N\bar{x}$			
12		Werte mit Jährlichkeit	$N\bar{M}_{x,T}$			
13			$N\bar{x}_T$			
14			$M_T$			
15			$H_T$			
					Tide...wasserstand, der im Mittel in T Jahren einmal erreicht wird	
					<b>NTnw<sub>T</sub></b>	<b>HThw<sub>T</sub></b>

Tabelle E.2-3 Hauptwerte nach DIN 4049

- Zu den Zeilen 3 und 5: Der mittlere niedrigste bzw. höchste Wert sind das arithmetische Mittel aus den niedrigsten bzw. höchsten Werten mehrerer aufeinanderfolgender hydrologischer Jahre oder der einzelnen Halbjahre oder der jeweils gleichen Monate mehrerer aufeinanderfolgender hydrologischer Jahre.

Beispiele:

MHThw2001/2010: Mittel aus den zehn HThw-Werten der zehn aufeinanderfolgenden hydrologischen Jahre 2001 bis 2010

NovMHThw 2001/2010: Mittel aus den zehn NovHThw-Werten der zehn aufeinanderfolgenden hydrologischen Jahre 2001 bis 2010

- Zu Zeile 15: Die Jährlichkeit T – auch als Wiederkehrintervall T oder Wiederholungszeitspanne T bezeichnet – ist der Kehrwert der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit. Die Art der Ermittlung muss erkennbar sein.
- Niedrigste und höchste Werte sind in der Monats- bzw. Jahresliste anzugeben. Bei mehrfachem Auftreten wird der Zeitpunkt des ersten Auftretens angegeben und mit dem Zeichen + gekennzeichnet. Bei der Erstellung von Monats- bzw. Jahreslisten aus den Beobachtungswerten eines Lattenpegels sind auch die außerordentlichen Beobachtungen zur Feststellung des höchsten Wertes zu berücksichtigen.
- Die Hauptwerte für Monate, Halbjahre, Einzeljahre und Jahresreihen können in Tabellen der Hauptwerte (Haupttabellen) und der unterschrittenen Tageswerte (Dauertabellen) für jeden Pegel getrennt zusammengefasst werden.
- Langfristig wirkende Beeinflussungen sind in den Haupttabellen unter Bemerkungen anzugeben.

### **E.2.3.2 Hauptwerte im Küstengebiet der Nordsee und ihrer Ästuar**

(1) Hauptwerte sind im Küstengebiet der Nordsee und ihrer Ästuar die gebräuchlichsten statistischen Werte. Sie werden im Folgenden beschrieben.

(2) Niedrige Wasserstände

- NNTnw bzw. NNThw sind der niedrigste bekannte Wert der Tideniedrigwasserstände bzw. der Tidehochwasserstände. Die Zeitpunkte des Auftretens sind mit anzugeben.
- N.. von/bis sind die niedrigsten Werte der Tideniedrigwasserstände (NTnw) und der Tidehochwasserstände (NThw) in der angegebenen Zeitspanne. Treten gleiche Werte mehrmals in der Zeitspanne auf, so ist das erste Eintrittsdatum zu nennen und durch das Zeichen + zu kennzeichnen.
- MN.. von/bis sind die arithmetischen Mittel der betreffenden Monats-, Halbjahres- oder Jahreswerte (MNTnw oder MNThw).
- NTnwT ist derjenige Tideniedrigwasserstand, der in der angegebenen längeren Reihe von n aufeinanderfolgenden Jahren durchschnittlich in T Jahren einmal erreicht oder unterschritten wird.

(3) Mittlere Wasserstände

- Aus den Tageswerten Tnw bzw. Thw wird das arithmetische Mittel aller Tideniedrig- bzw. Tidehochwasserstände für Monate, Halbjahre und Jahre errechnet.
- Der mittlere Tideniedrig- bzw. mittlere Tidehochwasserstand der Jahresreihe (MTnw bzw. MThw von/bis) sollten vorrangig aus Einzelscheitelwerten berechnet werden. Zu-

sätzlich ist es möglich das arithmetische Mittel der betreffenden Monats-, Halbjahres- oder Jahresmittel der Tnw bzw. Thw zu verwenden.

- Dabei werden Jahre ohne Messergebnisse (Ausfalljahre) - aber nur dann, wenn es nicht möglich ist, die fehlenden Werte hydrologisch begründet zu ergänzen - nicht berücksichtigt. Die Ausfalljahre sind anzugeben, z. B. MTnw 1941/50 (ohne 1945).
- Mittlere Wasserstände sollten grundsätzlich mit einer durchgängigen konsistenten Datenzeitreihe ermittelt werden. Die Verwendung von lückenhaften Zeitreihen für die Mittelwertberechnung ist im Einzelfall zu prüfen.

#### (4) Hohe Wasserstände

- HHTnw bzw. HHThw sind die höchsten bekannten Werte der Tideniedrigwasserstände bzw. der Tidehochwasserstände. Die Zeitpunkte des Auftretens sind anzugeben.
- H.. von/bis sind die höchsten Werte der Tideniedrigwasserstände (HTnw) und der Tidehochwasserstände (HThw) in einer Zeitspanne. Treten die gleichen Werte mehrmals in einer Zeitspanne auf, so ist das erste Eintrittsdatum zu nennen und durch das Zeichen + zu kennzeichnen.
- MH.. von/bis sind die arithmetischen Mittel der betreffenden Monats-, Halbjahres- oder Jahreswerte (MHTnw oder MHThw).
- HThwT ist derjenige Tidehochwasserstand, der in der angegebenen längeren Reihe von n aufeinanderfolgenden Jahren durchschnittlich in T Jahren einmal, somit insgesamt n/T-mal, erreicht oder überschritten wird.

#### (5) Häufigkeit der Wasserstände

- Für das Tidegebiet werden Häufigkeitstabellen erstellt, jedem Tag werden zwischen drei und fünf Tageswerte (Tnw, Thw als Momentanwerte) zugeordnet.
- Für die Erstellung der Häufigkeitstabelle werden zu vorgegebenen Wasserständen die Anzahl aller Tnw bzw. Thw ermittelt, die in bestimmten Zeitabschnitten (Monate, Halbjahre, Jahre) diese Wasserstände unterschritten haben.

#### (6) Berechnung einiger statistischer Kenngrößen

- Für die Berechnung der statistischen Kennzahlen wie Summe Tnw, Summe Thw, Anzahl Tnw, Anzahl Thw, MTnw, MThw, NTnw, NThw, HTnw, HThw werden alle Tnw und Thw Ereignisse des Betrachtungszeitraumes berücksichtigt
- Berechnung von Summe Flutzeit, Flutanzahl und Mittlere Flutdauer
  - erste berücksichtigte Flut: Wenn das erste Ereignis im Betrachtungszeitraum ein Tnw ist, dann werden alle Fluten beginnend mit diesem Tnw berücksichtigt. Wenn das erste Ereignis im Betrachtungszeitraum ein Thw ist, dann werden alle Fluten beginnend mit dem letzten Tnw des vorangegangenen Betrachtungszeitraumes berücksichtigt.
  - letzte berücksichtigte Flut: Wenn das letzte Ereignis im Betrachtungszeitraum ein Thw ist, dann wird die mit dem letzten Tnw des Betrachtungszeitraumes beginnende Flut berücksichtigt. Wenn das letzte Ereignis im Betrachtungszeitraum ein Tnw ist, wird die mit dem letzten Tnw des Betrachtungszeitraumes beginnende Flut nicht berücksichtigt.
- Berechnung von Summe Ebbezeit, Ebbeanzahl und Mittlere Ebbedauer
  - erste berücksichtigte Ebbe: Wenn das erste Ereignis im Betrachtungszeitraum ein Thw ist, dann werden alle Ebben beginnend mit diesem Thw berücksichtigt. Wenn das erste Ereignis im Betrachtungszeitraum ein Tnw ist, dann werden alle Ebben



beginnend mit dem letzten Thw des vorangegangenen Betrachtungszeitraumes berücksichtigt.

- letzte berücksichtigte Ebbe: wenn das letzte Ereignis im Betrachtungszeitraum ein Tnw ist, dann wird die mit dem letzten Thw des Betrachtungszeitraums beginnende Ebbe berücksichtigt. Wenn das letzte Ereignis im Betrachtungszeitraum ein Thw ist, dann wird die mit dem letzten Thw des Betrachtungszeitraums beginnende Flut nicht berücksichtigt.
- Mittlere Tidedauer
  - Es werden alle Tiden, deren Thw im Betrachtungszeitraum liegen, berücksichtigt.
- Mittlerer Tidehub
  - Es werden alle Tiden, deren Thw im Betrachtungszeitraum liegen, berücksichtigt.
  - Zur Minimierung von Rundungsfehlern werden alle relevanten Tidestieg- und Tidefallwerte aufaddiert und durch die doppelte Anzahl der Tiden geteilt.

### **E.2.3.3 Hauptwerte im Ostseegebiet**

Im Ostseegebiet werden die Mittel- und Maximalwerte als Tagesmittel berechnet. Das Minima ist der niedrigste Momentanwert.

### **E.2.3.4 Hauptwerte in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen**

(1) Hierfür wird empfohlen, die in Tabelle E.2-4 aufgeführten Hauptwerte zu ermitteln. Eine allgemeine Pflicht zur Auswertung kann daraus aber nicht abgeleitet werden, da die Vielzahl der möglichen Konstellationen keine allgemeingültige Verfahrensweise zulässt. Es wird darauf hingewiesen, dass mit der hydrologischen Auswertung die lokalen hydrologischen Verhältnisse in ihrer zeitlichen Varianz anhand weniger Kennwerte charakterisiert werden können, aber dass die Beschreibung der hydrologischen Verhältnisse für einen größeren Bereich anhand dieser Kennwerte an Grenzen stößt, was bei der Interpretation zwingend zu beachten ist.

				Typ Freier Übergang, küstendominant	Typ Freier Übergang, binnendominant	Typ zeitweilige Absperrung	Typ regelmäßige Absperrung	Typ künstliche Entwässerung
<b>Hauptwerte</b>	<b>NN</b> Niedrigster bekannter Wert	Binnen	NNW	-	+	+ od. -	+	+
			NNQ	-	+	+ od. -	+	+
		Tide	NNTnw	+	-	+ od. -	-	-
			NNThw	+	-	+ od. -	-	-
	<b>N</b> Niedrigster Wert	Binnen	NW	-	+	+ od. -	+	+
			NQ	-	+	+ od. -	+	+
		Tide	NTnw	+	-	+ od. -	-	-
			NThw	+	-	+ od. -	-	-
	<b>MN</b> Mittlerer niedrigster Wert	Binnen	MNW	-	+	+ od. -	+	+
			MNQ	-	+	+ od. -	+	+
		Tide	MNTnw	+	-	+ od. -	-	-
			MNThw	+	-	+ od. -	-	-
	<b>M</b> Mittlerer Wert	Binnen	MW	-	+	+ od. -	+	+
			MQ	-	+	+ od. -	+	+
		Tide	MTnw	+	-	+ od. -	-	-
			MThw	+	-	+ od. -	-	-
	<b>MH</b> Mittlerer höchster Wert	Binnen	MHW	-	+	+ od. -	+	+
			MHQ	-	+	+ od. -	+	+
		Tide	MHTnw	+	-	+ od. -	-	-
			MHThw	+	-	+ od. -	-	-
	<b>H</b> Höchster Wert	Binnen	HW	-	+	+ od. -	+	+
			HQ	-	+	+ od. -	+	+
		Tide	HTnw	+	-	+ od. -	-	-
			HThw	+	-	+ od. -	-	-
<b>HH</b> Höchster bekannter Wert	Binnen	HHW	-	+	+ od. -	+	+	
		HHQ	-	+	+ od. -	+	+	
	Tide	HHTnw	+	-	+ od. -	-	-	
		HHThw	+	-	+ od. -	-	-	

Tabelle E.2-4 Hauptwerte in den küstengewässerbeeinflussten Bereichen:

+ Auswertung in der Regel sinnvoll

- Auswertung in der Regel nicht sinnvoll

+ od. - Auswertung je nach Fragestellung sinnvoll

(2) Je nachdem welche hydrologische Beeinflussung im Betrachtungsbereich (Beeinflusstypen) vorherrscht, sollten auch die entsprechenden Hauptwerte ausgewertet werden. Für den Beeinflusstyp „freier Übergang - küstendominant“ sind die Kriterien für die entsprechende Küste zu verwenden, für die Typen „freier Übergang - binnendominant, regelmäßige Absperrung und künstliche Entwässerung“ sind die Kriterien für den Binnenbereich zu verwenden. Für den Typ „zeitweilige Absperrung“ sind die Kriterien für die jeweils dominant vorherrschende Beeinflussung zu verwenden.

## E.2.4 Weitere Kennwerte

(1) Zur Beschreibung der Tide werden zusätzlich die Kennwerte Tidehub, Tidemittelwasserstand, Tidehalbwasserstand, Tidedauer, Flut- und Ebbdauer, Tidestieg und -fall sowie Eintrittsdifferenzen der Tnw und Thw zu verschiedenen Pegeln verwendet. Sie sind keine Hauptwerte.

- Der Tidehub (Thb) ist der mittlere Höhenunterschied zwischen Thw und den beiden benachbarten Tnw.
- Der Tidemittelwasserstand (Tmw) ist der Wasserstand in der Höhe der waagerechten Schwerelinie einer Tidekurve. Die bei der Ermittlung verwendeten Zeitschritte sind anzugeben.
- Der Tidehalbwasserstand (T1/2w) ist der Wasserstand bei halbem Tidehub.
- Die Tidedauer (TT) ist der Zeitabschnitt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tnw. Die Flutdauer (TF) ist der Zeitabschnitt vom Tnw bis zum folgenden Thw. Die Ebbdauer (TE) ist der Zeitabschnitt von Thw bis zum folgenden Tnw.
- Der Tidestieg ist der Höhenunterschied zwischen einem Tnw und dem folgenden Thw. Der Tidefall ist der Höhenunterschied zwischen einem Thw und dem folgenden Tnw.
- Die Eintrittszeitdifferenz (Ed) des Tnw bzw. Thw ist der Unterschied zwischen der Eintrittszeit des Tnw bzw. Thw am Pegel und der Eintrittszeit des zugehörigen Tnw bzw. Thw an einem anzugebenden Referenzpegel.

(2) Es sind die mittleren, niedrigsten und höchsten Werte des Tidehubs, des Tidemittelwasserstandes, des Tidehalbwasserstands, der Tidedauer, der Flut- und Ebbdauer sowie der Eintrittszeitdifferenzen der Tnw und Thw entsprechend denen der Hauptwerte im Küstengebiet der Nordsee und der Ästuare zu ermitteln. Für die Ermittlung der Werte gilt, dass die Tide im Sinne dieser Vorschrift zeitlich durch zwei aufeinander folgende Tnw begrenzt wird. Sie ist dem Zeitabschnitt zuzuordnen, in dem ihr Thw liegt.

### **E.2.5 Weitere Auswertungen**

(1) In der Praxis haben sich weitere Auswertungen bewährt. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien einige genannt:

- Mittlere Tidekurve: Tiden werden nach Vorgaben selektiert und auf 12:25h normiert.
- Gemittelte Tidekurve: Alle Tiden eines Zeitabschnittes werden auf 12:25h normiert und gemittelt.
- Mittlere Tide: Eine reale Tide eines Zeitraums, die mittleren Verhältnissen entspricht.

(2) Diese Tidekurven bieten die Möglichkeit, Tiden mit einer Referenztide zu vergleichen.

- Tidewellenlinien: Die Tidewellenlinien zeigen die Wasserstandssituation im Flusslängsschnitt an einem definierten Zeitpunkt. Dabei kann der Bezugszeitpunkt anhand der Uhrzeit oder an einen Zeitpunkt der Tide (z. B. Tnw) geknüpft sein. Üblicherweise werden in einer Grafik mehrere Zeitpunkte in diskreten Zeitabständen während der Dauer einer ganzen Tide gewählt.
- Auswertung aller Tidekennwerte auch für Mondzyklen (Lunation) und Spring-Nipp-Zyklen,
- Ermittlung von Partialtiden,
- Systematische Auswertung und statistische Aufbereitung von Zeitdifferenzen der Tagesextremwerte zwischen benachbarten Pegeln entlang der Küstenlinie der Ostsee,
- Stauanalysen,
- Fülligkeit,
- Verweilzeitanalyse,

- Über- und Unterschreitungshäufigkeiten, Über- und Unterschreitungsdauer,
- Steig – und Fallgeschwindigkeit,
- Weitergehende statistische Auswertung (Extremwertanalyse, Wiederkehrintervalle).

## F. Verzeichnis der Begriffe – Teil A-E

**Abfluss (Q):** Wasservolumen, das einem bestimmten Querschnitt in der Zeiteinheit und einem Einzugsgebiet zugeordnet ist. **Abflussregime:** charakteristischer mittlerer Jahresgang des Abflusses eines Fließgewässers. Als **instationärer Abfluss** wird ein sich mit der Zeit verändernder Abfluss bezeichnet. **Stationärer Abfluss** bezeichnet zeitlich konstanten Abfluss.

**Abflussfülle:** Wasservolumen, das in einer bestimmten Zeitspanne über einem gewählten Schwellenwert des Abflusses bzw. Durchflusses abgeflossen ist.

**Abflusskurve (W/Q-Beziehung):** Bezugskurve zwischen den Wasserständen und den zugehörigen Abflüssen bzw. Durchflüssen für einen bestimmten Gewässerquerschnitt (Synonym: Schlüsselkurve).

**Abflussspende:** ist der Quotient aus Abfluss und Fläche des zugeordneten Einzugsgebiets.

**Akustisches Doppler-Geschwindigkeitsmessgerät:** Klasse von Geräten, die das Prinzip des Doppler-Effekts zum Berechnen der Fließgeschwindigkeit nutzt.

**Auflösung:** ist die Fähigkeit eines Messgerätes, physikalische Größen gleicher Dimension voneinander zu trennen. Die Auflösung gibt also den kleinsten wahrnehmbaren Unterschied an, d.h. wie detailliert man Messwerte ablesen kann, wobei sie nicht mit der entsprechenden Genauigkeit übereinzustimmen brauchen. Die Auflösung ist i.A. höher (feiner) als die Genauigkeit.

**Ausfalljahr:** Jahr für das keine vollständige Wasserstands- und Durchflusst Statistik erstellt werden kann.

**Ausreißer:** grob abweichender Beobachtungswert, der nicht in eine erwartete Messreihe passt oder allgemein nicht erwartet wird.

**Auswertungsunterlagen:** Verzeichnisse der Durchflussmessungen, Abflusskurven und Abflusstafeln sowie Monats- und Jahreslisten der Wasserstände und Durchflüsse, Haupt- und Dauertabellen, Unterlagen zu durchgeführten Änderungen, Profilaufnahmen.

**Beobachtungsunterlagen:** Pegelbögen, Beobachtungsbücher von Latten- und Schreibpegeln, Unterlagen über außerordentliche Beobachtungen sowie Protokolle von Durchflussmessungen.

**Bifurkation:** Eine Bifurkation (von lat. *furca* = die Gabel) kann von einem fließenden Gewässer gebildet werden, wenn es in ein flaches Gebiet einer Wasserscheide gelangt und sich dabei in die Einzugsgebiete zweier benachbarter Flusssysteme verzweigt. Das Wasser erreicht somit über zwei verschiedene Ströme das Meer.

**Binnengebiet:** Bereich, in dem der hydrologische Parameter Durchfluss von den hydrologischen Verhältnissen im angrenzenden Küstengebiet zu jeder Zeit unbeeinflusst ist.

**Blanking:** Bereiche an der Wasseroberfläche und am Rand des Querschnittes, in denen das Messgerät bei der Durchflussmessung keine Fließgeschwindigkeitswerte ermitteln konnte. Bei Moving-Boat-Methode an der Wasseroberfläche: Weg, den ein Signal zurücklegt, wenn die Schwingung des Messwandlers während der Übertragung verhindert, dass der Messwandler das Echo oder Rücklaufsignale empfängt.

**C-Band:** Mikrowellen-Frequenzband 4 – 8 GHz

**Datenfernübertragung:** Übermittlung der an einem Pegel gesammelten digitalen Messwerte an eine weiterverarbeitende Stelle per Telefon, Funk oder Internet.

**Dauerlinie, Dauertabelle:** ist die Darstellung (zeichnerisch und/oder tabellarisch) von statistisch gleichwertigen Messwerten in der Reihenfolge ihrer Größe.

**Digitalisierung:** Überführung analoger Messwerte/Signale in digitale

**Diversität:** Systeme werden redundant ausgelegt, allerdings werden bewusst verschiedene Realisierungen und keine baugleichen Einzelsysteme verwendet.

**Doppler-Effekt:** Zeitliche Stauchung bzw. Dehnung eines (z.B. Schall- oder Licht-) Signals bei Veränderungen des Abstands zwischen Sender und Empfänger während der Dauer des Signals

**Drift:** Ist eine langsame systematische Veränderung einer Beobachtung in eine gegebene Richtung (z.B. Nullpunktsdrift), die in einer Zeitreihe zu einem Trend führt.

**Durchfluss (Q):** Wasservolumen, das einen bestimmten Querschnitt in der Zeiteinheit durchfließt, unabhängig von der Zuordnung zu einem Einzugsgebiet.

**Durchflussnull:** Wasserstand am Pegel, bei dem gerade kein Durchfluss mehr zu verzeichnen ist, d.h.  $Q(W) = 0$ . Er lässt sich im Idealfall aus dem Längsverlauf des Gewässers, insbesondere anhand des **Kontrollquerschnitts**, ableiten und bildet einen wichtigen Bezugspunkt für die Extrapolation der Abflusskurve in den Niedrigwasserbereich. Verfahren zur präzisen Bestimmung des Durchflussnulls an **Messwehren** werden in ISO 1438 beschrieben.

**Einperlpegel:** Einrichtung am Pegel zur Ermittlung des Wasserstandes über das Einperlverfahren. **Einperlverfahren:** Bei der Einperlmethode wird Stickstoff oder Druckluft über eine Kunststoffmessleitung in das Wasser eingeperlt. In der Messleitung stellt sich dabei ein Druck ein, der dem Druck der Wassersäule über der Einperlöffnung entspricht. Bei konstanter Dichte des Messmediums und Nutzung eines offenen pneumatischen Systems ist der Druck dem Wasserstand proportional.

**Einzelwert:** Einzelwerte sind die jeweils kleinsten Zeitinkremente für die hydrologische Auswertung und können sowohl Momentanwerte als auch Mittel der Messwerte eines Zeitintervalls (z.B. 15min-Werte) sein.

**Einzugsgebiet:** Oberirdisches und unterirdisches Gebiet, aus dem Wasser einem bestimmten Ort zufließt.

**Ergänzende Einrichtungen:** Geräte und Einrichtungen für die Messwertaufnahme, das Registrieren, Anzeigen und Fernübertragen des Wasserstandes und des Durchflusses

**ETA-Wert:** Bei sich ständig änderndem Gewässerzustand, wie z. B. bei Verkräutung oder bei häufigen Änderungen der Gerinnehydraulik kann meist keine über einen längeren Zeitraum gültige Abflusskurve aufgestellt werden. Zur Lösung dieses Problems hat sich das ETA-Verfahren bewährt, das die Festlegung der jeweils gültigen Abflusskurve mit Hilfe der Datenverarbeitung ermöglicht. Bei diesem Verfahren wird vorausgesetzt, dass jede Durchflussmessung absolut richtig ist und alle Abweichungen von der zur letzten Messung gehörenden Abflusskurve aus Änderungen im Gewässer resultieren.

**Fernwellen:** Aus einem Tiefmeer in ein Randmeer einlaufende Wellen, die meteorologisch bedingt sind.

**Flume (Messgerinne):** Stromlinienförmige Einschnürung in einem offenen Gerinne, gewöhnlich aus Einlaufabschnitt, einer Drosselstrecke und einer Erweiterung stromabwärts bestehend, die für Strömungsmessungen verwendet werden kann.

**Fülligkeit von Sturmfluten:** qualitative Form als Maß für die überdurchschnittliche Dauer erhöhter Wasserstände

**Ganglinie:** grafische Darstellung von Werten in ihrer zeitlichen Reihenfolge

**Gebietskennzahlen:** Ziffernfolgen zur Bezeichnung der oberirdischen Einzugsgebiete der Wasserläufe in der Bundesrepublik Deutschland.

**Geschwemmsellinie:** Ablagerungen von Treibgut, die die obere Grenze der Benetzung nach hohen Wasserständen anzeigen.

**Gewässerlängsschnitt:** vermessungstechnische Aufnahme eines Fließgewässers von seiner Quelle bis zur Mündung in ein anderes Gewässer. Er kann mit hydrologischen Größen ergänzt werden.

**Hauptwert(e):** ist ein Sammelbegriff für die in der Hydrologie gebräuchlichsten statistischen Werte, z.B. Extremwerte, Mittelwerte, über- oder unterschrittene Werte. Alle Hauptwerte und abgeleiteten Daten werden aus der plausibilisierten Zeitreihe generiert. Die Zeitspanne, auf die sich diese Werte beziehen, ist anzugeben. Enthalten die Aufzeichnungen Lücken, so sind die fehlenden Werte durch Vergleich mit Nachbarpegel oder in sonst geeigneter Weise möglichst genau zu entwickeln und nachzutragen. Diese **ergänzten Werte** sind kenntlich zu machen.

Benennung	Zeichen	Einheit	Zeichen für niedrigste, mittlere und höchste Werte						
			NN...	N...	MN...	M...	MH...	H...	HH...
			Niedrigster bekannter Wert	Niedrigster Wert	Mittlerer niedrigster Wert	Arithmetischer Mittelwert	mittlerer höchster Wert	höchster Wert	höchster bekannter Wert
Wasserstand	W	m, cm	NNW	NW	MNW	MW	MHW	HW	HHW
Durchfluss	Q	m <sup>3</sup> /s	MNQ	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ	HHQ
Tideniedrigwasser	Tnw	cm	NNTnw	NTnw	MNTnw	MTnw	MHTnw	HThw	HHTnw
Tidehochwasser	Thw	cm	NNThw	NThw	MNThw	MThw	MHThw	HThw	HHThw
Tidemittelwasser	Tmw	cm	-	-	-	MTmw	-	-	-

**Homogenität:** Mit Homogenität einer Stichprobe bezeichnet man in der Statistik allgemein den Umstand, dass alle Elemente einer Stichprobe der gleichen Grundgesamtheit angehören. In der hydrologischen Praxis ist die Homogenität einer Abflusszeitreihe gegeben, wenn das dadurch beschriebene Regime nicht durch natürliche oder anthropogene Beeinflussungen im Einzugsgebiet verändert ist.

**Hydrostatischer Druck:** auch Gravitationsdruck oder Schweredruck genannt, ist der Druck, der sich innerhalb eines ruhenden Fluides durch den Einfluss der Gravitation einstellt. **Dynamischer Druck,** verursacht durch Fluidströmungen (wie z.B. der Staudruck), stellt sich

unabhängig vom hydrostatischen Druck ein, und kann dementsprechend u.U. zu Fehlern bei der Flüssigkeitsstandsmessung führen.

**Instandhaltung:** ist die Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann. **Inspektion** sind Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes. **Instandsetzung** sind Maßnahmen zur Rückführung in den funktionsfähigen Zustand. **Verbesserung** ist die Steigerung der Funktionssicherheit.

**Integrationsmethode (Verdünnungsmessung):** Die Verdünnungsmethode ist ein Verfahren zur Durchflussmessung, bei dem eine bekannte Menge eines Tracers kurzzeitig an einer Einleitstelle in einen Querschnitt eingespeist wird. Nach vollständiger Durchmischung des Tracers werden unterhalb der Einleitstelle, an verschiedenen Messpunkten entlang des Fließgewässers, die Konzentrationsverläufe (Durchgangskurven) gemessen. Die Integration dieser Durchgangskurven über die Zeit ergibt den Durchfluss.

**Justieren:** Einstellen oder Abgleichen eines Messgerätes, um systematische Messabweichungen so weit zu beseitigen, wie es für die vorgesehene Anwendung erforderlich ist. – Justierung erfordert einen Eingriff, der das Messgerät bleibend verändert.

**Kalibrieren:** Kalibrierung in der Messtechnik ist ein Messprozess zur zuverlässig reproduzierbaren Feststellung und Dokumentation der Abweichung eines Messgerätes oder einer Maßverkörperung zu einem anderen Gerät oder einer anderen Maßverkörperung, die in diesem Fall als Normal bezeichnet werden.

**K-Band:** Mikrowellen-Frequenzband 18 – 27 GHz

**Konsistenz:** Die Konsistenz einer Abflusszeitreihe ist gegeben, wenn die Daten nicht durch Fehler bei der Messung beeinflusst sind.

**Kontrollquerschnitt:** Querschnitt unterhalb einer Pegelanlage, in dem kein Rückstau einfluss aus dem Unterwasser mehr auftritt.

**Kontrollwerte:** Ablesungen der Pegellatte, die im Pegelbeobachtungsbuch oder/und im Datensammler dokumentiert werden.

**Koordinatenreferenzsystem:** Satz von Parametern, der das Geodätische Datum und das Koordinatensystem umfasst. Koordinatenreferenzsysteme werden im Allgemeinen für Lage, Position und Höhe festgelegt und können in gesonderten Verzeichnissen näher spezifiziert sein

**Küstengebiet:** Bereich, in dem der hydrologische Parameter Wasserstand von den hydrologischen Verhältnissen der in das Küstengebiet mündenden Gewässer zu jeder Zeit unbeeinflusst ist.

**Küstenlinie:** Als Küstenlinie wird die Linie bezeichnet die das Meer vom Land trennt, die in der Regel nur bei Wasserständen über mehrjährigen MHW oder MHT<sub>hw</sub> überflutet wird.

**Langzeitarchivierung:** ist die unbefristete Aufbewahrung. Davon zu unterscheiden ist allgemeine Archivierung bzw. IT-technische Datenarchivierung, die den gesetzlichen Aufbewahrungsfristen von 50 oder 90 Jahren genügt.

**Lattenpegel:** ist der maßgebende Teil des Pegels, der aus Pegellatte und Pegelfestpunkten besteht. Er ist eine zumeist fest ins Gewässer eingebaute Messlatte zur regelmäßigen Ableseung des Wasserstandes.



**Lichtlot:** dient zur manuellen Messung der Tiefenlage des Wasserspiegels.

**Messdaten:** sind diskrete Messwerte. Messwert ist das Resultat einer in einem festgelegten Messintervall durchgeführten Messung einer Kenngröße. Diskrete Messwerte sind voneinander abgrenzbare Daten.

**Messflügel:** Mechanisches Fließgeschwindigkeitsmessgerät mit rotierender Schaufel (Flügelrad).

**Messgenauigkeit:** Die Genauigkeit beschreibt den Grad der Übereinstimmung zwischen einem gemessenen Wert und einem richtigen Wert.

**Messnetz:** Gesamtheit der Messstellen, die einem bestimmten Zweck dienen und nach einem gleichwertigen Messprogramm betrieben werden.

**Messprofil oder Messquerschnitt:** Gewässerquerschnitt, in dem die Durchflussmessung stattfindet.

**Messsteg:** wird errichtet, um das Gewässer an einer Messstelle für die Durchführung von Durchflussmessungen überqueren zu können.

**Messstrecke:** ist die linienförmige Aneinanderreihung von Messpunkten.

**Messunsicherheit:** Die Messunsicherheit ist ein Kennwert, der aus Messungen gewonnen wird und zusammen mit dem Messergebnis zur Kennzeichnung eines Wertebereichs für den wahren Wert der Messgröße dient. Die Messunsicherheit ist positiv und wird ohne Vorzeichen angegeben. Sie ist ein quantitatives Maß für den nur qualitativ zu verwendenden Begriff der Genauigkeit. Die Benennung **Standard(mess)unsicherheit** wird verwendet, wenn herausgestellt werden soll, dass die Messunsicherheit durch eine Standardabweichung ausgedrückt wird. Sie besitzt dieselbe Dimension wie die Messgröße.

**Messwehr:** Überströmtes Bauwerk, das zur Durchflussmessung verwendet wird.

**Messwert:** Resultat einer in einem festgelegten Messintervall durchgeführten Messung einer Messgröße

**Messwertgeber:** wandelt den physikalischen Messwert in ein elektrisches oder digitales Signal um, das vom Datensammler empfangen und gespeichert wird.

**Mittelwert oder kurz Mittel:** der arithmetische Mittelwert über ein definiertes Zeitintervall.

**Momentanwert:** ist eine aktuelle Wasserstandsinformation, an der Küste als 5-Sekundenwert und im Binnenland als Minutenwert.

**Mondmonat (Lunation):** ist die veränderliche Zeitspanne für einen Umlauf des Mondes um die Erde bezogen auf seine Stellung zur Sonne.

**Moving-Boat-Verfahren:** Verfahren zur Messung des Durchflusses von einem Boot aus, das den Strom entlang des Messquerschnitts überquert, während es die Geschwindigkeit, Tiefe, zurückgelegten Weg und den Winkel der Strömungsgeschwindigkeit kontinuierlich misst.

**Oberwasserzufluss:** Abfluss an der Tidegrenze eines Wasserlaufes

**Pegel:** Einrichtungen zum Messen von Wasserständen oberirdischer Gewässer. An einem Pegel können auch Einrichtungen zur Ermittlung weiterer Parameter vorhanden sein. **Pegel im Küstengebiet** werden unterschieden in **Tide-** und **Ostseepegel**. Tidepegel werden in **Tidebinnen-** und **Tideaußenpegel** untergliedert. Tideaußenpegel liegen seewärts der Kü-

tenlinie, Tidebinnenpegel liegen in der Regel in dem Bereich zwischen der Küstenlinie und der landseitigen Tidegrenze. **Ostseepegel** liegen seewärts der Küstenlinie, in den Bodden- gewässern und in den einmündenden Gewässern, sofern sie zu jeder Zeit von den hydrolo- gischen Verhältnissen in den einmündenden Gewässern unabhängig sind.

**Pegelfestpunkt:** Höhenfestpunkt in der Nähe eines Pegels, der zur Festlegung des Pegel- nullpunktes und zur Überwachung der Höhenlage der Pegellatte dient.

**Pegelnulldpunkt:** die Höhenlage des Nullpunktes der Pegellatte, bezogen auf eine amtlich festgelegte Ausgangs- und Bezugsfläche für Höhenmessung.

**Pegelunterlagen:** Planungs- und Bauunterlagen, Pegelakten mit allen Unterlagen, die den Betrieb des Pegels vom Beginn der Errichtung bis zur Auflassung betreffen, Stammdaten, Beobachtungsunterlagen, Messprotokolle und Auswertungsunterlagen.

**Planungs- und Bauunterlagen:** alle mit der Errichtung oder Umbau des Pegels zusam- menhängenden Unterlagen.

**Plausibilitätskontrolle, auch Plausibilitätsprüfung oder Plausibilisierung:** Methode, in deren Rahmen ein Wert/Ergebnis überschlägig darauf überprüft wird, ob dieser/dieses an- nehmbar, einleuchtend und nachvollziehbar sein kann oder nicht.

**Redundanz:** Das mehrfache Vorhandensein funktional gleicher oder vergleichbarer techni- scher Ressourcen (meist aus Sicherheitsgründen), wenn diese für den störungsfreien Nor- malbetrieb nicht benötigt werden.

**Referenzwasserstand:** Durch Ablesung des Wasserstandes am Lattenpegel bzw. ersatz- weise Messung des Abstichs von einem Höhenmesspunkt ermittelter Wasserstand. Er bildet die Referenz für alle weiteren Messsysteme.

**Repräsentanz:** ist einer Stichprobe von Abflüssen ist gegeben, wenn diese das langfristige Verhalten der betrachteten Größe widerspiegelt.

**Rohdaten oder Ursprungswerte:** Messwerte, die unmittelbar von dem Pegel gesendet oder abgelesen werden.

**Ruhewasserstand:** Wasserstand nach Abzug kurzperiodischer Schwankungen

**Scheitelwert:** Größter oder kleinster Einzelwert einer periodischen Wasserstandsbe- wegung. Im Tidegebiet werden für jede Tide das Thw und das Tnw ermittelt. Thw und Tnw sind Ta- geswerte, die in der Regel 2-mal täglich auftreten.

**Schwimmermessung:** Verfahren zur Messung der Fließgeschwindigkeit eines Gewässers mit Hilfe eines oder mehrerer Schwimmer

**Schwimmerpegel:** Einrichtung am Pegel zur Ermittlung des Wasserstandes über das Schwimmerverfahren.

**Section-by-Section:** Ultraschall-Doppler-Messung im Lotrechtenverfahren z. B. bei beweg- ter Sohle

**Seegat:** Schmale Verbindung zwischen zwei Meeresteilen, als Seegat wird auch der äußere Teil eines Wattstroms bezeichnet, wenn er als schmale Rinne z. B. zwischen zwei Inseln oder Sänden die Verbindung zwischen dem Watt und der offenen See darstellt.

**Seepegel:** Pegel des Küstengebietes, die nicht mehr unmittelbar im Bereich der Küstenlinie liegen.

**Seilkrananlagen:** Vorrichtungen, mit deren Hilfe ein Messgerät (z. B. Schwimmflügel, mobile Ultraschall-Geräte) an einem über das Gewässer gespannten Drahtseil zu beliebigen Messlotrechten und in unterschiedliche Wassertiefen gefahren werden kann; sie bestehen aus zwei Stützen, dem Trage- und Verschiebeseil, der Laufkatze, den Seilspannvorrichtungen und der Doppelwinde. Mittels Seilkrananlagen kann das Messpersonal, insbesondere bei Hochwasser, sicher, schnell und effektiv messen.

**Sensor:** Die Messgröße wird durch einen Messgrößenaufnehmer, oftmals auch als Geber bezeichnet, erfasst und ggf. nach Umformung zur Weiterverarbeitung an eine Messwertfassung (Datensammler) weitergeleitet.

**Sollhöhenunterschied:** ist der maßgebende Höhenunterschied zwischen Pegelfestpunkt und Pegelnullpunkt.

**Sprung (Offset):** Als Offset bezeichnet man eine ab einem bestimmten Zeitpunkt auftretende abrupte Veränderung der Messwerte, die für die folgenden Werte der Zeitreihe bestehen bleibt.

**Stammdaten:** beschreiben einen Pegel einschließlich seiner hydrologischen Kennwerte.

**Stammdatei:** Kurzbeschreibung der Stammdaten.

**Standardabweichung:** Maß für die Streuung der Werte einer Zufallsvariablen um ihren Erwartungswert. Die Standardabweichung besitzt die gleiche Dimension wie die Messwerte der Beobachtungsreihe. Die Dimension der **Varianz** ist dagegen das Quadrat der Dimension der Beobachtungswerte.

**Strömung:** Gerichtete Bewegung von Wasserteilchen. Mittels der Strömung wird der Bewegungszustand des Fluides und des Fluidbereiches kinematisch beschrieben.

**Sturmflut:** Durch starken Wind verursachtes Ansteigen des Wassers an der Meeresküste und in den Flussmündungen im Küstengebiet, wenn die Wasserstände einen bestimmten Wert überschreiten.

**Tageswert:** Auf Grundlage der Einzelwerte für Tage aufbereitete charakteristische Größen

**Terminwert:** ist ein zu einem regelmäßig wiederkehrenden Zeitpunkt gemessener oder beobachteter Wert.

**Tide:** periodische Änderung des Wasserspiegels und horizontale Bewegungen des Wassers, hervorgerufen durch die Massenanziehungs- und Fliehkräfte des Systems Sonne, Mond und Erde in Verbindung mit der Erdrotation.

**Tidefluss:** Flussabschnitt, der unter dem Einfluss der Tide wechselnden Wasserstand (Ebbe und Flut) hat.

**Tracer:** Ein gut nachweisbarer, natürlicherweise in einem Strömungssystem nicht vorkommender Stoff (z.B. Ion, chemische Verbindung, Radionuklid), der in ein Strömungssystem eingeleitet wird, um das Verhalten bestimmter Komponenten dieses Systems zu verfolgen.

**Trend:** ist ein systematischer Effekt einer beobachteten Grundrichtung (steigend, fallend) der Entwicklung von Zeitreihen. Die Zeitreihe hat keinen Trend, wenn ihr Mittelwert konstant bleibt.

**Ultraschall-Durchflussmesser:** Messung der Geschwindigkeit eines strömenden Mediums (Gas, Flüssigkeit) mit Hilfe akustischer Wellen

**Ultraschall-Laufzeitanlage:** Das Messprinzip beruht auf der direkten Messung der Laufzeit eines akustischen Signals zwischen zwei hydroakustischen Wandlern. Eine Schallwelle, die sich in einem Gewässer entgegen der Fließrichtung bewegt, benötigt eine längere Laufzeit als eine Schallwelle, die mit der Fließrichtung wandert. Die Differenz der Laufzeiten ist direkt proportional zur Fließgeschwindigkeit im Messpfad und kann so bei bekannter Querschnitts- und Strömungsgeometrie für die Ermittlung des Durchflusses herangezogen werden.

**Venturikanal:** Vorrichtung, die durch lokale Querschnittseinschnürung einen Übergang vom strömenden zum schießenden Fließzustand erzeugt. Der Wasserstand im Oberwasser ist so frei von Rückstauinflüssen und lässt sich in eine eindeutige Beziehung zum Durchfluss setzen.

**Verklausung:** Der teilweise oder vollständige Verschluss eines Fließgewässerquerschnitts durch angeschwemmtes Treibgut oder Totholz

**Verockerung:** Ausfällung und Ablagerung von Eisen- und Manganoxiden

**Wasserstand (W):** Der lotrechte Abstand eines Punktes des Wasserspiegels über oder unter einem Bezugshorizont, der z.B. durch einen Pegelnullpunkt festgelegt wird.

## G. Literaturverzeichnis

- Adler, M. und Nicodemus, U: „AGILA Software zum Auswerten und Archivieren von ADCP-Messungen“, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
- Adunka, F. (2007): Messunsicherheiten - Theorie und Praxis, 3. Auflage, Vulkan-Verlag, Essen.
- Bollrich, G. (1996): Technische Hydromechanik. - 4., durchgesehene Auflage. Verlag für Bauwesen, Berlin
- Bonfig, K.W., Hrsg. (1993): Sensoren und Mikroelektronik. Expert-Verlag, Ehningen bei Böblingen
- BS ISO/TS 15768: Messung der Fließgeschwindigkeit in offenen Gerinnen - Entwurf, Auswahl und Anwendung von elektromagnetischen Strömungsmessgeräten, Dezember 2000
- Cole, J.A. (1979): The deflection of an acoustic beam by temperature and salinity gradients. WDU/WRC Ultrasonics River Gauging Seminar Reading
- Del Grosso (1974): Journal of the Acoustical Society of America, No. 56, 1084
- DGUV-BGV D6, Unfallverhütungsvorschrift Krane vom 1. Dezember 1974, Fassung vom 1. April 2001
- DIN 1319, Teil 1 bis 4 Grundlagen der Messtechnik, Januar 1995
- DIN 1319-2 (2005): Grundlagen der Messtechnik, Teil 2: Begriffe für Messmittel
- DIN 18709 Teile 1-6 Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen in der Geodäsie
- DIN 18710-1-4 Ingenieurvermessung
- DIN 31051 Grundlagen der Instandhaltung, Ausgabe 2012-09
- DIN 31051, Norm zu Grundlagen der Instandhaltung [Bericht].- 2012,
- DIN 4049, Teil 1 Hydrologie Grundbegriffe, April 1990
- DIN 4049, Teil 3 Begriffe zur quantitativen Hydrologie, Oktober 1994
- DIN EN ISO 11001-1, Hydrometrie - Durchflussmessung in offenen Gerinnen – Teil 1: Anleitung für Auswahl, Einrichtung und Betrieb einer Pegelstation, Entwurf Januar 2012
- DIN EN ISO 18365:2014-04 Titel (Deutsch): Hydrometrie - Auswahl, Einrichtung und Betrieb einer Pegelstation (ISO 18365:2013); Deutsche Fassung EN ISO 18365:2013
- DIN EN ISO 4287
- DIN EN ISO 4373, Hydrometrie – Geräte zur Wasserstandsmessung, Oktober 2008
- DIN EN ISO 4375, Hydrometrische Messungen – Seilkrananlagen für Messungen in Fließgewässern, März 2015
- DIN EN ISO 6416, Hydrometrie – Messung des Abflusses mit dem Ultraschallverfahren, November 2005
- DIN EN ISO 748, Hydrometrie – Durchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Fließgeschwindigkeitsmessgeräten oder Schwimmern, Februar 2008

DIN EN ISO 772, Hydrometrie – Begriffe und Symbole, August 2011

DIN ISO/TS 25377, Leitfaden zu Messunsicherheiten in der Hydrometrie, Vornorm, Januar 2008

DVWK 1983: Niedrigwasseranalyse – Teil I: Statistische Untersuchung des Niedrigwasser-Abflusses. - DVWK-Regel 120/1983, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V., Bonn

DWA (2012): Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten, - Merkblatt DWA-M 552, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef

Dyck, S. und Peschke, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie. - 3., stark bearbeitete Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin

Erb, H. G. (1997): Durchflussmeßtechnik für die Wasser- und Abwasserwirtschaft, Vulkan-Verlag, Essen

Erb, H.G. (2000): Was fließt im Kanal? Durchflussmessung in der Praxis. KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Heft Nr.11

Fiedler, O. (1992): Strömungs- und Durchflußmeßtechnik. R. Oldenbourg Verlag München Wien

Grundsätze zur Qualitätssicherung in der Gewässerkunde“, LAWA, Mai 2011

Handbuch Moderne Pegel, WSV, 2013

Handbuch Moderne Pegel, WSV, Februar 2009

IN 1319-3 Grundlagen der Messtechnik - Auswertung von Messungen einer einzelnen Meßgröße, Messunsicherheit [Bericht].- 1996

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebiets: Einfluss der Kalibrierung hydrometrischer Messflügel auf die Unsicherheit der Abflussermittlung, Lelystad 1987

ISO 1438, Wasserdurchflussmessung in offenen Gerinnen mittels Wehren und Venturikanälen – Teil 1: Dünnplattenwehre“, 2008

ISO/IEC Guide 98: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)

Jurisch, R. (1970): Beitrag zur Verwendung von Durchflussgleichungen bei Dreieck-Überfällen, Mitteilungsblatt Nr. 30 der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, März 1970

Koelling, C. (1994): Finite - Element - Simulation der Geschwindigkeitsverteilung in Kanälen und teilgefüllten Rohrleitungen. Heft 60 Hydraulik und Gewässerkunde, TU München

Laenen, A.; Smith, W. (1983): Acoustic Systems for the Measurement of Streamflow. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2213

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA Grundsätze zur "Qualitätssicherung in der Gewässerkunde" [Bericht]. - [s.l.] : Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 2011

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA Weitergehende Auswertung von Tidekurven und deren Standardisierung [Bericht]. - [s.l.] : Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser - Arbeitskreis Küstenhydrologie, 1999

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA, Richtlinie für die Gebietsbezeichnung und die Verschlüsselung von Fließgewässern, 1993

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA: „Gewässerkundliche Pegel – Aufgaben, Anforderungen, Abgrenzungen, 1. Auflage 2001

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA: „Grundsätze zur Qualitätssicherung in der Gewässerkunde“, Mai 2011

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA: „Leitlinien eines zukunftsfähigen gewässerkundlichen Mess- und Beobachtungsdienstes“, April 2000

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA: „Sicherstellung der Datengewinnung an Pegeln bei Extremhochwasser“, 2004

LAWA Grundsätze zur "Qualitätssicherung in der Gewässerkunde" [Bericht]. - [s.l.]: Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 2011

LfU Baden-Württemberg (2001): Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg - Planung und Bau von Pegeln, Eigenverlag

LfU Baden-Württemberg (2001): Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg - Durchflussermittlung mit der Salzverdünnungsmethode, Eigenverlag

Mai, Stephan: Berührungslose Seegangsmessung mit Radarwasserstandspegeln [Bericht]. – Hannover : FZK, 2001.

Malcharek Andreas: Gezeiten und Wellen - Die Hydromechanik der Küstengewässer [Buch]. - [s.l.] : Vieweg und Teubner, 2010

Maniak, U.: Hydrologie und Wasserwirtschaft – Eine Einführung für Ingenieure. – 4. Auflage. Springer-Verlag, Berlin., 1997

Morgenschweis, G.: Hydrometrie – Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen. - Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010

NLÖ Niedersachsen: Pegel an kleineren Fließgewässern - Anforderungen aus hydraulischer und fließgewässerökologischer Sicht - , Oberirdische Gewässer 12/2000

Prandtl, L.; Oswatitsch, K.; Wieghardt, K. (1984): Führer durch die Strömungslehre. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 8. Auflage

Rack, C. (1982): Unsicherheiten bei der Abflußmessung mit Ultraschall und mit Meßflügeln in offenen Gerinnen. In: Mitteilung, Nr. 100, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Berlin

RD INSTRUMENTS (1987): "RD-MV Model acoustic doppler current profiler, Operation and maintenance manual", 1987

Richtlinie für die Aufstellung des Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuchs“, LAWA 1994

Rotbart, M.; Winkler, M. (2001): Untersuchung zur Klärung des Einflusses von Strömungsmesssonden (Ultraschall) auf das Bewegungs- und Wanderverhalten von Fischen am Beispiel der Messstelle Rostock, Studie im Auftrag des StAUN Rostock, Universität Rostock, FB Biowissenschaften – allgemeine und spezielle Zoologie

Rupert D. Kontinuierliche Durchflussermittlung in Tideflüssen zur Bestimmung des Wasserhaushaltsparameters „Abfluss“ [Konferenz] // Mitteilungen des Franzius-Instituts Hannover. – Hannover : [s.n.], 1987. - Bd. Heft 65

Van Rinsum, A.: Die Abflusskurve. – Archiv für Wasserwirtschaft, Nr. 65, 1941

VDI/VDE 2640 (1993): Netzmessungen in Strömungsquerschnitten, Allgemeine Richtlinien und mathematische Verfahren, Blatt Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf

VDI/VDE 2642 (1996): Ultraschall-Durchflußmessung von Fluiden in voll durchströmten Rohrleitungen, Blatt Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf

Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, (WSV) Handbuch Moderne Pegel, 3. Auflage 2015

Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung WSV, Archivierungskonzept für Wasserstandsdaten, März 2009