

[illegible][illegible]

Stand: November 2002

Gedruckt: 13.11.2002

Herausgeber:

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
76157 Karlsruhe, Postfach 21 07 52

Bearbeitung:

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU)
Abteilung 4, Wasser und Altlasten,
und
Alexander Krämer, WWL – Fachgemeinschaft für Wald-Wild-Landschaftsökologie
Mozartweg 8, 79189 Bad Krozingen

Rückfragen

Rückfragen zum Inhalt der Arbeitsanleitung richten Sie bitte an
Herrn Lisiecki (Tel.:0721 / 983 – 1205; E-Mail: Otm.Lisiecki@lfuka.lfu.bwl.de)
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Nachdruck oder Vervielfältigung auf DV-Datenträger – auch auszugsweise - nur mit Zustimmung
des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Zweck und Anwendungsbereich der Arbeitsanleitung.....	1
1.2	Messverfahren zur Durchflussermittlung	1
1.3	Einzelmessungen des Durchflusses.....	3
1.4	Formelzeichen und Begriffe	5
2	Fließvorgänge im Gewässer	6
2.1	Abflussformeln.....	6
2.2	Einflüsse der Gewässerrauheit, des Gewässerquerschnitts und des Gewässerverlaufs auf die Fließgeschwindigkeit.....	7
2.3	Profilwert P und Q/P-Wert	12
2.4	Sonstige Einflüsse auf den Fließvorgang	13
3	Messflügel	15
3.1	Messprinzip und Funktion.....	15
3.2	Stangenflügel und Schwimmflügel.....	15
3.3	Fließgeschwindigkeit und Drehgeschwindigkeit der Schaufel.....	18
3.4	Messung bei schräger Anströmung.....	20
4	Messung der Fließgeschwindigkeit und Ermittlung des Durchflussquerschnitts.....	23
4.1	Anforderungen an den Messquerschnitt.....	23
4.2	Messung der Fließgeschwindigkeit in einem Messpunkt.....	24
4.3	Ermittlung der Fließgeschwindigkeit entlang einer Messlotrechten	26
4.4	Ermittlung des Durchflusses im Messquerschnitt.....	29
5	Häufigkeit, Anlass und Zeitpunkt von Messungen an Pegeln	32
5.1	Messungen nach Inbetriebnahme des Pegels	32
5.1.1	Pegel mit Wasserstands-Durchflussbeziehung.....	32
5.1.2	Ultraschall-Durchflussmessenanlagen	32
5.2	Messungen im Routinebetrieb des Pegels.....	32
5.2.1	Pegel mit Wasserstands-Durchflussbeziehung.....	32
5.2.2	Ultraschall-Durchflussmessenanlagen	33
6	Fehlerhafte Messungen und Messunsicherheit.....	34
6.1	Grundsätzliches	34
6.2	Ursachen der Messabweichungen und deren Verhinderung	34
6.3	Messunsicherheit.....	37

7	Auswertung der Durchflussmessung	43
7.1	Verschiedene Auswerteverfahren	43
7.2	Auswertung nach Pegelvorschrift	43
7.3	Plausibilisierung	48
8	Organisation des Messdienstes	49
8.1	Aufgaben und Verantwortlichkeiten	49
8.2	Einsatzplanung	50
8.3	Pflegen und Bereithalten der Messausrüstung.....	52
8.3.1	Inhalt einer Durchflussmessausrüstung.....	52
8.3.2	Messflügel	54
8.3.3	Zählgerät und Kabel	58
8.3.4	Messgestänge	58
8.3.5	Ortsfeste Seilkrananlage.....	58
8.3.6	Mobiler Messausleger.....	59
8.4	Erkunden und Festlegen der Messstelle	60
8.5	Vorbereiten der Messquerschnitte und Planunterlagen	61
9	Durchflussmessung	62
9.1	Entscheidung über Vorgehen	62
9.2	Inbetriebnahme der Messgeräte.....	63
9.3	Durchführen der Messung.....	65
9.4	Abschluss der Messung vor Ort und Plausibilisierung der Messergebnisse	68
10	Arbeitssicherheit	70
11	Auftragsvergabe an Dritte	72
12	Das Auswertungsprogramm BIBER.....	73
13	Literatur	74
 Anhang: Ingenieurvertrag mit Anlagen		77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht über die Verfahren und Geräte zur Durchflussmessung.	2
Abbildung 2:	Wassermenge, die pro Sekunde durch den Messquerschnitt fließt (Bundesamt für Umweltschutz, 1982).	3
Abbildung 3:	Prinzip der Durchflussermittlung durch Punktmessungen der Fließgeschwindigkeit – Geschwindigkeitsprofil im Durchflussquerschnitt (Bundesamt für Umweltschutz, 1982).	4
Abbildung 4:	Prinzip der Durchflussermittlung durch Punktmessungen der Fließgeschwindigkeit – Geschwindigkeitsprofil einer Messlotrechten (Bundesamt für Umweltschutz, 1982).	4
Abbildung 5:	Beispiele für die Geschwindigkeitsverteilung in Messlotrechten bei unterschiedlicher Sohlenbeschaffenheit (Pegelvorschrift Anlage D, 1991).	7
Abbildung 6:	Geschwindigkeitsprofile am Pegel Ostrachmühle in Gewässermitteln bei unterschiedlich starker Verkräutung; oben bei $W = 80 \text{ cm}$; unten bei $Q = 2.3 \text{ m}^3/\text{s}$	8
Abbildung 7:	Im Modellversuch ermittelte Verteilung der mittleren Fließgeschwindigkeiten für den Fall, dass Vorland und Hauptbett miteinander verbunden sind (Kurve 1) und dass diese voneinander getrennt sind (Kurve 2) (Spicyn, 1962).	9
Abbildung 8:	Abhängigkeit der mittleren Fließgeschwindigkeit im Mittelwasserbett vom Wasserstand für verschiedene Breitenverhältnisse $b_g / (b_g + b_v)$ (Agasijeva, 1961).	10
Abbildung 9:	Abhängigkeit der mittleren Fließgeschwindigkeit im Gesamtquerschnitt vom Wasserstand für verschiedene Breitenverhältnisse $b_g / (b_g + b_v)$ (Agasijeva, 1961).	10
Abbildung 10:	Vergleich der Isotachen in Trapezprofilen ohne (Versuchsreihe A – oben) und mit Weiden auf der Uferböschung (Versuchsreihe B – unten) (Felkel, 1960).	11
Abbildung 11:	Verminderung der örtlichen Fließgeschwindigkeiten bei Weidenbewuchs auf nur einer Böschung in Prozenten der Geschwindigkeiten im unbepflanzten Gerinne (Felkel, 1960).	11
Abbildung 12:	Ungleichförmige Geschwindigkeitsverteilung des strömenden Abflusses durch einen 180° -Krümmer nach (Naudascher, 1987, nach: Mockmore 1944).	12
Abbildung 13:	Verlauf der Stromlinien bei Profileinengungen und Wehren; für Durchflussmessungen ungeeignete Querschnitte.	13
Abbildung 14:	Durchschnittliche prozentuale Abweichung der gemessenen Fließgeschwindigkeit an verschiedenen Messpunkten in Abhängigkeit von der Messdauer im Vergleich zu einer Messung über 30 bis 60 min (Dickinson, 1967, nach: Dementjew, 1962).	14
Abbildung 15:	Messflügel (an Stange) (Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).	15
Abbildung 16:	Bestimmung des Einsatzbereiches des Stangenflügels.	16
Abbildung 17:	Schwimmflügel, wie er an Seilkrananlagen oder Messauslegern eingesetzt werden kann (nach Pegelvorschrift, Anlage D).	16
Abbildung 18:	Befestigungsmöglichkeiten des Messflügels: Stangenflügel mit Überwurfgestänge (A), Stangenflügel mit Leitblech (B), Schwimmflügel (C), Brückenausleger (D).	17
Abbildung 19:	Die einzelnen Komponenten einer Messflügel-Eichgleichung.	18
Abbildung 20:	Einfluss der Befestigung eines Flügels an Schwimmergewichten unterschiedlicher Größe auf die ermittelte Fließgeschwindigkeit im Vergleich zur Befestigung an einer Stange mit $\varnothing 20 \text{ mm}$ (DVWK, 1983).	19

Abbildung 21:	Einfluss des zur Schmierung des Lagers verwendeten Flügelöls auf die Beziehung zwischen Fließgeschwindigkeit und Umdrehungszahl der Schaufel (Natermann, 1950).	20
Abbildung 22:	Nicht orthogonal zur Hauptfließrichtung verlaufender Durchfluss-Messquerschnitt und maßgebende Geschwindigkeitskomponente v_a bei Schrägströmung.	21
Abbildung 23:	Messabweichung bei normalen Messschaufeln und bei Komponentenschaufeln (Typ A und R) (Ott, 1989).	22
Abbildung 24:	Lage einer für Durchflussmessungen geeigneten Messstelle (Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).	23
Abbildung 25:	Verteilung der Messpunkte bei Vielpunktmessungen in geringen Wassertiefen. Die Verteilung rechts ist falsch, da die über die Wasseroberfläche hinausreichende Schaufel systematisch zu kleine Werte liefert und im unteren Bereich keine Messergebnisse vorliegen, sodass hier der Verlauf des Geschwindigkeitsprofils unsicher ist.	26
Abbildung 26:	Zweipunkt-Messverfahren: Amerikanische Methode (rechts) und Methode nach Kreps (links).	28
Abbildung 27:	Wahl der Lage von Lotrechten zur bestmöglichen Erfassung der Querschnittsfläche und der Fließgeschwindigkeitsverteilung im Messquerschnitt. (A) Rechteckprofil; (B) Trapezprofil; (C) Gegliedertes Profil; (D) Gegliedertes Profil mit Aufsetznasen für Schwimmflügel; (E) Erfassung von Sohlhindernissen bzw. Unregelmäßigkeiten (mit Schwimmflügel müssen entsprechende Sicherheitsabstände zu Hindernissen eingehalten werden und darüber hinaus darauf geachtet werden, dass die Sohle nicht allzu schräg abfällt (Kippgefahr beim Aufsetzen)).	30
Abbildung 28:	Projektion eines nicht orthogonal zur Hauptfließrichtung verlaufenden Durchfluss-Messquerschnitts auf den Auswertequerschnitt	31
Abbildung 29:	Definition der Messgrößen und Prinzip der graphischen Auswertung (Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).	45
Abbildung 30:	Berichtigung der gemessenen Tiefe bei Abtrift des Schwimmflügels (Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).	46
Abbildung 31:	Ermittlung des Bezugswasserstandes W_m bei Wasserstandsänderungen während der Messung (Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).	47
Abbildung 32:	Ergebnisdarstellung des Messquerschnitts im Programm BIBER.	48
Abbildung 33:	Niedrigwasser-Messausrüstung	52
Abbildung 34:	Hochwasser-Messausrüstung	53
Abbildung 35:	Messflügel und Zubehör im Transportkoffer.	54
Abbildung 36:	Kalibrierzertifikat für den Messflügel 1249.	56
Abbildung 37:	Prüfzertifikat für den Messflügel 1206-2.	57
Abbildung 38:	Messung mit kleinen und großen Messschaufeln bei geringen Wassertiefen. Bei den großen Schaufeln ist das Geschwindigkeitsprofil durch die beiden sehr eng bei einander liegenden Messpunkte wegen der größeren Extrapolationsbereiche unsicherer.	64
Abbildung 39:	Muster des Erfassungsprotokolls - Seite 1.	67
Abbildung 40:	Muster des Erfassungsprotokolls - Seite 2.	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Formelzeichen und Begriffe	5
Tabelle 2:	k_{St} – Werte für verschiedene Sohlintypen (Datenauswahl zusammengestellt aus Schröder, 1994 und Rössert, 1981).....	6
Tabelle 3:	Hydraulische Kenngrößen nach Gaukler-Manning-Strickler und Chézy.	13
Tabelle 4:	Fehler und Messunsicherheit bei der Durchflussmessung mit Messflügeln (verändert nach Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).	35
Tabelle 5:	Unsicherheit bei der Bestimmung der Breite des Messquerschnitts und der Lage der Lotrechten (ergänzt und verändert nach Morgenschweis, 1990).....	38
Tabelle 6:	Fehler aufgrund von Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der Tiefe in den Messlotrechten (ergänzt und verändert nach Morgenschweis, 1990).	38
Tabelle 7:	Ungenauigkeit der mittleren Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Messdauer und der Lage der Messpunkte relativ zur Profiltiefe (ergänzt und verändert nach Morgenschweis, 1990).	39
Tabelle 8:	Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit einer Lotrechten in Abhängigkeit von der Anzahl der Messpunkte (ergänzt und verändert nach Morgenschweis, 1990).....	40
Tabelle 9:	Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl der Messlotrechtenanzahl (verändert nach Morgenschweis, 1990).....	40
Tabelle 10:	Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit aufgrund von Ungenauigkeiten bei der Flügeleichung (verändert nach Morgenschweis, 1990).....	41
Tabelle 11:	Zusammenstellung der notwendigen Durchflussmessungen (Messungen höchster Priorität sind fett gedruckt, geringerer Priorität kursiv, (V) Verdünnungsmessung, (A) Messung mit ADCP).....	50
Tabelle 12:	Flügeltypen in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit.	63
Tabelle 13:	Schaukelgrößen in Abhängigkeit von Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit.	63
Tabelle 14:	Einsatzgrenzen von Messflügeln.	64
Tabelle 15:	Belastungs- und Gefährdungsanalyse	70
Tabelle 16:	Anwendungsbereiche von BIBER und Zuständigkeiten innerhalb der Landesverwaltung.	73

1 Einleitung

1.1 Zweck und Anwendungsbereich der Arbeitsanleitung

Die Beobachtung des Abflussgeschehens ist eine zentrale Aufgabe der Gewässerkunde. Hierzu betreibt der gewässerkundliche Dienst des Landes Baden-Württemberg an den oberirdischen Gewässern Pegel, an denen Durchflüsse ermittelt werden.

An den herkömmlichen Pegeln werden die Wasserstände kontinuierlich aufgezeichnet und zusätzlich in größeren Zeitabständen bei unterschiedlichen Wasserständen Durchflüsse gemessen. Anhand dieser einzelnen Messwerte erstellt man eine Bezugskurve zwischen Durchfluss und Wasserstand, die Abflusskurve. Die gesuchten Durchflusswerte werden dann mit Hilfe dieser Abflusskurve aus den kontinuierlich gemessenen Wasserstandswerten berechnet.

Bei Pegeln, bei denen eine eindeutige Beziehung zwischen Durchfluss und Wasserstand nicht besteht, werden zusätzlich zum Wasserstand auch die Fließgeschwindigkeiten kontinuierlich in einer oder mehreren Tiefen des Gewässers gemessen. Dies geschieht derzeit mit Anlagen zur Ultraschall-Laufzeitmessung. Zur Kalibrierung derartiger Anlagen ist es notwendig, durch einzelne Durchflussmessungen die Beziehung zwischen den kontinuierlich gemessenen Werten des Wasserstands und den Fließgeschwindigkeiten auf der einen Seite und dem Durchfluss auf der anderen Seite zu bestimmen.

Über Messungen an Pegeln hinaus ist es gelegentlich notwendig, auch an anderen Stellen des Gewässernetzes Durchflüsse zu messen.

In allen genannten Fällen ist die Qualität der Messergebnisse von höchster Bedeutung. Messfehler können zu falschen Abflusskurven oder zu einer falschen Kalibrierung der Messanlagen und somit zu systematisch verfälschten Messdaten führen. Die vorliegende Arbeitsanleitung soll dazu dienen, die erforderliche Messqualität sicherzustellen. Sie soll darüber hinaus die Arbeitsabläufe optimieren und dadurch helfen, die mit der Messung verbundenen Aufgaben mit möglichst geringem Aufwand zu erledigen. Sie ist, unabhängig vom jeweiligen Zweck, generell bei Durchflussmessungen mit Messflügeln und – soweit zutreffend – auch bei anderen Verfahren anzuwenden und gilt bei einer Beauftragung Dritter auch für diese.

Die Arbeitsanleitung orientiert sich an den Empfehlungen der LAWA-Pegelvorschrift, Anlage D (1991). Diese gilt, sofern in dieser Arbeitsanleitung nichts Gegenteiliges festgelegt ist. Ziel ist es, für eine einheitliche, reproduzierbare Vorgehensweise im Sinne ISO 9000ff zu sorgen und eine ausreichende Datenqualität sicherzustellen. Die Arbeitsanleitung soll bei Arbeiten des Pegel- und Datendienstes der GwD und der LfU Anwendung finden. Darüber hinaus kann sie als Leistungsbeschreibung bei einer Auftragsvergabe dienen.

1.2 Messverfahren zur Durchflussermittlung

Zur Bestimmung des Durchflusses kommen in der Hydrometrie unterschiedliche Verfahren und Messgeräte zum Einsatz:

- die kontinuierliche Messung von Fließgeschwindigkeit und Wasserstand
- Einzelmessungen des Durchflusses und kontinuierliche Messung des Wasserstandes
- Einzelmessung des Durchflusses

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Messverfahren zur Durchflussbestimmung. Bei der Einzelmessung der Fließgeschwindigkeit sind folgende Messverfahren zu unterscheiden:

- die integrierende Messung, bei der die mittlere Fließgeschwindigkeit in einem Profil ermittelt wird und
- die Messung in verschiedenen Punkten des Querschnitts.

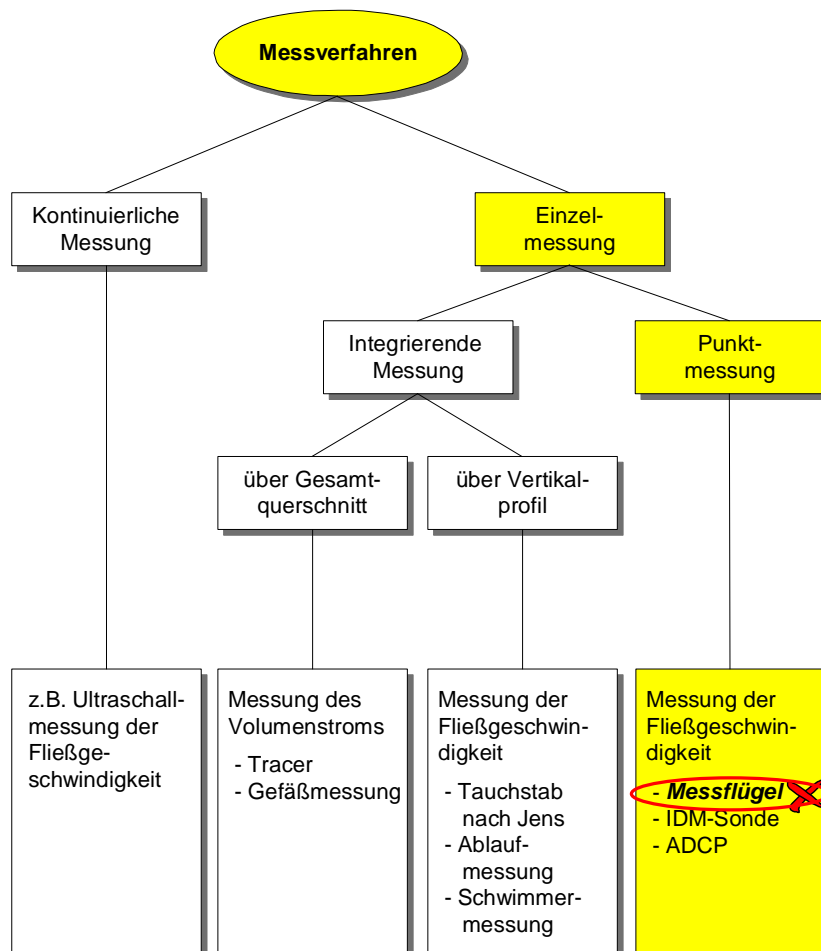


Abbildung 1: Übersicht über die Verfahren und Geräte zur Durchflussmessung.

Die integrierende Messung kann weiter unterteilt werden in eine Messung über den gesamten Querschnitt und in Messungen über einzelne Vertikalprofile.

Zur kontinuierlichen Messung wird in Baden-Württemberg an einigen wenigen Messstellen der Durchfluss aus der kontinuierlich gemessenen Kraftwerks-Turbinenleistung ermittelt, im übrigen werden hierzu Ultraschall-Messanlagen verwendet. Beispiele für Einzelmessungen über den Gesamtquerschnitt sind z. B. die Verdünnungs- (siehe LfU, 2002b) und die Gefäßmessung. Zu den Verfahren der integrierenden Messung über ein Vertikalprofil sind die Messungen mit dem Tauchstab nach Jens, die Schwimmermessung und die Ablaufmessung mit dem Messflügel zu zählen.

Zur Messung der Fließgeschwindigkeit an einem Punkt des Messquerschnittes werden Messflügel, IDM-Sonden, die in ihren wesentlichen Funktionen dem Messflügel entsprechen und das ADCP, das in einem Messvorgang Angaben zur Durchflussgeschwindigkeit an verschiedenen Punkten einer Messlotrechten liefern kann, verwendet (siehe Pegelvorschrift, Anlage D, Anhang II).

Die Durchflussmessung mit dem Messflügel ist hierbei das bei weitem am häufigsten eingesetzte Messverfahren. Daher behandelt die vorliegende Arbeitsanleitung nur die Messung mit diesem Gerät. Sie ist jedoch sinngemäß auch für Messungen mit Messsonden anwendbar.

1.3 Einzelmessungen des Durchflusses

Bei der Durchflussmessung wird die Wassermenge bestimmt, die innerhalb einer Sekunde einen Querschnitt (Messquerschnitt) durchfließt. Die Größe des Durchflusses Q wird in m^3/s oder bei kleineren Durchflüssen in l/s angegeben.

Zur Ermittlung des Durchflusses definiert man rechtwinklig zur Hauptfließrichtung eine Messquerschnittsebene (Abbildung 2). Die Endpunkte der Fließstrecken, welche die Wasserteilchen, von dieser Ebene ausgehend, innerhalb einer Sekunde zurücklegen, definieren eine räumlich gekrümmte Fläche. Der Wasserkörper, der durch diese Fläche, die Messquerschnittsebene, die Gewässersohle und den Wasserspiegel begrenzt wird, ist gleich der Wassermenge, die in dieser einen Sekunde den Messquerschnitt durchflossen hat.

Der gesamte Durchfluss Q kann auch als Produkt aus mittlerer Fließgeschwindigkeit v_m und zugehöriger Durchflussfläche A beschrieben werden:

$$Q = v_m \cdot A \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

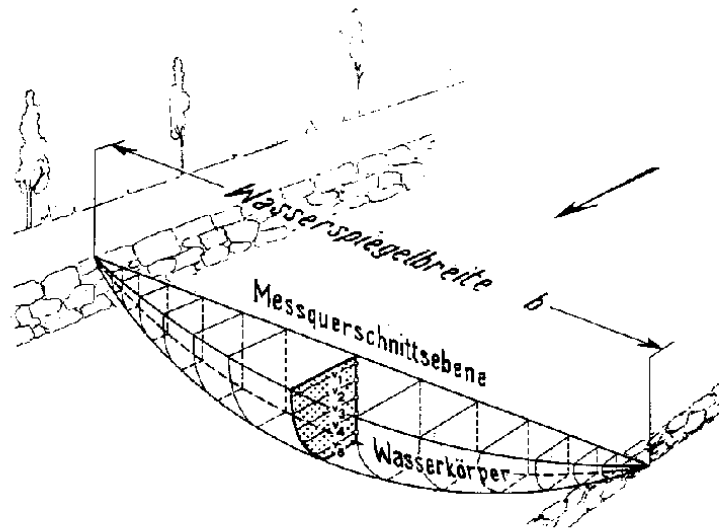


Abbildung 2: Wassermenge, die pro Sekunde durch den Messquerschnitt fließt (Bundesamt für Umweltschutz, 1982).

Die Fließgeschwindigkeiten variieren über den Querschnitt. Zur Ermittlung der mittleren Fließgeschwindigkeit müssen daher die Fließgeschwindigkeiten an mehreren Stellen im Querschnitt gemessen werden.

In einem ersten Schritt werden über die Breite des Messquerschnittes mehrere Messlotrechten definiert und für diese die jeweiligen Geschwindigkeitsprofile ermittelt. Dies geschieht, indem man in mehreren Tiefen längs dieser Messlotrechten die Fließgeschwindigkeiten misst (Abbildung 3).

Die Form des Geschwindigkeitsprofils erhält man, indem man die einzelnen Messwerte durch eine Kurve miteinander verbindet, wobei diese Kurve bis zur Wasseroberfläche und zur Sohle

extrapoliert werden muss. Die Fläche des Geschwindigkeitsprofils entspricht dann dem Durchfluss pro Breitereinheit q [$\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$] (Abbildung 4).

Im zweiten Schritt werden die zuvor ermittelten Durchflüsse pro Breitereinheit q über den Messquerschnitt aufgetragen. Die einzelnen Werte q_i werden durch eine Kurve miteinander verbunden. Die so entstandene Profilfläche entspricht dann dem Gesamtdurchfluss Q [m^3/s] (Abbildung 3).

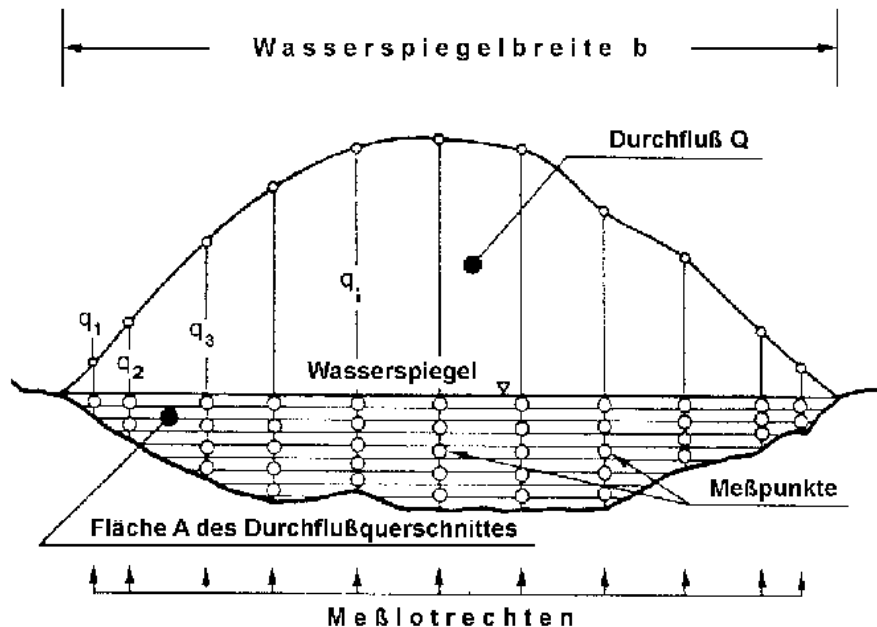


Abbildung 3: Prinzip der Durchflussermittlung durch Punktmessungen der Fließgeschwindigkeit – Geschwindigkeitsprofil im Durchflussquerschnitt (Bundesamt für Umweltschutz, 1982).

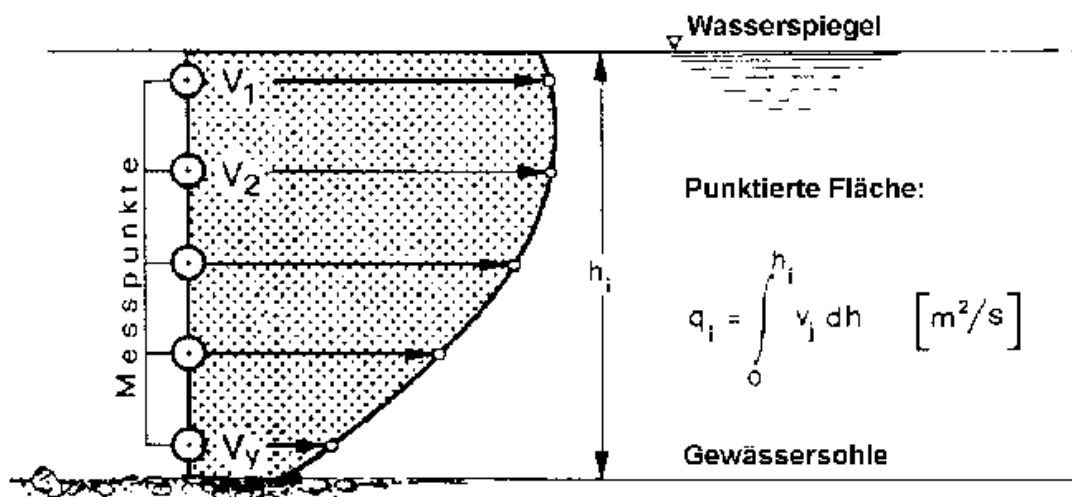


Abbildung 4: Prinzip der Durchflussermittlung durch Punktmessungen der Fließgeschwindigkeit – Geschwindigkeitsprofil einer Messlotrechten (Bundesamt für Umweltschutz, 1982).

1.4 Formelzeichen und Begriffe

Die im Folgenden verwendeten Formelzeichen und Begriffe (Tabelle 1) entsprechen weitgehend der derzeit gültigen DIN 4044. In der Arbeitsanleitung „Hydraulische Berechnung von Fließgewässern“ (LfU 2002F) werden die hydraulischen Begriffe weiter erläutert.

Tabelle 1: Formelzeichen und Begriffe

Formelzeichen	Einheit	Beschreibung	
A	m^2	Fläche des Durchflussmessquerschnittes	
b	m	Breite des Messquerschnittes	
C	$m^{1/2}/s$	CHEZY -Beiwert	
f_{vi}	m^2/s	Geschwindigkeitsfläche der Messlotrechten i	$f_{vi} = v_{im} \cdot h_i$
H_i	m	Wassertiefe der Messlotrechten i	
J_E	--	Energiehöhengefälle:	Bei gleichförmigem Abfluss ist das Energiehöhengefälle gleich dem Sohlengefälle J_s und dem Wasserspiegelgefälle J_w . In diesem Fall wird synonym das Energiehöhengefälle J_E auch kurz J bezeichnet (LfU, 2002F).
k_{St}	$m^{1/3}/s$	Manning-Strickler-Beiwert	
P		Profilwert:	beinhaltet die nur von der Geometrie des Durchflussprofils abhängigen Faktoren in der Abflussgleichung
	$m^{5/2}$	Profilwert in der Abflussgleichung nach CHEZY:	$P = A \cdot R^{1/2}$
	$m^{8/3}$	Profilwert in der Abflussgleichung nach GAUCKLER-MANNING-STRICKLER:	$P = A \cdot R^{2/3}$
Q	m^3/s	Durchfluss:	nach CHEZY gilt: $Q = A \cdot C \cdot r_{hy}^{1/2} \cdot J_E^{1/2}$ nach GAUCKLER-MANNING-STRICKLER gilt: $Q = A \cdot k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot J_E^{1/2}$
q	m^2/s	Durchfluss pro Breitereinheit	
r_{hy}	m	Hydraulischer Radius	$r_{hy} = A/U$
L_U	m	Benetzter Umfang des Durchflussprofils	
$v_{i,j}$	m/s	Fließgeschwindigkeit in der Messebene j der Messlotrechten i	
$v_{i,o}$	m/s	Fließgeschwindigkeit an der Wasseroberfläche der Messlotrechten i	
$V_{i,m}$	m/s	Mittlere Fließgeschwindigkeit in der Messlotrechten i	
V_m	m/s	Mittlere Fließgeschwindigkeit im Durchflussprofil bzw. im Durchflussmessquerschnitt	
W	m	Wasserstand am Pegel	

2 Fließvorgänge im Gewässer

2.1 Abflussformeln

Die Bewegung des Wassers in einem Flussbett unterliegt verschiedenen Einflüssen, die in ihrer Größe und Wechselwirkung im Einzelnen nicht erfasst werden können. Die empirischen Gleichungen nach Chézy und Gaukler-Manning-Strickler fassen diese Einflüsse in einem Rauheitsbeiwert zusammen. Üblicherweise verwendet wird die Gleichung nach Gaukler-Manning-Strickler für die in Tabelle 2 einige Rauheitsbeiwerte (k_{St} -Werte) zusammengestellt sind.

Die Gleichungen lauten:

Gaukler-Manning-Strickler: $Q = A \cdot k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot J_E^{1/2}$

Chézy: $Q = A \cdot C \cdot r_{hy}^{1/2} \cdot J_E^{1/2}$

Hierbei ist:

Q	Durchfluss im Durchflussprofil bzw. Durchflussquerschnitt (m ³ /s)
A	Fläche des Durchflussmessquerschnitts (m ²)
l_U	Benetzter Umfang des Durchflussprofils (m)
r_{hy}	Hydraulischer Radius (m) = A / U
J_E	Energiegefälle (Bei gleichförmigem Abfluss ist das Energiegefälle gleich dem Sohlengefälle und gleich dem Wasserspiegelgefälle) (-)
k_{St}	Beiwert nach Gaukler-Manning-Strickler (m ^{1/3} /s)
C	Mittlerer Abflussbeiwert nach Chézy im Durchflussprofil (m ^{1/2} /s)

Tabelle 2: k_{St} – Werte für verschiedene Sohlentypen (Datenauswahl zusammengestellt aus Schröder, 1994 und Rössert, 1981).

Gerinne	Art, Form, Zustand	k_{St} in m ^{1/3} /s
Gusseisen	Rohre, neu	90
Beton	Zementglattstrich	100
	grobe Betonauskleidung, alt	50-55
Naturstein	normales Bruchsteinmauerwerk	60
	grobes Bruchsteinmauerwerk	50
Erdkanäle	festes, feines Material	50
	Fein- bis Mittelkies	40-45
	Grobkies	35
Natürliche Wasserläufe	natürliche Flussbetten mit fester Sohle	40*
	natürliche Flussbetten mit mäßigem Geschiebetrieb	33-35*
	natürliche Flussbetten, Ufer verkrautet	30-35*
	natürliche Flussbetten mit starkem Geschiebetrieb	28*
	Wildbäche mit grobem Geröll im Ruhezustand	25-28*
	Wildbäche mit grobem Geröll in Bewegung	19-22*

* Der Wert enthält Unregelmäßigkeits-Einflüsse

2.2 Einflüsse der Gewässerrauheit, des Gewässerquerschnitts und des Gewässerverlaufs auf die Fließgeschwindigkeit

Die k_{sr} -Werte beschreiben bei hydraulischen Berechnungen die Einflüsse der Rauheit des Gewässerbettes, der Form und des Verlaufs des Gewässers und sonstiger Einflüsse auf die Energieverluste des fließenden Wassers.

Die Rauheit des Gewässerbettes wird durch dessen Unebenheiten (Steine, Sohlenriffel) und den Bewuchs des Querschnitts bestimmt. Von besonders starkem Einfluss bei Mittel- und Niedrigwasser sind Wasserpflanzen (Verkrautung); bei höheren Abflüssen wirkt sich zusätzlich der Bewuchs auf den Ufern und Vorländern aus. Die Rauheit des Gewässerbettes ist nicht nur verantwortlich für die Größe der mittleren Fließgeschwindigkeit, sondern auch für die Form der Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt. Je rauer das Gewässerbett ist, desto weiter reichen seine Auswirkungen auf die Fließgeschwindigkeit (Abbildung 5).

Von sehr großem Einfluss auf die Fließgeschwindigkeit ist die Verkrautung. Sie kann sich auch über das Mittelwasserbett hinaus auswirken, vermindert die mittlere Fließgeschwindigkeit erheblich und lässt die unterschiedlichsten Geschwindigkeitsverteilungen entstehen (Abbildung 6).

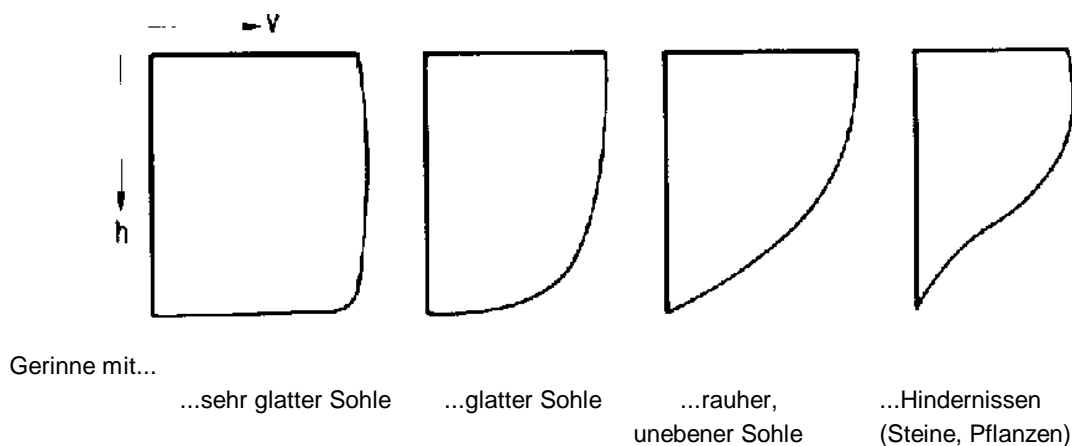


Abbildung 5: Beispiele für die Geschwindigkeitsverteilung in Messlotrechten bei unterschiedlicher Sohlenbeschaffenheit (Pegelvorschrift Anlage D, 1991).

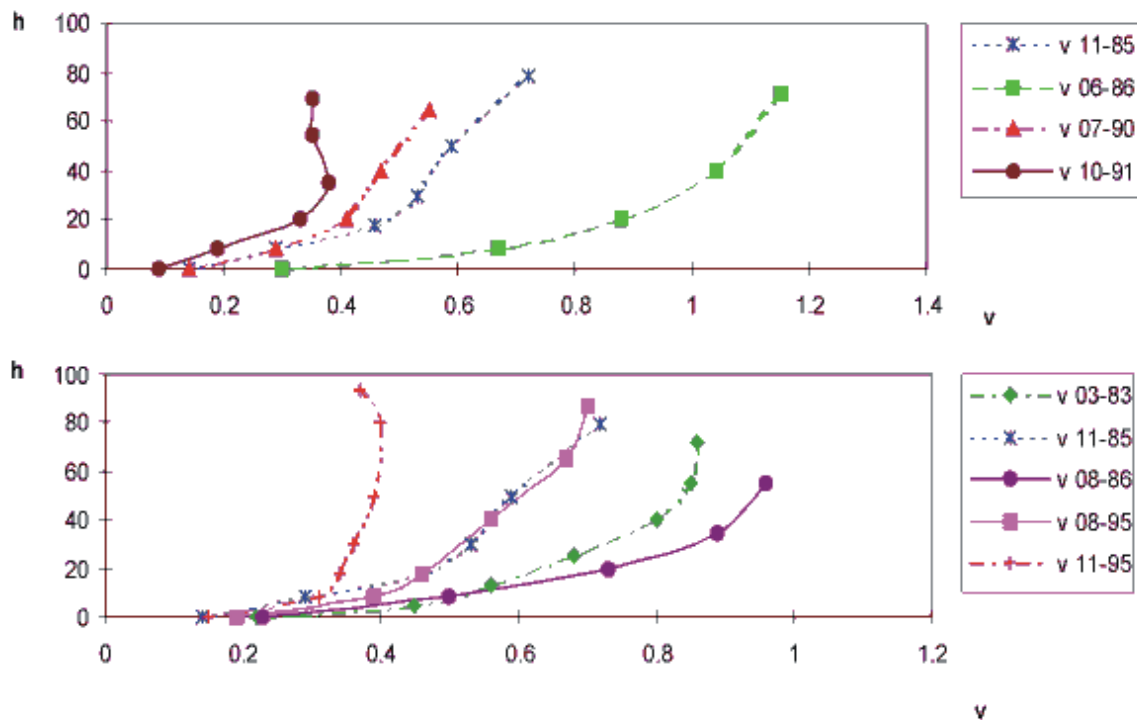


Abbildung 6: Geschwindigkeitsprofile am Pegel Ostrachmühle in Gewässermitte bei unterschiedlich starker Verkräutung; oben bei $W = 80$ cm; unten bei $Q = 2.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Auch die Wasseroberfläche bildet eine Trennschicht. Dort ruft die Luftströmung, sofern diese sich in Größe und Richtung von der des Wassers unterscheidet, eine entsprechende Strömung an der Wasseroberfläche hervor. Starker Wind bei geringen Fließgeschwindigkeiten kann die Geschwindigkeitsprofile erheblich beeinflussen.

Wenn ein Gewässer ausufert, sind wegen der geringen Wassertiefe die Fließgeschwindigkeiten im Vorland zunächst sehr klein. Wegen der unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Hauptgewässer und im Vorland entstehen im Grenzbereich Strömungswalzen, welche zwar die Fließgeschwindigkeiten im angrenzenden Vorland etwas erhöhen, insgesamt aber wegen der starken Energieverluste die Fließgeschwindigkeit im Hauptgewässer deutlich vermindern.

Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse eines Modellversuchs zur Bestimmung dieser Einflüsse. Mit Hilfe einer Glasscheibe wurde eine Trennung von Hauptbett und Vorland geschaffen. Für je ein Gewässermodell mit Rechteckprofil (Abbildung 7 a) und Trapezprofil (Abbildung 7 b) wurde nun die Verteilung der mittleren Fließgeschwindigkeit mit und ohne die Trennung bestimmt. Die mit „1“ bezeichneten Kurven stellen die Fließgeschwindigkeitsverteilung ohne Trennung von Hauptgewässer und Vorland dar, die mit „2“ gekennzeichneten Kurven stellen die Verhältnisse mit eingebrachter Glasscheibe dar. Die Fließgeschwindigkeiten im Hauptgewässer bei vorhandener Überflutung des Vorlands werden weit über den Grenzbereich zwischen Hauptgewässer und Vorland hinaus verringert.

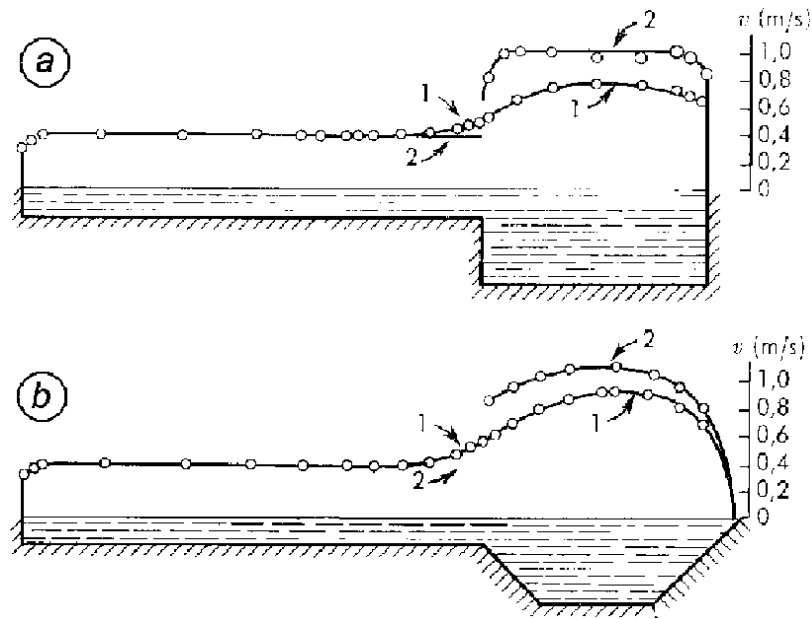


Abbildung 7: Im Modellversuch ermittelte Verteilung der mittleren Fließgeschwindigkeiten für den Fall, dass Vorland und Hauptbett miteinander verbunden sind (Kurve 1) und dass diese voneinander getrennt sind (Kurve 2) (Spicyn, 1962).

Die Größe des Vorlandeinflusses auf die Fließgeschwindigkeit im Mittelwasserbett hängt von der Höhe der Überflutung und dem Verhältnis zwischen der Breite des Mittelwasserbettes (b_g) und der Gesamtbreite von Mittelwasserbett und Vorland ($b_g + b_v$) ab. Bei beginnender Überflutung geht die Geschwindigkeit zunächst zurück. Bei größerer Überflutung nimmt sie dann wieder zu (Abbildung 8). Noch ausgeprägter sind die Veränderungen der Fließgeschwindigkeit im Gesamtquerschnitt (Abbildung 9).

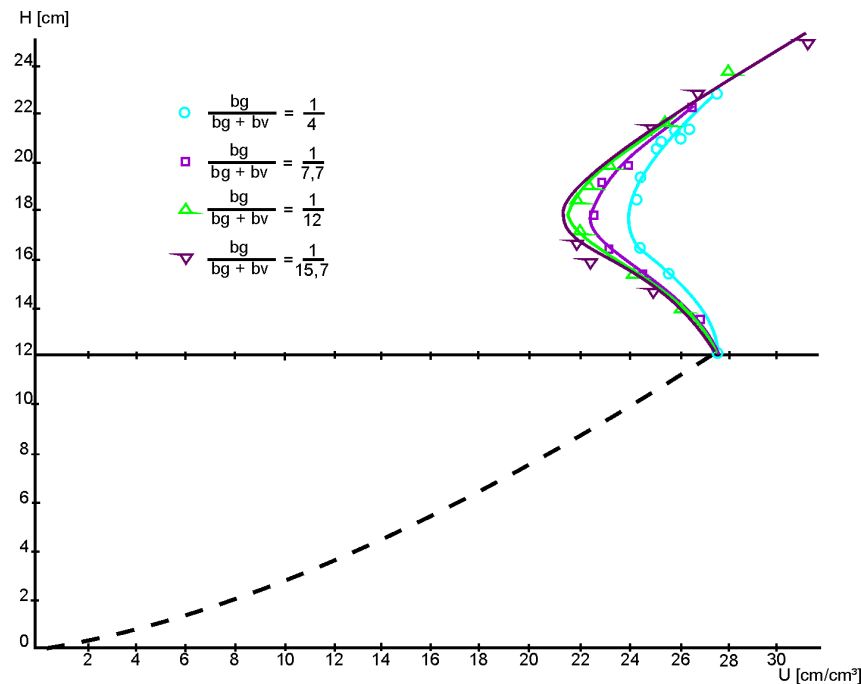


Abbildung 8: Abhängigkeit der mittleren Fließgeschwindigkeit im Mittelwasserbett vom Wasserstand für verschiedene Breitenverhältnisse $b_g / (b_g + b_v)$ (Agasijeva, 1961).

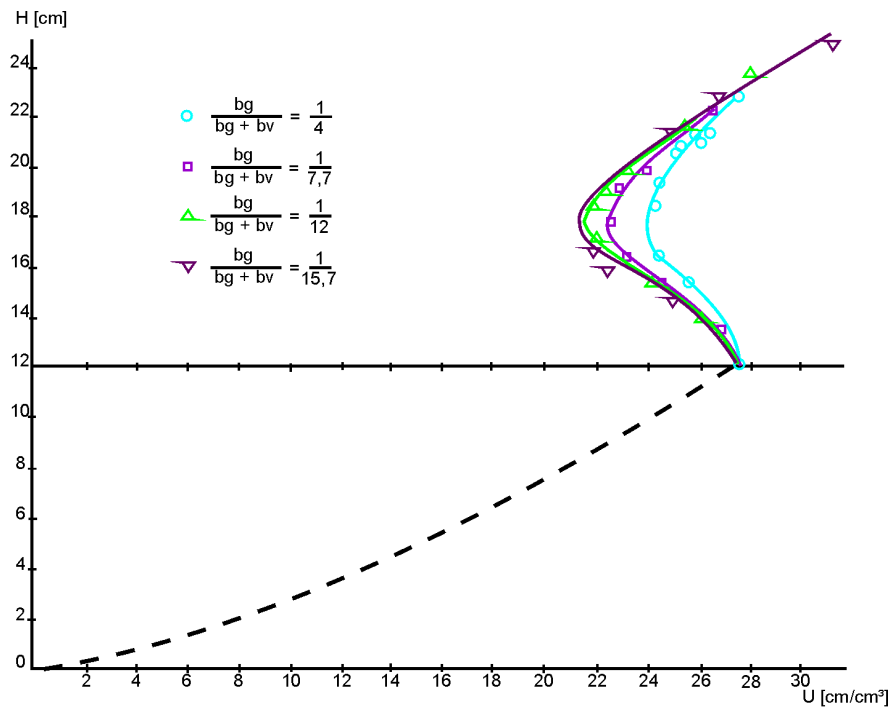
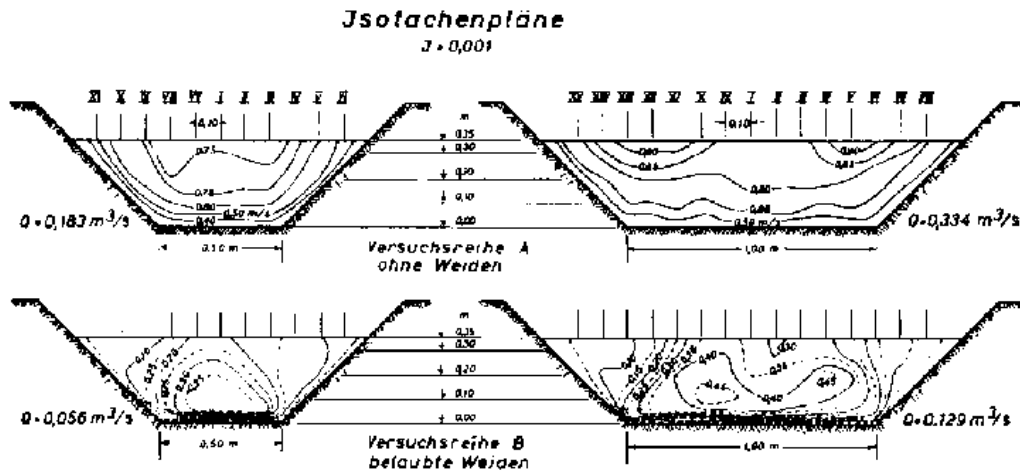


Abbildung 9: Abhängigkeit der mittleren Fließgeschwindigkeit im Gesamtquerschnitt vom Wasserstand für verschiedene Breitenverhältnisse $b_g / (b_g + b_v)$ (Agasijeva, 1961).

Mit steigendem Wasserstand werden neue Flächen überflutet, deren Rauheit sich vielfach von der des Gewässerbettes bei mittlerer Wasserführung unterscheidet (dichte Ufervegetation im Vergleich zu glattem Mittelwasserbett). Die mittlere Rauheit des Gewässerbettes wird daher mit wachsendem Abfluss zunehmend von der Rauheit der nur bei höherer Wasserführung überfluteten Flächen des Durchflussquerschnitts beeinflusst.

Böschungen mit Uferbewuchs beeinflussen die Fließgeschwindigkeiten bis weit hinein ins Gewässerbett. Dabei hängt die Größe des Einflusses von der Art und Dichte der Bepflanzung (hochstämmige Bäume oder Buschwerk) sowie vom Grad der Belaubung ab (Abbildung 10 und Abbildung 11).



- oben: Die Isotachen (Linien gleicher Fließgeschwindigkeit) sind annähernd parallel der Gerinnebegrenzung.
 unten: Die Isotachen werden durch den Bewuchs stark von den Böschungen fortgedrängt, daher wird die größte Geschwindigkeit in der unteren Querschnittshälfte angetroffen.

Abbildung 10: Vergleich der Isotachen in Trapezprofilen ohne (Versuchsreihe A – oben) und mit Weiden auf der Uferböschung (Versuchsreihe B – unten) (Felkel, 1960).

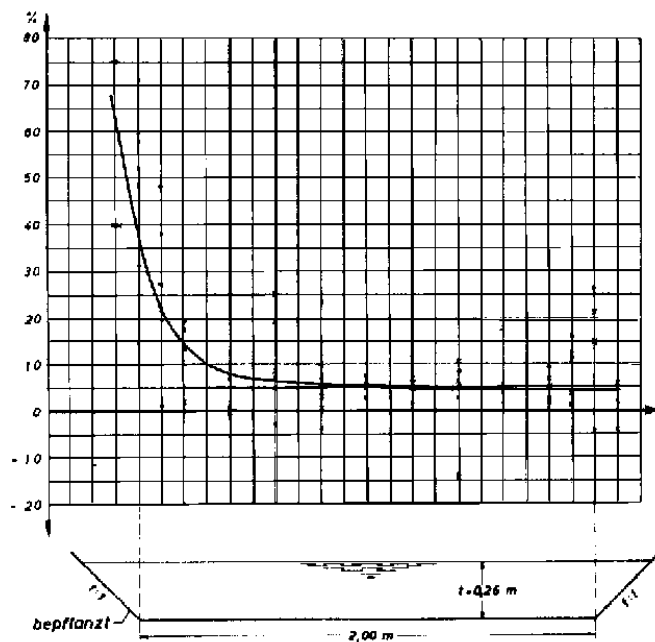


Abbildung 11: Verminderung der örtlichen Fließgeschwindigkeiten bei Weidenbewuchs auf nur einer Böschung in Prozenten der Geschwindigkeiten im unbepflanzten Gerinne (Felkel, 1960).

Von erheblichem Einfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung im Durchflussquerschnitt ist auch der Gewässerverlauf. Auf der Innenseite einer Krümmung sind die Fließgeschwindigkeiten größer und die Wasserspiegelhöhen niedriger als auf der Außenseite (Abbildung 12).

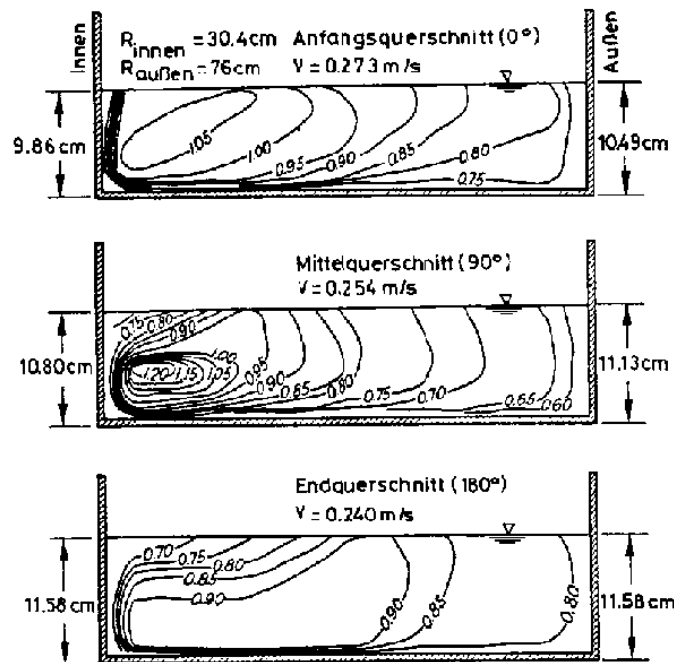


Abbildung 12: Ungleichförmige Geschwindigkeitsverteilung des strömenden Abflusses durch einen 180°-Krümmer nach (Naudascher, 1987, nach: Mockmore 1944).

Außerdem bildet sich eine Spiralströmung, bei der das Wasser an der Sohle von außen nach innen strömt, was zu dem bekannten Phänomen der Erosion des Außenufers und der Verlandung des Innenufers führt. Die Spiralströmungen führen zu Energieverlusten, weswegen die Rauheitsbeiwerte bei mäandrierenden Gewässern generell höher sind.

In der Praxis lassen sich die einzelnen Phänomene selten getrennt beobachten. Vielfach überlagern sich die Einflüsse der Vegetation auf den Böschungen des Mittelwasserbettes mit denen der Ausuferung und oft auch mit den Einflüssen von Flusskrümmungen. Bei hydraulischen Betrachtungen werden alle diese Einflüsse im Rauheitsbeiwert k_{St} bzw. dem entsprechenden Chézy-Beiwert C erfasst.

2.3 Profilwert P und Q/P -Wert

Zur Beurteilung der verschiedenen Einflüsse auf die Beziehung zwischen Durchfluss und Wasserstand ist es hilfreich, die einzelnen Faktoren der Abflussgleichung nach Gauckler-Manning-Strickler bzw. Chézy getrennt zu untersuchen:

Der Profilwert P fasst die beiden Glieder der Gleichung zusammen, welche die Form und Größe des Durchflussquerschnittes beschreiben. Sofern sich das Profil nicht verändert, sind jedem Wasserstandswert gleichbleibende Werte für r_{hy} , A und P zugeordnet.

Das verbleibende Restglied der Abflussgleichung (Q/P -Wert) beschreibt die von der Gewässergeometrie unabhängigen Faktoren, den Rauheitsbeiwert und das Gefälle. Sofern die Wasserstände am Pegel nicht durch ein Kontrollbauwerk (Wehr, Absturz, Venturi-Gerinne) vorgegeben sind, das einen Fließwechsel des strömenden Zuflusses erzwingt und damit einen Einfluss des Unterwassers verhindert, bestimmen die hydraulischen Gegebenheiten im Unterwasser die Größe des Q/P -Wertes. Dabei ist zu beachten, dass mit wachsendem Durchfluss auch die Länge der hydraulisch wirksamen Gewässerstrecke zunimmt. Häufige Ursachen für

Veränderungen des Q/P -Wertes sind der jahreszeitliche Wechsel der Verkräutung und der Ufervegetation, Auflandungen und Erosion, Zuflüsse und Entnahmen sowie bewegliche Wehre.

In Tabelle 3 sind die hydraulischen Kenngrößen für die Gleichungen nach Gauckler-Manning-Strickler und Chézy zusammengestellt.

Tabelle 3: Hydraulische Kenngrößen nach Gauckler-Manning-Strickler und Chézy.

Kenngröße	Gauckler-Manning-Strickler	Chézy
Abfluss Q	$A \cdot k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot J_E^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$A \cdot C \cdot r_{hy}^{1/2} \cdot J_E^{1/2} \text{ (m}^3/\text{s)}$
Fließgeschwindigkeit v	$k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot J_E^{1/2} \text{ (m/s)}$	$C \cdot r_{hy}^{1/2} \cdot J_E^{1/2} \text{ (m/s)}$
Profilwert P	$A \cdot r_{hy}^{2/3} = \int_0^b h^{5/3} \cdot dh \text{ (m}^{8/3}\text{)}$	$A \cdot r_{hy}^{1/2} = \int_0^b h^{3/2} \cdot dh \text{ (m}^{5/2}\text{)}$
Q/P -Wert	$k_{St} \cdot J_E^{1/2} \text{ (m}^{1/3}/\text{s)}$	$C \cdot J_E^{1/2} \text{ (m}^{1/2}/\text{s)}$

2.4 Sonstige Einflüsse auf den Fließvorgang

Änderungen des Querschnittes, Einbauten (z. B. Wehre) oder Krümmungen des Gewässerlaufes sind Ursachen dafür, dass die Fließrichtung im Gewässer örtlich von der Hauptfließrichtung abweicht (Querströmung) (Abbildung 13). Gleichzeitig verändern sich auch die Fließgeschwindigkeiten. Bei schießendem Abfluss führen Änderungen der Querschnittsform und Gerinnekrümmungen zur Wellenbildung.

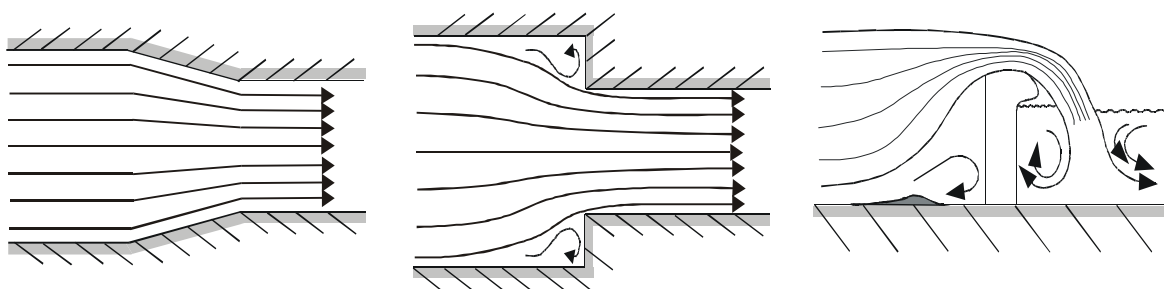


Abbildung 13: Verlauf der Stromlinien bei Profileinengungen und Wehren; für Durchflussmessungen ungeeignete Querschnitte.

Auch einzelne Hindernisse in der Strömung, z. B. größere Steine, verursachen örtlich Veränderungen der Fließrichtung und der Fließgeschwindigkeit. Im Stau von großen Steinen oder in deren Strömungsschatten sind die Fließgeschwindigkeiten geringer, in Verengungen höher.

Die Fließgeschwindigkeiten ändern sich nicht nur örtlich, sie sind auch kurzzeitigen Änderungen unterworfen. Der Einfluss dieses Pulsierens auf das Ergebnis der Geschwindigkeitsmessung ist vom Gewässertyp, der Wasserführung und der Lage des Messpunktes im Querschnitt abhängig (Abbildung 14). Er ist an der Sohle generell höher als an der Wasseroberfläche und bei Gebirgsflüssen stärker als bei Gewässern in der Ebene.

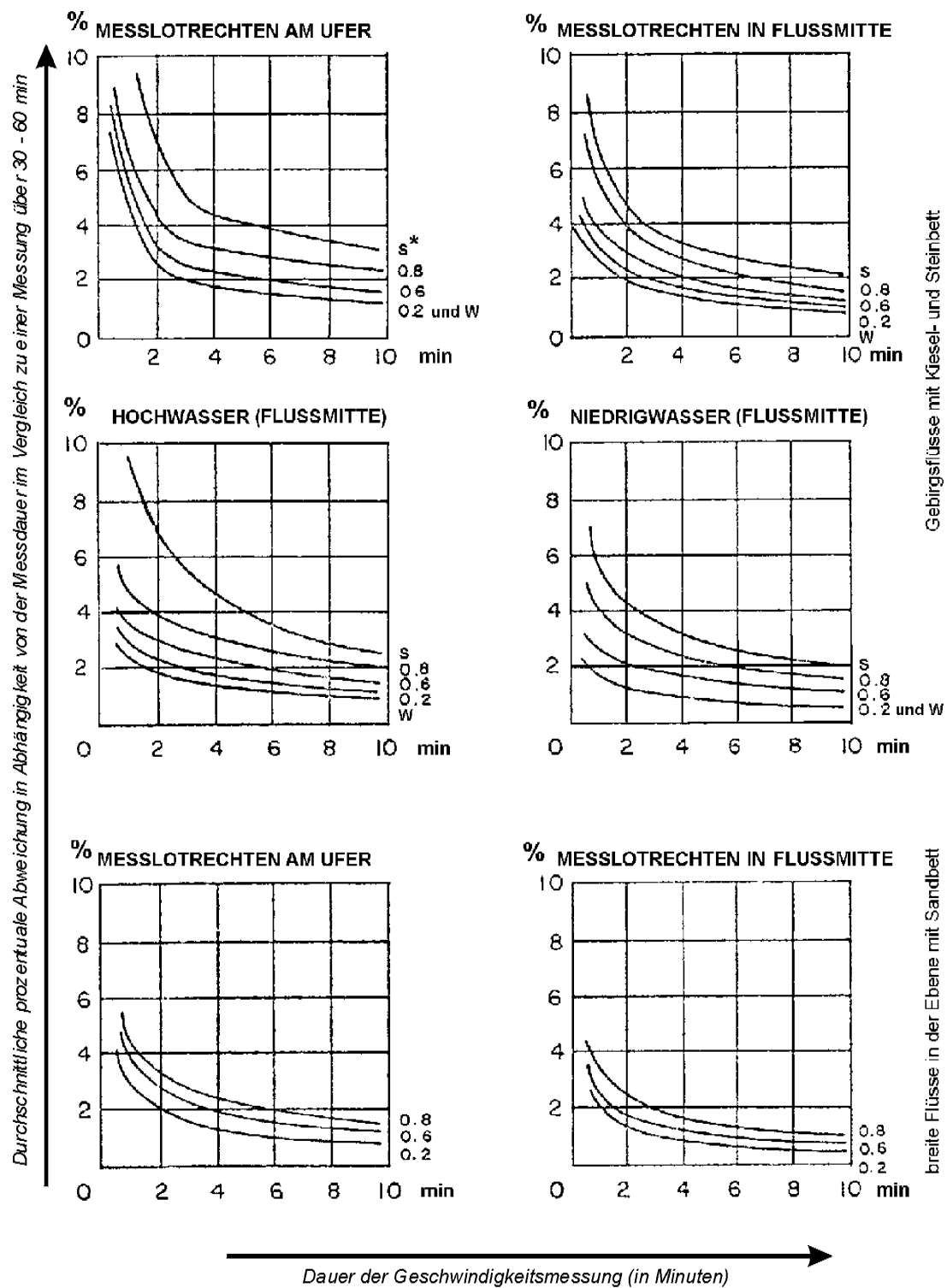


Abbildung 14: Durchschnittliche prozentuale Abweichung der gemessenen Fließgeschwindigkeit an verschiedenen Messpunkten in Abhängigkeit von der Messdauer im Vergleich zu einer Messung über 30 bis 60 min (Dickinson, 1967, nach: Dementjew, 1962).

3 Messflügel

3.1 Messprinzip und Funktion

Der Messflügel dient der punktuellen Messung der Fließgeschwindigkeit. Er besteht aus dem Flügelkörper und der Flügelschaufel, die durch das fließende Wasser in Rotation versetzt wird (Abbildung 15). Die Umdrehungen der Schaufel werden berührungsfrei als Impulse von Reedkontakten erfasst und in einem Zählgerät, das über Kabel mit dem Flügel verbunden ist, während eines vorgegebenen Messzeitraumes gezählt. Die Anzahl der Umdrehungen pro Zeiteinheit ergibt dann die mittlere Umdrehungsgeschwindigkeit der Schaufel während des Messzeitraumes. Aus ihr kann dann auf die Fließgeschwindigkeit des Wassers geschlossen werden. Registriert wird üblicherweise jede vollendete Umdrehung der Schaufel. Mit speziellen Messflügeln können auch kleinere Umdrehungswinkel erfasst werden.

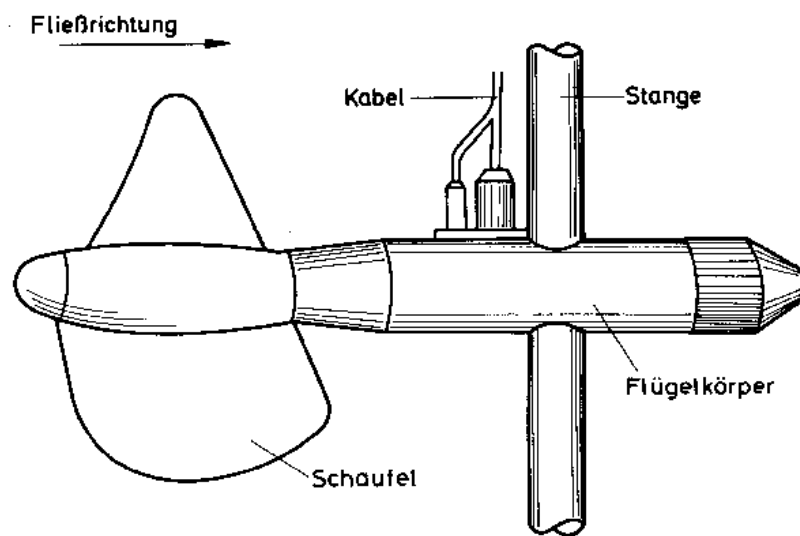


Abbildung 15: Messflügel (an Stange) (Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).

3.2 Stangenflügel und Schwimmflügel

Grundsätzlich ist zwischen dem Einsatz des Messflügels an der Stange (Stangenflügel) und dem Einsatz als Schwimmflügel zu unterscheiden. Bei beiden Verfahren kann der Messflügel an die gewünschte Position im Durchflussquerschnitt (Messpunkt) gebracht werden.

Um den gemessenen **Geschwindigkeitswert** bei der Auswertung dem richtigen Punkt im Querschnitt zuordnen zu können, muss die genaue Lage des Messpunktes bekannt sein. Beim Einsatz des Stangenflügels kann dessen Höhenlage an der Skalierung der Stange abgelesen werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Stange exakt auf der Sohle aufsitzt. Bei weichem Gewässerboden besteht die Gefahr, dass die Stange einsinkt, bei sehr harter Gewässersohle kann bei Stangen mit Grundplatte (Abbildung 18A + B) und Dorn (Abbildung 18B) dieser auf der Sohle aufsitzen. Die Lage in der Horizontale wird bei Messungen mit dem Stangenflügel bzw. mit einem Schwimmflügel in Kombination mit einem mobilen Messausleger üblicherweise mit einem über den Messquerschnitt gespannten Maßband oder durch Markierungen an einem Messsteg bestimmt. Bei Seilkrananlagen wird das Zählwerk an der Winde zur Positionsbestimmung verwendet.

Der Einsatzbereich des Stangenflügels wird begrenzt durch die Hebelkraft, die der Messende aufbringen muss, um den Flügel gegen den Strömungsdruck zu halten. Maßgebend ist somit die Fließgeschwindigkeit v und die Länge l des Hebelarmes zwischen Sohle und Haltepunkt der Stange (Abbildung 16). Einen Anhaltspunkt für die Grenze des Anwendungsbereiches liefert folgende, aus Erfahrungswerten aufgestellte empirische Gleichung:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{4}{h \left(l - \frac{h}{2} \right)}}$$

v_{\max}	maximale Fließgeschwindigkeit als Grenzwert zum Einsatz des Stangenflügels (m/s)
l	Länge des Hebelarmes (m)
h	Wassertiefe (m)

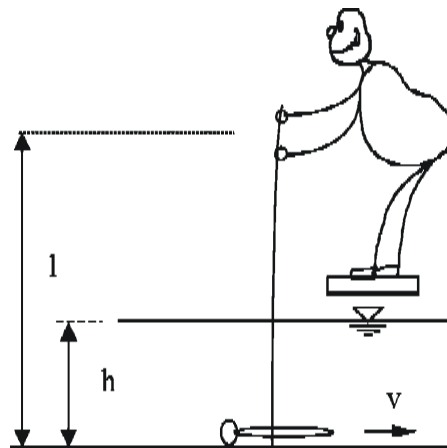


Abbildung 16: Bestimmung des Einsatzbereiches des Stangenflügels.

Stangenflügel werden vornehmlich von einer Brücke oder einem Steg herunter eingesetzt. Auch der Einsatz von einem flachen Boot aus ist möglich. Im Wasser stehend sollte wegen der dadurch verursachten Störung der Strömung nur in Ausnahmefällen gemessen werden (vgl. Kapitel 4.2).

Stangenflügel können sowohl mit einem Überwurfgestänge (Abbildung 18A) als auch einem Leitblech ausgestattet werden (Abbildung 18B). Mit dem Überwurfgestänge kann der Messende den Flügel in jede gewünschte Richtung drehen. Messflügel mit Leitblech richten sich automatisch nach der Fließrichtung aus.

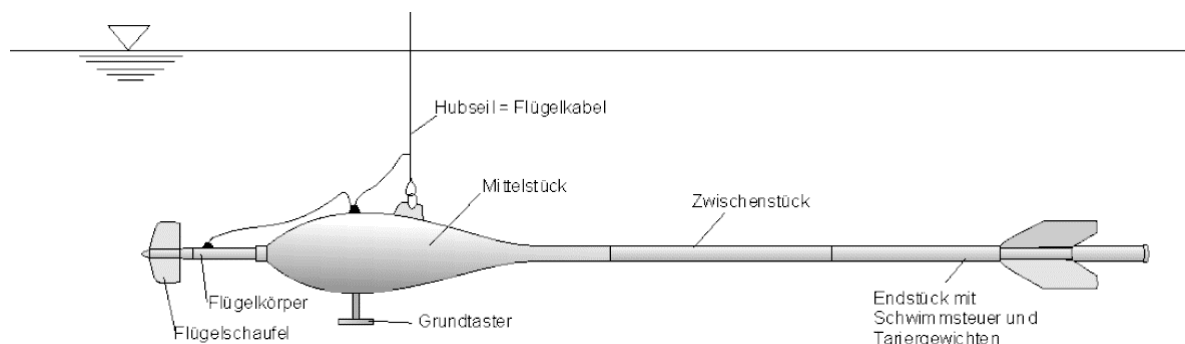


Abbildung 17: Schwimmflügel, wie er an Seilkrananlagen oder Messauslegern eingesetzt werden kann (nach Pegelvorschrift, Anlage D).

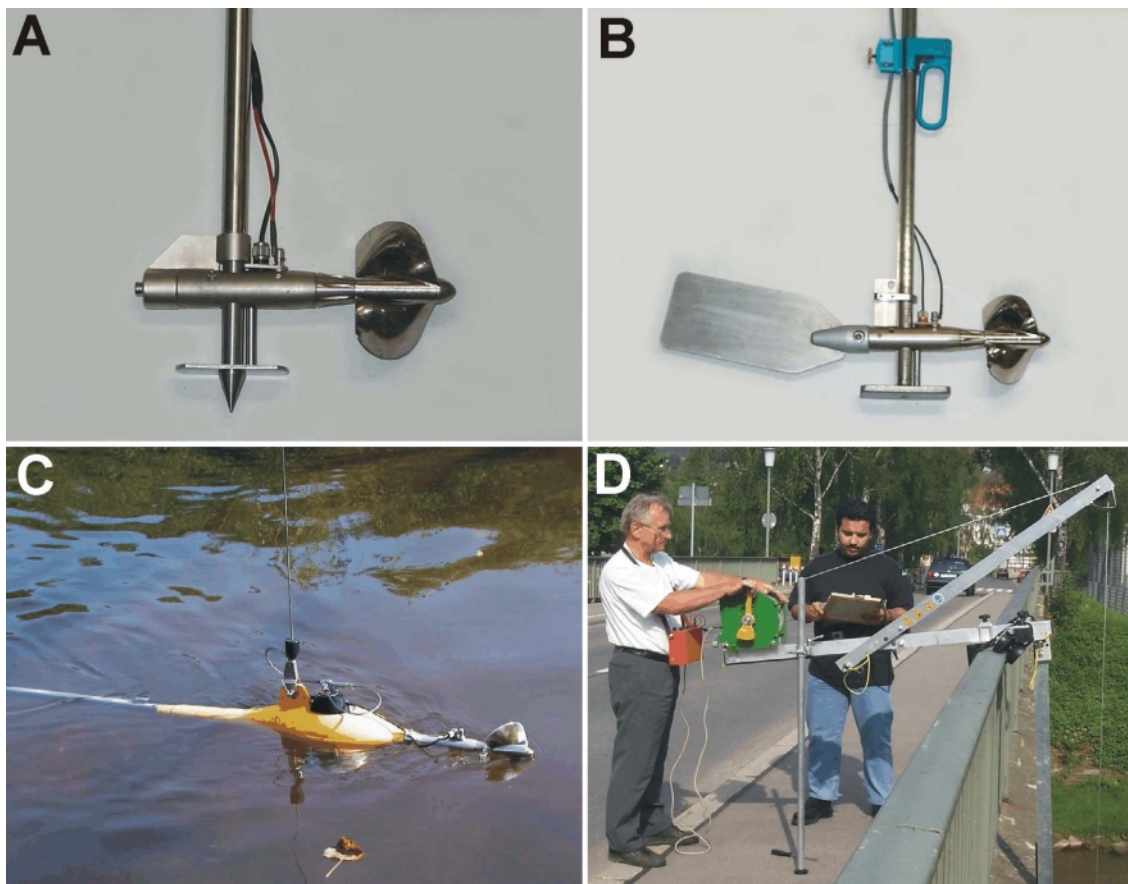


Abbildung 18: Befestigungsmöglichkeiten des Messflügels: Stangenflügel mit Überwurfgestänge (A), Stangenflügel mit Leitblech (B), Schwimmflügel (C), Brückenausleger(D).

Schwimmflügel kommen an Pegeln zum Einsatz, die mit einer Seilkrananlage ausgestattet sind. In Kombination mit einem mobilen Messausleger (Brückenausleger) werden sie darüber hinaus an Messstegen und Brücken eingesetzt, wo aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeiten (Hochwasser) oder eines zu großen Abstandes zum Gewässer der Einsatz eines Stangenflügels nicht mehr möglich ist.

Soll der Messflügel als Schwimmflügel verwendet werden, wird er an einem Schwimmgewicht montiert (Abbildung 17). Dieses wird von einer Seilkrananlage (Abbildung 18C) oder von einem Brückenausleger (Abbildung 18D) mit Hilfe einer Winde an einem Seil ins Wasser abgesenkt. Ebenso wie beim Stangenflügel mit Leitblech richtet sich die Flügelachse automatisch in Richtung der größten Fließgeschwindigkeit am Messpunkt aus.

Sofern der Schwimmflügel nicht mit einer Tiefenmesssonde ausgestattet ist, wird die Eintauchtiefe mit Hilfe des Zählwerkes der Winde über die Seillänge bestimmt. Dieses Verfahren setzt jedoch voraus, dass der Flügel nicht durch die Strömung abgetrieben wird. In diesem Fall würden sich aus der Seillänge wegen der Schrägstellung des Seiles fälschlicherweise zu große Wassertiefen ergeben (vgl. Abbildung 30). Um dies zu verhindern, müssen bei größeren Fließgeschwindigkeiten schwerere Schwimmgewichte eingesetzt oder das Seil nach oberstrom abgespannt werden. Beträgt der Abtriftwinkel weniger als 5° und ist gleichzeitig der Höhenunterschied zwischen Aufhängepunkt und Wasserspiegel (Aufhängeabstand) geringer als 4 m, ist der Fehler vernachlässigbar. Bei größeren Abtriftwinkeln bis zu einem maximalen Wert von 30° ist es

möglich, bei der Ermittlung der Wassertiefe den Einfluss der Abtrift abzuschätzen (vgl. Kapitel 7.2). Hierzu ist es erforderlich, den Abtriftwinkel bei der Durchflussmessung mit einem Winkelmessgerät zu ermitteln.

Zur Ermittlung der Sohllentiefe besitzt das Schwimmergewicht einen Grundtaster. Sobald dieser die Sohle berührt, löst er ein Signal aus und stoppt bei motorgetriebenen Seilkrananlagen den Absenkvorgang. Der unterste Messpunkt liegt bei Schwimmflügeln bauartbedingt stets um ein bestimmtes Maß über der Sohle (Resttiefe, Abbildung 26).

Die Lage in der Horizontalen wird bei Brückenauslegern in gleicher Weise wie beim Stangenflügel bestimmt, bei Seilkrananlagen kann der Wert an einem Zählwerk abgelesen werden.

3.3 Fließgeschwindigkeit und Drehgeschwindigkeit der Schaufel

Die Messflügel haben die Eigenschaft, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit der Schaufel nahezu proportional der Geschwindigkeit des am Flügel vorbeiströmenden Wassers ist.

Der genaue Zusammenhang zwischen Fließgeschwindigkeit und Umdrehungsgeschwindigkeit der Schaufel wird durch Kalibrieren ermittelt („Flügleichung“). Dabei wird der Flügel mit verschiedenen großen, exakt gemessenen Geschwindigkeiten durch das ruhende Wasser eines „Eichkanals“ gezogen und dabei die Anzahl der Umdrehungen der Schaufel gezählt. Die Beziehung zwischen Fließgeschwindigkeit und der Umdrehungsgeschwindigkeit der Schaufel beschreibt eine sehr flache Hyperbel, die in der Praxis durch eine Folge von Geraden ersetzt wird, die jeweils für einen bestimmten Geschwindigkeitsbereich Gültigkeit haben (Abbildung 19). Die Schnittpunkte der Geraden (Knickpunkte) fallen mit den Gültigkeitsgrenzen zusammen, wodurch erreicht wird, dass die Eichbeziehung keine Sprünge aufweist.

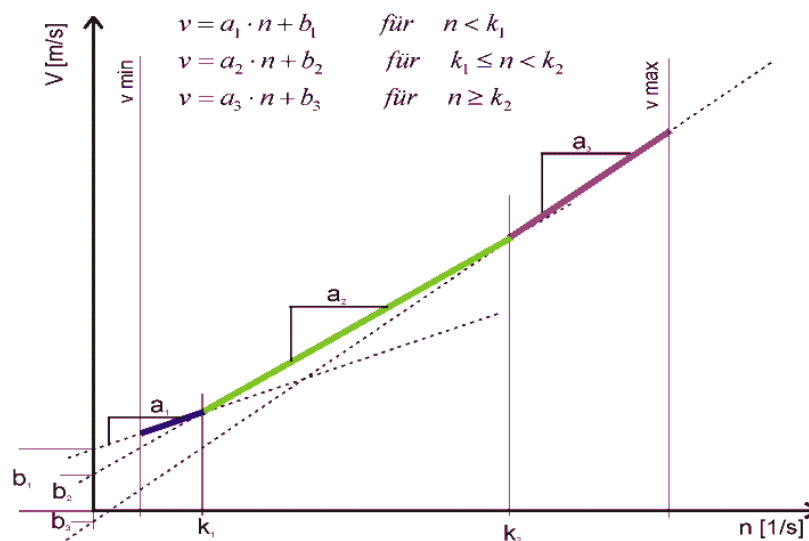


Abbildung 19: Die einzelnen Komponenten einer Messflügel-Eichgleichung.

Die Geraden gehorchen folgender Gleichung:

$$v = a \cdot n + b$$

Dabei sind:

v	Fließgeschwindigkeit (m/s)
n	Umdrehungsgeschwindigkeit der Flügel-schau-fel (1/s)
a, b	Kalibrierfaktoren, die von der Form der Schaufel abhängen.

Die Eichkurve verläuft nicht durch die Nullpunkte der beiden verglichenen Größen. Sehr kleine Fließgeschwindigkeiten reichen nicht aus, die Lagerreibung, die Massenträgheit der Schaufel und andere Hemmnisse zu überwinden. Die Fließgeschwindigkeit, ab der eine ordnungsgemäße Rotation der Schaufel einsetzt, wird als Anlaufgeschwindigkeit bezeichnet.

Da auch Schaufeln gleichen Typs geringfügige mechanische Unterschiede aufweisen, wird jeder Flügel individuell geeicht. Auch die Form des Flügelkörpers und die Art seiner Befestigung (Stange oder Gewicht) wirken sich auf die Strömung und damit auf die Umdrehungsgeschwindigkeit der Flügelschaukel aus (Abbildung 20). Daher werden Flügelkörper, Schaufel und Befestigung (Stange bzw. unterschiedliche Schwimmgewichte) stets gemeinsam geeicht.

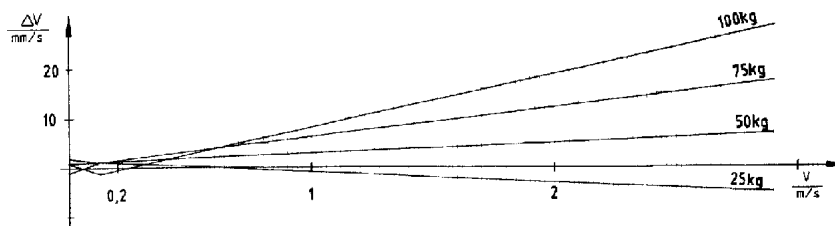


Abbildung 20: Einfluss der Befestigung eines Flügels an Schwimmgewichten unterschiedlicher Größe auf die ermittelte Fließgeschwindigkeit im Vergleich zur Befestigung an einer Stange mit $\varnothing 20$ mm (DVWK, 1983).

Die Messunsicherheit eines geeichten, ordnungsgemäß gepflegten und gewarteten und an die vorhandene Fließgeschwindigkeit angepassten Messflügels liegt außerhalb des Anlaufbereiches meist bei $\pm 0,001$ m/s bis $\pm 0,004$ m/s, wobei die größten Fehler gewöhnlich im Bereich der Anlaufgeschwindigkeit liegen.

Unsicherheiten in der gleichen Größenordnung verursacht die durch Temperaturunterschiede hervorgerufene Änderung der Viskosität des Flügelöls (Landauer, 1962). Zu großen systematischen Messfehlern kann es kommen, wenn statt des vom Flügelhersteller empfohlenen und bei der Eichung verwendeten Flügelöls ein anderes Produkt verwendet wird (Abbildung 21), in das Lager Wasser eingedrungen und dort gefroren ist oder durch mangelhafte Wartung (Reinigung der Lager, Austausch des Flügelöls) das Lager schwergängig geworden ist.

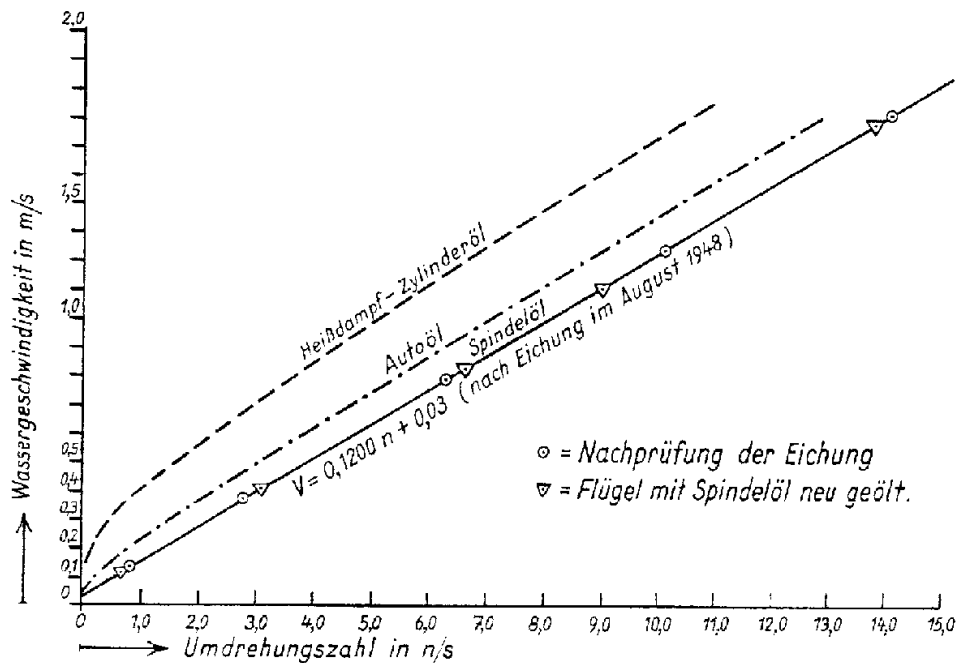


Abbildung 21: Einfluss des zur Schmierung des Lagers verwendeten Flügelöls auf die Beziehung zwischen Fließgeschwindigkeit und Umdrehungszahl der Schaufel (Natermann, 1950).

Bereits kleine Beschädigungen der Schaufel oder Kratzer in den Lagern können die Eigenschaften des Flügels verändern. Derartige Schäden sind die Ursache für systematisch zu klein gemessene Fließgeschwindigkeiten. Durch eine erneute Eichung können die Veränderungen erfasst und die Messwerte entsprechend korrigiert werden. Kunststoffschaufeln verformen sich leichter als Metallschaufeln, die Gefahr systematischer Messfehler ist bei ihnen größer. Bei Kälte lassen sie sich schlecht von der Flügelachse lösen und können bei Gewalteinwirkung Haarrisse erhalten. Kunststoffschaufeln sollten daher möglichst gar nicht eingesetzt werden, eine Verwendungsmöglichkeit besteht wegen des guten Anlaufverhaltens nur bei extrem kleinen Geschwindigkeiten.

Durch eine Eichung des schadhafte Flügels ist es möglich, die für den beschädigten Flügel gültige Eichkurve zu ermitteln und mit diesem Flügel durchgeführte Messungen nachträglich auszuwerten. Auch wenn keine Beschädigungen vermutet werden sind regelmäßige Nacheichungen des Flügels notwendig.

3.4 Messung bei schräger Anströmung

Es ist zu unterscheiden zwischen Schrägströmungen (Abbildung 23 rechts) und einer schräg zum Durchflussquerschnitt verlaufenden Messebene (Abbildung 23 links). Die Auswertung von Messungen mit einer schrägen Messebene wird im Kapitel 4.4 behandelt.

Schrägströmungen, d. h. Strömungen, bei denen die Fließrichtung unter einem Winkel α von der Hauptfließrichtung rechtwinklig zur Messebene abweicht, können sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung auftreten (Abbildung 13).

Für die Durchflussermittlung maßgebend ist die Geschwindigkeitskomponente v_a parallel zur Hauptfließrichtung. Um diese zu ermitteln, zerlegt man die maximale Geschwindigkeit v in eine Komponente in Richtung der Ebene des Durchflussquerschnittes (Querströmungskomponente) und in die gesuchte Geschwindigkeitskomponente v_a rechtwinklig hierzu (Abbildung 22).

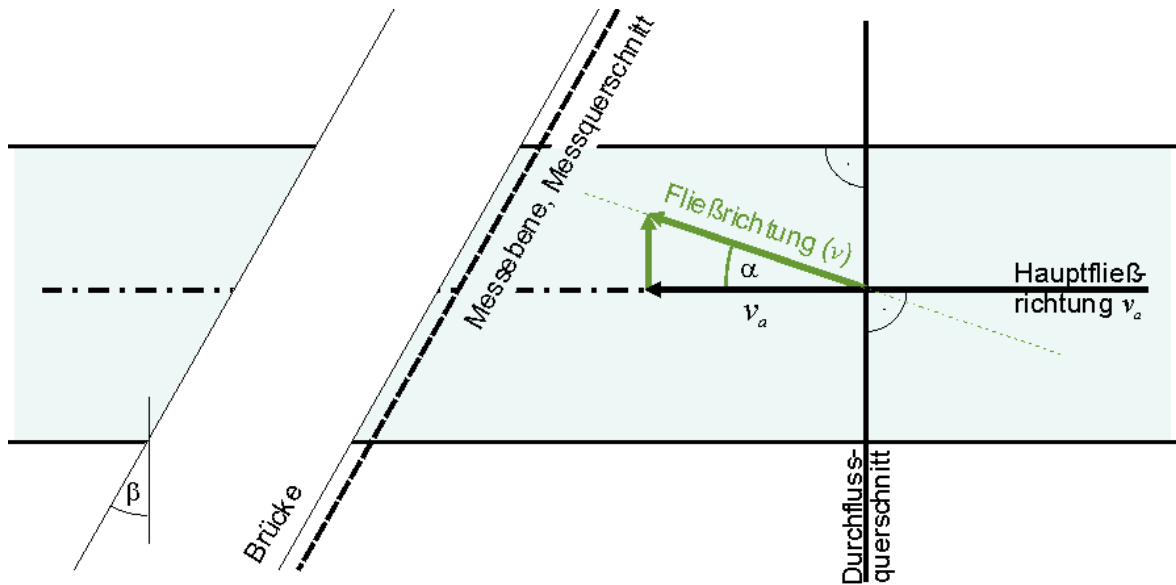


Abbildung 22: Nicht orthogonal zur Hauptfließrichtung verlaufender Durchfluss-Messquerschnitt und maßgebende Geschwindigkeitskomponente v_a bei Schrägströmung.

Mit den Schwimm- und verschiedenen Stangenflügeln werden Schrägströmungen auf zweierlei Weise gemessen:

Stangenflügel mit Überwurfgestänge können in die Richtung der Hauptströmung rechtwinklig zum Durchflussquerschnitt gehalten werden. Die Messflügel haben die Eigenschaft, bei schräger Anströmung die Fließgeschwindigkeit mit dem Kosinus des Einfallwinkels α zu reduzieren, so dass die gemessene Fließgeschwindigkeit gleich der gesuchten Geschwindigkeitskomponenten v_a ist. Normale Messschaufeln sind hierzu bis zu einem Einfallwinkel von $\alpha < 5^\circ$ in der Lage, die speziell für die Messung von Schrägströmungen entwickelten Komponentenschaufeln auch noch bei wesentlich größeren Winkeln (Abbildung 23).

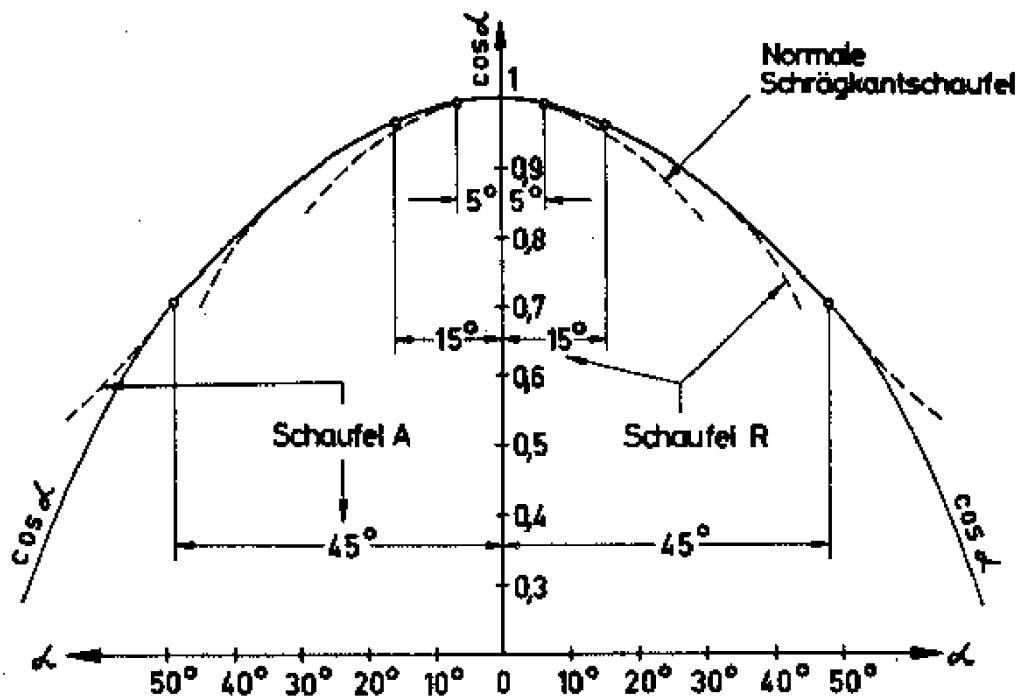


Abbildung 23: Messabweichung bei normalen Messschaufeln und bei Komponentenschaufeln (Typ A und R) (Ott, 1989).

Schwimmflügel und Stangenflügel mit Steuerblech richten sich automatisch in Richtung der größten Geschwindigkeit am Messpunkt aus. Komponentenschaufeln sind in diesem Fall wirkungslos. Es ist daher notwendig, zur nachträglichen Berechnung der Geschwindigkeitskomponenten v_a den Winkel α zwischen der Hauptfließrichtung rechtwinklig zur Messebene und der Richtung des Messflügels zu messen.

Schwimmflügel mit eingebautem Kompass messen den Winkel automatisch. Die gesuchte Geschwindigkeit v_a ergibt sich dann aus der Gleichung

$$v_a = v \cdot \cos \alpha$$

Wird der Winkel vom Messgerät nicht automatisch erfasst, muss die Umrechnung nach der oben angegebenen Gleichung per Hand erfolgen. Dies geschieht am einfachsten dadurch, dass die Anzahl der Umdrehungsimpulse mit $\cos \alpha$ multipliziert wird.

Für Messflügel, bei denen der Winkel α von einem Kompass kontinuierlich gemessen und mit den Messdaten zur Fließgeschwindigkeit vom Programm BIBER erfasst wird, erfolgt die Umrechnung automatisch.

4 Messung der Fließgeschwindigkeit und Ermittlung des Durchflussquerschnitts

4.1 Anforderungen an den Messquerschnitt

Nicht jeder Gewässerquerschnitt ist in gleicher Weise für Durchflussmessungen geeignet. Daher ist die richtige Auswahl der Messstelle eine wesentliche Voraussetzung für zuverlässige Messdaten. Außerdem kann der Messaufwand durch geschickte Wahl des Querschnittes vermindert werden. Maßgebend für die Wahl des Messquerschnitts sind hydrologische und messtechnische Kriterien.

Hydrologische Kriterien sind:

- Es ist an der Stelle des Gewässers zu messen, an der Informationen über Durchflüsse benötigt werden.
- Im Messquerschnitt muss der gesamte Durchfluss erfasst werden können, andernfalls sind die Umleitungen um den Messquerschnitt (z. B. Flutmulden, Werkkanäle) gesondert zu messen.

Messtechnische und hydraulische Kriterien sind:

- Die Wasserströmung durch den Messquerschnitt muss auf weitgehend parallelen Bahnen erfolgen (Parallele Anströmung). Diese Forderung muss bei allen Durchflüssen erfüllt sein. Dies ist bei Gewässern, die über eine längere Strecke gerade verlaufen und ein gleichbleibendes Profil aufweisen im Allgemeinen der Fall. Zu bevorzugen sind Gewässerstrecken, die nicht ausufern. Sind derartige Strecken nicht vorhanden und müssen Profile mit Ausuferung gemessen werden, gilt die Forderung auch für die Überflutungsflächen und für ihre Verbindung mit dem Hauptgewässer (Abbildung 24).

Bei Gewässern mit plötzlichen Querschnittsveränderungen kann es zu starken Quer- und teilweise zu Rückströmungen kommen; derartige Gewässerstrecken sind zur Durchflussmessung ungeeignet. Von Flusskrümmungen, einengenden Bauwerken, Wehren, Abstürzen u. ä. ist ein so weiter Abstand zu halten, dass die dadurch hervorgerufenen Störungen der Strömung im Messquerschnitt nicht mehr wirksam sind.

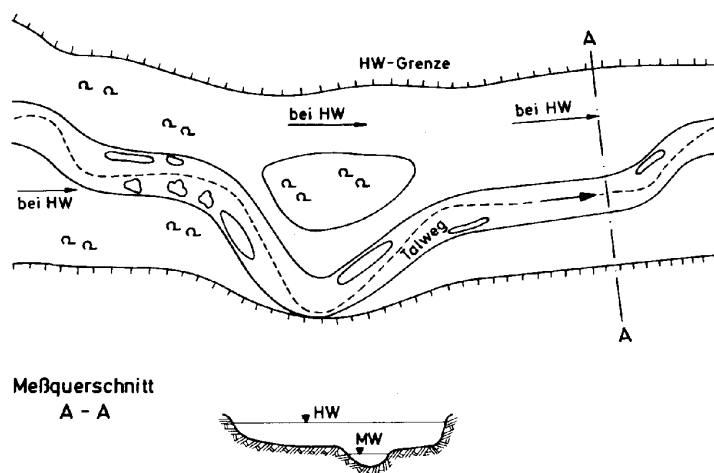


Abbildung 24: Lage einer für Durchflussmessungen geeigneten Messstelle (Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).

- Das Gewässerprofil sollte möglichst regelmäßig sein und eine eindeutige Begrenzung besitzen. Es sollte nicht zu stark gegliedert sein und keinen zu starken Wechsel der Rauheit aufweisen. Ober- und unterhalb des Messquerschnitts muss das Profil auf einer Länge von möglichst dem Fünffachen der Gewässerbreite frei von Hindernissen (Bepflanzung, Bauwerke, großen Steinen) sein.
- Die für den Einsatz von Messflügeln notwendigen Voraussetzungen bezüglich Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe müssen im gesamten Querschnitt erfüllt sein (vgl. Kapitel 3.3). Querschnitte mit weitflächigen Ausuferungen, in denen das Wasser bei geringer Tiefe nur sehr langsam fließt, und Stauhaltungen mit nahezu stehendem Wasser sind für die Messung ungeeignet. Nicht geeignet sind aber auch Messstellen mit zu hohen Fließgeschwindigkeiten.
- Da zur Durchflussermittlung auch die Größe des Durchflussquerschnittes bekannt sein muss, sollte der Querschnitt sich nicht durch Erosion oder Auflandung in seiner Größe oder Form verändern.
- Geeignet sind Messquerschnitte, bei denen von einer Brücke herunter gemessen werden kann. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass diese keine Elemente aufweist, die das Gewässer einengen (Widerlager, Pfeiler) und dadurch die parallele Strömung stören. Zu bevorzugen sind Brücken, die das Gewässer rechtwinklig kreuzen. Bei schräg kreuzenden Brücken ist es notwendig, die Abstände der Messlotrechten entsprechend zu korrigieren (vgl. Kapitel 4.4). Brücken, deren Achse gekrümmt ist oder um mehr als 30° von der idealen Messebene abweicht, sind als Messstandorte nicht zu empfehlen.
- Der Durchflussquerschnitt soll frei von Wasserpflanzen sein, da diese nicht nur Strömungshindernisse bilden, sondern auch die Funktionsfähigkeit des Messflügels beeinträchtigen können. Erforderlichenfalls sind die Wasserpflanzen im Messquerschnitt zu beseitigen. Dabei darf jedoch die Entkrautung nicht dazu führen, dass sich die Wasserstände ändern, da in diesem Fall die Durchflussmessung den Zustand mit Verkrautung nicht mehr erfassen würde.

Die Abflussmessstelle muss nicht unbedingt unmittelbar an der Pegelstelle liegen. Es kann notwendig sein, für Niedrig-, Mittel- und Hochwassermessungen unterschiedliche Abflussmessstellen vorzusehen, sofern keine Messstelle zu finden ist, die bei allen Durchflüssen den Anforderungen genügt. Anzustreben ist, dass sich die maßgebenden Abflussbereiche überlappen, so dass der Übergangsbereich durch Parallelmessungen abgesichert werden kann.

Wenn Durchflussmessstelle und Pegel getrennt sind, muss sichergestellt sein, dass zwischen diesen weder Wasser zufließt noch abgeleitet wird. Außerdem muss die Fließzeit zwischen den beiden Messstellen ermittelt werden, damit bei instationären Abflüssen die Messungen des Durchflusses und des Wasserstandes einander zeitlich richtig zugeordnet werden können. Damit Wasserstandsänderungen während der Messung registriert werden können, ist es erforderlich, die Pegelstände zur Durchflussmessstelle zu übertragen.

4.2 Messung der Fließgeschwindigkeit in einem Messpunkt

Zur Ermittlung des Geschwindigkeitsprofils in einer Messlotrechten (Abbildung 4) wird die Fließgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen des Profils gemessen. Diese Messung muss so erfolgen, dass die Strömung, die gemessen werden soll, durch den Messvorgang möglichst wenig verändert wird. Dies lässt sich bei Messungen mit dem Stangenflügel erreichen, wenn der Messende von einem Steg, einer Brücke oder einer Messbohle herunter den Stangenflügel ins Wasser hält. Schwimmflügel werden mit einer Seilkrananlage oder mit Hilfe eines

Brückenauslegers von einer Brücke herunter an einem Seil ins Wasser abgesenkt. Die Störung der Strömung kann stark zunehmen, wenn sich am Seil Schwimmgut verfängt.

Bei dem Einsatz von Stangenflügeln vom Boot aus lassen sich größere Störungen vermeiden, wenn der Flügel so weit entfernt vom Boot eingesetzt wird, dass sich dort der Einfluss des Bootskörpers kaum mehr bemerkbar macht. Boote mit geringem Tiefgang (Schlauchboot) stören die Strömung weniger als Boote mit großer Wasserverdrängung. Das Boot wird an einem Fährseil über das Gewässer gezogen. Durch einen eigenen Antrieb könnte die Strömung erheblich verändert werden.

Messungen im Wasser stehend sind nur in wenigen Fällen vertretbar. Die Wassertiefe und die Fließgeschwindigkeit müssen gering sein. Höhere Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten bedeuten nicht nur eine Gefahr für den Messenden, sondern haben auch massive Störungen der Strömung durch den Stau an den Beinen des Messenden zur Folge. Als Grenzwerte für die Wassertiefe können bei Fließgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s eine Wassertiefe von 50 cm und bei Fließgeschwindigkeiten bis 1 m/s von 20 cm angesetzt werden. Messungen im Wasser stehend sollten bei kleinen Gewässern im Hinblick auf die Messungenauigkeit unterbleiben. Dort kann von einem transportablen Steg aus gemessen werden. Sie lassen sich jedoch bei gering überfluteten Vorländern oft nicht vermeiden.

Von erheblicher Bedeutung für die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessung ist die Wahl des richtigen Messflügels (vgl. Kapitel 3.3 und 3.4). Zur Erleichterung der Messung und der späteren Auswertung hat es sich bewährt, den einmal gewählten Flügel im gesamten Profil zu verwenden. Er ist daher vor der ersten Messung so auszuwählen, dass er in allen notwendigen Messpunkten ausreichend genaue Messungen erwarten lässt. Sind jedoch die Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen sehr unterschiedlich (z. B. zwischen Hauptgewässer und Vorland) kann es notwendig sein die Schaufel zu wechseln. Auch ein Wechsel von der Messung mit dem Schwimmflügel im Hauptgewässer und Messungen mit dem Stangenflügel im Überflutungsbereich kann notwendig sein, wenn Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen sich dort zu sehr unterscheiden oder der Überflutungsbereich von dem an einer Seilkrananlage eingesetzten Schwimmflügel nicht mehr erreicht werden kann bzw. die Wassertiefe für den Schwimmflügel nicht ausreicht (Resttiefe).

Der Verlauf des Geschwindigkeitsprofils einer Messlotrechten kann umso genauer ermittelt werden, je mehr Geschwindigkeitsmesspunkte gemessen werden. Da jeder Messpunkt wegen des Pulsierens der Strömung (vgl. Kapitel 2.4) über längere Zeit gemessen werden muss, ergeben sich bei vielen Messpunkten sehr lange Gesamtmessdauern. Als Kompromiss ist eine Messdauer für die Messung in einem Punkt von 40 Sekunden anzusehen. Dabei ist berücksichtigt, dass zufällige Fehler als Folge zu kurzer Messdauer sich bei einer größeren Anzahl von Messpunkten wieder ausgleichen. Einzelne Fehlmessungen (Ausreißer) sind bei mehr als zwei Messpunkten an der Unstetigkeit des Geschwindigkeitsprofils zu erkennen.

Bei sehr geringen Fließgeschwindigkeiten ist die Anzahl der im Messzeitraum erfassten Impulse sehr klein. Teilumdrehungen, die in diesem Fall für die Berechnung der mittleren Umdrehungsgeschwindigkeit von Bedeutung sind, können nicht genau erfasst werden. Um keinen systematischen Fehler bei der Ermittlung der Fließgeschwindigkeit zu begehen, muss dieser Mangel bei der Auswertung korrigiert werden. Der Fehler kann auch durch eine Verlängerung der Messdauer verringert werden. Bei geringen Fließgeschwindigkeiten kann auch der zufällige Fehler als Folge des Pulsierens der Strömung groß werden. Abhilfe bringt eine Verlängerung der Messdauer. Diesem Problem kann auch dadurch begegnet werden, dass der Punkt nochmals gemessen und das Mittel aus beiden Messungen gebildet wird. Auf diese Weise ist es möglich, die Messdauer zu verlängern, ohne das Zählgerät neu programmieren zu müssen. Auch wenn eine Messung von den Messungen in den Nachbarpunkten augenfällig abweicht, kann durch eine zweite Messung ermittelt werden, ob es sich bei der ersten um eine Fehlmessung handelt.

4.3 Ermittlung der Fließgeschwindigkeit entlang einer Messlotrechten

Im Bemühen, mit einzelnen Messungen möglichst genau den tatsächlichen Verlauf des Geschwindigkeitsprofils zu erfassen, werden zwei unterschiedliche Messstrategien verfolgt:

Beim **Verfahren mit frei wählbaren Messpunkthöhen (Vielpunktmethode)** wird versucht, über die gesamte Messlotrechte Messpunkte zu verteilen. Im Allgemeinen wird der oberste Messpunkt so dicht unter die Wasseroberfläche gelegt, dass die Schaufel gerade voll eingetaucht ist und ein Sicherheitsabstand zum Wasserspiegel von 1-2 cm verbleibt. Bei starkem Wind oder Wellengang sollte die Wasserüberdeckung etwas größer gewählt werden, damit ein vollständiges Eintauchen immer gewährleistet bleibt und die Randeinflüsse nicht zu stark das Messergebnis beeinflussen. Der unterste Messpunkt soll möglichst dicht über der Gewässersohle liegen. Bei nicht zu unebener Sohle ist ein Abstand von 1-2 cm ausreichend (Abbildung 25). Die übrigen Messpunkte werden dazwischen gleichmäßig verteilt, sofern nicht Messpunkte dort enger gelegt werden sollen, wo sich die Geschwindigkeiten besonders stark ändern. Änderungen der Fließgeschwindigkeit entlang einer Lotrechten lassen sich während der Messung akustisch sehr gut verfolgen, indem man den Lautsprecher des Zählgerätes einschaltet.

Als Kompromiss zwischen Aufwand und Messgenauigkeit hat sich eine Anzahl von fünf Messpunkten bewährt. Der Abstand der Messpunkte sollte jedoch einen Meter nicht überschreiten. Sind in einem Querschnitt neben hohen auch sehr geringe Fließgeschwindigkeiten zu beobachten, kann in den Bereichen der geringen Fließgeschwindigkeit die Zahl der Messpunkte reduziert werden, da diese nur wenig zum Gesamtabfluss beitragen und Messungenauigkeiten sich dort auf das Gesamtergebnis wenig auswirken.

Bei geringen Wassertiefen wird auch bei Vielpunktmessungen in weniger als 5 Höhen gemessen. Wichtig ist, dass die Messpunkte möglichst gut über die Wassertiefe verteilt werden (Abbildung 25).

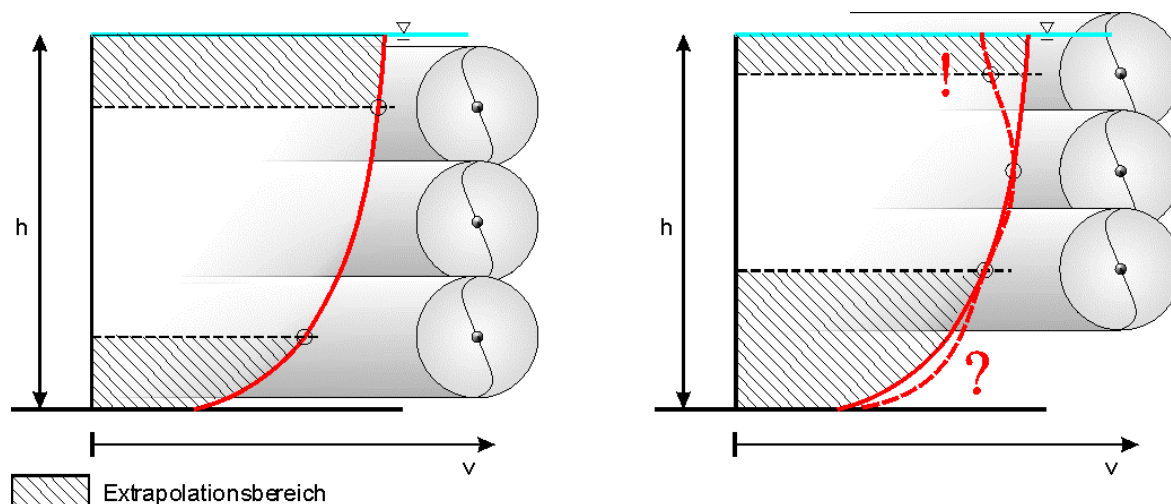


Abbildung 25: Verteilung der Messpunkte bei Vielpunktmessungen in geringen Wassertiefen. Die Verteilung rechts ist falsch, da die über die Wasseroberfläche hinausreichende Schaufel systematisch zu kleine Werte liefert und im unteren Bereich keine Messergebnisse vorliegen, sodass hier der Verlauf des Geschwindigkeitsprofils unsicher ist.

Bei **Verfahren mit vorgegebenen Messpunkthöhen (Ein- und Mehrpunktmessmethoden)** wird über die generelle Form des Geschwindigkeitsprofils eine Annahme getroffen und durch Messungen in vorgegebenen relativen Wassertiefen die mittlere Fließgeschwindigkeit bestimmt. Nach einer Gleichung, die sich aus der Annahme über die Form des Geschwindigkeitsprofils ergibt, kann dann die mittlere Profilgeschwindigkeit berechnet werden. Ein- und Zweipunktmessungen haben den Vorzug, die Gesamtmessdauer zu verkürzen. Das ist bei schnell steigenden oder fallenden Wasserständen von Bedeutung. Die dabei gegenüber einer Vielpunktmessung geringere Messgenauigkeit wird in diesen Fällen dadurch aufgewogen, dass das Maß der Wasserstandsänderung während der Messdauer geringer ist und dadurch der ermittelte Durchfluss zuverlässiger einem Wasserstand zugeordnet werden kann. Auch bei der Messung geringer Wassertiefen in überschwemmten Gebieten kann es zweckmäßig sein in dieser Weise zu messen.

Vom Programm BIBER werden für mehrere Verfahren Auswertungen angeboten. In Baden-Württemberg finden hiervon nur folgende Verfahren mit vorgegebenen Messpunkthöhen Anwendung:

- Bei der **amerikanischen Methode** wird in 20 % und 80 % der jeweiligen Wassertiefe h gemessen (Abbildung 26 rechts). Zum Verlauf des Geschwindigkeitsprofils innerhalb der Messlotrechten wird hierbei ein logarithmischer Verlauf angenommen. Die mittlere Fließgeschwindigkeit der Messlotrechten berechnet sich nach:

$$v_{im} = 0,5 \cdot (v_{(0,2)} + v_{(0,8)}) \quad (\text{m/s})$$

v_{im} mittlere Fließgeschwindigkeit der Messlotrechten i (m/s)

$v_{(0,2)}$ gemessene Fließgeschwindigkeit in der Tiefe 0,2 h (m/s)

$v_{(0,8)}$ gemessene Fließgeschwindigkeit in der Tiefe 0,8 h (m/s)

- Bei der **Zweipunktmessung nach Krepss** werden die Fließgeschwindigkeiten direkt unter der Wasserspiegeloberfläche (h_0) und in 62 % der Wassertiefe (gemessen von der Wasseroberfläche aus) bestimmt (Abbildung 26 links). Hier gilt die Annahme, dass das Geschwindigkeitsprofil die Form eines Ellipsenausschnittes annimmt. Die mittlere Fließgeschwindigkeit der Messlotrechten berechnet sich nach:

$$v_{im} = 0,634 \cdot v_{(0,62)} + 0,31 \cdot v_{(WS)} \quad (\text{m/s})$$

v_{im} mittlere Fließgeschwindigkeit der Messlotrechten i (m/s)

$v_{(0,62)}$ gemessene Fließgeschwindigkeit in der Tiefe 0,62 h (m/s)

$v_{(WS)}$ gemessene Fließgeschwindigkeit direkt unter der Wasseroberfläche (m/s)

Für das amerikanische Verfahren fand Carter (1970) im Vergleich zu Messungen an 10 Punkten keine systematische Abweichung und ermittelte eine Standardabweichung von 4,3 %. Vergleichsmessungen an 30 Pegeln zwischen Vielpunktmessungen und Messungen nach dem Krepssverfahren ergaben bei wenig turbulenter Strömung Abweichungen um -0,2 %, bei stark turbulenter Strömung um bis zu -5 % (Vieser, 1984). Signifikant systematische Abweichungen lassen sich hieraus jedoch nicht ableiten. Da nur zwei Punkte gemessen werden, sind Fehlmessungen im Allgemeinen als Ausreißer nicht zu erkennen.

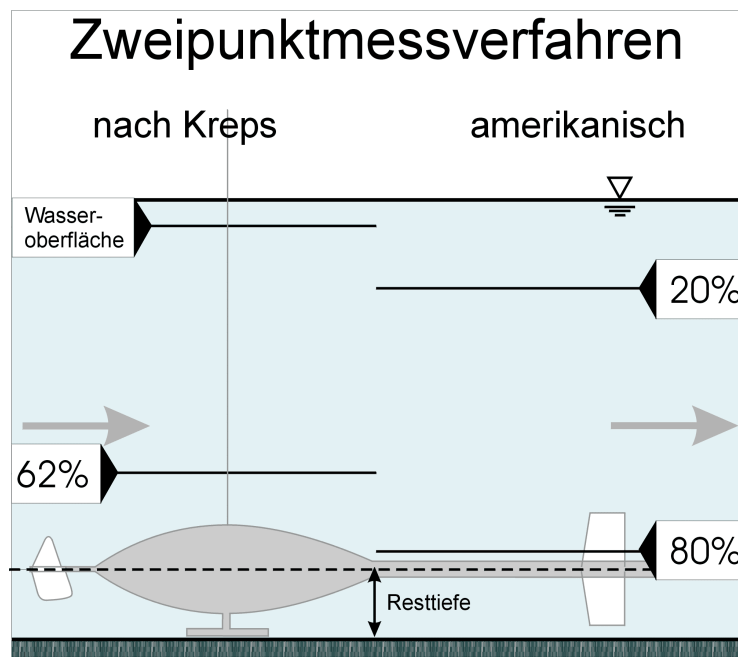


Abbildung 26: Zweipunkt-Messverfahren: Amerikanische Methode (rechts) und Methode nach Kreps (links).

Das Einpunktmessverfahren ist nur für orientierende Untersuchungen, z. B. zur Abschätzung des Fließverhaltens in überfluteten Vorländern, anzuwenden. Es wird nur eine Messung in Höhe von 60 % der Wassertiefe (vom Wasserspiegel aus gemessen) durchgeführt. Die in dieser Tiefe ermittelte Fließgeschwindigkeit wird als mittlere Fließgeschwindigkeit über die gesamte Messlotrechte angenommen. Das Verfahren ist nur bei Wassertiefen von $h < 0,3$ m vertretbar. Es liefert vielfach zu hohe Abflüsse (Wiesner, 1971). Im Gegensatz zu Vielpunktmessungen, bei denen Fehlwerte durch Unstetigkeiten im Geschwindigkeitsprofil (Ausreißer) erkennbar sind, können zufällige Fehler bei Einpunktmessungen nicht festgestellt werden.

Zur Ermittlung des Durchflusses ist neben der Geschwindigkeitsverteilung auch die Kenntnis der Form und Größe des Durchflussquerschnitts notwendig. Bei jeder Messlotrechte wird deshalb neben den Fließgeschwindigkeiten auch die Tiefe der Sohle unter dem Wasserspiegel gemessen. Beim Einsatz von Schwimmflügeln ist es hierzu erforderlich, die **Abtrift des Flügels** zu erfassen (vgl. Kapitel 3.2) und bei der Auswertung zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 7.2).

Die Abtrift wirkt sich auch auf die Ermittlung der Höhenlage der Messpunkte aus. Bleibt der Einfluss der Abtrift unberücksichtigt, ergeben sich fälschlicherweise zu große Tiefenwerte. Im Extremfall können die Werte bei Vernachlässigung des Abtrifteinflusses sogar unter der Gewässersohle liegen. Es muss daher, zumindest bei Abtriftwinkeln von $\beta \geq 15^\circ$, für jeden Messpunkt der Abtriftwinkel ermittelt werden. Im Übrigen genügt es zur Ermittlung der Profiltiefe, den Abtriftwinkel des Schwimmflügels an der Wasseroberfläche α und den Abtriftwinkel des Schwimmflügels bei Grundberührung β zu bestimmen (vgl. Kapitel 7.2). Winkel von weniger als 5° müssen nicht notiert werden.

Vor jeder Messung einer Messlotrechte wird der Pegelstand abgelesen, um bei Wasserstandsänderungen während der Messung den maßgebenden mittleren Wasserstand bestimmen zu können (Abbildung 31).

Da der Wasserspiegel auf die Pegellatte bezogen wird, die auf NN eingemessen wurde, erhält man die Möglichkeit, die aus den Wassertiefen errechneten Sohlenhöhen ebenfalls auf NN zu beziehen. Bei verschiedenen Abflussmessungen ermittelte Sohlenhöhen können somit miteinander verglichen werden und Veränderungen der Sohle werden erkennbar.

Sofern die Vermutung besteht, dass die Wassertiefe bei der Durchflussmessung nicht mit ausreichender Sicherheit ermittelt werden kann (z. B. wegen Abtrift des Schwimmflügels), ist es insbesondere bei Messquerschnitten mit veränderlicher Sohle notwendig, die Geometrie des Durchflussquerschnittes gesondert zu ermitteln. Sofern dies bei einer Hochwassermessung nicht möglich ist, kann dieser Schritt unmittelbar nach Ablauf des Hochwassers bei einer zweiten Messung nachgeholt werden.

4.4 Ermittlung des Durchflusses im Messquerschnitt

Die Messlotrechten sind so über den Querschnitt zu verteilen, dass sich zwischen den Geschwindigkeitsprofilen benachbarter Messlotrechten keine sprunghaften Veränderungen ergeben. Derartige Änderungen treten bei Wechseln der Wassertiefe und der Rauheit des Gewässerbettes sowie bei Abflusshindernissen auf (vgl. Kapitel 2). Daher sind dort die Profile enger zu setzen.

Die Uferpunkte links und rechts begrenzen und definieren die Gesamtbreite des Strömungsprofils ($T = 0 \text{ cm}$, $v = 0 \text{ m/s}$). Sobald die vorhandene Wassertiefe es erlaubt, wird die Strömungsgeschwindigkeit gemessen, entweder in nur einer Messebene (bei flach ab-fallendem Ufer) oder in 2 oder mehr Messebenen (Steilufer bzw. senkrecht Ufer). Dabei ist es insbesondere wichtig, dass die erste Messung möglichst ufernah erfolgt. Bei Trapezprofilen mit längeren Schrägen (häufiger Fall) sollte die Fließgeschwindigkeit an mehreren Stellen erfasst werden, Peillotrechte sind nicht ausreichend.

In Querschnittsbereichen, in denen die Fließgeschwindigkeit im Verhältnis zur mittleren Fließgeschwindigkeit im Profil wesentlich geringer ist, können die Profile größere Abstände aufweisen, weil mögliche Messunsicherheiten sich dort auf die mittlere Fließgeschwindigkeit im Gesamtquerschnitt wenig auswirken. Abstände von mehr als 5 m sind jedoch höchstens bei der Messung sehr breiter Ausuferungen zu vertreten.

Der Abflussanteil, der durch eine Messlotrechte erfasst wird, sollte grundsätzlich nicht wesentlich höher sein als 10 % des Gesamtabflusses. Somit sind bei regelmäßigen Querschnitten und gleichmäßiger Strömung etwa 12 bis 15 Messlotrechten vorzusehen (Abbildung 27). Nur bei sehr schmalen Gewässern kann dieser Wert bis auf 8 bis 10 Messlotrechten reduziert werden. Ist dagegen das Profil sehr ungleichmäßig und die Strömung sehr unterschiedlich, muss die Zahl der Messlotrechten entsprechend erhöht werden. Der Abstand der Messlotrechten ist dort enger zu wählen, wo sich die Fließgeschwindigkeiten stark ändern (Abbildung 27). Einzelne Durchflusshindernisse (Steine) sind durch eine Messlotrechte sowie 2 Peillotrechten auf dem Hindernis und je eine Messlotrechte direkt beidseitig davon zu erfassen. Bei sehr unregelmäßigen Durchflussquerschnitten kann sich somit die Zahl der Messlotrechten auf über 20 erhöhen.

Größere Breitenabstände sind dagegen dort zulässig, wo die Fließgeschwindigkeiten vergleichsweise gering sind. Diese Querschnittsteile tragen wenig zum Gesamtdurchfluss bei, weswegen sich dort Unsicherheiten bei der Ermittlung der Fließgeschwindigkeit auf das Gesamtergebnis wenig auswirken.

In der Praxis wird der mittlere Abstand der Messlotrechten abgeschätzt, indem man die Gewässerbreite durch 8 dividiert und dann dort, wo ein geringerer Abstand notwendig ist (Randbereiche des Gewässers, Profilknickpunkte, Fließgeschwindigkeitsveränderungen (Abbildung 27), weitere Messlotrechten einfügt oder die Abstände verringert.

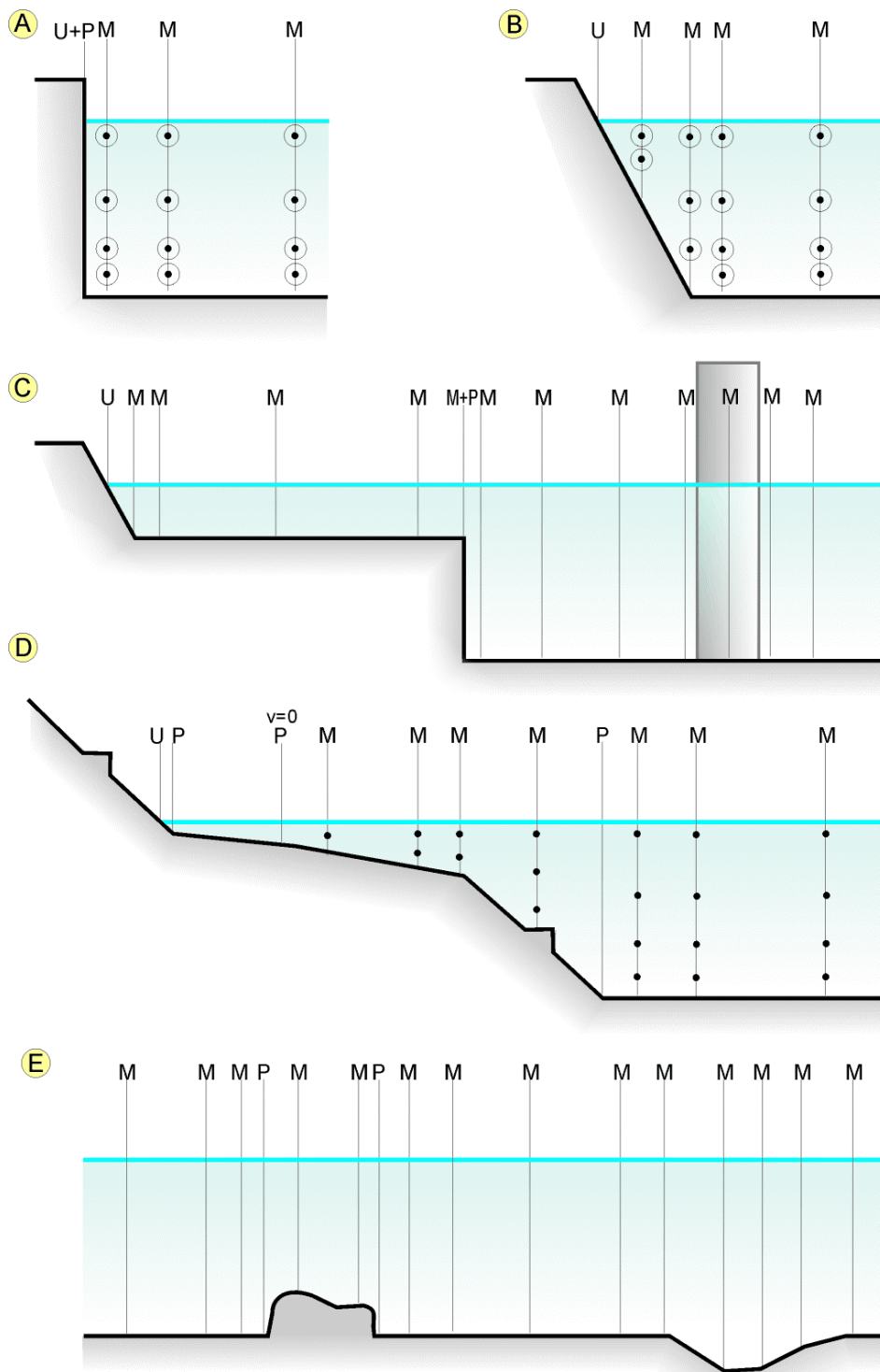


Abbildung 27: Wahl der Lage von Lotrechten zur bestmöglichen Erfassung der Querschnittsfläche und der Fließgeschwindigkeitsverteilung im Messquerschnitt. (A) Rechteckprofil; (B) Trapezprofil; (C) Gegliedertes Profil mit Brückenpfeiler; (D) Gegliedertes Profil mit Aufsetznasen für Schwimmflügel; (E) Erfassung von Sohlhindernissen bzw. Unregelmäßigkeiten (mit Schwimmflügel müssen entsprechende Sicherheitsabstände zu Hindernissen eingehalten werden und darüber hinaus darauf geachtet werden, dass die Sohle nicht allzu schräg abfällt (Kippgefahr beim Aufsetzen))

Zur Erfassung des Profils werden neben den Messlotrechten zusätzlich Uferpunkte und Peillotrechten aufgenommen:

Uferpunkte werden die Punkte des Gewässerquerschnitts am Ufer in Höhe des Wasserspiegels genannt (Gewässeranschnitt) (mit „U“ gekennzeichnete Punkte in Abbildung 27). Ein Uferpunkt weist die Lotrechtentiefe 0 auf. Damit eine Messung vollständig ist, muss sie immer zwei Uferpunkte aufweisen (bzw. eine gerade Anzahl, wenn es sich um eine Messung zwischen Brückenpfeilern handelt).

Peillotrechten sind all diejenigen Lotrechten, die keine Messpunkte aufweisen. Sie ausschließlich der Sondierung des Messquerschnittes. Bei senkrechten Ufern fallen Uferpunkt und Peillotrechte örtlich zusammen.

Grundsätzlich soll der Durchfluss-Messquerschnitt stets rechtwinklig zur Hauptfließrichtung verlaufen. Werden vorhandene Brücken als Messsteg genutzt, ist diese Forderung nicht immer erfüllt. Der Durchfluss-Messquerschnitt weicht dann um den **Winkel β** von der Orthogonalen zur Hauptfließrichtung ab (Abbildung 22). In diesen Fällen ist es notwendig, einen Querschnitt rechtwinklig zur Hauptfließrichtung zu definieren, auf den die Messdaten bei der Auswertung bezogen werden (Auswertequerschnitt). Hierzu projiziert man die Lage der Messlotrechten im tatsächlichen, schrägen Messquerschnitt auf diesen Auswertequerschnitt (Abbildung 28). Der Auswertequerschnitt entspricht dann dem Durchflussquerschnitt. Der Abstand der Messlotrechten im Messquerschnitt a wird dann zum Abstand a^* im Auswertequerschnitt. Die Umrechnung kann vom Auswertungsprogramm Biber erledigt werden

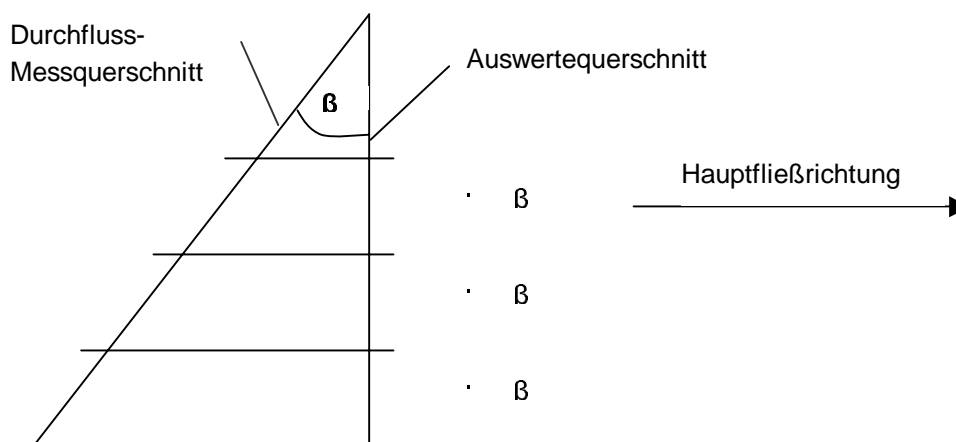


Abbildung 28: Projektion eines nicht orthogonal zur Hauptfließrichtung verlaufenden Durchfluss-Messquerschnitts auf den Auswertequerschnitt

5 Häufigkeit, Anlass und Zeitpunkt von Messungen an Pegeln

5.1 Messungen nach Inbetriebnahme des Pegels

5.1.1 Pegel mit Wasserstands-Durchflussbeziehung

Unmittelbar nach Inbetriebnahme eines Pegels sind bei unterschiedlichen Wasserständen Durchflüsse zu messen, damit möglichst schnell eine Abflusskurve aufgestellt werden kann. Um die Abflusskurve auch im Hoch- und Niedrigwasserbereich erstellen zu können, ist es unumgänglich, das Auftreten derartiger seltener Durchflüsse zur Messung zu nutzen. Anzustreben ist, dass der gesamte Messbereich durch Messwerte belegt ist.

5.1.2 Ultraschall-Durchflussmessenanlagen

Ultraschall-Durchflussmessenanlagen müssen kalibriert werden. Dies geschieht durch Einzelmessungen des Durchflusses. Um hierzu Vergleichsmessungen bei verschiedenen hydraulischen Situationen heranziehen zu können, sollten die Kalibriermessungen bei unterschiedlichen Wasserständen und Durchflüssen erfolgen. Bei Mehrebenenanlagen, bei denen abhängig vom Wasserstand die oberen Ebenen nicht immer messen, sind Kalibriermessungen für alle möglichen Messzustände notwendig. Es ist jedoch nicht erforderlich, den gesamten Messbereich durch Messungen zu belegen.

5.2 Messungen im Routinebetrieb des Pegels

5.2.1 Pegel mit Wasserstands-Durchflussbeziehung

Zur Häufigkeit von Durchflussmessungen macht die Pegelvorschrift folgende Angaben:

- Eine Messung mindestens alle 3 Monate
- Bei Pegeln mit veränderlicher Abflusskurve monatliche Messungen
- Zusätzliche Messungen bei Niedrigwasser und Hochwasser
- Je eine Messung vor und nach Entkrautung oder Räumung des Abflussquerschnittes
- Zusätzliche Messungen, wenn sich das Gewässerbett, z. B. nach einem Hochwasser, verändert hat.

Der „Guide to Hydrological Practices“ der World Meteorological Organization (WMO) aus dem Jahr 1994 kommt zu ähnlichen Forderungen. Er empfiehlt als Minimum von 10 Messungen pro Jahr.

Es hat sich bewährt, die Häufigkeit von Durchflussmessungen nicht pauschal festzulegen, sondern im Einzelfall zu prüfen, ob und ggf. in welchem Umfang sich die Abflusskurve ändert und danach den Umfang des Messbedarfes festzulegen. Die notwendigen Informationen hierzu erhält man beim Aufstellen und Fortschreiben von Abflusskurven und beim Festlegen der Gültigkeitszeiträume [LFU, 2002c]. Dabei stellt man fest, ob alle hydraulischen Situationen (Durchflussgrößen, Einflussfaktoren auf den Wasserstand) in ausreichendem Umfang durch Durchflussmessungen erfasst sind, und legt danach fest, in welchem Umfang und bei welchen Situationen gemessen werden muss. Die Häufigkeit mit der gemessen werden muss, sowie bei

welchen Wasserständen und zu welchen Jahreszeiten die Messungen erfolgen sollen, legt der für das Aufstellen von Abflusskurven Verantwortliche fest [LFU 2002d].

Es ist daher vielfach nicht möglich, Messungen langfristig zu planen. Vielmehr müssen die Messungen dann durchgeführt werden, wenn die fragliche hydraulische Situation gegeben ist. Im Folgenden werden einige Situationen beschrieben, auf Grund derer es notwendig sein kann, umgehend die Durchflüsse zu messen:

- Die Abflusskurve sollte im gesamten Messbereich, vom Niedrig- bis zum Hochwasser, durch eine ausreichende Anzahl von Messungen belegt sein. Selten auftretende Hoch- und Niedrigwasserabflüsse sind daher unbedingt zu messen.
- Der Einfluss der Vegetation wechselt mit der Jahreszeit. Insbesondere Verkräutung beeinflusst die Wasserstände erheblich (Kapitel 2.2). In Zeiten, in denen sich die Verkräutung stark ändert, ist vermehrt zu messen. Plötzliche Veränderungen durch Entkräuten des Gewässers sind durch Messungen vorher und nachher zu dokumentieren. Entsprechendes gilt für Veränderungen der Vegetation am Ufer und im Vorland.
- Baumaßnahmen im und am Gewässer, Auflandung und Erosion insbesondere nach Hochwässern, sowie Bepflanzungsmaßnahmen und deren Beseitigung können die Wasserstands-Durchfluss-Beziehung nachhaltig verändern. Sobald derartige Veränderungen eingetreten sind, muss der veränderte Zustand durch Messungen dokumentiert werden. Dabei ist der gesamte Schwankungsbereich der Durchflüsse abzudecken, weil derartige Veränderungen sich bei Niedrig-, Mittel- und Hochwasser unterschiedlich auswirken können.

Neben diesen situationsabhängigen Messungen sind auch an Pegeln, bei denen bislang keine Veränderungen der Wasserstands-Durchfluss-Beziehung festzustellen waren und aufgrund der hydraulischen Gegebenheiten auch keine zu vermuten sind, mindestens einmal jährlich Kontrollmessungen durchzuführen. Sofern Veränderungen nicht auszuschließen sind, ist die Zahl der Kontrollmessungen entsprechend zu erhöhen. Auch die Kontrollmessungen sollten möglichst zu unterschiedlichen Jahreszeiten und unterschiedlichen Wasserständen durchgeführt werden, weil Veränderungen auf bestimmte Vegetationszustände (Verkräutung) oder bestimmte Wasserstände (Auflandung von Böschungen und Vorländern) beschränkt sein können.

5.2.2 Ultraschall-Durchflussmessanlagen

Bei Ultraschall-Durchflussmessanlagen sind Messungen vor und nach Flussbaumaßnahmen im Bereich der Messanlage sowie nach Querschnittsveränderungen notwendig. Ob und ggf. bei welchen hydraulischen Situationen weitere Messungen notwendig sind, kann dann nach Auswertung einer ersten Messung entschieden werden. In den ersten Jahren sollte unabhängig von diesen Messungen aus bestimmten Anlass zur Kontrolle etwa alle zwei Jahre eine Messung durchgeführt werden. Zeigen sich keine Veränderungen ist ein langzeitigerer Turnus möglich.

6 Fehlerhafte Messungen und Messunsicherheit

6.1 Grundsätzliches

Jedes Messergebnis weicht vom tatsächlichen Wert ab (DIN 1913). Aufgabe des Messenden ist es, diese Abweichung möglichst gering zu halten. Dazu müssen die möglichen Ursachen von Messabweichungen bekannt sein. Grundsätzlich werden zwei Arten von Messabweichungen unterschieden:

- Bei **systematischen Abweichungen** kennt man das Vorzeichen der Differenz zum wahren Wert. Die Ursachen systematischer Abweichungen liegen in der angewandten Messmethode, den Messgeräten oder der Vorgehensweise des Personals. Systematische Abweichungen können auch zeitabhängig sein (Jahreszeitlicher Temperaturgang der Viskosität des Flügelöls, allmähliche Veränderung der Eigenschaften des Flügels). Systematische Abweichungen können nicht durch eine erhöhte Anzahl von Messungen, sondern nur durch eine Verbesserung der Messgeräte und der Messmethoden verringert werden. Diejenigen Abweichungen, die aus ungenauen Messgeräten oder individuellen Fehlern des Messpersonals resultieren, lassen sich nur durch Vergleichsmessungen mit anderen Messverfahren bzw. anderem Messpersonal erfassen. Bei sorgfältig durchgeführten Messungen mit ordnungsgemäß geeichten und einwandfrei funktionierenden Messgeräten sollte die gesamte zusammengesetzte systematische Abweichung einer Durchflussmessung unter 1 % liegen (Morgenschweis, 1990). Bei mangelhaften Geräten und Verfahrensfehlern des Messpersonals können die systematischen Fehler jedoch sehr groß werden. Daher ist es notwendig die Ursachen von Messfehlern zu kennen und diese zu vermeiden (Kapitel 6.2).
- Bei **zufälligen Abweichungen** streuen die Messwerte um den wahren Wert. Zufällige Abweichungen haben ihre Ursache in unvermeidlichen Ungenauigkeiten der Messgeräte, der Beobachtung und der Geräteablesung sowie Zufälligkeiten bei der Messung. Durch wiederholtes Messen und Mittelung der Ergebnisse können die zufälligen Fehler klein gehalten werden. Eine Abschätzung der Größe der Messunsicherheit ist Grundlage für eine Beurteilung der Zuverlässigkeit von Messergebnissen (Kapitel 6.3).

6.2 Ursachen der Messabweichungen und deren Verhinderung

Die Sorgfalt, mit der eine Messung durchgeführt wird, ist entscheidend für die Qualität und den Nutzen des Messergebnisses. Fehlerhafte Durchflussmessungen sind, sofern die Abweichung vom wahren Wert erkannt wird, wertlos oder verfälschen, sofern die Abweichung nicht erkannt wird, die Abflusskurve und damit möglicherweise langjährige Durchflussganglinien. Besonders schwerwiegend sind dabei systematische Abweichungen, da diese, insbesondere wenn sie wiederholt werden, demjenigen, der mit den Daten später arbeitet, den Schein zuverlässiger Daten vermitteln. Es ist daher unbedingt notwendig, sich über mögliche Fehlerquellen im Klaren zu sein, um derartige Verfälschungen zu vermeiden und die Messungen mit größter Sorgfalt und Sachverstand durchzuführen.

Manche, im Hinblick auf die Qualitätssicherung notwendigen Forderungen lassen sich nicht immer miteinander vereinbaren. Beispielsweise widerspricht die Forderung, wegen des pulsierenden Abflusses über längere Zeit zu messen und dies gleichzeitig an vielen Messpunkten zu tun der Forderung, die Gesamtmessdauer, z. B. bei Hochwasser oder bei von Kraftwerken verursachten Durchflussschwankungen, möglichst kurz zu halten, damit sich die Wasserstände während der Messung nicht verändern. In solchen Fällen muss zwischen den widersprechenden Forderungen ein Kompromiss gefunden werden.

Da der Durchfluss das Produkt aus Fließgeschwindigkeit und Durchflussquerschnitt ist, müssen beide Werte in gleicher Weise genau ermittelt werden. Außerdem sind unbedingt alle Faktoren zu notieren, die das Messergebnis beeinflussen könnten (Rückstau, Windstärke und -richtung, Verkrautung, Eis, Geschwemmsel, vermutete Gerätefehler). Diese Informationen sind für eine spätere Plausibilitätsprüfung erforderlich (Kapitel 7.3).

Große Messfehler, bei denen systematisch zu geringe Fließgeschwindigkeiten ermittelt werden, können ihre Ursache auch im Kabel, das die Signale zum Zählgerät überträgt und im Zählgerät selbst haben. Zu vermeiden sind diese Fehler nur durch entsprechende Funktionskontrollen. Systematisch zu kleine Messwerte liefern auch Messflügel, bei denen Treibgut oder Wasserpflanzen die Drehbewegung der Schaufel behindern.

Die folgende Tabelle 4 gibt einen Überblick über Ursachen und Art von Messabweichungen, über deren mögliche Auswirkungen auf das Messergebnis und Maßnahmen zu deren Vermeidung.

Tabelle 4: Fehler und Messunsicherheit bei der Durchflussmessung mit Messflügeln (verändert nach Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).

Ursachen von systematischen Fehlern und erhöhter Messunsicherheit	Zuordnung nach		Mögliche Auswirkungen auf das Messergebnis	Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler und zur Verringerung der Messunsicherheit
	Einflussgruppen	Art der Fehler		
	G Geräte V Verfahren U Umwelt P Personen	z zufällig s systematisch	+ zu größer - zu kleiner Durchfluss	
1. Auswahl des Messverfahrens und der Messstelle				
Ungleichmäßige, stark turbulente Strömung	V U	z s		andere Messstelle, Ausbau der Messstelle, anderes Messverfahren
Fließgeschwindigkeit nur geringfügig über Anlaufgeschwindigkeit von Messflügeln	G V U	s	+	
zu geringe Wassertiefe	G V U	z s		Schaufel mit kleinerem Durchmesser, Ausbau der Messstelle, anderes Messverfahren
Querströmung (z. B. durch Zulauf, Geschiebeablagerung, Brückenpfeiler)	V U	s	+	andere Messstelle, Ausbau der Messstelle
Vertikalströmung (z. B. durch Grundschwelle)	V U	z s	+	
Rückströmung	V U	s	+	
2. Vorbereitung und Durchführung der Messung				
Unzweckmäßige Messgeräte für die jeweiligen Einsatzbedingungen	G P	z s		Verbesserung der Messausrüstung
Funktionsstörungen der Messanlage (z. B. Winde, Seilkrananlage, Messfahrzeug) und der Messgeräte	G P	z s	Messergebnisse unbrauchbar	fachkundige und regelmäßige Wartung und Funktionskontrolle
Nicht mehr zutreffende Flügelkalibrierung	G P	s	"gute" Kalibrierung: <1%; veraltete Kalibrierung: >3%; bei Beschädigung: >20%	Neukalibrierung alle 5-10 Jahre je nach Einsatzhäufigkeit sowie bei Verdacht auf Beschädigung
falsches Zusammensetzen des Messflügels, nicht geeichte Gerätekombination	P	s		Messanordnung (Schaufel, Flügelkörper, Befestigung) entsprechend der Flügelkalibrierung
ungenaueres Zählgerät (Impulse bzw. Zeit)	G	s		regelmäßige Überprüfung, Vergleichsmessungen mit anderen Zählgeräten
ungenaueres Tiefen- oder Entfernungszählwerk	G	s		Vergleichsmessungen, z. B. Messband, Lot
Flügelschaufel zeitweise nicht vollständig eingetaucht	P	s		tieferen Messpunkt oder kleinere Schaufel wählen
Beeinflussung der Strömung im Bereich der Messstelle durch Hindernisse im Gewässer	U	s		Hindernis beseitigen vor Beginn der Messung
Behinderung der Messung durch Wasserpflanzen und Buschwerk	U	s		Säubern des Messprofils vor Beginn der Messung
Messquerschnitt schräg (nicht rechtwinklig) zur Strömung abgesteckt	V U P	s	+	Messband rechtwinklig zur Strömungsrichtung anordnen, Korrektur entsprechend Kapitel 3.4
Abschnittsbreiten bei schrägen Brücken	V U P	s	Bei 10° + 1,5 % 20° + 6,5 % 30° + 15,4 %	Bestimmen des Anströmwinkels und Berücksichtigung bei der Auswertung (Reduzierung der Abschnittsbreiten)

Ursachen von systematischen Fehlern und erhöhter Messunsicherheit	Zuordnung nach		Mögliche Auswirkungen auf das Messergebnis	Maßnahmen zur Vermeidung systematischer Fehler und zur Verringerung der Messunsicherheit
	Einflussgruppen	Art der Fehler		
	G Geräte V Verfahren U Umwelt P Personen	z zufällig s systematisch	+ zu größer - zu kleiner Durchfluss	
3. Durchführen der Messung				
Falschangaben im Protokoll (Flügelkenngrößen, Bezugspegel)	P	s	oft unbrauchbar	Schulung
Falscheinsatz und Fehlbedienung der Messgeräte, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> Strömung in Hauptfließrichtung, Stangenflügel schräg hierzu 	G P	s	-	Flügel mit Steuerblech verwenden oder Flügel in Strömungsrichtung stellen
<ul style="list-style-type: none"> Strömung schräg zur Hauptfließrichtung, Stangenflügel in Hauptfließrichtung 	G	s		bis $\alpha = 15^\circ$ Komponentenschaukel verwenden (vgl. Kapitel 3.4) oder Flügel in Strömungsrichtung und Winkel bei der Auswertung berücksichtigen (vgl. Kapitel 3.4)
<ul style="list-style-type: none"> Strömung schräg zur Hauptfließrichtung, Flügel in Richtung der Strömung 	V	s		Winkel bei der Auswertung berücksichtigen (vgl. Kapitel 3.4)
<ul style="list-style-type: none"> Schaukel des Stangenflügels weist in Strömungsrichtung statt gegen die Strömung 	P	s	Messung unbrauchbar	Flügel mit Steuerblech verwenden oder Flügel in Strömungsrichtung stellen
<ul style="list-style-type: none"> Beeinflussung der Strömung durch Messpersonal (zu geringer Abstand des Messenden vom Stangenflügel) 	G V P	s	+	Flügel möglichst weit seitwärts halten
<ul style="list-style-type: none"> unvollständiges Eintauchen der Flügelchaukel 	P	s	meist -	obersten Messpunkt tiefer legen
<ul style="list-style-type: none"> Flügelchaukel im untersten Messpunkt behindert (Bodenberührung) 	P	s	-	untersten Messpunkt höher legen
<ul style="list-style-type: none"> Zeiteinstellung bei Zählergeräten nicht identisch mit Protokolleintrag 	P	s		Kontrolle
<ul style="list-style-type: none"> Schräglage des Schwimmflügels (kopf- oder schwanzlastig) 	G P	s	-	Schwimmflügel austarieren
Missverständnisse zwischen Messperson und Protokollführer	P	z	oft unbrauchbar	eindeutige Regelungen, Schulung
Störungen und Ausfall von Geräten während der Messung	G P	z s	oft unbrauchbar	Ersatzgeräte, Reparatur
unzureichende Wasserstandsbeobachtung während der Messung	P	z s	führt zu Fehleintrag des Punktes (W, Q), 1 cm ΔW entspricht oft >10%	möglichst bei allen Messlotrechten Wasserstand festhalten; Ablesen des Wasserstandes vor und nach der Messung
ungenaueres Erfassen der Geschwindigkeitsverteilung im Messquerschnitt durch zu geringe Anzahl bzw. fehlerhafte Auswahl von Messlotrechten	V P	z s	oft >5%	Kontrolle anhand vorliegender Querprofilaufnahmen; Zeichnung bei Messung mitführen; evtl. zusätzliche Lotungen zur genaueren Erfassung des Messquerschnittes; Optimierung mit Hilfe alternativer DV-Auswertung von ausführlichen Messungen
ungenaueres Erfassen der Geschwindigkeitsverteilung in der Messlotrechten durch zu geringe Anzahl oder durch falsche Anordnung der Messpunkte	V P	z s	bei geringer Wassertiefe oft >10%	Schulung des Messpersonals; gelegentlich „manuelle“ Auswertung vornehmen, auf oberflächen- und sohnnahe Messungen achten
ungenaueres Erfassen der Fließgeschwindigkeit in einem Messpunkt bei kurzer Messdauer wegen des Pulsierens der Strömung oder weil die Teilumdrehungen vor dem ersten und nach dem letzten Impuls nicht erfasst werden können	V P	z		Messdauer bei starkem Pulsieren und geringer Umdrehungszahl verlängern
ungenaueres Erfassen des Abstandes der Messlotrechten vom Querschnittsnulldpunkt und der Gewässerbreite	V P	z s		Kontrolle von Querprofilaufnahmen
ungenaueres Erfassen der Wassertiefe, z. B. <ul style="list-style-type: none"> ungenaueres Erfassen des Wasserspiegels insbesondere bei Wellengang 	U P	z s		Fernglas verwenden
<ul style="list-style-type: none"> Einsinken der Flügelstange in Schlamm oder Sand 	G U P	s	Tiefenabweichung	Grundplatte montieren
<ul style="list-style-type: none"> verzögertes Auslösen des Grundtasters in Schlamm 	G U	s	Tiefenabweichung >5% möglich	Kontrolle anhand von Querprofilaufnahmen
<ul style="list-style-type: none"> bei Seilkrananlagen: Einfluss des Auftriebs auf Durchhang des Tragseiles 	G	s	-	Flügelkörper gerade voll eintauchen, um Betrag Flügelachse-Wasserspiegel anheben, T-Zählwerk auf Null stellen
<ul style="list-style-type: none"> Aufsetzen des Grundtasters auf Stein oder Hindernis 	U P	s	-	Unterhaltung der Messstelle
<ul style="list-style-type: none"> Nichtberücksichtigung der Resttiefe (Abstand Flügelachse-Grundtaster bzw. Dorn der Grundplatte) 	P	s	-	Festhalten der Resttiefe im Messprotokoll
<ul style="list-style-type: none"> Abtrift bei Schwimmflügelmessungen (zu große Tiefenmesswerte) 	G V U P	s	+	schweres Mittelstück, Abtriftwinkel festhalten, Korrektur der Tiefenwerte nach Kapitel 7.2
<ul style="list-style-type: none"> Schräglage der Stange bei Stangenflügelmessungen (zu große Tiefenmesswerte, Beeinflussung des Anströmwinkels) 	P	s		Flügelstange stets senkrecht halten
Störung und Beeinflussung der Messung durch äußere Einflüsse: <ul style="list-style-type: none"> Behinderung der Schaukelumdrehung und Beeinflussung der Strömung durch Geschwemmel (Pflanzen, Algenfäden, Äste, Plastikfolien usw. an Flügel, Stange, Flügelkabel) 	U	s	>50% möglich	Geschwemmel beseitigen; Flügel vor allem bei eingeschränktem Sichtkontakt oftmals einholen und überprüfen, Messung wiederholen
<ul style="list-style-type: none"> Behinderung der Schaukelumdrehung durch Eiskbildung am Messgerät 				bei Frost Messflügel unter Wasser verholen
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhte Abtrift durch Treibzeug 	U P	z s	+	Treibzeug beseitigen
<ul style="list-style-type: none"> Beeinflussung durch Wind 	U	z s	>20% möglich	im Messprotokoll vermerken, evtl. Messung abbrechen
<ul style="list-style-type: none"> große Änderung des Wasserstand während der Messung 	U	z s	>5% möglich	ggf. Verkürzung der Messung; Berücksichtigung der Wasserstandsänderung bei der Auswertung
4. Auswerten der Messung				
Übertragungsfehler bei Umschreibung des Messprotokolls	P	z		nur Originalprotokoll verwenden
Verwendung falscher Flügelgleichungen	P	s		neue Auswertung mit richtiger Flügelgleichung
Fehler bei der Erfassung der f_v -Flächen und der Q-Fläche (manuell / graphisch, Polygonzug, Ausbeulungen und Schleifen bei der Spline-Interpolation)	V P	z s	>10% möglich	Einbau von Plausibilitätskontrollen in Auswertprogramme; Plot-Ausgabe der f_v - und Q-Fläche; fach- und ortskundige Bewertung der Messung; evtl. Einfügen von fiktiven Zusatzlotrechten in kritischen Bereichen (Uferbereich, senkrechte Ufer usw.)

Systematische Abweichungen sind, wie die Erfahrung lehrt, hauptsächlich auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Der Messflügel hat seit der letzten Eichung wegen unzureichender Wartung oder nicht erkannter Beschädigung seine Eigenschaften verändert.
- Die verwendete Eichgleichung ist falsch, sie gilt nicht für die verwendete Gerätekombination oder die gemessenen Fließgeschwindigkeitsbereiche.
- Der Messende steht im Wasser und misst im Einflussbereich des von ihm verursachten Staus.
- Zählgerät oder Messkabel sind defekt, sodass die Impulse nicht korrekt gezählt werden. Dieser Fehler ist, insbesondere wenn er nur sporadisch auftritt, oft schwer zu erkennen.
- Schwimmstoffe haben sich am Flügel verfangen und die Drehung der Schaufel behindert.
- Der Durchflussquerschnitt wurde falsch erfasst, z. B. weil der Stangenflügel nicht exakt auf der Sohle aufsetzt, der Grundtaster nicht zuverlässig arbeitet oder eine Abtrift des Schwimmflügels oder die Schräge des Messquerschnittes bei der Auswertung nicht berücksichtigt wurden (ungünstige Wahl von Messlotrechten / Peilungen).
- Es werden je nach Wasserstand ungünstige Messschaufeln in Einsatz gebracht

6.3 Messunsicherheit

Auch bei weitgehendem Bemühen, Fehler bei der Messung zu vermeiden, weist jedes Messergebnis Abweichungen vom wahren Wert auf. Entsprechend ist jeder Messwert mit einer Unsicherheit u verbunden, wobei diese zum einen auf zufällige Abweichungen (Messunsicherheit u_z) und zum andern auf systematische Abweichungen (Messunsicherheit u_s) zurückzuführen ist. Die systematischen Abweichungen einzelner Messergebnisse vom wahren Wert und die daraus resultierende Unsicherheit können die Messdaten nachhaltig verfälschen. Sie müssen daher durch sorgfältiges Messen und exakt geeichte Messgeräte möglichst gering gehalten werden. Die dann noch verbleibende unvermeidliche Messunsicherheit u_Q ist abzuschätzen. Die DIN 1319, Teil 1 und die Arbeitsanleitung „Unsicherheit von Durchflusswerten“ (LFU, 2002) erläutern die in diesem Kapitel verwendeten Fachbegriffe zur Messunsicherheit.

Die auch bei sorgfältiger Messung unvermeidbare, **Unsicherheit aufgrund zufälliger Abweichungen der Durchfluss-Messergebnisse (u_Q)** setzt sich dabei aus verschiedenen Teil-Messunsicherheiten zusammen, die von verschiedenen Einflussgrößen abhängen. Die Angaben in der Literatur zu den einzelnen relativen Teil-Messunsicherheiten (ISO 748, 1997; ISO/TR 5168, 1998; WMO, 1980; Morgenschweis, 1990) wurden teilweise für die Verhältnisse in Baden-Württemberg modifiziert. Die Angaben zur relativen Messunsicherheit in den folgenden Tabellen entsprechen den Vertrauensgrenzen bei einem Vertrauensniveau von 95%. In der Arbeitsanleitung „Unsicherheit von Durchflusswerten“ (LFU, 2002) sind die theoretischen Grundlagen für die Ermittlung der Unsicherheit von Durchflusswerten ausführlich beschrieben.

Unsicherheit bei der Bestimmung der Breite des Messquerschnittes (u_B)

Die Breite des Messquerschnitts und der Abstand der Lotrechten wird üblicherweise durch Längenmessung von einem Bezugspunkt am Ufer bestimmt. Wenn hierzu ein Maßband mit definierter Zugspannung verwendet wird, ist die Unsicherheit der Entfernungsmessung in der Regel gering. Liegt das Maßband jedoch locker auf einem Messsteg oder wird die Lage im Messquerschnitt nicht exakt vom Maßband nach unten übertragen, können erheblich höhere und systematische Messabweichungen auftreten.

Wie Tabelle 5 entnommen werden kann, sind bei kleinen Messquerschnittsbreiten die prozentualen Abweichungen sehr groß, bei Messquerschnitten bis zu 200 m sind die Abweichungen vom wahren Wert dagegen kleiner 1 %. Diese Angaben gelten bei ordnungsgemäßer Messung, und wenn der Messquerschnitt exakt rechtwinklig zur Hauptfließrichtung liegt oder, falls dies nicht der Fall ist, eine Korrektur entsprechend Kapitel 4.4 stattgefunden hat.

Tabelle 5: Unsicherheit bei der Bestimmung der Breite des Messquerschnitts und der Lage der Lotrechten (ergänzt und verändert nach Morgenschweis, 1990).

Breite des Messquerschnitts (m)	Unsicherheit	
	absolut (m)	relativ (%)
0,5 bis 2	0,1	5 bis 20
2,1 bis 10	0,2	2 bis 10
11 bis 50	0,3	0,6 bis 3
51 bis 100	0,4	0,4 bis 0,8
101 bis 150	0,5	0,3 bis 0,5
151 bis 200	1,2	0,6 bis 0,8

Unsicherheit bei der Bestimmung der Tiefe von Mess- und Peillotrechten (u_T)

Die Messabweichungen variieren üblicherweise zwischen $\pm 1\%$ bis $\pm 10\%$ und sind abhängig von der verwendeten Methode zur Tiefenbestimmung und von der Wassertiefe. In Tabelle 6 sind maximale Ungenauigkeiten von vergleichenden Untersuchungen angegeben.

Die hier aufgeführten Unsicherheiten erscheinen gering. Beträchtliche systematische Abweichungen bei der Tiefenbestimmung können durch das Einsinken der Messstangen oder des Grundtasters bei Schwimmflügeln sowie bei großen Fließgeschwindigkeiten durch Verbiegen des Messgestänges bzw. Abtrift des Schwimmflügels entstehen. Außerdem ist zu beachten, dass die gemessene Tiefe für die Sohlentiefe im Umfeld des Messpunktes nicht repräsentativ sein muss. Bei stark unebener Sohle sind daher erheblich höhere Unsicherheiten anzusetzen, weil derartige Mängel bei der Messung in den Tabellenangaben nicht berücksichtigt sind.

Tabelle 6: Unsicherheit aufgrund von Abweichungen bei der Bestimmung der Tiefe in den Messlotrechten (ergänzt und verändert nach Morgenschweis, 1990).

Messtiefe (m)	Unsicherheit	
	absolut (m)	relativ (%)
0,1 bis 0,3	0,01	3 bis 10
0,4 bis 1	0,02	2 bis 5
1,0 bis 6	0,04	0,7 bis 4
6 bis 10	0,05	0,5 bis 0,8

Unsicherheit bei der Bestimmung der Fließgeschwindigkeit in einem Messpunkt in Abhängigkeit von der Messdauer und der Lage innerhalb der Lotrechten (u_E)

In jedem Punkt des Messquerschnitts variiert die Geschwindigkeit mit der Zeit (Kapitel 2.4). Daher sollte so lange gemessen werden, bis diese Schwankungen der Fließgeschwindigkeit ausgeglichen sind. Die Unsicherheit nimmt mit höherer Geschwindigkeit ab. Nach Tabelle 7 wird z. B. einer Messung von 30 s Dauer in 20 % Tiefe unter dem Wasserspiegel bei einer mittleren Fließgeschwindigkeit von 0,05 m/s eine Unsicherheit von 47 % und bei einer Fließgeschwindigkeit von 1,0 m/s von nur noch 7 % zugeordnet.

In Tabelle 7 wird zusätzlich nach der Lage der Messpunkte innerhalb der Lotrechten unterschieden. In Messpunkten in der Nähe der Sohle ist die Unsicherheit größer als in den übrigen Messtiefen (Abbildung 14).

Tabelle 7: Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Messdauer und der Lage der Messpunkte relativ zur Profiltiefe (ergänzt und verändert nach Morgenschweis, 1990).

Mittlere Fließ- geschwindigkeit im Messpunkt (m/s)	Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit (%)							
	Lage des Punktes in der Lotrechten (Messtiefe unter Wasserspiegel in % der Wassertiefe)							
	< 70 % Tiefe				> 70 % Tiefe			
	Messdauer (s)							
	30	40*	50	60	30	40*	50	60
	%				%			
0,05	50	47	43	40	80	73	66	60
0,10	27	25	23	22	33	31	29	27
0,20	15	14	13	12	17	16	15	14
0,30	10	9	8	7	10	9	8	7
0,40	8	7	6	6	8	7	6	6
0,50	8	7	6	6	8	7	6	6
1,00	7	7	6	6	7	7	6	6
> 1,00	7	7	6	6	7	7	6	6

* Die Werte für die in Baden-Württemberg empfohlene Messdauer von 40 s wurden linear interpoliert.

Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit einer Lotrechten in Abhängigkeit von der Anzahl der Messpunkte in der Lotrechten (u_p)

Als Faustregel kann angegeben werden, dass die Unsicherheit bei der Bestimmung der mittleren Fließgeschwindigkeit mit zunehmender Anzahl von Messpunkten pro Lotrechte abnimmt (Tabelle 8). Die Angaben beziehen sich auf natürliche Gewässer mit mehr oder weniger unregelmäßiger Sohle. Im Fall von betonierte Kanälen oder bei sehr großer Messtiefe werden die Werte im allgemeinen günstiger.

Tabelle 8: Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit einer Lotrechte in Abhängigkeit von der Anzahl der Messpunkte (ergänzt und verändert nach Morgenschweis, 1990).

Anzahl der Messpunkte pro Messlotrechte	Unsicherheit (%)
1	15
2 (geschätzt)	10
3 (geschätzt)	7
5	5
> 5	< 5

Aufgrund eigener Erhebungen bzw. Erfahrungen wurden die Werte für die in Baden-Württemberg gelegentlich angewandte 2-Punkt- und 3-Punkt-Messung geschätzt.

Fehler der mittleren Fließgeschwindigkeit im Messquerschnitt in Abhängigkeit von der Anzahl der Messlotrechten (u_v)

Die erforderliche Anzahl von Messlotrechten hängt von der Form und Breite des Messquerschnitts ab. Breite und unregelmäßige Querschnitte erfordern mehr Messlotrechten als schmale und gleichförmige Querschnitte (Kapitel 4.4). Die in Tabelle 9 aufgeführten Angaben beziehen sich auf natürliche Gerinne mit mehr oder weniger unregelmäßiger Sohle. Im Fall von ausgebauten Profilen und betonierten Kanälen oder bei sehr großer Tiefe werden die Werte günstiger.

Es fällt auf, dass in der Tabelle die Gewässerbreite nicht als maßgebende Einflussgröße genannt ist. Bei schmalen Gewässern wirken sich einzelne Sohlunebenheiten stärker auf die Fließgeschwindigkeit aus als bei breiten Gewässern, wodurch der Einfluss der größeren Breite aufgehoben wird.

Tabelle 9: Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl der Messlotrechtenanzahl (verändert nach Morgenschweis, 1990).

Anzahl der Messlotrechten	Unsicherheit (%)
5	15
10	9
15	6
20	5
25	4
30	3

Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit aufgrund von Abweichungen bei der Flügelkalibrierung (u_c)

Einen relativ kleinen Einfluss hat die Unsicherheit bei der Eichung der Messflügel. Die Abweichung vom wahren Wert berücksichtigt nur den zufälligen Fehler, der in der Streuung der einzelnen Kalibrierpunkte um die Ausgleichsgeraden zum Ausdruck kommt und einer systematischen Komponente, die in Fehlern im Eichkanal begründet sein kann. Wie aus Tabelle 10 zu entnehmen

ist, liegen wegen der Trägheit des Messsystems die größeren Unsicherheiten im Bereich der geringen Fließgeschwindigkeiten.

Die angegebenen Messunsicherheiten sind nicht zu verwechseln mit dem systematischen Fehler der entsteht, wenn sich durch Beschädigung, Verschleiß oder mangelhafter Lagerölung die Beziehung zwischen Fließgeschwindigkeit und Umdrehungsgeschwindigkeit der Schaufel verändert. Dieser Messgerätefehler kann sehr groß sein; er ist nur durch erneutes Eichen bzw. sorgfältige Pflege des Flügels zu vermeiden. Sein Einfluss ist in den Tabellenwerten nicht berücksichtigt.

Tabelle 10: Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit aufgrund von Abweichungen bei der Flügeleichung (verändert nach Morgenschweis, 1990).

Mittlere Fließgeschwindigkeit (m/s)	Unsicherheit (%)
0,03	20
0,10	10
0,15	5
0,25	4
0,50	3
> 0,50	2

Die relative Messunsicherheit aufgrund der einzelnen relativen Teilunsicherheiten u_{Qz} ergibt sich nach der Gleichung:

$$u_{Qz} = \pm \sqrt{(u_v)^2 + \frac{1}{x} \cdot [(u_B)^2 + (u_T)^2 + (u_E)^2 + (u_p)^2 + (u_c)^2]} \quad (\%)$$

u_{Qz}	Messunsicherheit aufgrund zufälliger Messabweichungen bei der Durchflussmessung
u_v	Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit im Messquerschnitt in Abhängigkeit von der Anzahl der Messlotrechten
u_B	Unsicherheit aufgrund von Abweichungen bei der Bestimmung der Breite des Messquerschnittes und der Lage der Lotrechten
u_T	Unsicherheit aufgrund von Abweichungen bei der Bestimmung der Tiefe in den Messlotrechten
u_E	Unsicherheit bei der Bestimmung der Fließgeschwindigkeit in einem Messpunkt in Abhängigkeit von der Messdauer und der Lage innerhalb der Lotrechten
u_p	Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit einer Lotrechten in Abhängigkeit von der Anzahl der Messpunkte in der Lotrechten
u_c	Unsicherheit der mittleren Fließgeschwindigkeit aufgrund von Abweichungen bei der Flügelkalibrierung
x	Anzahl der Messlotrechten

Bei einer sehr großen Anzahl von Messlotrechten wird der zweite Summand sehr klein und die Gleichung nimmt die Form $u_{Qz} \approx |u_v|$ an.

Neben den zufälligen Fehlern treten, wie oben bereits erwähnt, bei der Durchflussmessung auch systematische Fehler (f_{Qs}) auf, die in ihrer Größenordnung nicht abschätzbar sind. Sie werden im

folgenden Beispiel zu max. $\pm 1 \%$ angenommen (Kapitel 6.1). Sie können jedoch bei fehlerhaften Geräten und nicht ordnungsgemäßer und nicht ausreichend sorgfältiger Messung erheblich größer sein.

Aus der oben beschriebenen relativen Messunsicherheit u_{Qz} und der relativen Unsicherheit aufgrund systematischer Abweichungen u_{Qs} erhält man demnach die relative Gesamtunsicherheit des Durchflussmessergebnisses

$$u_Q = \sqrt{(u_{Qz})^2 + (u_{Qs})^2} \quad (\%)$$

Beispiel: Vielpunktmessung am Pegel Ettlingen/ Alb bei $W = 47,2 \text{ cm}$ und $Q = 2,315 \text{ m}^3/\text{s}$:

Anzahl der Lotrechten x	12
Mittlere Fliessgeschwindigkeit in den Lotrechten	0,55 m/s
Messzeit	40 s
Durchschnittliche Anzahl der Messpunkte pro Lotrechte	5
Wasserspiegelbreite	5,6 m
Wassertiefe	0,76 m

Daraus ergeben sich folgende zufällige Einzelfehler gemäß den Angaben in Tabelle 5 bis Tabelle 10:

u_B	$\pm 3,6 \%$	u_T	$\pm 2,6 \%$
u_E	$\pm 7 \%$	u_p	$\pm 5 \%$
u_v	$\pm 8 \%$	u_c	$\pm 2 \%$

$$u_{Qz} = \pm \sqrt{8^2 + \frac{1}{x} \cdot [3,6^2 + 2,6^2 + 7^2 + 5^2 + 2^2]} = \mathbf{8,4937 \%}$$

$$u_Q = \sqrt{8,4937^2 + 1^2} = \mathbf{8,55 \%}$$

Der ermittelte Durchfluss-Messwert sollte somit folgendermaßen angegeben werden:

$$Q = 2,315 \text{ m}^3/\text{s} \pm 8,55 \% \quad \text{oder}$$

$$Q = 2,315 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0,198 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{oder}$$

$$Q = 2,117 \text{ bis } 2,513 \text{ m}^3/\text{s}.$$

bzw. zur Verdeutlichung der Unsicherheit mit geringerer Stellenzahl:

$$Q = 2,32 \text{ m}^3/\text{s} \pm 9 \% \quad \text{oder}$$

$$Q = 2,32 \text{ m}^3/\text{s} \pm 0,2 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{oder}$$

$$Q = 2,12 \text{ bis } 2,52 \text{ m}^3/\text{s}.$$

7 Auswertung der Durchflussmessung

7.1 Verschiedene Auswerteverfahren

Das in Baden-Württemberg zur Auswertung von Abflussmessungen verwendete Programm BIBER (Arbeitsanleitung, LfU, 2001A) bietet verschiedene Verfahren an, die sich darin unterscheiden, wie aus den für die verschiedenen Messlotrechten ermittelten mittleren Fließgeschwindigkeiten (Abbildung 4) der Gesamtdurchfluss ermittelt wird.

Bei dem in Baden-Württemberg üblichen Auswerteverfahren entsprechend der **Pegelvorschrift** wird durch die Stützpunkte der über dem Gewässerquerschnitt aufgetragenen Geschwindigkeitsflächen eine Ausgleichskurve (Spline) gelegt. Durch Integration dieser Kurve über die Gewässerbreite erhält man den Durchfluss Q . Dieser ergibt sich somit durch die doppelte Integration der Fließgeschwindigkeit $v(h,b)$ über die Breite b und die Tiefe h des Messquerschnitts.

$$Q = \int_0^b \int_0^h v(h,b) \, dh \, db \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Beim arithmetischen Mean-Section- und Mid-Section-Verfahren wird der Gesamtdurchfluss Q aus der Summe der Teildurchflüsse q_{ij} zwischen den einzelnen Messlotrechten gebildet.

Die **Mean-Section-Methode** ermittelt den Durchfluss zwischen zwei Lotrechten mit den mittleren Geschwindigkeiten v_1 und v_2 , den Wassertiefen h_1 und h_2 und dem Abstand $(b_2 - b_1)$ gemäß der Formel:

$$q_{21} = \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right) \cdot \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \cdot (b_2 - b_1) \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Die **Mid-Section-Methode** ermittelt den Durchfluss zwischen zwei Lotrechten durch die Multiplikation des Mittelwertes der Geschwindigkeitsflächen der Lotrechten f_{v1} und f_{v2} mit deren Abstand $(b_2 - b_1)$. Das Verfahren entspricht dem in der Pegelvorschrift (Anlage D) erwähnten Trapezverfahren zur Durchflussermittlung im Felde. Vom Verfahren nach Pegelvorschrift unterscheidet es sich dadurch, dass an die Stelle der dort verwendeten Splinefunktion hier ein Polygonzug tritt.

$$q_{21} = \left(\frac{v_1 h_1 + v_2 h_2}{2} \right) \cdot (b_2 - b_1) \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

7.2 Auswertung nach Pegelvorschrift

In Baden-Württemberg erfolgt die Auswertung nach dem in der Pegelvorschrift beschriebenen Verfahren (Abbildung 29). Das Programm BIBER stellt die für die Auswertung erforderlichen Funktionen zur Verfügung. Es ermittelt nicht nur die Durchflusswerte sondern auch die für die Plausibilisierung notwendigen Kenngrößen (Kapitel 2.3). Darüber hinaus bietet es die Möglichkeit zur Verwaltung von Messflügeln und zugehörigen Eichgleichungen (Kapitel 3.3) sowie der Messdaten und der Auswerteergebnisse. Die Anwendung des Auswerteprogramms ist in der Arbeitsanleitung (LfU, 2001A) erläutert.

Das Programm berechnet aus der Anzahl der Schaufelumdrehungen pro Zeiteinheit (U/s) die Fließgeschwindigkeit in den Messpunkten mit Hilfe der Eichgleichung des Flügels. Diese Geschwindigkeitswerte werden senkrecht zur Messlotrechten in den einzelnen Messpunkten als Strecke aufgetragen. Um den Verlauf der Fließgeschwindigkeiten über die gesamte Messlotrechte zu bestimmen, werden Hilfspunkte sowohl an der Wasseroberfläche als auch an der Sohle benötigt. Der Hilfspunkt an der Wasseroberfläche wird gefunden, indem man zum einen die beiden obersten Messpunkte der Messlotrechte durch eine Gerade verbindet und diese zum Wasserspiegel verlängert. Zum anderen wird eine Senkrechte durch den obersten Messpunkt gezeichnet. Der Hilfspunkt an der Wasseroberfläche liegt nun auf der Hälfte der Strecke zwischen den beiden Schnittpunkten (Caesperlein (1967), Seite 10). Auf die Sohle wird ein Hilfspunkt gesetzt, dessen Fließgeschwindigkeit dem Produkt aus der Fließgeschwindigkeit des untersten Messpunktes mit dem Bodenfaktor entspricht (Caesperlein (1967), Seite 12). Durch die Hilfs- und Messpunkte kann nun der Fließgeschwindigkeitsverlauf als ausgleichende Linie gezogen werden bzw. mathematisch über Spline-Interpolation bestimmt werden. An der Sohle geht dieser Linienzug tangential in die Waagerechte in Sohlenhöhe über (Abbildung 29 oben).

Die Fläche zwischen der Geschwindigkeitskurve (v -Kurve) und der Messlotrechten i ist die Geschwindigkeitsfläche f_{v_i} . Sie ist gleich dem Durchfluss pro Breitereinheit q_i (Abbildung 4).

$$q_i = f_{v_i} = v_{im} \cdot h_i \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

v_{im} mittlere Geschwindigkeit in der Messlotrechten i (m/s) und

h_i Wassertiefe in der Messlotrechten i (m)

In einem rechtwinkligen Koordinatensystem, in dem die Wasseroberfläche als Grundlinie gewählt wird, werden die Geschwindigkeitsflächen f_{v_i} einer jeden Messlotrechten i als Ordinaten senkrecht zur Wasseroberfläche als Strecken aufgetragen. Die Endpunkte dieser Strecken werden durch einen Spline miteinander verbunden (f_v -Linie). Die von der f_v -Linie und der Wasseroberfläche (Abszisse) eingeschlossene Fläche entspricht dem Durchfluss Q im Querschnitt A . Die mittlere Fließgeschwindigkeit v_m im Querschnitt ist gleich dem Quotient aus Durchfluss und Durchflussmessquerschnitt ($v = Q/A$) (Abbildung 29). Zusätzlich zu den Messlotrechten werden die Uferpunkte und Peilungen zur Berechnung des Durchflussquerschnittes verwendet (vgl. Kapitel 4.4).

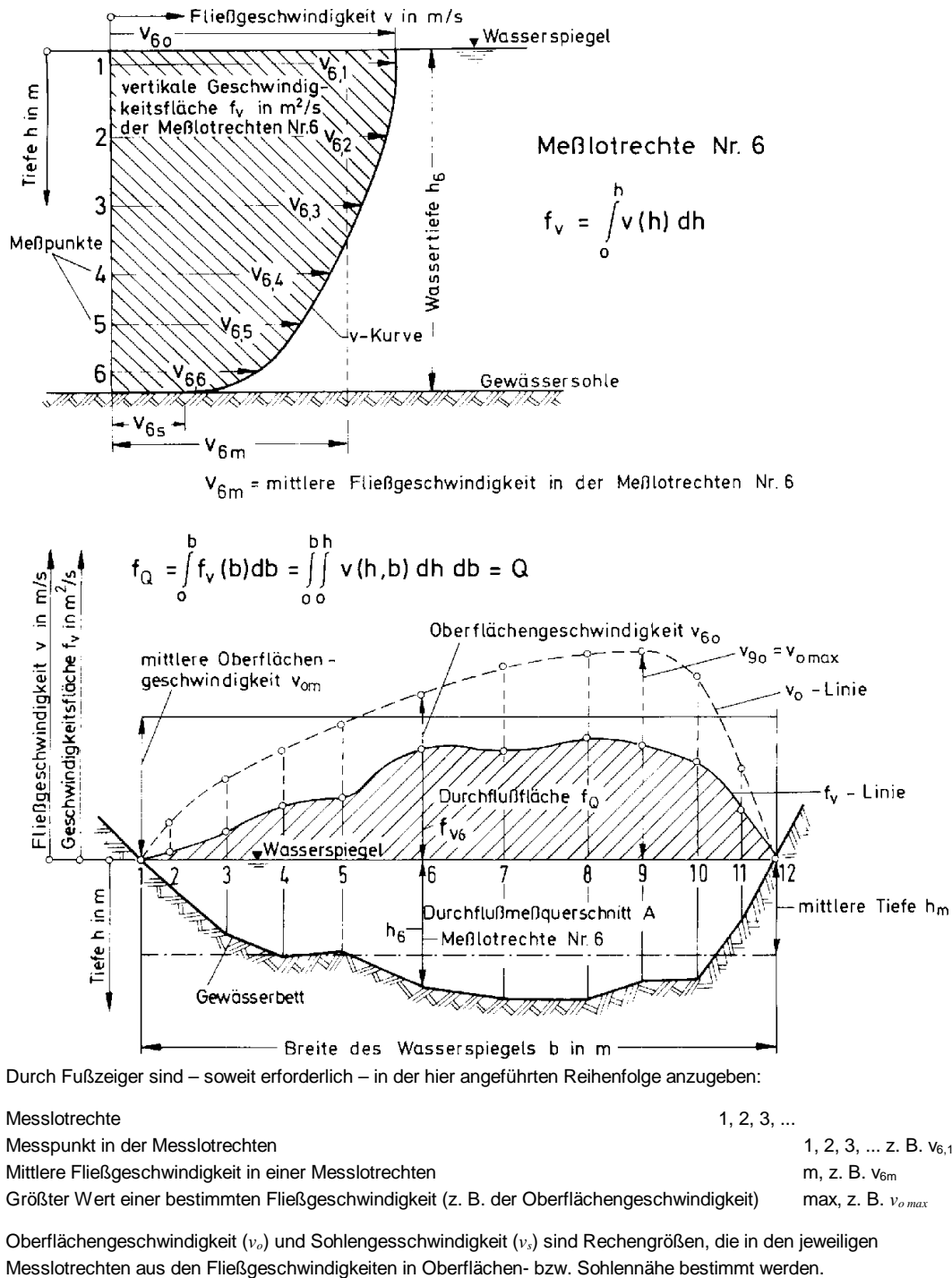


Abbildung 29: Definition der Messgrößen und Prinzip der graphischen Auswertung (Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).

Die Höhenlage des Schwimmflügels wird über das Hubseil, dessen Bewegung über das an der Winde installierte Zählwerk abgelesen wird, bestimmt. Bei Abtritt des Schwimmflügels stellt sich das Seil schräg (vgl. Kapitel 3.2 und Kapitel 4.3) und die am Zählwerk der Winde angezeigten Werte müssen korrigiert werden. Dies geschieht nach einem in der Pegelvorschrift, Anlage D beschriebenen Verfahren. Es ermittelt die tatsächlichen Tiefenwerte aus den Abtrittswinkeln α (Abtrittswinkel, wenn der Flügel an der Wasseroberfläche gerade eingetaucht ist) und β (Abtrittswinkel, wenn der Flügel sich unmittelbar über der Sohle befindet) und dem Aufhängungsabstand (Abbildung 30). Die Berechnung des Korrekturwertes für die Seilstrecke über Wasser anhand des Abtrittswinkels α folgt der einfachen Geometrie. Im Wasser dagegen ist die

Korrekturgröße von den Kräften der Strömung auf das Seil und den Schwimmflügel abhängig. Die Tabellenwerte der Pegelvorschrift gelten nur, solange nicht, z. B. durch Schwimmstoffe am Seil, sich diese Strömungskräfte vergrößert haben.

Wurde das Hubseil so abgespannt, dass der obere Teil senkrecht verläuft, muss die Höhenlage des Abspannseiles als Aufhängepunkt angesetzt werden.

Die Pegelvorschrift gibt an, dass ab einem Abtriftwinkel von 5° der Korrekturwert zu bestimmen und bei einer Abweichung größer 1 % eine Korrektur des Tiefenwertes erfolgen soll. Im Programm BIBER ist diese Korrekturfunktion für die Bestimmung der Profiltiefe enthalten. Das Programm ist jedoch nicht in der Lage, diese Korrektur auch für die darüber liegenden Messpunkte durchzuführen. Daher ist es notwendig, zumindest bei Abtriftwinkel $\beta \geq 15^\circ$, das Korrekturmaß Δh_2 mit Hilfe der Tabellen in der Pegelvorschrift, Anlage D zu ermitteln und die anhand der Seillänge ermittelte Wassertiefe des Messpunktes um dieses Maß zu vermindern.

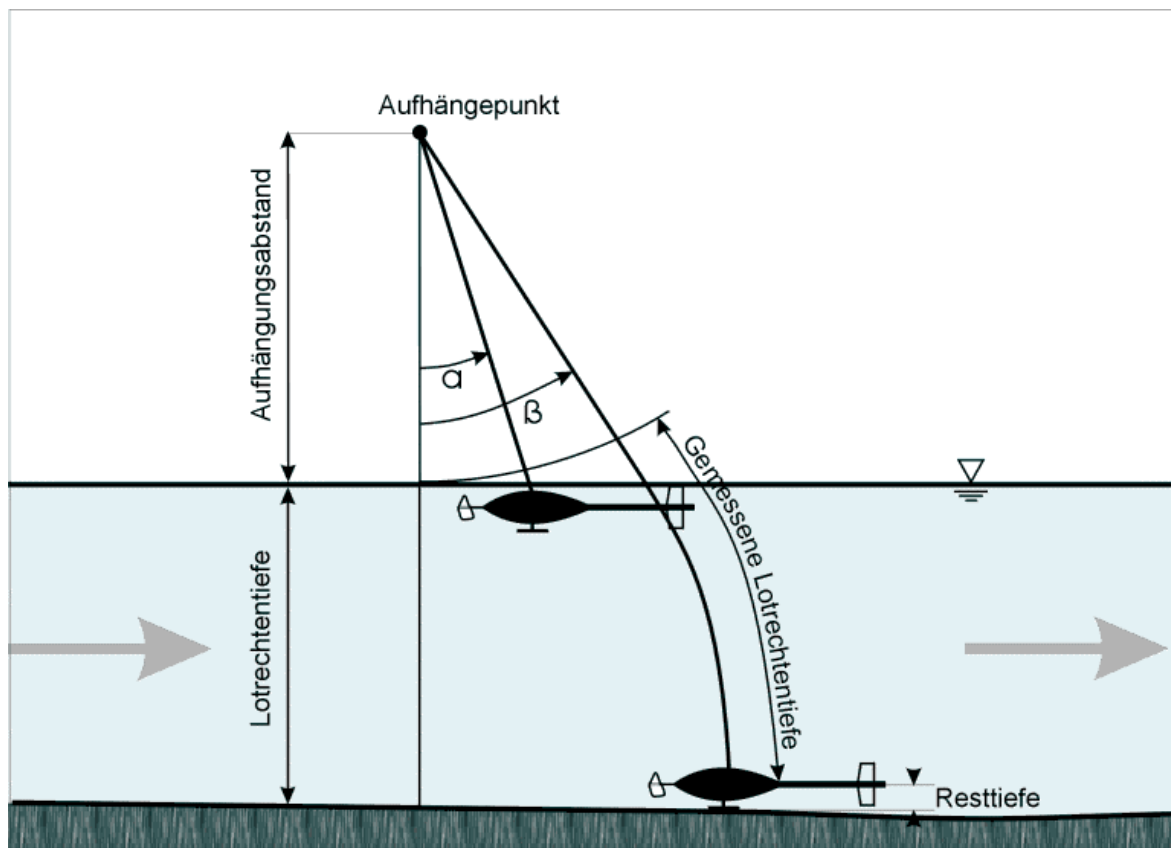


Abbildung 30: Berichtigung der gemessenen Tiefe bei Abtrift des Schwimmflügels (Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).

An Pegeln sollte so gemessen werden, dass sich während der Messung die Wasserstände möglichst nicht ändern (Kapitel 4.3). Kann dieses Ziel nicht erreicht werden, muss aus den für die einzelnen Messlotrechten jeweils festgestellten Pegelständen (Kapitel 4.4) der maßgebende mittlere Pegelstand bestimmt werden.

Die Ermittlung des Bezugswasserstandes wird durch die Pegelvorschrift, Anlage D vorgegeben. Das Programm BIBER folgt dem in der Pegelvorschrift beschriebenen Verfahren.

Bei der graphischen Ermittlung des Bezugswasserstandes wird der Wasserstand für die einzelnen Abschnitte in Stufen aufgetragen. Über dieser getrepten Wasseroberfläche wird die Linie $f_v = v_m \cdot h$ aufgetragen. Die von ihr eingeschlossene Fläche entspricht dem gesamten Durchfluss im Messquerschnitt (Abbildung 31).

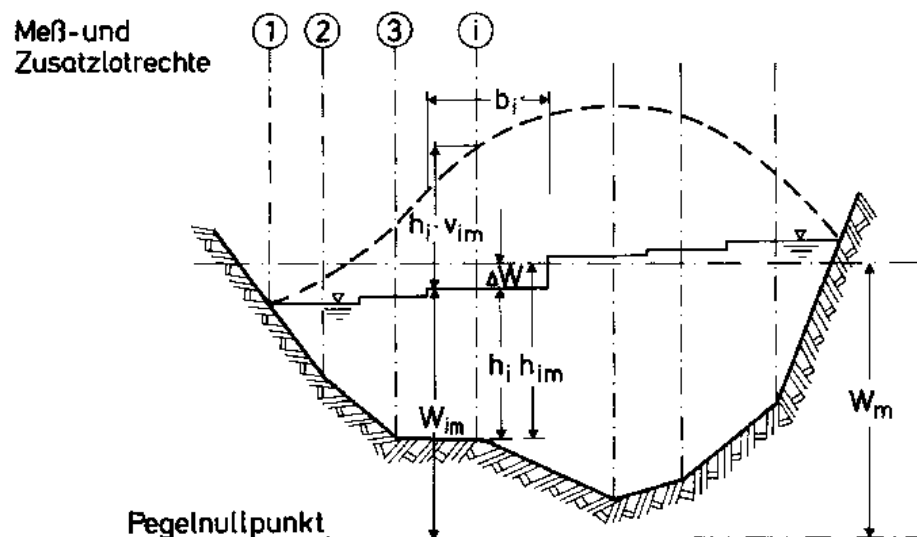


Abbildung 31: Ermittlung des Bezugswasserstandes W_m bei Wasserstandsänderungen während der Messung (Pegelvorschrift, Anlage D, 1991).

Der für die Durchflussmessung repräsentative Wasserstand ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$W_m = \frac{\sum (Q_i \cdot W_{im})}{Q}$$

W_m	Bezugswasserstand (cm)
Q_i	Teildurchfluss im Abschnitt i : $Q_i = b_i \cdot h_{im} \cdot v_{im}$ (m^3/s)
W_{im}	Wasserstand während der Messung des Teildurchflusses Q_i (cm)
Q	gesamter Durchfluss, als Summe der Teildurchflüsse Q_i (m^3/s)
b_i	Breite des Abschnitts i (m)
h_i	Tiefe der Mess- oder Zusatzlotrechten i (m)
h_{im}	mittlere Tiefe im Abschnitt i (m)
v_{im}	mittlere Fließgeschwindigkeit im Abschnitt i (m/s)

7.3 Plausibilisierung

Die Auswertung von Durchflussmessungen soll der Messung unmittelbar folgen. Auch wenn die für die Messung maßgebenden Begleitumstände notiert wurden, lassen sich die Ursachen unplausibler Ergebnisse später oft nicht mehr ermitteln. Bei der Fortschreibung von Abflusskurven ist es dann zweifelhaft, ob sich die Wasserstands-Durchfluss-Beziehung geändert hat, oder ob ein Messfehler vorliegt. Sofern die Auswertung bereits an der Messstelle erfolgt, können bei unplausiblen Ergebnissen die Gründe hierfür sofort festgestellt und erforderlichenfalls die Messung wiederholt werden.

Eingabefehler und Fehlmessungen einzelner Messlotrechten sowie Veränderungen des Profils verursachen Unregelmäßigkeiten bei den in Abbildung 32 dargestellten Profilwerten. Welche Ursache für die Unregelmäßigkeit tatsächlich verantwortlich ist, ist dann noch näher zu untersuchen. Dabei sind mögliche Einflüsse, wie sie in Kapitel 2.2 und Kapitel 2.4 beschrieben wurden, zu berücksichtigen und unplausible Werte einzelner Messlotrechten anhand des Geschwindigkeitsprofils zu überprüfen.

Zur Plausibilisierung von Abflussmessungen an Pegeln kann das Ergebnis der aktuellen Messung auch früheren Messergebnissen, die im Programm BIBER gespeichert sind, gegenübergestellt werden. Verglichen werden können zum einen die Kenndaten für den Gesamtquerschnitt, d. h. Wasserstände und Durchflüsse, die Profilwerte P , die Q/P -Werte sowie die mittleren Fließgeschwindigkeiten v_m (Kapitel 2.3), und zum andern die einzelnen Geschwindigkeitsprofile der Messlotrechten.

Die Plausibilisierung ist in der Arbeitsanleitung „Vom Wasserstand zum Durchfluss“ (LfU, 2002c) ausführlich beschrieben.

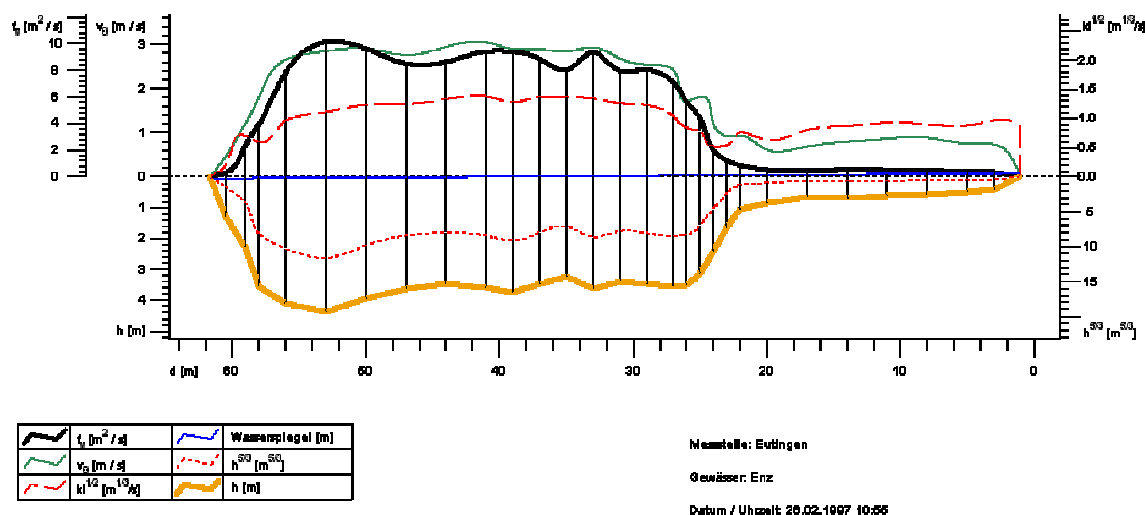


Abbildung 32: Ergebnisdarstellung des Messquerschnitts im Programm BIBER.

Das Ergebnis der Plausibilisierung und die Gründe der Abweichungen gegenüber früheren Messungen sowie die hierfür als verantwortlich erkannten Ursachen (z. B. Messfehler, falsche Eichgleichung, Veränderung des Profils) sind zu vermerken. Bei der späteren Fortschreibung der Abflusskurve stehen die Informationen dann zur Verfügung, und eine nochmalige Überprüfung des Messergebnisses erübrigt sich.

8 Organisation des Messdienstes

8.1 Aufgaben und Verantwortlichkeiten

Fachkunde und Sorgfalt bei der Aufgabenerledigung sind Voraussetzung für eine ausreichende Datenqualität. Außerdem bedarf es einer klaren Regelung der Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten.

Der Leiter des für den Messdienst zuständigen Sachgebietes oder Referates (Messdienst-Leiter) hat für die Überwachung der Qualitätssicherung Sorge zu tragen und darüber hinaus und in diesem Zusammenhang folgende weitere Aufgaben:

- Fachliche Betreuung des Messpersonals,
- Vorgabe des Messumfangs und der Prioritäten,
- Unterstützen des Messtruppführers durch Personal und Material,
- Veranlassen notwendiger Pflegemaßnahmen an der Messstelle und den anschließenden Gewässerstrecken,
- Beschaffen der Messausrüstung,
- Vergabe von Messaufgaben an Dritte,
- Überwachen der Aufgabenerledigung,
- Einsatzplanung.

Der Messtruppführer hat folgende Aufgaben:

- Beobachten der Wasserstandsentwicklung, Festlegen der Messzeitpunkte,
- Fachliche Anleitung seines Messtrupps,
- Pflegen und Bereithalten der Messausrüstung,
- Festlegen, Unterhalten und Vorbereiten der Messstelle,
- Erkennen notwendiger Pflegemaßnahmen,
- Durchführen der Messung,
- Auswerten und Plausibilisieren der Messergebnisse.

Der Messtruppführer muss über fundierte Kenntnisse der Durchflussmessung und der Auswertung der Messergebnisse verfügen und die Eigenheiten der einzelnen Messstellen kennen. Es sollte ihm stets der gleiche Messtrupp zur Verfügung stehen, da ein eingearbeitetes Team schneller und besser seine Aufgaben erfüllen kann als wechselndes Personal.

Der Messdienst-Leiter sowie der Messtruppführer sind jeweils in Ihrem Aufgabenbereich für die Qualitätssicherung verantwortlich. Die Vertretung bei Krankheit und Urlaub ist zu regeln.

8.2 Einsatzplanung

Die Einsatzplanung soll sicherstellen, dass die erforderlichen Durchflussmessungen durchgeführt werden, und der Aufwand hierfür auf das unbedingt notwendige Maß beschränkt wird. Durch vorausschauende Planung können nicht zwingend erforderliche Messungen vermieden, die Wegstrecken zu den Pegeln oder sonstigen Messstellen optimiert und Personal und Fahrzeuge rechtzeitig bereitgestellt werden. Eine vorausschauende Planung ist besonders bei Hochwasser notwendig, wenn die Messaufgaben in Konkurrenz zu Aufgaben bei der Gefahrenabwehr stehen.

Planungsaufgaben sind:

- Ermitteln des Bedarfes an Durchflussmessungen

Der für das Aufstellen, Kontrollieren und Fortschreiben der Abflusskurve Verantwortliche stellt für jeden Pegel fest, wie viele Messungen notwendig sind, um Veränderungen am Pegel erkennen zu können (Kontrollmessungen). Er legt fest, zu welchen Zeitpunkten (z. B. bei Änderung der Verkräutung) derartige Kontrollmessungen durchzuführen sind und bei welchen Wasserständen zusätzlich gemessen werden muss (Kapitel 8.1). Der so ermittelte Bedarf an Durchflussmessungen wird, gegebenenfalls unter Angabe der Priorität, in einer Liste zusammengestellt. Sofern Durchflussmessungen nicht nur bei Pegeln sondern auch an anderen Stellen notwendig sind, können auch diese in der Liste erfasst werden. Zur Kontrolle der Aufgabenerledigung werden die durchgeführten Messungen mit Messdatum in die Liste als erledigt eingetragen (Tabelle 11).

Sofern bekannt ist, dass bestimmte Abflüsse, bei denen Messungen notwendig sind, mit Messflügeln nicht zu messen sind, muss in der Liste vermerkt werden, welche Messverfahren statt dessen eingesetzt werden sollen. In Frage kommen derzeit bei kleinen Abflüssen das Salz-Verdünnungsmessverfahren (Arbeitsanleitung, LfU, 2002B), bei großen Wassertiefen bzw. Hochwassermessungen Messungen mit dem ADCP.

In der Liste kann auch vermerkt werden, welche Messungen durch Dritte erledigt werden sollen. Dadurch erhält man die notwendigen Unterlagen für eine Ausschreibung bzw. Vergabe und einen Überblick über den Finanzbedarf.

Tabelle 11: Zusammenstellung der notwendigen Durchflussmessungen (Messungen höchster Priorität sind fett gedruckt, geringerer Priorität kursiv, (V) Verdünnungsmessung, (A) Messung mit ADCP).

Notwendige Durchflussmessungen im Jahr 2000									
PNR	Gewässer	Ort	Kontrollm.	Monate	erledigt	NW	erledigt	HW	erledigt
4711	A-Bach	Neudorf	8	4 bis10	8.4., 6.5.,	<30		200-300	2.3.
			2	11-3	5.2.			>440 (A)	
815	B-Bach	Altstadt	2		5.2.			>350	
1007	C-Bach	Neustadt	1		5.2.	<25 (V)		>250	

- Aufstellen und Fortschreiben des Messplans

Eine zeitliche Planung von Durchflussmessungen eines Jahres im Voraus ist nicht möglich, weil weder die Größe der Durchflüsse noch die Entwicklung der Verkräutung voraussehbar sind. Jedoch sind die Jahreszeiten im allgemeinen bekannt, in denen mit Hochwasser, Niedrigwasser, verstärktem Krautwuchs oder Rückgang der Verkräutung zu rechnen ist. Es ist daher möglich in einem Jahresarbeitsprogramm die Zeiträume, in denen bestimmte Messungen voraussichtlich anfallen, zu vermerken und den notwendigen Personalbedarf

frühzeitig einzuplanen. Der Plan ist, sofern das Abflussgeschehen, die Witterung oder andere Einflüsse und Ereignisse es erforderlich machen, fortzuschreiben.

Maßnahmen zur Entkrautung, zur Gehölzpflege, zur Räumung des Gewässers u. ä. (Kapitel 8.1) werden vorausschauend geplant und daher meist rechtzeitig bekannt. sofern der Messtruppführer frühzeitig von solchen Maßnahmen in Kenntnis gesetzt wird, können jeweils vor und nach Unterhaltungsmaßnahmen die erforderlichen Messungen durchgeführt werden.

Es ist daher notwendig, dass zwischen den Stellen, die für die Gewässerunterhaltung zuständig sind und dem Messdienst der notwendige Informationsaustausch gewährleistet ist.

- Erkennen von Zeitpunkten, zu denen Durchflussmessungen notwendig sind
Bei der täglichen Überprüfung der per Datenfernübertragung bereitgestellten Wasserstandsganglinien lässt sich feststellen, ob messtechnisch interessante Wasserstände aufgetreten sind oder in Kürze voraussichtlich auftreten werden, bei denen entsprechend dem Plan (Tabelle 11) Durchflussmessungen notwendig sind. Veränderungen der Verkrautung sind aus den Wasserstandsganglinien daran zu erkennen, dass die Wasserstände ansteigen, während an von Verkrautung unbeeinflussten Gewässern mit ähnlichem Abflussverhalten, vergleichbare Wasserstandsanstiege nicht vorhanden sind.
- Organisation von Messeinsätzen
Sobald die Notwendigkeit von Durchflussmessungen absehbar ist, muss alles zur Durchführung der Messung Notwendige veranlasst werden. Der entsprechend der jeweiligen Situation notwendige Einsatzplan ist unter Berücksichtigung der Prioritäten und der Wegstrecken zwischen den Pegeln sowie dem sich entwickelnden Abflussgeschehen festzulegen.
- Sicherstellen von Durchflussmessungen bei Hochwasser
Bei Hochwasser steht oft nicht ausreichend eigenes Personal zur Verfügung, weil dieses durch Aufgaben der Gefahrenabwehr gebunden ist. Bei Pegeln mit sehr kurz andauernden Hochwässern muss der Messtrupp sehr kurzfristig seine Messaufgaben erledigen.
Wenn Dritte wesentlich kürzere Wegzeiten zur Messstelle haben, kann es vorteilhaft sein, die Messungen von diesen durchführen zu lassen. Bei Pegeln an größeren Gewässern, bei denen im Allgemeinen die Hochwässer länger andauern und somit eine längere Reaktionszeit zur Verfügung steht, können auch Dritte, die eine längere Anfahrt zum Pegel haben, mit der Messung beauftragt werden. Derartige Einsätze Dritter sind im Vorfeld vertraglich zu regeln. Der Auftraggeber hat bei einer Auftragsvergabe Dritte in ihre Aufgaben vor Ort einzuweisen und für die notwendige Qualitätssicherung zu sorgen (Kapitel 11).

8.3 Pflegen und Bereithalten der Messausrüstung

Um bei Bedarf unverzüglich messen zu können, müssen die Messausrüstung selbst (Kapitel 3.3) sowie die Seilkrananlagen jederzeit einsatzbereit zu sein. Zu den Messausrüstungen gehören die im folgenden Kapitel aufgeführten Teile.

8.3.1 Inhalt einer Durchflussmessausrüstung

Niedrigwasser: Kleinflügel / Miniflügel-Ausrüstung im Instrumentenkasten mit

- Flügelkörper C2 (Fa. OTT) oder M1 (Fa. SEBA) mit Stangenfuß
- 4 Schaufeln Durchmesser D = 50 mm, 2 Schaufeln Durchmesser D = 30 mm
- 6 Prüfzeugnisse für o. g. Schaufeln
- Flügelstange 9 mm, 3-teilig mit cm-Teilung, 1,5 m lang
- Verstellvorrichtung, 2-teilig, 1 m lang oder Führungsvorrichtung
- Verbindungskabel von Stange 9 mm zum Zählgerät
- Zählgerät, Z 210, Z 215 oder Z 30 (Fa. OTT) oder Z 4 oder Z 10 (Fa. SEBA)
- Maßband, Werkzeug, Flügelöl, (Batterien, Stoppuhr)



Abbildung 33 Niedrigwasser-Messausrüstung

Mittelwasser bis Hochwasser: Universalausrüstung im Messkasten mit

- Flügelkörper C31 (Fa. OTT) oder F1 (Fa. SEBA) mit oder ohne Steuerflosse
- je 1 Metallschaufel D = 60 mm und D = 80 mm, jeweils mit Steigung S = 125 mm
- je 1 Metallschaufel D = 125 mm, mit Steigung 250 mm und S = 500 mm
- 3 Prüfzeugnisse, jede Schaufel (außer S = 500 mm) an Stange 20 mm
- 4 Prüfzeugnisse Schaufel D = 125 mm mit Gewichtsfügel 25 kg und 50 kg oder 100 kg
- Flügelstange 20 mm mit Führungsleiste (wenn Steuerflosse) oder Flügelstange 20 mm ohne Führungsleiste (bei Überwurfgestänge)
- Stangenfutteral, Bodenplatte 10 mm,
- Abstandsstifte für Schaufeln D = 60 mm, 80 mm, 125 mm
- Spezialklemme bei Messung ohne Überwurfgestänge
- Verbindungskabel L = 2,5 m, 8 bis 10 m, 25 m von Stangeflügel zum Zählgerät
- Zählgerät, Z 210, Z 215 oder Z 30 (Fa. OTT) oder Z 4 oder Z 10 (Fa. SEBA)
- Maßband, Werkzeug, Flügelöl, Ersatzbatterien

**Abbildung 34 Hochwasser-Messausrüstung****zusätzliche Hochwassermessausrüstung**

- 25 kg Einfachwinde im Transportkasten
- Verbindungskabel L = 2,5 m von der Winde zum Zählgerät (im Transportkasten)
- Mobiler Messausleger (siehe Abbildung 18D)
- Flügelkabelrolle mit Kabel L = 15 m bis 25 m

- Adapter zwischen Flügelkörper und Schwimmsteuer
- 25 kg Mittelstück mit Schwimmsteuer und Belastungsgewichten
- Warneinrichtung bei Messung an Straßenbrücken
- Sicherheitsleinen und Haltegurte, bei Bedarf Schwimmwesten
- Einrichtung zur Vorspannung von Seilen
- Werkzeug

Persönliche Ausrüstung des Messtruppführers mit

- Notizbuch zur Eintragung der Wartungsmaßnahmen an den Geräten (Kann auch als EDV-Datei geführt werden)
- Erfassungsprotokoll, Notizpapier
- Schreibgerät
- Taschenrechner, bei Bedarf Laptop für Auswertung an der Messstelle
- Taschenlampe

8.3.2 Messflügel

Messflügelkörper und -schaufel sind empfindliche Messinstrumente. Sie müssen schonend behandelt und sorgfältig gepflegt werden. Sie sind nur in Schutzkisten, in denen die Teile gegen Beschädigung durch Herumfallen gesichert sind, aufzubewahren und zu transportieren (Abbildung 35). Die Messausrüstung soll wegen der ständig notwendigen Pflegearbeiten in der Dienststelle und nicht an der Messstelle aufbewahrt werden.



Abbildung 35: Messflügel und Zubehör im Transportkoffer.

Nach jedem Wechsel der Schaufel ist der Ölstand der Kammer zu prüfen. Erforderlichenfalls ist Öl nachzufüllen oder, wenn sich Öl mit Wasser gemischt hat, das Öl auszutauschen. Nach jeder Messfahrt sind darüber hinaus Achse, Lager und Zubehörteile auf Verunreinigungen zu untersuchen.

Die Gummidichtungen am Flügelkörper und an den Kabelsteckern sind nach jeder Messfahrt auf Beschädigung durchzusehen und erforderlichenfalls auszutauschen. Die Flügelschaufeln sind auf Beschädigungen zu untersuchen und ggf. neu zu eichen


Der Flügel ist nach Messungen in verschmutztem oder mit Schwebstoffen belastetem Wasser, wenn das Öl Schwebstoffe enthält oder wenn Verschmutzungen des Lagers vermutet werden, mindestens jedoch einmal jährlich zu zerlegen, mit Reinigungsbenzin zu reinigen und zu ölen. Dabei darf nur das vom Hersteller de Flügels empfohlene Öl verwendet werden (Kapitel 3.3).

Nach jeder Demontage ist der Flügel auf seine Funktionsfähigkeit zu überprüfen. Zur Prüfung der Funktionsfähigkeit wird eine auf den Flügel aufgesetzte Schaufel in langsame Umdrehung versetzt. Der Flügel ist hierbei horizontal zu halten. Die Schaufel muss langsam und gleichmäßig auslaufend zum Stillstand kommen und am Schluss eine halbe Umdrehung rückwärts laufen.

Messflügel (Flügelkörper und Schaufel) müssen regelmäßig zusammen geeicht werden. Zwar gibt es hierfür keine starren Regeln, jedoch sollten alle Messflügel, die ständig in Betrieb sind, alle 5 Jahre, und solche, die nur wenig eingesetzt werden, nach spätestens 10 Jahren neu kalibriert (geeicht) werden (Kapitel 3.3). Flügelkörper und Schaufeln sind bei sichtbarer Beschädigung durch Steinschlag oder äußere Gewalteinwirkung oder Verdacht auf Beschädigung umgehend zu eichen. Die Kalibrierung erfolgt durch hierfür qualifizierte Institute (Abbildung 36 und Abbildung 37).

Art und Umfang aller Wartungsmaßnahmen sowie dabei gemachte Feststellungen sind vom Messtruppführer mit Datum und Unterschrift in dem hierfür vorgesehenen Notizbuch zu vermerken. Fehlende und defekte Teile sind umgehend zu ersetzen.

Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft
Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio
Federal office of environment, forests and landscape



S Schweizerischer Kalibrierdienst
S Service suisse d'étalonnage
C Servizio Svizzero di taratura
S Swiss Calibration Service

Landeshydrologie und -geologie
Akkreditierte Kalibrierstelle für hydrometrische Flügel

Akkreditierungsnummer SCS 003
Seite 1 von 3 Seiten

Kalibrier-Zertifikat Nr 25196 vom 20.12.1995

Flügel Nr	617	Kalibrierung mit	Stange 20 mm
Schaufel Nr	2.195.125	Schutzring ø	-
Hersteller	SEBA Kaufbeuren	Wassertemperatur	12.4 ± 0.5 °C
Eigentümer	SEBA Hydrometrie GmbH D-87588 Kaufbeuren	Messunsicherheit	0.2 %
		Vertrauensbereich	95 %

Bemerkungen: Keine

Gleichungen der Kalibriergeraden

für n


$n < 1.4844$ $v = 0.0191 + (0.1413 \cdot n)$	Gerade A
$1.4844 < n < 8.2414$ $v = 0.0286 + (0.1349 \cdot n)$	Gerade B
$8.2414 < n < 18.561$ $v = 0.0525 + (0.132 \cdot n)$	Gerade C

n = Anzahl Schaufelumdrehungen pro Sekunde
v = Geschwindigkeit in Meter pro Sekunde


Landeshydrologie und -geologie
Akkreditierte Kalibrierstelle für hydrometrische Flügel

Ittigen, den 20.12.1995

Für die Kalibrierung:



Landeshydrologie und -geologie



Sektionschef

CH-3063 Ittigen, Papiermühlestrasse 172
Telefax +41 (0)31 324 76 81
Telefon +41 (0)31 921 37 48

Der Inhalt dieses Zertifikates darf nur in vollständiger Form veröffentlicht oder weitergegeben werden.

Abbildung 36: Kalibrierzertifikat für den Messflügel 1249.



Flügel-Nr.: 37150 Typ: C31 '10.001'
 Prüfmethode: BARGO
 Befestigung: Schwimmflügel mit 50 kg Mittelstück

Schaufel-Nr.: 1-130197 Durchmesser (mm): 125 Steigung (m): 0.250

n =	0.69	v = 0.2450 * n + 0.014
0.69 =	n = 9.57	v = 0.2624 * n + 0.002

Schaufel-Nr.: 2-130232 Durchmesser (mm): 125 Steigung (m): 0.500

n =	0.33	v = 0.4603 * n + 0.021
0.33 =	n = 4.82	v = 0.5184 * n + 0.002

Schaufel-Nr.: Durchmesser (mm): Steigung (m):

Schaufel-Nr.: Durchmesser (mm): Steigung (m):

Schaufel-Nr.: Durchmesser (mm): Steigung (m):

Schaufel-Nr.: Durchmesser (mm): Steigung (m):

Bei der Kalibrierung nach BARGO wird der Meßflügel mit einem Schleppwagen über den gesamten Meßbereich mit 8 oder mehr verschiedenen Geschwindigkeiten durch stehendes Wasser gezogen. Der ermittelte Zusammenhang zwischen der gemessenen Drehzahl der Flügelschaukel und der Geschwindigkeit des Schleppwagens kann dann in Form einer oder mehrerer Gleichungen ($v = k * n + a$) angegeben werden. Hierbei sind k und a von der Schaukel, vom Flügel und dessen Befestigung abhängige Konstanten.

v = Geschwindigkeit in m/s
k = hydraulische Steigung der Schaufel in m
n = Drehzahl der Schaufel in 1/s
a = Konstante in m/s

Es wird bescheinigt, daß oben aufgeführte OTT-Instrumente in Anlehnung an die ISO-Norm 3455 im firmeneigenen OTT-Meßkanal kalibriert wurden!

Kempten, 04.05.1999

Dr. Idler

Abbildung 37: Prüfzertifikat für den Messflügel 1206-2.

8.3.3 Zählgerät und Kabel

Vor und nach jeder Messung ist der Ladezustand der Batterie zu prüfen. Erforderlichenfalls sind die Batterien auszutauschen. Akkus sind nach jedem Messeinsatz neu zu laden.

Vor jedem Einsatz ist das fertig montierte Gerät auf Funktionsfähigkeit zu prüfen. Dazu wird ein Messflügel angeschlossen, dessen Schaufel in Umdrehung versetzt und beobachtet, ob das Zählgerät die Impulse korrekt registriert. Bei Schwimmflügeln erfolgt dieser Test zum einen an dem in der Luft hängenden Flügel, weil in diesem Zustand das Hubseil stark gespannt ist und sich deshalb Schäden im Messkabel, das im Innern des Hubseils verläuft, am ehesten bemerkbar machen. Zum anderen erfolgt der Test bei eingetauchtem Flügel, um mögliche Undichtigkeiten, z. B. in den Kabelsteckverbindungen, feststellen zu können.

Jährlich einmal sind die Zählgeräte auf Funktionsfähigkeit und Genauigkeit zu überprüfen. Dabei wird mit einer Stoppuhr die Genauigkeit der eingebauten Uhr kontrolliert und geprüft, ob das Gerät nach der vorgewählten Zeit abschaltet.

Die Messkabel dürfen keine Knickstellen oder Schlingen aufweisen. Sie sind auf derartige Mängel vor jeder Messung zu überprüfen, wobei den Anschlüssen besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist. Gegebenenfalls ist das Kabel auszutauschen oder um das beschädigte Stück zu kürzen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Steckverbindungen danach nicht auf Zug beansprucht werden. Verläuft das Messkabel im Hubseil des Schwimmflügels, ist ein Austauschen oder Kürzen des Kabels erforderlich, wenn einzelne Drahtlitzen des Hubseils gebrochen sind.

Zur Prüfung auf Wackelkontakte ist das Kabel des Zählgerätes während der oben beschriebenen Funktionsprüfung zu bewegen.

Art und Umfang von Wartungs- und Reparaturmaßnahmen sowie dabei gemachten Feststellungen sind vom Messtruppführer mit Datum und Unterschrift im hierfür vorgesehenen Notizbuch zu vermerken. Fehlende und defekte Ausrüstungsgegenstände sind umgehend zu ersetzen.

8.3.4 Messgestänge

Messgestänge sind nach Gebrauch zu reinigen und, sofern es sich nicht um Edelstahl handelt, leicht einzufetten. Auf einen einwandfreien Zustand der Verbindungen und Gewinde ist besonders zu achten. Festgestellte Beschädigungen sind umgehend zu beheben. Fehlende und defekte Ausrüstungsgegenstände müssen umgehend ersetzt werden.

8.3.5 Ortsfeste Seilkrananlage

Die für den Betrieb von Seilkrananlagen relevanten Vorgaben und Maßnahmen sind in der Richtlinie „Bau und Betrieb ortsfester Seilkrananlagen für gewässerkundliche Zwecke“ (LAWA 2000) beschrieben. Die Bedienungs- und Betriebsanleitung sind im Betriebsbuch, das in der Anlage ausliegen muss, enthalten.

Pflegemaßnahmen

Wartungs- und Pflegemaßnahmen werden im Rahmen der jährlich wiederkehrenden Prüfung durch eine sachkundige Person durchgeführt. Die Pflegemaßnahmen nach einer Messaktion beschränken sich auf das Säubern der durch die Messaktion verursachten Verschmutzungen.

Funktionsprüfung

Die Prüfungen sind für elektrisch und von Hand betriebene Anlagen unterschiedliche. Die Seilkrananlage wird im Rahmen der jährlich wiederkehrenden Prüfung durch eine sachkundige Person auf Funktion geprüft und auf Mängel untersucht. Dennoch sind von der Arbeitsaufnahme einige Funktionsprüfungen durch zu führen.

Notendhalteeinrichtung (elektrisch betriebene Anlage)

Beim Anfahren der Notendhalteeinrichtungen (Einwärts-, Auswärtsfahrt und ggf. Hubaufbewegung) muss die Anlage augenblicklich zum Stehen kommen. Wichtig ist, dass die Auslösung der Notendhalteeinrichtung durch die Nocke auf dem Katzfahrseil bzw. Hubseil erfolgt und nicht von Hand, indem die Schaltgabel bzw. Auslöseelement betätigt wird. Eine Weiterfahrt darf nur in umgekehrter Richtung erfolgen.

Achtung: Die Notendhalteeinrichtungen sind wichtige Sicherheitseinrichtungen und dürfen als Wegebegrenzungen betriebsmäßig nicht angefahren werden. Im Betrieb ist dafür zu sorgen, dass die Seilbewegung rechtzeitig gestoppt wird.

Not-Aus-Taster (elektrisch betriebene Anlage)

Bei Betätigung des Not-Aus-Tasters (roter Schlagtaster auf gelbem Grund) muss die Seilkrananlage augenblicklich abgeschaltet werden. Ein Weiterbetrieb darf nur durch erneutes Einschalten der Anlage möglich sein.

Rutschkupplung (elektrisch und von Hand betrieben)

Die Rutschkupplung muss die Last sicher halten. Einstellungen and der Rutschkupplung dürfen nur durch autorisierte Personen vorgenommen werden, die anschließend einen Belastungstest durchführen.

Seilspannung

Bei *Gewichtsspannung* oder *pneumatischer Seilspannung* sind keine Arbeiten durch zu führen.

Bei *hydraulischer Seilspannung* ist durch die Hydraulikpumpe der Druck bis auf den am Manometer bezeichneten Betriebsdruck aufzubauen. Nach Beendigung der Arbeiten ist der hydraulische Druck abzubauen.

Bei *Seilspannung durch Spannschlösser* ist die Seilspannung nur mit einem speziellen Seilspannungsmessgerät zu ermitteln. Näherungsweise kann die richtige Seilspannung durch Peilung des Seildurchhangs eingestellt werden. Der Wert ist vom Betreiber der Anlage zu ermitteln und zur Verfügung zu stellen. Nach Beendigung der Arbeiten sind die Seile zu entspannen.

Nach Beendigung der Arbeiten ist der Messflügel im Aufbewahrungskoffer zu verstauen. Das Mittelstück ist auf dem dafür vorgesehenen Bock abzusetzen und das Hubseil abzuklemmen.

8.3.6 Mobiler Messausleger

Der im Land Baden-Württemberg eingesetzte mobile Messausleger besteht neben dem Brückenausleger selbst zusätzlich noch aus einer mechanischen Einfachwinde. Laut Betriebsanleitung der Firma Ott (Ott, 2000) sind spezielle Wartungsarbeiten weder am Brückenausleger, noch an der Einfachwinde notwendig. Reparaturen, die als Folge von Beschädigungen notwendig werden, müssen von Fachfirmen bzw. der Herstellerfirma durchgeführt werden.

8.4 Erkunden und Festlegen der Messstelle

Wahl der Messquerschnitte:

- Die Messquerschnitte müssen die in Kapitel 4.1 beschriebenen Kriterien erfüllen, wobei es grundsätzlich möglich sein muss, alle zu erwartenden Durchflüsse zu messen.
- Die Messquerschnitte sind bei den Pegeln im Allgemeinen durch die Lage fester Messstege oder Seilkrananlagen vorgegeben. Bei Messstegen liegt der Messquerschnitt bei Messungen mit dem Stangenflügel auf der oberstromigen Seite des Stegs, bei Messungen mit dem mobilen Messausleger unterstromig.
- Sofern am Pegel keine entsprechenden Einrichtungen vorgesehen sind oder diese nicht bei allen Durchflüssen die in Kapitel 4.1 beschriebenen Kriterien erfüllen, müssen Messquerschnitte erkundet werden, welche diese Kriterien erfüllen.
- Messungen kleiner Durchflüsse können von einem transportablen Messsteg aus erfolgen, der über die Niedrigwasserrinne oder bei kleinen Gewässern über den gesamten Querschnitt gelegt wird. Statt eines derartigen Stegs kann auch von einer in der Nähe gelegenen Brücke aus gemessen werden, wenn dort die in Kapitel 4.1 genannten Kriterien erfüllt sind.
- **Messungen im Wasser stehend sind grundsätzlich zu unterlassen. Bei der Messung in überfluteten Talauen lassen sie sich jedoch vielfach nicht vermeiden. Die in Kapitel 4.2 genannten Kriterien sind dabei zu beachten.**
- Messquerschnitte für Hochwassermessungen sind bereits vor dem ersten Hochwasser zu erkunden, um hierfür nicht wertvolle Zeit zu verlieren. Es empfiehlt sich dabei, zuerst mehrere mögliche Querschnitte vorzumerken, beim ersten Hochwasser die Messbedingungen nochmals zu überprüfen, und danach über den künftigen Messquerschnitt zu entscheiden.

Ungeeignet für Durchflussmessungen sind Querschnitte

- im Absenkungsbereich von Abstürzen und Sohlschwellen (Der Abstand muss mindestens das Sechsfache der Wassertiefe am Absturz bzw. das Vierfache der Wassertiefe über der Schwelle betragen.),
- mit Querströmung von mehr als 5°, beim Einsatz von Komponentenschaukeln von 15° (Kapitel 2.4) oder mit Rückströmung,
- mit schießendem Abfluss oder Fließwechsel,
- im Bereich von Störkörpern, wie z. B. Brückenpfeilern, Baumstämmen, ins Wasser hängenden Ästen und den von derartigen Störungen ausgelösten Verwirbelungen und Ablösungen,
- mit Umläufigkeit, sofern diese nicht erfasst werden kann.

8.5 Vorbereiten der Messquerschnitte und Planunterlagen

Um spätere Messungen zügig durchführen zu können, sind an der Messstelle die notwendigen Einrichtungen und Vorrichtungen zu schaffen und sonstige Vorbereitungen für die Messung zu treffen:

- Das Profil ist von Hindernissen freizuhalten.
- Die Lage beweglicher Stege ist durch Markierungen oder Haken zu fixieren.
- Für bewegliche Messstege, die bei der Messstelle verbleiben sollen, ist eine geeignete Unterbringung zu schaffen.
- Die Vorgehensweise bei der Montage eines beweglichen Messsteges ist zu erproben; erforderlichenfalls sind Hilfseinrichtungen vorzusehen.
- Die Lage der Messlotrechten ist entsprechend den Hinweisen in Kapitel 4.3 festzulegen. Dabei ist es zweckmäßig und meist auch erforderlich, die Lage der Messlotrechten in Abhängigkeit von der Größe des Durchflusses unterschiedlich zu wählen. Am Geländer fester Messstege kann die Lage der Profilknickpunkte markiert werden, die Lage der einzelnen Messlotrechten sollte immer angepasst an das tatsächliche Durchflussverhalten neu bestimmt werden.
- Bei beweglichen Stegen ist der Nullpunkt, von dem aus die Messlotrechten eingemessen werden, zu kennzeichnen. Die Lage der Messquerschnitte ist in einem Lageplan darzustellen. Eine Fertigung des Lageplans ist im Pegelhaus aufzubewahren.
- Sind Messungen wegen zu hoher Fließgeschwindigkeit nur möglich, wenn das Hubseil nach oberstrom abgespannt wird (Kapitel 3.2), sind Befestigungsmöglichkeiten hierfür vorzubereiten.
- Die Messquerschnitte für Durchflussmessungen bei Pegeln sind geodätisch zu vermessen. In den Plan der Messquerschnitte sind die Messlotrechten und der Nullpunkt, von dem aus diese eingemessen werden, einzutragen. Der Plan ist im Pegelhaus bereitzuhalten. Ergeben spätere Durchflussmessungen vom Plan abweichende Querschnittswerte, ist eine erneute Vermessung erforderlich.
- Ist es unumgänglich von einer Brücke aus zu messen, die das Gewässer schräg kreuzt, ist der Winkel α (Abbildung 22 und Abbildung 29) zu bestimmen. Die Größe des Winkels α ist im Lageplan einzutragen.

9 Durchflussmessung

9.1 Entscheidung über Vorgehen

Die Größe des erforderlichen Messtrupps hängt von der Art der Messstelle und den hydraulischen Gegebenheiten ab; die Anforderungen des Arbeitsschutzes sind zu berücksichtigen (Kapitel 10). Der Messtrupp besteht in der Regel aus dem Messtruppführer und einem Gehilfen. Messungen ohne Gehilfe sind aus Gründen des Arbeitsschutzes auf kleine Gewässer mit geringer Wasserführung zu beschränken. Messungen mit Seilkrananlagen oder mobilen Auslegern erfordern aus Gründen der Arbeitssicherheit immer eine zweite Person. Bei Hochwasser ist darüber hinaus oft noch ein weiterer Gehilfe notwendig, der das Gewässer beobachtet und vor Treibgut warnt. Auch die Montage schwerer transportabler Messstege kann einen größeren Messtrupp erfordern. Bei Messungen in Schifffahrtsstraßen kann zur Sicherung weiteres Personal erforderlich sein.

Sofern mehrere Messquerschnitte vorgesehen sind, wird aufgrund der Wasserführung entschieden, an welchem gemessen werden soll. Sind bei der angetroffenen Wasserführung zwei Querschnitte geeignet, kann es zu Vergleichszwecken notwendig sein, beide zu messen. Der Messquerschnitt ist mit der Bezeichnung, unter der er im Lageplan (Kapitel 8.5) eingetragen ist, im Protokoll zur Erfassung der Messdaten zu vermerken. Ist kein Messquerschnitt vorgegeben, muss dieser entsprechend Kapitel 4.1 gewählt werden.

Die Frage, ob mit Stangen- oder Schwimmflügel gemessen werden soll, ist durch die Wahl des Messquerschnittes vielfach entschieden. Auch von einem Steg oder von einer Brücke aus wird man oft wegen zu hoher Fließgeschwindigkeit nicht mit Stangenflügel messen können und statt dessen Ausleger und Schwimmflügel verwenden. Sind die Fließgeschwindigkeiten sehr groß, kann sogar die Notwendigkeit bestehen, das Hubseil nach Oberwasser abzuspannen (Kapitel 3.2).

Insbesondere bei Ausuferungen kann es erforderlich sein, unterschiedliche Verfahren einzusetzen. Das Hauptgewässer wird beispielsweise mit Seilkrananlage gemessen und das gering überflutete Vorland im Wasser stehend mit dem Stangenflügel (Kapitel 3.2).

Sofern die Lage der Messlotrechten nicht generell festliegt, wird deren Anzahl und Lage entsprechend Kapitel 4.3 und Kapitel 4.4 festgelegt. Bei Messungen in gering überfluteten Talauen ist es zweckmäßig, den Standort der Messlotrechten bei der Messung so auszuwählen, dass die in solchen Fällen üblichen markanten Unterschiede der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten erfasst werden.

Um die spätere Auswertung zu erleichtern, sollte das Messverfahren innerhalb eines Querschnittes nicht geändert werden, wobei Vielpunktmessungen den Messverfahren mit vorgegebenen Messpunkthöhen vorzuziehen sind (Kapitel 4.3). Wenn neben Messungen in einem Hauptgewässer auch solche in der gering überfluteten Talauie notwendig sind, kann es sinnvoll sein, im letztgenannten Querschnittsteil Lotrechten mit vorgegebenen Messpunkthöhen zu messen. Bei Vielpunktmessungen sind immer mindestens drei, je nach Wasserstand besser vier oder fünf Messpunkte pro Messlotrechte üblich (Kapitel 4.3).

Messflügel und -schaufel sind so zu wählen, dass deren Einsatzbereich alle im Querschnitt vorkommenden Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen abdeckt. Dabei darf nur mit Flügelkörper-Schaufel-Kombinationen gemessen werden, für die eine Eichung durchgeführt wurde.

Ist die Messung geringer Tiefen erforderlich, dürfen keine zu großen Schaufeldurchmesser gewählt werden. (Kapitel 3.3). Ein Wechseln der Schaufel von Messlotrechte zu Messlotrechte ist zwar möglich, sollte jedoch im Hinblick auf die dadurch kompliziertere Auswertung der Messung

möglichst unterbleiben. Die in Baden-Württemberg verwendeten Messflügel und -schaufeln sind mit ihren Einsatzbereichen in Tabelle 12 und Tabelle 13 aufgelistet. Die Tabellen enthalten nur Metallschaufeln. Kunststoffschaufeln haben sich in Baden-Württemberg nicht bewährt und finden daher keine Verwendung (Kapitel 3.3).

9.2 Inbetriebnahme der Messgeräte

Je nach Fließgeschwindigkeit müssen unterschiedliche Schaufeltypen verwendet werden (Tabelle 12 und Tabelle 13). Jeder dieser Typen ist speziell für einen bestimmten Geschwindigkeitsbereich entwickelt und hierfür geeicht. Je nach Wassertiefe kommen unterschiedlich große Schaufeln zum Einsatz. Mit kleinen Schaufeldurchmessern lässt sich der Verlauf des Geschwindigkeitsprofils besser erfassen als mit großen Schaufeln (Abbildung 38). Größere Schaufeln haben wegen ihrer größeren Masse dagegen den Vorzug größerer Laufruhe, weswegen sie vornehmlich bei starken Turbulenzen bzw. Strömungen einzusetzen sind. Für sehr kleine Wassertiefen wurden spezielle Klein- und Miniflügel (Laborflügel) entwickelt. Bei Verwendung ungeeigneter Schaufeln erhöht sich die Messunsicherheit. Einen Überblick über die Einsatzgrenzen von Messflügeln gibt Tabelle 14.

Tabelle 12: Flügeltypen in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit.

Flügeltyp	Anlaufgeschwindigkeit V_{\min}	max. Geschwindigkeit V_{\max}	Einsatz bei Wassertiefe (min 2 Messebenen)
Kleinflügel / Miniflügel an Stange 9 mm	0,025 m/s bis 0,05 m/s	1,0 m/s bis 2,0 m/s	$h_{\min} = 0,07$ m $h_{\max} = 0,20$ m bis 0,5 m
Universalflügel an Stange 20 mm	0,03 m/s bis 0,06 m/s	2,0 m/s bis 2,5 m/s	$h_{\min} = 0,15$ m $h_{\max} = 1,0$ m bis 1,5 m
Universalflügel als Schwimmflügel	0,05 m/s bis 0,10 m/s	3,5 m/s bis 4,0 m/s	$h_{\min} = 0,40$ m $h_{\max} = \text{alle}$
Universalflügel als Schwimmflügel (vorgespannt)	0,05 m/s bis 0,10 m/s	4,5 m/s bis 6,0 m/s	$h_{\min} = 0,40$ m $h_{\max} = \text{alle}$

Tabelle 13: Schaufelgrößen in Abhängigkeit von Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit.

Schaufelgröße	Steigung [mm]	Einsatz bei Wassertiefe (2 bzw. 3 Messebenen)
<u>Kleinflügel / Miniflügel an Stange</u> D = 30 mm D = 50 mm	50 mm 100 mm 50 mm 100 mm 250 mm 500 mm	$h_{\min} = 0,07$ m bzw. 0,10 m $h_{\min} = 0,07$ m bzw. 0,10 m $h_{\min} = 0,11$ m bzw. 0,16 m $h_{\min} = 0,11$ m bzw. 0,16 m $h_{\min} = 0,11$ m bzw. 0,16 m $h_{\min} = 0,11$ m bzw. 0,16 m
<u>Universalflügel an Stange</u> D = 60 mm D = 80 mm D = 125 mm	125 mm 125 mm 250 mm	$h_{\min} = 0,15$ m bzw. 0,20 m $h_{\min} = 0,20$ m bzw. 0,30 m $h_{\min} = 0,25$ m bzw. 0,40 m
<u>Universalflügel als Schwimmflügel</u> D = 125 mm; 25 kg, 50 kg, 100 kg D = 125 mm; 25 kg, 50 kg, 100 kg	250 mm 500 mm	$h_{\min} = 0,40$ m $h_{\min} = 0,40$ m

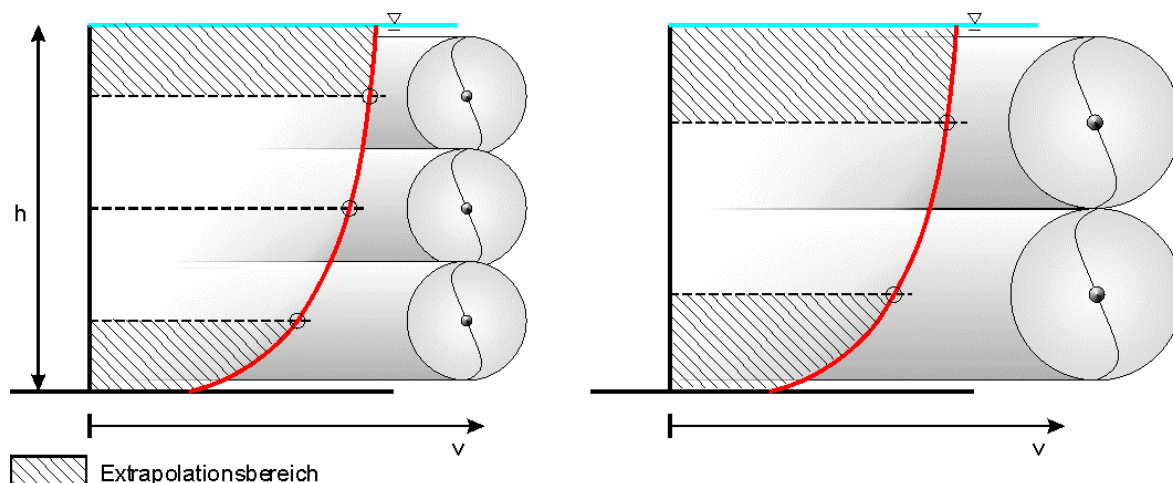


Abbildung 38: Messung mit kleinen und großen Messschaufeln bei geringen Wassertiefen.
Bei den großen Schaufeln ist das Geschwindigkeitsprofil durch die beiden sehr eng bei einander liegenden Messpunkte wegen der größeren Extrapolationsbereiche unsicherer.

Tabelle 14: Einsatzgrenzen von Messflügeln.

Gerätetyp	Fließgeschwindigkeit	Wassertiefe
Stangenflügel	$v_{\min} = 0,10 \text{ m/s}$, v_{\max} siehe Kapitel 3.2	$h_{\min} = 0,20 \text{ m}$, h_{\max} siehe Kapitel 3.2
Klein- /Miniflügel	$v_{\min} = 0,10 \text{ m/s}$	$h_{\min} = 0,07 \text{ m}$
Schwimmflügel	$v_{\min} = 0,20 \text{ m/s}$, $v_{\max} = 4 \text{ m/s}$, bei Abspannung nach oberstrom bis 5 m/s	$h_{\min} = 0,40 \text{ m}$

Bevor mit der Messung begonnen wird, sind die Messgeräte zusammenzubauen und auf ihre Funktionsfähigkeit zu kontrollieren (vgl. Kapitel 8.3). Bei Schwimmflügeln ist die Funktionsfähigkeit des Grundtasters vor jeder Messung zu testen. Dies geschieht, indem man den Schwimmflügel auf Grund setzt und beobachtet, ob die Winde sofort abschaltet.

Bei der Inbetriebnahme von Seilkrananlagen und Auslegern sind die Betriebs- und Sicherheitsvorschriften der Hersteller zu beachten. Die Betriebs- und Bedienungsanleitung für Seilkrananlagen ist Teil des im Pegelhaus aufbewahrten Betriebsbuches. Die entsprechenden Anleitungen für den Ausleger sind zusammen mit diesem aufzubewahren.

Bei Pegeln mit Seilkrananlage und Niedrigwasserrinne ist es vielfach möglich, den transportablen Messsteg, der über die Niedrigwasserrinne gelegt werden soll, mit Hilfe der Seilkrananlage über das Gewässer zu ziehen. Hierzu wird ein Ende des Steges an der Aufhängung für den Schwimmflügel am Hubseil befestigt.

9.3 Durchführen der Messung

Als erstes wird die Seite 1 des Erfassungsprotokolls vollständig ausgefüllt. Hier werden die Messstelle, die Messstellen-Nummer und das Gewässer ebenso eingetragen wie der Messtrupp und die verwendeten Messgeräte mit allen notwendigen Detailangaben. Von größter Wichtigkeit sind auch die Angaben zu Datum und Uhrzeit der Messung (Angaben immer in MEZ; keine Sommerzeit!), damit die Messung später zeitlich richtig eingeordnet werden kann. Die Begleitumstände der Messung (vgl. Kapitel 2.2), Windrichtung und -stärke, Verkrautung, Ausuferung (Kapitel 2.3), Pulsieren der Strömung (Kapitel 2.4) und sonstige Beobachtungen am Gewässer sind unter "Beschaffenheit des Messquerschnittes" zu vermerken. Die Lageangaben zum Messquerschnitt müssen eindeutig sein, gegebenenfalls muss eine genaue Beschreibung unter „Beschreibung andere Stelle“ erfolgen. Außerdem ist, sofern die Lage der Messlotrechten nicht markiert ist oder von der ortsfesten Seilkrananlage nicht automatisch erfasst wird, ein Maßband über den Messquerschnitt zu spannen, an dem dann die Lage der Messlotrechten abgelesen werden kann.

Nach diesen Vorbereitungen beginnt die eigentliche Durchflussmessung mit der Erfassung der Fließgeschwindigkeiten entlang der Messlotrechten. Zuvor sollte jedoch die Pegellatte und das Wasserstandregistriergerät daraufhin überprüft werden, ob beide den gleichen Wasserstand liefern. Vor der Messung in einer Messlotrechten, einer Peillotrechten oder eines Uferpunktes ist der Wasserstand an der Pegellatte oder dem Wasserstandsmessgerät abzulesen. Bei Pegeln, bei denen die Pegellatte und der Messquerschnitt nicht in unmittelbarer Nähe liegen, wurden hierzu Tochteranzeigen, an denen der Pegelstand abgelesen werden kann, an der Durchflussmessstelle angebracht. Bei größeren Entfernungen kann eine Funkübertragung notwendig sein. Die Auswertung bei veränderlichen Wasserständen erfolgt anhand der in Kapitel 7.2 beschriebenen Weise.

Zusätzlich zu den Messlotrechten werden die Uferpunkte bestimmt und erforderlichenfalls durch zusätzliche Peillotrechten (vgl. Kapitel 4.4) die Höhenlage der Sohle zwischen den Messlotrechten ermittelt. Wenn das Ergebnis sehr starke Veränderungen der Fließgeschwindigkeit zwischen zwei Messlotrechten zeigt, sind dazwischen zusätzliche Messlotrechten einzufügen. Zeigen einzelne Messpunkte im Vergleich zu den benachbarten Messpunkten unerklärliche Abweichungen, ist die Messung am "Ausreißer-Messpunkt" zu wiederholen.

Die Messdauer an einem Messpunkt beträgt in Baden-Württemberg üblicherweise 40 Sekunden. Diese Dauer ist in den Erfassungsbelegen bereits vorgedruckt. Bei sehr langsam fließenden Gewässern, wenn die Anzahl der erfassten Impulse in den meisten Lotrechten während der Messdauer von 40 s kleiner als 20 Umdrehungen beträgt, sollte die Messzeit generell verdoppelt werden. Dies geschieht dadurch, dass nochmals 40 Sekunden lang gemessen und die Summe der Impulse aus beiden Messungen in den Erfassungsbeleg eingetragen wird. Zusätzlich wird dort die Messdauer auf 80 Sekunden geändert.

Drei Sekunden nachdem man den Flügel am Messpunkt positioniert hat, kann mit der Messung begonnen werden. Diese Zeitspanne ist ausreichend, den Flügel auf seine der Fließgeschwindigkeit entsprechende Umdrehungsgeschwindigkeit zu beschleunigen.

Bei schrägem Messquerschnitt ist der Winkel α (Abbildung 23) vermerken. Als Abstand der Mess- bzw. Peillotrechten wird das entlang des Messquerschnitts am Maßband abgelesene Maß a in den Erfassungsbogen eingetragen. Das Auswerteprogramm BIBER ermittelt für den Winkel α (Brückenkorrekturwinkel) das auf einen senkrechten Messquerschnitt projizierte Maß b und verwendet dieses bei der Berechnung des Durchflusses.

Abbildung 39: Muster des Erfassungsprotokolls - Seite 1.

[illegible]

* Bemerkungen: Beim Uferpunkt sind die Spalten 4 - 6, bei Peilungen die Spalten 5 und 6 nicht auszufüllen.

Abbildung 40: Muster des Erfassungsprotokolls - Seite 2.

Statt die Daten im Erfassungsbeleg zu notieren, ist es auch möglich, diese direkt mit dem Programm BIBER zu erfassen. Dabei dürfen jedoch gegenüber einer Erfassung auf Papier keine Informationen verloren gehen.

9.4 Abschluss der Messung vor Ort und Plausibilisierung der Messergebnisse

Jede Durchflussmessung ist ein einmaliger und einzigartiger Vorgang, der sich zu einem späteren Zeitpunkt nicht wiederholen lässt. Daher muss das Erfassungsprotokoll noch am Messort auf die Richtigkeit und Plausibilität der Angaben überprüft werden.

Folgende Punkte des Erfassungsprotokolls sind zu prüfen:

Erste Seite:

- Angaben zum Messort, Zeitpunkt der Messung und die Geräteangaben: Sind diese Angaben vollständig und eindeutig?

Zweite Seite:

- Optionen in der Kopfzeile: Wurden alle Kreuze richtig gesetzt, passen die Angaben zum verwendeten Messgerät?
- Angaben zu den Lotrechten: Sind die Abstands- und Tiefenangaben plausibel?
- Tiefenangaben der Messpunkte: Sind die in der richtigen Reihenfolge, passen sie zu den Tiefenangaben der Lotrechte?
- Anzahl der Umdrehungen in den einzelnen Messpunkten: Gibt es Ausreißer (Schreibfehler oder Zahlendreher)?
- Bei Abdrift: Sind die Angaben zu den Abdriftwinkeln und zum Aufhängeabstand vollständig?

Bestehen Zweifel an der Plausibilität einzelner Angaben auf der zweiten Seite des Erfassungsprotokolls, sollten diese nochmals überprüft werden, indem die Messung, oder Teile davon, wiederholt werden.

Erst nachdem die Vorort-Überprüfung des Erfassungsprotokolls abgeschlossen ist, können die Messgeräte und Messeinrichtungen (mobiler Messsteg, Seilkrananlage, mobiler Messausleger, ...) abgebaut bzw. in den Ruhezustand versetzt werden. Die Messgeräte sind auf Beschädigungen zu prüfen.

Die Weiterverarbeitung des Erfassungsprotokolls findet am Büroarbeitsplatz statt. Durch die Erfassung und Auswertung der Durchflussmessung mit dem Programm BIBER können die Messergebnisse mit denen anderer Durchflussmessungen verglichen werden.

Dabei können beispielsweise

- die Lage der Messung auf der Abflusskurve,
- die ermittelte mittlere Fließgeschwindigkeit,
- die Querschnittsfläche und
- die Form der einzelnen Geschwindigkeitsprofile

als Kriterien herangezogen werden.

Werden Umplausibilitäten festgestellt, so ist zunächst zu prüfen, ob die Angaben auf dem Erfassungsprotokoll mit denen übereinstimmen, die mit dem Programm BIBER erfasst wurden.

Korrekturen am Messprotokoll sind mit äußerster Gewissenhaftigkeit durchzuführen. In begründeten Fällen können einzelne Messwerte korrigiert werden, der ursprüngliche Wert muss erhalten (lesbar) bleiben. Im Falle solcher Korrekturen muss der Bearbeiter auf dem Protokoll und im Erfassungsprogramm stets folgende Angaben machen (Datum , Name des Bearbeiters, Art der Änderung, Begründung).

Wie aus Kapitel 5 hervorgeht, streuen die Messwerte um den wahren Wert. Durch die Vielzahl von Messpunkten bei einer Messung erzielt man eine Annäherung an den tatsächlichen mittleren Durchfluss. Aufgrund der Manipulation von Messwerten mit „hydrologischem Sachverstand“ kann diese Streuung einseitig verändert und das Messergebnis somit verfälscht werden. Deshalb gilt folgende Regel: Im Regelfall immer den Messwerten vertrauen und nur in begründeten Einzelfällen (z. B. bei Zahlendrehern) Messwerte verändern.

10 Arbeitssicherheit

Beschäftigte im Pegelwesen sind bei ihrer Tätigkeiten am Pegel allgemeinen und speziellen Gefahren ausgesetzt (Tabelle 15). Das Arbeitsschutzgesetz legt die Rechte und Pflichten zum Schutz vor arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und zur humanen Gestaltung der Arbeit verbindlich fest. Danach ist bereits beim Bau der Anlagen, bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes und bei der Festlegung der Arbeitsabläufe alles vorzusehen, was zur Erreichung dieser Ziele notwendig ist. Die speziellen Gefährdungen bei Arbeiten an Pegeln sowie die notwendigen Schutzmaßnahmen werden in einer Empfehlung (LAWA, 2001B) beschrieben.

Tabelle 15: Belastungs- und Gefährdungsanalyse

Gefahrengruppe	Gefährdung	Gesetze, Vorschriften, Schutzmaßnahmen, Regeln
Ertrinken		<ul style="list-style-type: none"> Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)
Mechanisch	<ul style="list-style-type: none"> Abstürzen Stürzen Abrutschen Stolpern Umknicken Anstoßen 	<ul style="list-style-type: none"> Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) Betriebsanlagen und Betriebsregelungen (GUV 0.1, §18). Beleuchtungseinrichtungen in Arbeitsräumen (GUV 0.1, § 19). Fußböden in Räumen GUV 0.1, § 20. (1). Sicherheitsregeln Wasserbau und wasserwirtschaftliche Arbeiten (GUV 11.7).
Arbeitsbedingung	<ul style="list-style-type: none"> Klima Beleuchtung Raumgestaltung Arbeitszeit Erschwerte Handhabung von Arbeitsmitteln 	<ul style="list-style-type: none"> Regeln für den Einsatz von persönlichen Schutzausrüstungen gegen Absturz (GUV 10.4). Regeln für den Einsatz von Fußschutz (GUV 20.16) Sicherheitsregeln Vermessungsarbeiten (GUV 11.6)
Physische Belastung/Arbeitsschwere	<ul style="list-style-type: none"> Lärm Schwere dynamische Arbeit Einseitige dynamische Arbeit Haltungs-/Haltearbeit, Zwangshaltung 	<ul style="list-style-type: none"> Unfallverhütungsvorschrift „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ (VBG 4/GUV 2.10). Bei Gewitter sind Arbeiten an der Pegelanlage bzw. Im Freien einzustellen. Der Aufenthalt in Gebäuden, die keinen Personenschutz gewährleisten, ist untersagt.
Biologie	<ul style="list-style-type: none"> Infektion Allergene und toxische Stoffe von Mikroorganismen und Kleinlebewesen Pflanzen und pflanzliche Produkte Tiere. 	<p>ArbSchG: Arbeitsschutzgesetz GUV: Gemeindeunfallversicherungsverband VBG: Unfallverhütungsvorschrift der gewerblichen Berufsgenossenschaften</p>

Die Vorschriften des ArbSchG und des GUV behandeln die Grundsätze. Für die konkreten Tätigkeiten, z. B. die Durchflussmessung mit Stangenflügel, die Benutzung einer Seilkrananlage, müssen jeweils Betriebsanweisungen erstellt werden. Als Grundlage hierfür können die Empfehlungen (LAWA, 2001A) dienen. Die Anweisungen sind entsprechend dem ArbSchG so konkret zu fassen, dass daraus unmittelbar das praktische Verhalten und Handeln abgeleitet werden kann. Insbesondere müssen Anwendungsbereich, Gefahren, Schutzmaßnahmen und Verhalten bei Störungen und Unfällen genau beschrieben sein. Die Bediensteten sind vor der Aufnahme der Arbeit zu unterweisen. Die Unterweisung ist entsprechend den Bestimmungen des ArbSchG und des GUV 0.1 regelmäßig zu wiederholen.

Seilkrananlagen sind „technische Arbeitsmittel, die hinsichtlich ihrer Konstruktion (Kran) den einschlägigen bau- und maschinentechnischen Vorschriften und hinsichtlich ihrer Ausrüstung und ihres Betriebs den einschlägigen Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften (VBG 9, Krane) unterliegen. Die Verantwortung für die Ausrüstung und den sicheren Betrieb der Anlage liegt ausschließlich beim Betreiber. Er hat dafür zu sorgen, dass die Vorschriften berücksichtigt werden. Insbesondere hat er darauf zu achten, dass

- die Anlagen entsprechend der allgemein anerkannten Regeln der Technik errichtet sind,
- weder Beschäftigte noch unbeteiligte Dritte Gefahren ausgesetzt sind,
- Beschäftigte vor Aufnahme der Tätigkeit und dann regelmäßig im sicheren Umgang mit der Anlage unterwiesen werden,
- vor der Erstinbetriebnahme und nach Durchführung wesentlicher Änderungen durch einen Sachverständigen die Anlage abgenommen wird und
- regelmäßig durch einen Sachkundigen (jährlich wiederkehrende Prüfung) der sichere Zustand der Anlage geprüft wird.

Die Empfehlung (LAWA; 2001A) enthält detaillierte Hinweise zum Arbeitsschutz an Seilkrananlagen sowie einen Prüfkatalog für die jährlich wiederkehrende Prüfung, der auch als Grundlage für eine Ausschreibung dieser Leistung dienen kann.

In der Betriebsanleitung für die Seilkrananlagen sind die wichtigsten Bestimmungen der einschlägigen Vorschriften zusammengefasst (LfU, 2002E).

11 Auftragsvergabe an Dritte

Sofern die notwendigen Durchflussmessungen nicht mit eigenem Personal erledigt werden können, ist es notwendig, diese Aufgabe zu vergeben. Dabei muss die erforderliche Messqualität sicher gestellt sein. Außerdem ist dafür Sorge zu tragen, dass die verantwortlichen Dienststellen durch die Auftragsvergabe längerfristig keinen Verlust an fachlicher Kompetenz und praktischer Erfahrung erleiden. Fachkompetenz und Erfahrung sind die Voraussetzung für eine ordnungsgemäße Betreuung der Aufträge und Abnahme der Leistungen. Es gelten daher folgende Grundsätze:

- Die verantwortlichen Dienststellen führen entsprechend ihrer Möglichkeiten Abflussmessungen durch. Bei Niedrig- und Mittelwasser ist der Termindruck im Vergleich zu Hochwassermessungen relativ gering. Die Messtermine können vorgeplant werden. Die Messungen können auch der obligatorischen Einweisung und Kontrolle beauftragter Dritte dienen. Selbst durchgeführte Messungen sind notwendig, um die notwendige Fachkompetenz und Erfahrung zu erhalten.
- Sofern die verantwortlichen Dienststellen die notwendigen Messungen nicht mit eigenem Personal erledigen können, können diese an geeignete Dritte vergeben werden. Eine derartige Vergabe kann insbesondere notwendig sein, um während der kurzen Dauer eines Hochwassers möglichst alle vom Hochwasser betroffenen Pegel messen zu können. Voraussetzung für eine Vergabe an Dritte ist, dass diese die Gegebenheiten an den Pegelstandorten im Einzelnen kennen und detaillierte Vorgaben zur Durchführung der Messungen erhalten haben. Auch bei einer Vergabe, sollten die verantwortlichen Dienststellen zur Erhaltung der Fachkompetenz und zur Kontrolle eigene Hochwassermessungen durchführen.
- Messungen im Hochwasser- und im Niedrigwasserfall werden durch die verantwortlichen Dienststellen veranlasst. Die Messungen bei mittlerer Wasserführung können von den Auftragnehmern selbstständig terminiert werden. Die verantwortlichen Dienststellen sind über die jeweiligen Messtermine zu informieren, so dass diese die Möglichkeit haben, durch gelegentliche Parallelmessungen oder Teilnahme an den Messungen die Messqualität zu kontrollieren.

Zur Beschreibung der vom Auftragnehmer zu erbringenden Leistungen wurde ein Leistungsverzeichnis erstellt (Arbeitskreis „Gewässerkundliches Messnetz – Pegel- und Datendienst“, 2001). Es ist bei Ausschreibungen und Auftragsvergaben anzuwenden.

12 Das Auswertungsprogramm BIBER

Das Programm BIBER zur Erfassung, Verwaltung und Auswertung von Abflussmessungen wurde im Januar 2000 in der Version 2.2.14 im Pegel- und Datendienst des Landes Baden-Württemberg eingeführt. Die Arbeitsanleitung Programm „Biber“ (LfU 2001A) beschreibt die eingeführte Programmversion. Inzwischen wurde das Programm allerdings weiterentwickelt.

Das Programm BIBER ist ein integrativer Bestandteil des Programmsystems „Hydrologischer Arbeitsplatz Pegel“ (HyAP), welches derzeit im Auftrag der LfU entwickelt wird. Bis zur Einführung des HyAP wird BIBER in einer Stand-Alone-Version betrieben, die mit lokalen Datenbanken arbeitet. In HyAP wird BIBER künftig voll integriert sein, so dass die Auswertungsergebnisse von Durchflussmessungen für weitergehende Auswertungen, Plausibilisierungen und Bearbeitungen (z. B. das Aufstellen von Abflusskurven) zur Verfügung stehen.

Im Pegel- und Datendienst kommt das Programm BIBER bei den Gewässerdirektionen und -bereichen und der LfU in den in Tabelle 16 beschriebenen Anwendungsbereichen zum Einsatz.

Tabelle 16: Anwendungsbereiche von BIBER und Zuständigkeiten innerhalb der Landesverwaltung.

Anwendungsbereich	Zuständigkeit
Erfassung und Verwaltung von für Durchflussmessungen relevanten Stammdateninformationen von Messstellen	<ul style="list-style-type: none"> - für die Messstellen der Landesmessnetze: LfU, SG 43.3 - für alle weiteren Messstellen: GwD/B
Erfassung und Verwaltung von Gerätestammdaten der Messausrüstungen	<ul style="list-style-type: none"> - für alle Gerätestammdaten: LfU, SG 43.3
Erfassung und Auswertung von Durchflussmessungen	<ul style="list-style-type: none"> - GwB - Sondermessungen und von historische Durchflussmessungen: LfU

Aus Tabelle 16 wird deutlich, dass die Verwaltung der Messstellenstammdaten der Landesmessnetze sowie die Verwaltung von Gerätedaten der Messausrüstungen in den Zuständigkeitsbereich der LfU fallen. Dies ist eine zwingende Maßnahme, da es bei der Vielzahl der betriebenen lokalen BIBER-Versionen innerhalb des Pegel- und Datendienstes Baden-Württembergs einer koordinierenden Stelle bedarf, die einen Überblick über die eingesetzten Messausrüstungen gewährleistet und einheitliche Vergabekriterien für Messflügel-Eichnummern und Messstellenstammdaten garantiert. Handelt es sich um zusätzliche Messstellen, die von den GwD/B betrieben werden und nicht zu den Landesmessnetzen gehören, so obliegt die Verwaltung der zugehörigen Stammdaten den GwD/B.

Durchflussmessungen werden sowohl bei der LfU als auch bei den GwD/B erfasst, wobei es Aufgabe der GwD/B ist, die Routinemessungen an den Landesmessstellen durchzuführen und mit BIBER zu erfassen. Die LfU betreibt die Nacherfassung wichtiger historischer Durchflussmessungen. Darüber hinaus werden bei der LfU Messungen aus Sondermesseinsätzen erfasst.

Der dezentrale Einsatz von BIBER macht den Datenaustausch zwischen den einzelnen Dienststellen der Landesverwaltung notwendig. Hierfür stellt BIBER eine eigene Anwendung, die BIBER-Replikations-Maschine (BRM) bereit. Mit BRM können Durchflussmessungen, Messstellenstammdaten und Gerätedaten zwischen einzelnen BIBER-Datenbanken ausgetauscht werden.

13 Literatur

- AGASIJEVA, S. I. (1961): Izmenenije srednich skorostej glavnogo rusla I koefficienta Chezy pri prochozdenii pavodka. - Meteorologia i Gidrologia, Stat'i i soobschenija.
- Arbeitskreis „Gewässerkundliches Messnetz – Pegel- und Datendienst“ (2001): Leistungsverzeichnis Durchflusssmessung. – Handbuch Wasser 2, Kapitel 2.4.9.3. LfU, Karlsruhe.
- BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1982): Handbuch für die Durchflusssmessung, Bern.
- CAESPERLEIN, A. & MÜLLER, S. (1976): Anwendung elektronischer Rechner zur Ermittlung von Abflüssen aus Wasserständen. – Wasser und Boden, 2 – 1976, S. 28-30.
- CARTER, R.W. (1970): Genauigkeit von Flügelmessungen; Internationale Hydrologische Dekade – Symposium Hydrometrie, Koblenz 1970; Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, Nr. 35, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz (1971).
- CLAUSSEN, R. (1983): Durchflussermittlung aus Flügelmessungen (gerätetechnische Grundlagen, Einsatzbedingungen, Genauigkeiten), 3. DVWK-Fortbildungslehrgang Technische Hydraulik, Stuttgart.
- DICKINSON, W.T. (1967): Accuracy of Discharge Determinations, Hydrology Papers No 20, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- DIN 1319: Grundlagen der Meßtechnik, Beuth-Verlag, Berlin
Teil 1: Grundbegriffe (1995)
Teil 2: Begriffe für die Anwendung von Messgeräten (Entwurf 1996)
Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße, Meßunsicherheit (1996)
Teil 4: Auswertung von Messungen, Meßunsicherheit (1999)
- FELKEL, K. (1960): Gemessene Abflüsse in Gerinnen mit Weidenbewuchs, Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau.
- GERHARD, H. (1971): Extrapolation von Abflusskurven aus den Geschwindigkeitsflächen, Zeitschrift Wasserwirtschaft 9.
- ISO 748 (1973): Measurement of liquid flow in open channels – Velocity-area methods, International Organisation for Standardization, Genf
- ISO/TR 5168 (1998): Measurement of liquid flow – Evaluation of uncertainties, International Organisation for Standardization, Genf
- KREPS, H. (1949): Ein neues Verfahren zur Ermittlung der Geschwindigkeitsflächen bei Durchflusssmessungen, Sonderdruck der Hydrographischen Landesabteilung in Graz.
- LANDAUER, A. (1962): Einfluss der Veränderung der Ölviskosität bei hydrometrischen Messflügeln infolge unterschiedlicher Wassertemperaturen, ICMG Report No 8. National Engineering Laboratory im Namen der International Current Meter Group, Glasgow.

- LAWA (1988): Pegelvorschrift, Anlage A, Teil 1. – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Verlag Paul Parey, Hamburg.
- LAWA (1991): Pegelvorschrift, Anlage D – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Verlag Paul Parey, Hamburg.
- LAWA (1998): Pegelvorschrift, Anlage D, Anhang II „Messgeräte“. – Kulturbuchverlag Berlin GmbH.
- LAWA (2001A): Pegelvorschrift, Anlage (geplant) „Bau und Betrieb ortsfester Seilkrananlagen für gewässerkundliche Zwecke – Sicherheitstechnische Empfehlungen“. – (Entwurf)
- LAWA (2001B): Pegelvorschrift, Anlage (geplant) „Arbeitsschutz an Pegelanlagen“. – (Entwurf)
- LFU (2001A): Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg: Programm „Biber“.
- LFU (2002B): Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg: Durchflussermittlung mit dem Salzverdünnungsverfahren
- LFU (2002C): Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg: Vom Wasserstand zum Durchfluss
- LFU (2002D): Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg: Organisation
- LFU (2002E): Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg: Bau und Betrieb von Seilkrananlagen (in Bearbeitung)
- LFU (2002F): Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg: Hydraulische Berechnung von Fließgewässern
- LFU (2002G): Arbeitsanleitung Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg: Unsicherheit von Durchflusswerten (in Bearbeitung)
- MOCKMORE, C. A. (1944): Flow around Bends in Stable Channels, ASCE Transactions, Vol. 109, p. 593.
- MORGENSCHWEIS, G. (1990): Zur Ungenauigkeit von Durchflussmessungen mit hydrometrischen Flügeln. – DGM 34, H. ½, S. 16-21.
- NATERMANN, E. (1950): Über die Zuverlässigkeit der Messflügel, Unveröffentlichter Bericht des Niedersächsischen Ministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten - Landesamt für Gewässerkunde, Hannover.
- NAUDASCHER, E. (1987): Hydraulik der Gerinne und Gerinnebauwerke, Springer-Verlag Wien New York.
- OTT (1989): Eine Reise Durch Technik und Zeit – 125 Jahre Ott. – Ott Messtechnik, Kempten.
- OTT (2000): Betriebsanleitung Schwenkbarer Brückenausleger. Dokumentnummer 15.001.100.B.D 03-1297. Ott Messtechnik, Kempten
- RÖSSERT, R. (1981): Hydraulik im Wasserbau. – Oldenbourg Verlag, München.
- ROUSE, H. (1950): Engineering Hydraulics, John Wiley & Sons.

- SCHRÖDER, W. (1994): Grundlagen des Wasserbaus. – Werner-Verlag, Düsseldorf.
- SPICYN, I. P. (1962): O vzaimodejstvii potokov osnovnogo rusla i pojmy. - Meteorologia i Hidrologia, No. 10., S. 22/27; nach gwf (Wasser - Abwasser), 109 Nr. 48: S. 1360-1368.
- VIESER, H. J. (1983): Einsatz von Messflügeln zur Abflussbestimmung in natürlichen Gewässern, 3. DVWK-Fortbildungslehrgang Technische Hydraulik, Stuttgart.
- WIESNER, G. (1971): Über die Größe des Messfehlers bei der Durchflussmessung mit dem Messflügel und bei mittleren Durchflüssen in der Spree, WWT, 21. Jahrgang, Heft 4.
- WMO (1980): Manual on stream gauging, Vol. 1 , Field work. – World Meteorological Organisation, Genf.

Anhang: Ingenieurvertrag mit Anlagen

(Entnommen aus Ergebnisbericht des Arbeitskreises „Gewässerkundliches Messnetz – Pegel- und Datendienst“)

INGENIEURVERTRAG

z w i s c h e n

dem Land Baden-Württemberg

v e r t r e t e n d u r c h

d i e

<GwDB>

- nachstehend **A u f t r a g g e b e r** genannt -

u n d

<Ing.Büro>

- nachstehend **A u f t r a g n e h m e r** genannt -

wird folgender Vertrag geschlossen:

Inhalt:

§ 1	Gegenstand des Vertrages.....
§ 2	Bestandteile des Vertrages
§ 3	Leistungen des Auftragnehmers.....
§ 4	Leistungen des Auftraggebers.....
§ 5	Termine und Fristen.....
§ 6	Vergütung.....
§ 7	Haftpflichtversicherung des Auftragnehmers.....

Anlagen zum Vertrag:

- Allgemeine Vertragsbestimmungen	(Anlage 1)
- Leistungsbeschreibung	(Anlage 2)
- Angebot vom <Datum >	(Anlage 3)

§ 1 Gegenstand des Vertrages

Gegenstand dieses Vertrages sind Leistungen für das Vorhaben:

Durchführung von Abflussmessungen

§ 2 Bestandteile des Vertrages

Bestandteile des Vertrags sind:

- die Allgemeinen Vertragsbestimmungen (Anlage 1)
- Leistungsbeschreibung (Anlage 2)
- Angebot vom <Datum Angebot> (Anlage 3)

§ 3 Leistungen des Auftragnehmers

- Der Auftragnehmer hat die in Anlage 2 beschriebenen Leistungen zu erbringen.
- Der Auftragnehmer hat die von ihm zu liefernden Unterlagen rechtsverbindlich zu unterzeichnen.

§ 4 Leistungen des Auftraggebers

Der Auftraggeber liefert folgende Unterlagen:

- Pegelstammbuch
- Lageplan der Pegelstelle(n) mit Angabe der Zufahrtsmöglichkeit
- Messplan (jahresweise)
- Schlüssel zu den Pegelhäusern
- Messgeräte und Ausstattungsgegenstände entsprechend den Festlegungen in Anlage 2.

§ 5 Termine und Fristen

Für die Leistungen des Auftragnehmers nach § 3 gelten die in Anlage 2 genannten Termine und Fristen

§ 6 Vergütung

Für die Leistungen des Auftragnehmers nach diesem Vertrag wird ein Honorar entsprechend Anlage 3 vergütet.

§ 7 Haftpflichtversicherung des Auftragnehmers

Die Deckungssummen der Haftpflichtversicherung nach § 10 der Allgemeinen Vertragsbestimmungen (Anlage 1) müssen mindestens betragen:

- | | |
|-----------------------|----------------|
| • Für Personenschäden | 1.000.000,--DM |
| • Für Sachschaden | 300.000,--DM |

Auftraggeber:

Auftragnehmer:

.....
(rechtsverbindliche Unterschriften mit Ort und Datum)

Anlage 1

zum Ingenieurvertrag vom <Vertragsdatum>

Allgemeine Vertragsbestimmungen

in Anlehnung an

Allgemeine Vertragsbestimmungen für

Leistungen der Ingenieure und Landschaftsarchitekten

in der Wasserwirtschaft

(AVB ING-WAS-)

Inhalt

- § 1 ALLGEMEINE PFLICHTEN DES AUFTRAGNEHMERS**
- § 2 ZUSAMMENARBEIT ZWISCHEN AUFTRAGGEBER, AUFTRAGNEHMER UND ANDEREN FACHLICH BETEILIGTEN**
- § 3 VERTRETUNG DES AUFTRAGGEBERS DURCH DEN AUFTRAGNEHMER**
- § 4 AUSKUNFTSPFLICHT DES AUFTRAGNEHMERS**
- § 5 HERAUSGABEANSPRUCH DES AUFTRAGGEBERS**
- § 6 URHEBERRECHT**
- § 7 ZAHLUNGEN**
- § 8 KÜNDIGUNG**
- § 9 HAFTUNG UND VERJÄHRUNG**
- § 10 HAFTPFLICHTVERSICHERUNG**
- § 11 ERFÜLLUNGORT, STREITIGKEITEN/GERICHTSSTAND**
- § 12 ARBEITSGEMEINSCHAFT**
- § 13 WERKVERTRAGSRECHT**
- § 14 SCHRIFTFORM**
- § 15 UMSATZSTEUER**
- § 16 KOSTENBEGRIFFE**

§ 1 Allgemeine Pflichten des Auftragnehmers

- (1) Die Leistungen müssen den allgemein anerkannten Regeln der Technik - und wenn gesetzlich vorgeschrieben - dem Stand der Technik, dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit und den öffentlich-rechtlichen Bestimmungen entsprechen sowie den örtlichen Verhältnissen Rechnung tragen. Das technische und vertragliche Regelwerk gilt in der bei Vertragsabschluß gültigen Fassung.
- (2) Als Sachwalter seines Auftraggebers darf der Auftragnehmer keine Unternehmer- oder Lieferanteninteressen vertreten.
- (3) Der Auftragnehmer hat seinen Leistungen die schriftlichen Anordnungen und Anregungen des Auftraggebers zugrunde zu legen und etwaige Bedenken hiergegen dem Auftraggeber unverzüglich schriftlich mitzuteilen; er hat seine Leistungen vor ihrer endgültigen Ausarbeitung mit dem Auftraggeber und den anderen fachlich Beteiligten (vgl. § 2) abzustimmen.

Der Auftragnehmer hat sich rechtzeitig zu vergewissern, ob seinen Leistungen öffentlich-rechtliche Hindernisse und Bedenken entgegenstehen.

Etwaige Forderungen von Dritten, insbesondere von Trägern öffentlicher Belange, hat der Auftragnehmer unverzüglich dem Auftraggeber schriftlich mitzuteilen.

Die Haftung des Auftragnehmers für die Richtigkeit und Vollständigkeit seiner Leistungen wird durch Anerkennung oder Zustimmung des Auftraggebers nicht eingeschränkt.

- (4) Nicht vereinbarte Leistungen, die der Auftraggeber zur Herstellung der baulichen Anlage fordert, hat der Auftragnehmer zu übernehmen; die Vergütung hierfür hat der Auftragnehmer vor Leistungsbeginn die Vergütung mit dem Auftraggeber zu vereinbaren. Das gleiche gilt für Änderungen der vereinbarten Leistung. In solchen Fällen richtet sich das Honorar nach den Ermittlungsgrundlagen der vereinbarten Leistung.
- (5) Wird erkennbar, daß ein vorgegebener Kostenrahmen nicht ausreicht, so hat der Auftragnehmer den Auftraggeber über die voraussichtlichen Mehrkosten unverzüglich zu unterrichten und mögliche Einsparungen aufzuzeigen.
- (6) Der Auftragnehmer darf ihm übertragene Leistungen nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Auftraggebers weiter vergeben.

§ 2 Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber, Auftragnehmer und anderen fachlich Beteiligten

- (1) Dem Auftragnehmer gegenüber ist nur die vertragsschließende Stelle (Auftraggeber) weisungsbefugt, sofern im Einzelfall nichts anderes vereinbart ist.
- (2) Der Auftraggeber unterrichtet den Auftragnehmer rechtzeitig über die Leistungen, die andere fachlich Beteiligte zu erbringen haben, und über die mit diesen vereinbarten Termine/Fristen.
- (3) Der Auftragnehmer ist verpflichtet, den anderen fachlich Beteiligten die notwendigen Angaben und Unterlagen so rechtzeitig zu liefern, daß diese ihre Leistungen ordnungsgemäß erbringen können.

- (4) Wenn während der Ausführung der Leistungen Meinungsverschiedenheiten zwischen dem Auftragnehmer und anderen fachlich Beteiligten auftreten, hat der Auftragnehmer unverzüglich schriftlich die Entscheidung des Auftraggebers herbeizuführen.

§ 3 Vertretung des Auftraggebers durch den Auftragnehmer

- (1) Der Auftragnehmer ist zur Wahrung der Rechte und Interessen des Auftraggebers im Rahmen der ihm übertragenen Leistungen berechtigt und verpflichtet.
- (2) Den Auftraggeber bindende Erklärungen, insbesondere solche mit finanziellen Verpflichtungen, darf der Auftragnehmer nicht abgeben. Dies gilt auch für den Abschluß, die Änderung und Ergänzung von Verträgen sowie für die Vereinbarung neuer Preise.
- (3) Der Auftragnehmer darf unbeschadet § 2 Abs. 3 Dritten ohne Einwilligung des Auftraggebers keine Unterlagen aushändigen und keine Auskünfte geben, die sich auf die Baumaßnahme beziehen.

§ 4 Auskunftspflicht des Auftragnehmers

Der Auftragnehmer hat dem Auftraggeber auf Anforderung über seine Leistungen unverzüglich und ohne besondere Vergütung Auskunft zu erteilen, bis das Rechnungsprüfungsverfahren für die Maßnahme abgeschlossen erklärt ist.

§ 5 Herausgabeanspruch des Auftraggebers

Die von dem Auftragnehmer zur Erfüllung dieses Vertrages angefertigten Unterlagen – Notizen, Erfassungsbelege, Pläne oder Zeichnungen – sind an den Auftraggeber herauszugeben; sie werden dessen Eigentum. Die dem Auftragnehmer überlassenen Unterlagen sind dem Auftraggeber spätestens nach Erfüllung seines Auftrages zurückzugeben. Zurückbehaltungsrechte, die nicht auf diesem Vertragsverhältnis beruhen, sind ausgeschlossen.

§ 6 Urheberrecht

- (1) Der Auftraggeber darf die Unterlagen für den im Vertrag genannten Auftrag ohne Mitwirkung des Auftragnehmers nutzen und ändern; dasselbe gilt auch für das ausgeführte Werk.
- (2) Der Auftraggeber hat das Recht zur Veröffentlichung. Der Auftragnehmer bedarf zur Veröffentlichung der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Auftraggebers.

§ 7 Zahlungen

- (1) Auf Anforderung des Auftragnehmers werden Abschlagszahlungen in Höhe von 95 v.H. der vereinbarten Vergütung für die nachgewiesenen Leistungen einschließlich Umsatzsteuer gewährt.
- (2) Eine Teilschlußzahlung einschließlich Umsatzsteuer wird für in sich abgeschlossene, vertragsgemäß erbrachte Teilleistungen gewährt, wenn dies im Vertrag vereinbart ist, die für die Berechnung des Honorars maßgebenden

anrechenbaren Kosten feststehen und der Auftragnehmer eine prüfbare Rechnung eingereicht hat.

Die Schlußzahlung für die übrigen Leistungen wird fällig, wenn die für die Berechnung des Honorars maßgebenden anrechenbaren Kosten feststehen, der Auftragnehmer sämtliche Leistungen aus diesem Vertrag erfüllt und die prüfbare Rechnung eingereicht hat.

Alle Rechnungen (einschließlich Nachweise für Nebenkosten) sind im Original mit zwei Durchschriften einzureichen.

- (3) Wird nach Annahme der Schlußzahlung (Teilschlußzahlung) festgestellt, daß die Vergütung abweichend vom Vertrag oder aufgrund unzutreffender anrechenbarer Kosten ermittelt wurde, so ist die Abrechnung zu berichtigen. Das gleiche gilt bei Aufmaß-, Rechen- oder Übertragungsfehlern. Auftraggeber und Auftragnehmer sind verpflichtet, die sich danach ergebenden Beträge zu erstatten. Sie können sich nicht auf einen etwaigen Wegfall der Bereicherung (§ 818 Abs. 3 BGB) berufen.
- (4) Im Falle einer Überzahlung hat der Auftragnehmer den zu erstattenden Betrag - ohne Umsatzsteuer - vom Empfang der Zahlung an mit 4 v.H. für das Jahr zu verzinsen, es sei denn, es werden höhere oder geringere gezogene Nutzungen nachgewiesen. § 197 BGB findet Anwendung.

§ 8 Kündigung

- (1) Auftraggeber und Auftragnehmer können den Vertrag nur aus wichtigem Grund schriftlich kündigen. Einer Kündigungsfrist bedarf es nicht.

Ein wichtiger Grund liegt auch vor, wenn die Messungen nicht durchgeführt werden können oder vom Auftraggeber die Messungen nicht in der erforderlichen Qualität erledigt werden.
- (2) Wird aus einem Grund gekündigt, den der Auftraggeber zu vertreten hat, erhält der Auftragnehmer für die ihm übertragenen Leistungen die vereinbarte Vergütung unter Abzug der ersparten Aufwendungen; diese werden auf 40 v.H. des Honorars für die noch nicht erbrachten Leistungen festgelegt, sofern nicht die Vertragsparteien etwas anderes vereinbaren (z.B. Abschluß eines gleichwertigen Ersatzvertrages).
- (3) Hat der Auftragnehmer den Kündigungsgrund zu vertreten, so sind nur die bis dahin vertragsgemäß erbrachten, in sich abgeschlossenen und nachgewiesenen Leistungen zu vergüten und für diese nachweisbar entstandenen notwendigen Nebenkosten zu erstatten. Ein Schadenersatzanspruch des Auftraggebers bleibt unberührt.

Bei einer vorzeitigen Beendigung des Vertragsverhältnisses bleiben insbesondere die Ansprüche der Vertragsparteien aus §§ 4 bis 6 unberührt.

§ 9 Haftung und Verjährung

- (1) Gewährleistungs- und Schadenersatzansprüche des Auftraggebers richten sich nach den gesetzlichen Vorschriften, soweit nachfolgend nichts anderes vereinbart ist.

- (2) Haftet der Auftragnehmer wegen eines schuldhaften Verstoßes gegen die Vorgaben in der Leistungsbeschreibung, die allgemein anerkannten Regeln der Technik oder sonstiger schuldhafter Verletzung seiner Vertragspflichten, so hat die vorsätzlich oder grob fahrlässig verursachten Schäden in voller Höhe zu ersetzen.
Im übrigen haftet er bis zur Höhe der im Vertrag vereinbarten Deckungssummen der Haftpflichtversicherung.
- (3) Im Falle seiner Inanspruchnahme kann der Auftragnehmer verlangen, daß er an der Beseitigung des Schadens beteiligt wird.
- (4) Die Ansprüche des Auftraggebers aus diesem Vertrag verjähren in fünf Jahren. Die Verjährungsfrist beginnt mit der schriftlichen Erklärung des Auftraggebers, daß die Leistung vertragsgemäß erbracht ist, Spätestens mit der Anweisung der Schlußzahlung ggf. der Teilschlußzahlung.

Für Schadenersatzansprüche wegen positiver Vertragsverletzung gelten die gesetzlichen Vorschriften über die Verjährung.

§ 10 Haftpflichtversicherung

- (1) Der Auftragnehmer muß eine Berufshaftpflichtversicherung nachweisen. Er hat zu gewährleisten, daß zur Deckung eines Schadens aus dem Vertrag Versicherungsschutz in Höhe der im Vertrag genannten Deckungssummen besteht. Bei Arbeitsgemeinschaften muß Versicherungsschutz für alle Mitglieder bestehen.
- (2) Der Auftragnehmer hat vor dem Nachweis des Versicherungsschutzes keinen Anspruch auf Leistungen des Auftraggebers. Der Auftraggeber kann Zahlungen vom Nachweis des Fortbestehens des Versicherungsschutzes abhängig machen.
- (3) Der Auftragnehmer ist zur unverzüglichen schriftlichen Anzeige verpflichtet, wenn und soweit Deckung in vereinbarter Höhe nicht mehr besteht.

§ 11 Erfüllungsort, Streitigkeiten/Gerichtsstand

- (1) Erfüllungsort für die Leistungen des Auftragnehmers ist die Messtelle, bzw. der Sitz Auftraggebers.
- (2) Soweit die Voraussetzungen gem. § 38 der Zivilprozeßordnung (ZPO) vorliegen, richtet sich der Gerichtsstand für Streitigkeiten nach dem Sitz der für die Prozeßvertretung des Auftraggebers zuständigen Stelle.

§ 12 Arbeitsgemeinschaft

- (1) Sofern eine Arbeitsgemeinschaft Auftragnehmer ist, übernimmt das mit der Vertretung beauftragte, im Vertrag genannte Mitglied die Federführung.
Es vertritt alle Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft dem Auftraggeber gegenüber. Beschränkungen seiner Vertretungsbefugnis, die sich aus dem Arbeitsgemeinschaftsvertrag ergeben, sind gegenüber dem Auftraggeber unwirksam.
- (2) Für die Erfüllung der vertraglichen Verpflichtungen haftet jedes Mitglied der Arbeitsgemeinschaft auch nach deren Auflösung gesamtschuldnerisch.
- (3) Die Zahlungen werden mit befreiender Wirkung für den Auftraggeber ausschließlich an den im Vertrag genannten Vertreter der Arbeitsgemeinschaft

oder nach dessen schriftlicher Weisung geleistet. Dies gilt auch nach Auflösung der Arbeitsgemeinschaft.

§ 13 Werkvertragsrecht

Die Bestimmungen über den Werkvertrag (§§ 631 ff BGB) finden ergänzend Anwendung.

§ 14 Schriftform

Änderungen und Ergänzungen des Vertrages bedürfen der Schriftform.

§15 Umsatzsteuer

Die Umsatzsteuer ist gemäß Umsatzsteuergesetz

- in Abschlagsrechnungen mit dem zum Zeitpunkt des Entstehens der Steuer,
- in Teilschluß- und Schlußrechnungen mit dem Zeitpunkt des Bewirkens der Leistung geltenden Steuersatz anzusetzen; bei Überschreiten von Vertragsfristen, die der Auftragnehmer zu vertreten hat, gilt der bei Fristablauf maßgebende Steuersatz.

§ 16 Kostenbegriffe

Die im Zusammenhang mit der Ermittlung der anrechenbaren Kosten verwendeten Begriffe sind wie folgt zu verstehen:

- a) Die vorläufige Kostenannahme dient zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses der grob überschläglichen Ermittlung der Gesamtkosten anhand entsprechender Erfahrungswerte oder typisierender Kennwerte.
- b) Die Kostenschätzung dient zur überschläglichen Ermittlung der Gesamtkosten und ist vorläufige Grundlage der Finanzierungsüberlegungen. Sie ist unter Benutzung von Erfahrungswerten aufzustellen.
- c) Die Kostenberechnung dient zur Ermittlung der angenäherten Gesamtkosten und ist Grundlage für die erforderliche Finanzierung. Sie ist unter Zugrundelegung der bei der Entwurfsbearbeitung im einzelnen ermittelten Mengen und den zugehörigen Einzelkosten aufzustellen.
- d) Der Kostenanschlag dient zur Ermittlung der tatsächlich zu erwartenden Gesamtkosten durch die Zusammenstellung von Auftragnehmerangeboten, Eigenberechnungen sowie anderen für das Baugrundstück und ggf. die vorausgehende Planung bereits entstandenen Kosten.
- e) Die Kostenfeststellung ist der Nachweis der tatsächlich entstandenen Kosten. Hierzu sind alle nachgewiesenen und durch Abrechnungsbeleg belegten Kosten zu ordnen und zusammenfassen.

Anlage 2**zum Ingenieurvertrag vom <Vertragsdatum>**

Leistungsbeschreibung

Inhalt

1	Pegelstandorte	2
2	Vorarbeiten	2
2.1	Allgemeine Vorarbeiten	2
2.2	Einweisung vor Ort	2
3	Messverfahren	2
4	Messausrüstungen	3
5	Messungen	4
5.1	Durchführung	4
5.2	Messprotokolle	4
5.3	Niedrigwassermessungen	4
5.4	Mittelwassermessungen	4
5.5	Hochwassermessungen	4
5.6	Messungen an Pegeln mit wechselnden Rückstaeinflüssen	5
5.7	Vertretung bei Urlaub und Krankheit	5
6	Meldewege	5
7	Auswertungen	5
7.1	Auswerteprogramm	5
7.2	Niedrigwasser- und Mittelwassermessungen	5
7.3	Hochwassermessungen	5
8	Qualitätssicherung	5

Anhang

1. Planunterlagen
2. Arbeitsanleitung "Durchflussmessungen mit Messflügel"
3. Erfassungsprotokoll - Abflussmessung

1 Pegelstandorte

Die Abflussmessungen sind an folgenden Pegeln durchzuführen:

<Pegel 1>

<Pegel 2>

.....

<Pegel n>

Ein Übersichtslegeplan sowie für die einzelnen Pegelstandorte Lagepläne mit Angabe der Zufahrtsmöglichkeit und Detailpläne mit Angabe der Messquerschnitte liegen bei (Anhang 1).

2 Vorarbeiten

2.1 Allgemeine Vorarbeiten

Vor Beginn der Arbeiten sind die Pegelstammdaten der einzelnen Pegelanlagen beim Auftraggeber einzuholen. Diese werden dem Auftragnehmer in Form eines Pegelstammbuches in aktueller Version zur Verfügung gestellt.

2.2 Einweisung vor Ort

Der Auftragnehmer erhält einen Pegelschlüssel. Er wird vom Auftraggeber in jede Pegelanlage eingewiesen. Diese Einweisung beinhaltet auch die Erläuterung der technischen Einrichtungen (Pegelgerät, Datensammler), sowie die Bedienung der Geräte, z.B. die Pegelkontrolle. Dabei werden die örtlichen Gegebenheiten und Besonderheiten der einzelnen Pegelanlagen erläutert und die Messquerschnitte, soweit diese nicht durch die Seilkrananlage vorgegeben sind, festgelegt.

Der Auftraggeber weist den Auftragnehmer auf die ihm bekannten Gefahrenquellen hin. Stellt der Auftragnehmer weitere Gefahrenquellen fest, hat er den Auftraggeber hiervon in Kenntnis zu setzen.

Über die Einweisung wird ein Protokoll gefertigt. Der Auftragnehmer ist erst nach Vorliegen eines von ihm und vom Auftraggeber unterzeichneten Einweisungsprotokolls befugt, selbständig Abflussmessungen vorzunehmen.

3 Messverfahren

Die Messungen erfolgen nach dem in der Arbeitsanleitung für den Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg "Durchflussmessungen mit Messflügeln" (Anhang 2) beschriebenen Verfahren (Standardmessverfahren). Die Anwendung anderer Verfahren, z. B. Messung mit IDM-Sonden, Salzverdünnungsverfahren, Messung mit ADCP, (Sondermessverfahren) bedarf der vorherigen Zustimmung des Auftraggebers. Dieser kann Nachweise über die Eignung des fraglichen Verfahrens sowie über die Vergleichbarkeit und Gleichwertigkeit der nach diesen Verfahren gewonnenen Ergebnisse mit dem Standardverfahren verlangen.

4 Messausrüstungen

Für die Durchführung der Flügelmessungen werden die Messausrüstungen nach folgendem Schema (Zutreffendes ist angekreuzt) benutzt:

	Messungen mit Messausrüstung es Auftragnehmers	Messausrüstung wird vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt
Pegel 1		
Pegel 2		
Pegel 3		
Pegel n		

Bei Verwendung eigener Messgeräte garantiert der Auftragnehmer die Funktionstüchtigkeit der eingesetzten Geräte. Für Wartung und Reparatur sowie die regelmäßige Kalibrierung der Messflügel ist der Auftragnehmer verantwortlich. Dem Auftraggeber sind Kopien der Prüfzeugnisse des Geräteherstellers sowie der Kalibrierprotokolle für eine Nachbereitung der Auswertungen zu überlassen.

Bei Durchführung der Messungen mit Messgeräten des Auftraggebers verpflichtet sich der Auftragnehmer zu einem pfleglichen Umgang mit den ihm anvertrauten Geräten. Vor der ersten Messfahrt wird dem Auftragnehmer die Messausrüstung ausführlich erklärt.

Folgende Messausrüstungen wurden dem Auftragnehmer vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt (Angaben entsprechend den Benennungen der Messflügelverwaltung):

Eichnummer	Gerätebezeichnung.	Flügel-Nr.	Schaufel-Nr.	letzten Kalibrierung am

Die Messgeräte werden beim <Betriebshof n> des Auftraggebers vorgehalten. Sie sind durch den Auftragnehmer vor und nach jeder Messfahrt auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Sollten Funktionsstörungen bemerkt werden, sind diese unverzüglich dem Auftraggeber zu melden.

Für die Behebung selbstverschuldeter Schäden an den Messgeräten des Auftraggebers ist der Auftragnehmer verantwortlich, für Wartung, Reparatur und Kalibrierung der Messflügel der Auftraggeber.

Kommen Sondermessverfahren zum Einsatz, kann die Verantwortung für die Geräte abweichend hiervon geregelt werden. Werden keine gesonderten Regelungen getroffen, gelten die für Standardmessungen festgelegten Bestimmungen entsprechend.

5 Messungen

5.1 Durchführung

Die Messungen sind entsprechend den Arbeitsanleitungen für den Pegel- und Datendienst Baden-Württemberg durchzuführen. Die Messungen sind grundsätzlich nach der Methode der Vielpunktmessung durchzuführen. Der Auftraggeber gibt für jede Messstelle, ggf. gestaffelt nach Wasserstandsbereichen, die erforderliche Mindestanzahl von Messebenen und Messlotrechten vor.

Abweichungen vom Regelfall der Vielpunkt-Methode sind mit dem Auftraggeber im Einzelfall zu regeln und möglichst vor der Messfahrt abzusprechen. In Frage kommen hierbei Zweipunktmessungen, bei Hochwasser nach dem amerikanischen Verfahren und bei Niedrigwasser nach Kreps.

Der Auftragnehmer führt alle im Zusammenhang mit der Messung notwendigen Arbeiten, z.B. Beseitigen von Hindernissen und Verkrautung im Durchflussmessquerschnitt, selbst durch.

5.2 Messprotokolle

Die Messungen mit Messflügeln oder Messsonden werden in landeseinheitlichen Formularen (Anhang 3) protokolliert. Für Messungen nach anderen Verfahren sind vom Auftraggeber die hierfür vorgesehenen Protokolle anzufordern. Die ausgefüllten Messprotokolle sind dem Auftraggeber im Original vorzulegen.

5.3 Niedrigwassermessungen

Der Auftraggeber informiert den Auftragnehmer frühzeitig über sich abzeichnende Niedrigwassersituationen an den zu messenden Pegeln (Vorwarnstufe). Tritt die Niedrigwassersituation ein, legt der Auftraggeber die Messtermine in Absprache mit dem Auftragnehmer fest.

5.4 Mittelwassermessungen

Die Termine für die Messung von Abflüssen im Mittelwasserbereich legt der Auftragnehmer selbstständig fest. Der Auftraggeber wird hiervon spätestens 2 Tage vor dem Messtermin in Kenntnis gesetzt.

Die jährlich erforderliche Anzahl von Abflussmessungen für diesen Messbereich ist aus folgender Tabelle ersichtlich. Bei der Wahl der Messtermine ist darauf zu achten, dass möglichst der gesamte zu messende Wasserstandsbereich erfasst wird und Messungen in unterschiedlichen Jahreszeiten stattfinden.

Pegel	jährl. erforderliche Anzahl von Abflussmessungen	bevorzugt zu messender Wasserstandsbereich
< Pegel 1 >		
< Pegel n>		

5.5 Hochwassermessungen

Der Auftraggeber informiert den Auftragnehmer möglichst frühzeitig über sich abzeichnende Hochwassersituationen (Vorwarnstufe). Tritt der Hochwasserfall ein, legt der Auftraggeber fest, an welchen Pegeln und in welcher Reihenfolge der Auftragnehmer Abflussmessungen durchzuführen hat. Der Auftragnehmer verpflichtet sich im Fall der Vorwarnung eine Messbereitschaft vorzuhalten, so dass sein Messtrupp spätestens < Alarmierungszeit > Stunden nach Alarmierung an der zugewiesenen Pegelstelle eintrifft.

Bei erfolgter Vorwarnung werden Hochwassermessungen auch nachts (18-6 Uhr), an Samstagen, Sonn- und Feiertagen durchgeführt. Etwaige Zuschläge werden nach dem entsprechenden Baugewerbetarif vorgenommen.

5.6 Messungen an Pegeln mit wechselnden Rückstaeinflüssen

Bei Pegeln mit wechselnden Rückstaeinflüssen, z.B. Pegel an verkrauteten Gewässern, legt der Auftraggeber den Zeitpunkt der Messung fest. Er teilt dem Auftragnehmer den Termin mindestens eine Woche vorher mit.

5.7 Vertretung bei Urlaub und Krankheit

Der Auftragnehmer hat dafür Sorge zu tragen, dass auch im Fall von Urlaub oder Krankheit des Messpersonals die vorgenannten Regelungen eingehalten werden können.

6 Meldewege

Der im Hochwasser- und Niedrigwasserfall einzuhaltende Meldeweg bzw. die Meldeadresse beim Auftragnehmer ist dem Auftraggeber bei Vertragsabschluss bekanntzugeben. Der Auftragnehmer ist für die regelmäßige Aktualisierung des Meldeweges verantwortlich.

7 Auswertungen

7.1 Auswerteprogramm

Der Auftragnehmer wertet die Flügelmessungen mit dem Programm "Biber" (Firma Kisters) aus.

Der Auftragnehmer weist dem Auftraggeber nach, dass er eine Lizenz für dieses Programm besitzt.

7.2 Niedrigwasser- und Mittelwassermessungen

Die Messergebnisse und die mit dem Programm "Biber" durchgeführten Auswertung werden dem Auftraggeber spätestens 1 Woche nach der Messung auf Diskette oder per e-mail zur Verfügung gestellt. Die Original-Messprotokolle sowie die gedruckten Auswertungsunterlagen sind umgehend auf dem Postweg nach zu reichen.

7.3 Hochwassermessungen

Im Hochwasserfall sind die Messungen möglichst sofort auszuwerten und die Messergebnisse (Datum, W, Q) dem Auftraggeber per FAX, E-mail oder Telefon vorab mitzuteilen. Im übrigen gelten die Regelungen nach 7.2.

8 Qualitätssicherung

Der Auftragnehmer hat alle Maßnahmen selbst zu treffen, die für die Sicherstellung der Messqualität erforderlich sind. Hierzu gehört auch die fachliche Weiterbildung und die Dokumentation der durchgeführten Arbeiten. Der Auftraggeber ist berechtigt, die notwendige Messqualität, z.B. durch Vergleichsmessungen, zu überprüfen.

Anlage 3
zum Ingenieurvertrag vom <Datum Vertrag>

ANGEBOT

für die Durchführung von Abflussmessungen und deren Auswertung an den Pegeln

<Pegel 1>

<Pegel 2>

< >

<Pegel n>

**Pos.1 Abflussmessungen gemäß Nr.5.4 der
Leistungsbeschreibung
(Mittelwassermessung)**

Durchführung von <Anz MW >
Abflussmessungen

.....€/Jahr

Der angegebene Preis beinhaltet
sämtliche Nebenkosten. Er erhöht
sich jährlich mit dem Baugewerbetarif.

**Pos.2 Abflussmessungen gemäß Nr. 5.3 der
Leistungsbeschreibung
(Niedrigwassermessungen)**

Durchführung von Abflussmessungen
auf Anforderung durch den Auftraggeber

Pos 2.1 Messungen nach der Vielpunktmethode

Bei einer Messung pro Tag	.....€/Messung
Bei zwei bis drei Messungen pro Tag	.....€/Messung
Bei vier bis fünf Messungen pro Tag	.....€/Messung
Bei mehr als fünf Messungen pro Tag	.....€/Messung

Pos 2.2 Messungen nach der Zweipunktmethode

Bei einer Messung pro Tag	.....€/Messung
Bei zwei bis drei Messungen pro Tag	.....€/Messung
Bei vier bis fünf Messungen pro Tag	.....€/Messung
Bei mehr als fünf Messungen pro Tag	.....€/Messung

Pos 3 Abflussmessungen nach Nr.4.5 der Leistungsbeschreibung (Hochwassermessung)

Durchführung von Abflussmessungen
auf Anforderung durch den Auftraggeber

Bei einer Messung pro Tag	.....€/Messung
Bei zwei bis drei Messungen pro Tag	.....€/Messung
Bei vier bis fünf Messungen pro Tag	.....€/Messung
Bei mehr als fünf Messungen pro Tag	.....€/Messung

Pos. 4 Nachtmessungen

Müssen die Abflussmessungen auf Anweisung
des AG zu Nachtzeiten (zwischen 18:00 Uhr und
6:00 Uhr) durchgeführt werden, wird ein Zuschlag
zu Pos. 3 berechnet.

Zuschlag€/Messung
----------	----------------

Pos. 5 Auswertung der Abflussmessungen

Die Auswertung der Abflussmessungen
entsprechend Nr.6 der Leistungsbeschreibung
wird vergütet pro ausgewerteter Messung.

Auswertung einer Zweipunktmessung	.....€/Messung
Auswertung einer Vielpunktmessung	.....€/Messung

..... Ort.....Datum

.....
(rechtsverbindliche Unterschrift u. Firmenstempel)