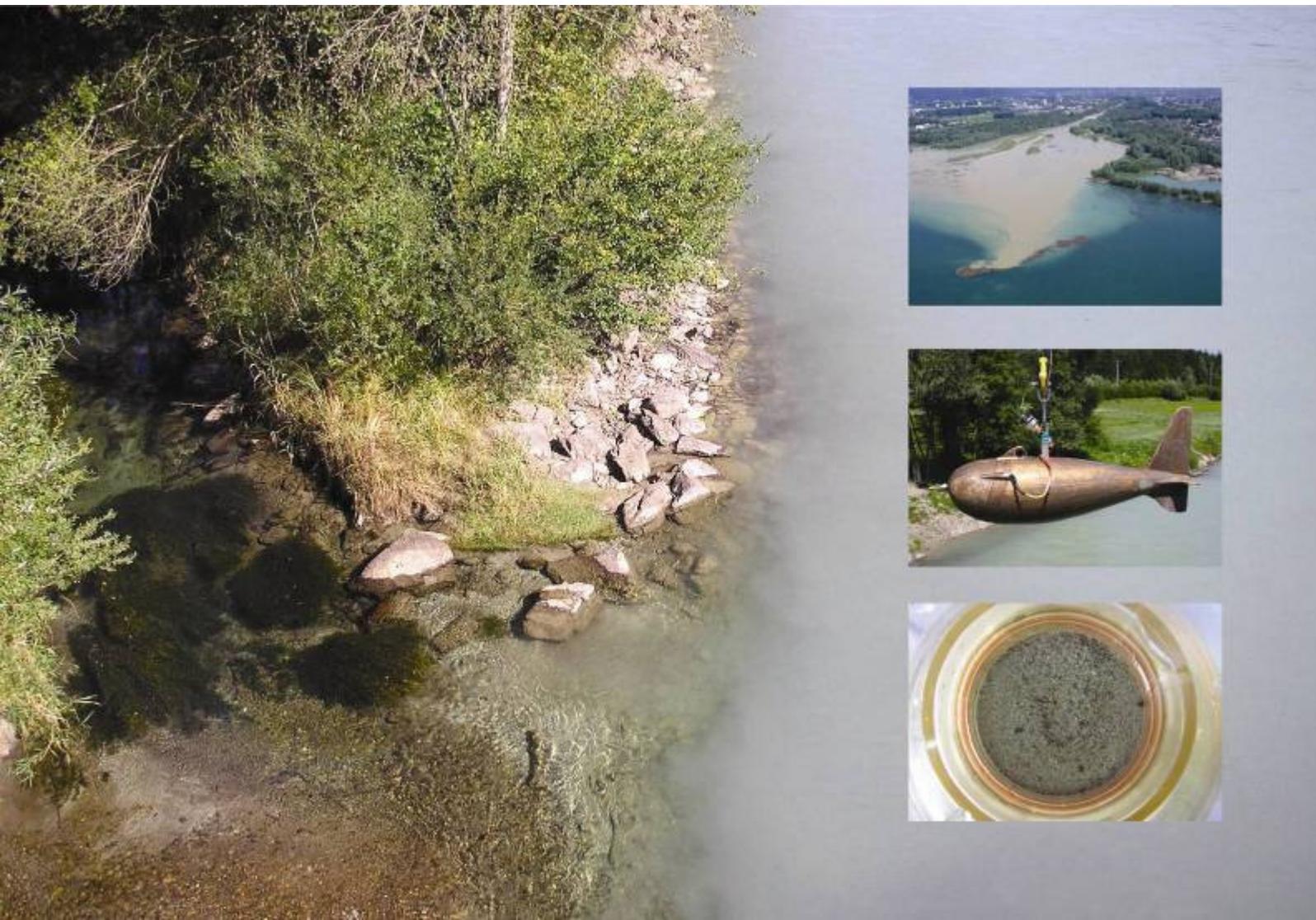




lebensministerium.at

Schwebstoffe im Fließgewässer

Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes





NACHHALTIG FÜR NATUR UND MENSCH SUSTAINABLE FOR NATURE AND MANKIND

Lebensqualität / *Quality of life*

Wir schaffen und sichern die Voraussetzungen für eine hohe Qualität des Lebens in Österreich.

We create and we safeguard the prerequisites for a high quality of life in Austria.

Lebensgrundlagen / *Bases of life*

Wir stehen für vorsorgende Verwaltung und verantwortungsvolle Nutzung der Lebensgrundlagen Boden, Wasser, Luft, Energie und biologische Vielfalt.

We stand for a preventive preservation and responsible use of the bases of life, soil, water, air, energy, and biodiversity.

Lebensraum / *Living environment*

Wir setzen uns für eine umweltgerechte Entwicklung und den Schutz der Lebensräume in Stadt und Land ein.

We support an environmentally benign development and the protection of living environments in urban and rural areas.

Lebensmittel / *Food*

Wir sorgen für die nachhaltige Produktion insbesondere sicherer und hochwertiger Lebensmittel und nachwachsender Rohstoffe.

We provide for the sustainable production in particular of safe and high-quality foodstuffs and of renewable resources.

IMPRESSUM:

Medieninhaber und Herausgeber

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1012 Wien

Koordination

Petra Lalk

Projektleitung

Helmut Habersack

Redaktionsteam

Wolfgang Gattermayr, Daniel Greiner, Helmut Habersack, Marlene Haimann, Willibald Kerschbaumsteiner, Paul Kirchlechner, Christian Kölbl, Christian Krammer, Petra Lalk, Gerald Lindner, Clemens Mathis, Robert Schatzl, Barbara Staudinger

Autoren

Helmut Habersack, Marlene Haimann, Willibald Kerschbaumsteiner, Petra Lalk

Titelbild

Bacher Karoline (großes Bild und kleines Bild unten), Amt der Vorarlberger Landesregierung (kleines Bild oben), Seitz Hugo (kleines Bild Mitte)

Druck

AV+Astoria Druckzentrum GmbH, Faradaygasse 6, 1030 Wien, Dezember 2008

Copyright

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
Alle Rechte vorbehalten

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier und mit Pflanzenfarben.



Schwebstoffe im Fließgewässer

Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes



VORWORT

Die Bedeutung von Schwebstoffen im Fließgewässer ist vielfältig. Ein Großteil des Feststofftransportes aus den Einzugsgebieten erfolgt in Form von Schwebstoffen über die Flüsse zu den Seen und ins Meer. Als Teil eines langfristigen Feststoffkreislaufes sind damit der Abtrag von Gebirgen und die Verlandung von Tiefstellen verbunden, die in geologischen Zeiträumen wiederum Teil der Gebirgsbildung sind. In Österreich können in den nächsten Jahrzehnten im Zuge des Klimawandels durch Gletscherschmelze und Auftauen der Permafrost-Böden größere Mengen an Schwebstoffen freigesetzt werden. Innerhalb der langfristigen, natürlichen Entwicklung, welche u.a. die Bildung von fruchtbaren Böden beinhaltet, treten kurzfristig Veränderungen im Schwebstoffhaushalt ein, die auch durch menschliche Eingriffe bedingt sind. Flussbauliche Maßnahmen an den Fließgewässern selbst sowie die Errichtung von Wasserkraftwerken führen zu anderen Transportbedingungen, womit sich in Summe die Menge und die Zusammensetzung der Schwebstoffe im Fließgewässer verändern. Im Lauf der Zeit ergeben sich andere Landnutzungen in den Einzugsgebieten (Anteil und Art der landwirtschaftlichen Nutzung, Waldanteil etc.).

Im Zuge der Hochwasseranalyse in FloodRisk I (*Habersack et al., 2004*) zeigte sich, dass durch schwebstoffhaltiges Wasser im Vergleich zu Reinwasser eine Vervielfachung der Schäden festzustellen ist und Verlandungen zu einer Reduktion der Hochwasserabfuhrkapazität beitragen können. Verlandungen von Stauräumen treten auf, wobei hier technische, wirtschaftliche und ökologische Aspekte zu berücksichtigen sind. Nährstoff- und Schadstofftransport sind meist stark an den Schwebstofftransport gekoppelt, wodurch der ökologische Zustand gemäß Wasserrahmenrichtlinie betroffen ist. Aus diesen Beispielen wird deutlich, dass das Thema Schwebstoff von grundsätzlicher Bedeutung für Fließgewässer ist. Für eine Bearbeitung dieses Themas sind Messdaten erforderlich, welche in weiterer Folge auch für die Kalibrierung von numerischen Modellen benötigt werden.

Der vorliegende Leitfaden zur Erfassung des quantitativen Schwebstofftransportes gibt erstmals in Österreich eine genaue, für Basismessstellen verbindliche Anleitung betreffend die Methodik, Monitoringstrategie, Schwebstoffmessungen selbst sowie die Auswertung und Interpretation der Daten. Damit ist die Basis gelegt, künftig qualitätsgesicherte und bundesweit einheitlich erhobene Daten im Hydrographischen Jahrbuch zu veröffentlichen und für die Bearbeitung der vielfältigen Problemstellungen zur Verfügung zu stellen.

An dieser Stelle sei allen gedankt, die an der Erstellung des Leitfadens tatkräftig mitgewirkt haben. Besonderer Dank gilt den Mitgliedern der Arbeitsgruppe *Schwebstoffmessung im Hydrographischen Dienst*, den DiplomandInnen am *Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau der Universität für Bodenkultur* und am *Management Center Innsbruck (MCI)*, die durch zahlreiche Messungen die Basisdaten für die Erstellung des Leitfadens geschaffen haben, und den Firmen, die Messgeräte zur Verfügung gestellt haben.

Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Helmut Habersack

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	17
2.	BEDEUTUNG UND ZIELE DES SCHWEBSTOFFMONITORINGS	19
2.1	Definition der Schwebstoffe	19
2.2	Herkunft der Schwebstoffe	19
2.3	Bedeutung der Schwebstoffe	20
2.3.1	Ökologische Bedeutung der Schwebstoffe	20
2.3.2	Bedeutung der Schwebstoffe im Zusammenhang mit Flussbau und Hochwasserschutz	21
2.3.3	Bedeutung der Schwebstoffe bezüglich der energiewirtschaftlichen Nutzung von Fließgewässern	21
2.4	Ziele des Schwebstoffmonitorings	21
2.4.1	Erfüllung des gesetzlichen Auftrags	22
2.4.2	Messnetzkonzept	23
2.4.3	Bereitstellung von Grundlagendaten	24
2.4.4	Bereitstellung von Daten für spezielle Fragestellungen	24
3.	METHODIK UND MONITORINGSTRATEGIE	25
3.1	Grundlegende physikalische Gegebenheiten und Probleme bei der Erfassung von Schwebstoffen	25
3.2	Methoden zur Erfassung der zeitlichen Variabilität der Schwebstoffkonzentration	26
3.2.1	Direkte Probenentnahmeverfahren	26
3.2.2	Indirekte Verfahren	26
3.3	Methoden zur Erfassung der räumlichen Variabilität der Schwebstoffkonzentration im Querprofil	27
3.3.1	Direkte Probenentnahmeverfahren	27
3.3.2	Indirekte Verfahren	28
3.4	Anforderung an Geräte für die Erfassung der Schwebstoffkonzentration	29
3.4.1	Anforderung an Geräte für die direkte Probenentnahme	29
3.4.2	Anforderung an Geräte für die indirekte Erfassung der Schwebstoffkonzentration	30
3.5	Anforderung an die Laborauswertung von Schwebstoffproben	30
3.6	Korngrößenverteilung	31

3.7	Monitoringstrategie	31
3.8	Sonderfälle	32
4.	MESSANLEITUNG	33
4.1	Lage der Messstellen	33
4.1.1	Schwebstoffmessstellen im Bereich von Durchflusspegeln	33
4.1.2	Schwebstoffmessstellen im Bereich der Wehranlagen von Flusstaukraftwerken	33
4.2	Messstelleneinrichtung	33
4.3	Kontinuierliche Sondenaufzeichnung	35
4.3.1	Datenaufzeichnung und Datenübertragung	35
4.3.2	Biofouling	36
4.3.3	Instandhaltung und Wartung	37
4.4	Kalibrierprobenentnahme	37
4.5	Ermittlung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil	38
4.5.1	Vielpunktentnahme	38
4.5.2	Integrationsentnahme	40
4.5.3	ADCP mit Probenentnahme	45
4.5.4	Vergleich der verschiedenen Verfahren	46
4.6	Probenentnahme und -lagerung	47
4.7	Analysetechniken	48
4.7.1	Quantitative Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe	49
4.7.2	Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe bei hohen Konzentrationen	51
4.7.3	Qualitätssicherung der Laboranalysen	51
4.8	Korngrößenuntersuchungen	53
4.8.1	Entnahmen für Korngrößenuntersuchungen	53
4.8.2	Methoden der Korngrößenuntersuchung	53
5.	AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER DATEN	55
5.1	Plausibilitätsprüfung der Rohdaten	55
5.2	Berechnung der kontinuierlichen Schwebstoffkonzentration an einem Punkt im Profil	57
5.3	Bestimmung des Schwebstofftransportes und der mittleren Schwebstoffkonzentration	59
5.3.1	Bestimmung mittels Vielpunktentnahmen	60
5.3.2	Bestimmung mittels Integrationsentnahmen	62
5.3.3	Bestimmung mittels ADCP-Messungen	62

5.4	Ermittlung des Querprofilbeiwertes kP und der kontinuierlichen mittleren Schwebstoffkonzentration im Profil	63
5.5	Berechnung des Schwebstofftransportes und der Fracht	65
5.6	Auswertemethoden bei fehlender kontinuierlicher Messung	67
LITERATUR		68
ANHANG		71
Anhang A: Geräte für die direkte und indirekte Erfassung der Schwebstoffkonzentration		71
A.1	Geräte für die direkte Probenentnahme	71
A.1.1	1 l-Schöpfgefäß (PE-Flasche an Teleskopstange mit bzw. ohne Einlaufrohr oder am Seil)	71
A.1.2	Eimer	72
A.1.3	Nielsen-Sediment-Sammler	72
A.1.4	Schwebstoffentnahmeggerät der Firma OTT	73
A.1.5	Schwebstoffentnahmeggerät des HD Tirol („Torpedo“)	73
A.1.6	Schwebstoffentnahmeggerät des IWHW	74
A.1.7	Schwebstoffentnahmeggerät US-P61A	74
A.1.8	Pumpentnahme	75
A.1.9	Gegenüberstellung der Messgeräte für die direkte Probenentnahme	75
A.2	Geräte für die indirekte Erfassung der Schwebstoffkonzentration	77
A.2.1	Solitax ts-line	77
A.2.2	spectro::lyserTM	78
A.2.3	Rio Grande	79
A.2.4	StreamPro	80
A.2.5	Gegenüberstellung von Rio Grande und Stream Pro	80
Anhang B: Formblätter für Messprotokolle		82
Anhang C: Beispiele		85
C.1	Beispiel Laborauswertung	85
C.1.1	Gravimetrische Konzentrationsbestimmung	85
C.1.2	Schnellverfahren zur Konzentrationsbestimmung	86
C.2	Beispiel Auswertung	88
C.2.1	Messprotokoll Kalibrierproben	88
C.2.2	Ermittlung der Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Profil	90
C.2.3	Plausibilitätsprüfung der Rohdaten	94
C.2.4	Berechnung der sondennahen Schwebstoffkonzentration	96

C.2.5	Berechnung des Schwebstofftransportes und der mittleren Schwebstoffkonzentration	100
C.2.6	Berechnung des Querprofilbeiwertes	105
C.2.7	Berechnung der kontinuierlichen mittleren Schwebstoffkonzentration	106
C.2.8	Berechnung des kontinuierlichen Schwebstofftransportes	107
C.2.9	Berechnung der Schwebstofffracht	108

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

ADCP ¹	Acoustic Doppler Current Profiler	
EDI	„Equal-Discharge-Increment“ – „Identische Durchflüsse“ Methode	
EWI	„Equal-Width-Increment“ – „Identische Breiten“ Methode	
FAU	Formazine Attenuation Units	
FNU	Formazine Nephelometric Units	
FTU	Formazine Turbidity Unit	
k_p	[-]	Querprofilbeiwert
k_s	z.B. [mg/(l*FTU)]	Sondenbeiwert
m_T	[mg]	Trockenmasse
m_a	[mg]	Masse des Objektträgers und des Membranfilters (getrocknet)
m_b	[mg]	Masse des Objektträgers, des Membranfilters und der abfiltrierbaren Trockenmasse (getrocknet)
Q	[m ³ /s]	Durchfluss
Q_s	[kg/s]	Schwebstofffluss, Schwebstofftransport, Schwebstoffführung
Q_{si}	[g/(m*s)]	Schwebstofftrieb
s_o	[mg/l]	Schwebstoffkonzentration
s_k	[mg/l]	Schwebstoffkonzentration der Kalibrierproben
s_m	[mg/l]	mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil
s_{ml}	[mg/l]	mittlere Schwebstoffkonzentration in einer Lotrechten
s_s	z.B. [mg/l], [FTU]	Sondenaufzeichnung
t_w	[m], [cm]	Wassertiefe
TS	Trockensubstanz
v	[m/s]	Fließgeschwindigkeit
v_m	[m/s]	mittlere Fließgeschwindigkeit
v_s	[m/s]	Absenk- und Hubgeschwindigkeit
V_p	[l]	Volumen der Wasserprobe
W	[cm]	Wasserstand

¹ ADCP ist ein eingetragenes Warenzeichen von *RD Instruments, Inc. (RDI)*. Der Begriff hat sich aber inzwischen allgemein zur Bezeichnung von Akustischen Doppler Geräten zur Strömungs- und Durchflussmessung etabliert und wird im Leitfaden auch in diesem Sinne verwendet.

Begriffsbestimmungen

Nr	Begriff	Zeichen	Einheit	Erklärung
1	Biofouling			Aufwuchs eines Algenfilms, der sich am Sensor bzw. auf der Optik ansetzt und so eine höhere Schwebstoffkonzentration vortäuscht
2	Erosion			Vorgang des Abtragens (Ablösens) fester Stoffe durch die mechanische Einwirkung von Wasser, Eis, Schnee oder Wind (ÖNORM B 2400)
3	Feststoffe			Gesamtheit von Geschiebe (4), Schwebstoffen (10) und Schwimmstoffen (19) (ÖNORM B 2400)
4	Geschiebe			Vom fließenden Wasser auf oder nahe der Gewässersohle gleitend, rollend oder springend fortbewegte Gesteinsteile (ÖNORM B 2400)
5	Integrations- entnahme			Aufteilung des Durchflussquerschnittes in mehrere Lotrechte und Gewinnung einer tiefenintegrierten Probe durch gleichmäßiges Absenken vom Wasserspiegel zur Gewässersohle und Anheben mit einem geeigneten Entnahmeggerät Alternative Gewinnung der Proben mit ventilgesteuerten Entnahmeggeräten entweder beim Absenk- oder beim Hubvorgang
6	Isokinetik			Gleichheit der Einströmgeschwindigkeit und der umgebenden Strömungsgeschwindigkeit bei der Probenentnahme
7	Kalibrierprobe (Referenzprobe)	s_k	mg/l	Zu Kalibrierungszwecken, meist sondennah gewonnene Schwebstoffprobe (Momentan- (8) oder punktintegrierte Probe (17))
8	Momentanprobe			Schwebstoffprobe (16), die in wenigen Sekunden entnommen wird
9	Querprofilbeiwert	$k_p = s_m/s_k$		Quotient aus mittlerer Schwebstoffkonzentration im Querprofil (s_m) (15) und der Schwebstoffkonzentration der Kalibrierprobe (s_k) (7)
10	Schwebstoffe			Im Wasser in mehr oder weniger gleichmäßiger Verteilung durch Turbulenz in Schwebelage gehaltene feste Stoffe (ÖNORM B 2400)

Nr	Begriff	Zeichen	Einheit	Erklärung
11	Schwebstoffabtrag		kg/km ² t/km ²	Quotient aus Schwebstofffracht (13) und der Fläche des zugehörigen Einzugsgebietes (ÖNORM B 2400)
12	Schwebstofffluss; (Schwebstoff- transport; Schwebstoffführung)	Q _S	kg/s	Quotient aus der durch einen Durchflussquerschnitt beförderten Schwebstoffmasse, gewogen im trockenen Zustand, und der Dauer des Transportes (ÖNORM B 2400)
13	Schwebstofffracht	V _S V _{S,M}	m ³ t, kg	Über einen anzugebenden Zeitabschnitt (z.B. 1 Jahr) summierter (integrierter) Schwebstofffluss (12) V _{S,M} =V _S ·ρ _r ρ _r = Lagerungsdichte (ÖNORM B 2400)
14	Schwebstoffgehalt (Schwebstoff- konzentration)	s _o	g/m ³ mg/l	Quotient aus der in einer Wasserprobe enthaltenen Schwebstoffmasse, gewogen im trockenen Zustand, und dem Volumen der Probe (ÖNORM B 2400)
15	Schwebstoffgehalt (Schwebstoffkonzentration), mittlerer im Querprofil	s _m	mg/l	Mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil, ermittelt aus Vielpunkt- (24) oder Integrationsentnahmen (5) bzw. durch alternative Methoden
16	Schwebstoffprobe			Probe eines Wasser-Schwebstoffgemisches für die Bestimmung der Konzentration und/oder der Korngrößenverteilung
17	punktintegrierte Schwebstoffprobe			Schwebstoffprobe (16), die an einem bestimmten Punkt im Gewässer während einer bestimmten Zeitspanne kontinuierlich entnommen wird
18	Schwebstofftrieb	Q _{si}	g/(m*s)	Schwebstofffluss (12) auf 1 m Flussbreite bezogen
19	Schwimmstoffe			Feste Stoffe, die auf der Wasseroberfläche und im Wasser schwimmen, ausgenommen Eis (ÖNORM B 2400)
20	Sedimentation			Vorgang der Ablagerung der durch ein oberirdisches Gewässer oder durch oberirdisch flächenhaft abfließendes Wasser transportierten Feststoffe (3) (ÖNORM B 2400)
21	Sondenaufzeichnung	s _s	mg/l	Vom Trübungssensor angezeigte und aufgezeichnete Schwebstoffkonzentration
22	Sondenbeiwert	k _s = (s _k /s _s)		Quotient aus der Schwebstoffkonzentration der Kalibrierprobe (s _k) (7) und der Schwebstoffkonzentration am Trübungssensor (s _s) (21)

Nr	Begriff	Zeichen	Einheit	Erklärung
23	Trübung	[FAU] [FNU] [FTU]		Verringerung der Durchsichtigkeit einer Flüssigkeit, verursacht durch die Gegenwart ungelöster Substanzen (ÖNORM EN ISO 7027, 2000)
24	Vielpunktentnahme			Einteilung des Durchflussquerschnittes analog zur Durchflussmessung in mehrere Lotrechte und Gewinnung von Proben mit einem punkt-integrierenden Entnahmeggerät in verschiedenen vorher festgelegten Tiefen Möglichst gleichzeitige Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten in den Entnahmepunkten

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Variabilität der Schwebstoffkonzentration in Raum und Zeit (verändert nach BfG, 2003)	25
Abbildung 2:	Trübungssonde an Probenentnahmegesetz (links) bzw. an Gewichtsstück des Seilflügels (rechts) (Fotos: Stimpfl)	29
Abbildung 3:	links: Schienenkonstruktion für Solitax ts-line; Feldbach/Raab (Foto: Kerschbaumsteiner) rechts: Klappkonstruktion für Solitax ts-line; Steyr/Enns (Foto: Altenhofer, 2006)	34
Abbildung 4:	Biofouling an Sonden (Foto links: Wakolbinger, Foto rechts: Kerschbaumsteiner)	36
Abbildung 5:	Konstruktive Maßnahme zur Verhinderung von Biofouling (Fotos: Kerschbaumsteiner)	36
Abbildung 6:	Darstellung einer Vielpunktentnahme in vier Tiefenstufen	38
Abbildung 7:	Darstellung einer Integrationsentnahme nach der „Equal-Width-Increment“ Methode	41
Abbildung 8:	Darstellung einer Integrationsentnahme nach der „Equal-Discharge-Increment“ Methode	44
Abbildung 9:	Bestimmung der Stationierung der Messlotrechten mittels Durchflusssummenkurve	45
Abbildung 10:	links: Filtriergerät mit Zubehör und Vakuumpumpe im Hintergrund (Foto: Stimpfl, 2006); Vakuum Filtrationsanlage der Verbund AHP (Foto: Wagner, 2006)	49
Abbildung 11:	Schöpfgefäß zur Entnahme von Doppelproben (Bacher, 2008)	52
Abbildung 12:	Beispiel für eine Sondenaufzeichnung mit Ausreißern an der Messstelle Mureck/Mur	56
Abbildung 13:	Beispiel für eine Sondenaufzeichnung bei auftretendem Biofouling an der Messstelle Feldbach/Raab; schwarz: Durchfluss; rot: Sondenaufzeichnung, blau: Kalibrierproben (Stimpfl, 2006)	56
Abbildung 14:	Sondenaufzeichnung (rot), Kalibrierproben (schwarz). Sondennahe Schwebstoffkonzentration unter Berücksichtigung aller Kalibrierproben mittels Sondenbeiwert berechnet (grün) und sondennahe Schwebstoffkonzentration ohne Berücksichtigung der unplausiblen Kalibrierprobe mittels Sondenbeiwert berechnet (blau)	58
Abbildung 15:	Zusammenhang: Sondenaufzeichnung – Kalibrierproben an der Schwebstoffmessstelle Steyr/Enns (verändert nach Altenhofer, 2007)	58
Abbildung 16:	Sondenaufzeichnung (rot), Kalibrierproben (schwarz), kontinuierliche Schwebstoffkonzentration an einem Punkt mittels Regression berechnet (grün), kontinuierliche Schwebstoffkonzentration an einem Punkt mittels Sondenbeiwert berechnet (blau) an der Messstelle Steyr-Ortskai/Enns	59
Abbildung 17:	Schwebstoff-, Fließgeschwindigkeits- und Transportverteilungen im Querprofil an der Messstelle Bruck/Salzach (Wagner, 2006)	60
Abbildung 18:	Konventionelles Auswerteverfahren für Vielpunktentnahmen (verändert nach DVWK, 1986)	61
Abbildung 19:	Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil mittels ADCP-Auswertung und Konzentrationen der Schwebstoffproben (Dreiecke) am Pegel Admont/Enns	63
Abbildung 20:	Zusammenhang: Querprofilbeiwert – Durchfluss an der Messstelle Gisingen/III	64
Abbildung 21:	Zusammenhang: Querprofilbeiwert – Durchfluss an der Messstelle Dellach/Drau	64
Abbildung 22:	Schwebstofftransport im Jahr 2005 (rot) und im Jahr 2007 (schwarz) an der Messstelle Innsbruck/Inn; in Abbildung abgeschnitten: am 23.8.2005 Spitze bei 25.555 kg/s (11:30), am 21.6.2007 Spitze bei 2.046 kg/s (3:30)	65
Abbildung 23:	monatliche Schwebstofffrachten und monatlicher Schwebstoffabtrag im Jahr 2005 und 2007 an der Schwebstoffmessstelle Innsbruck/Inn	66

Abbildung 24:	Summenkurve der Schwebstofffrachten an der Schwebstoffmessstelle Innsbruck/Inn für das Jahr 2005 und 2007	66
Abbildung 25:	Probenentnahme mittels Schöpfgefäß am Seil (Foto: Wagner, 2005) und an der Stange (Foto: Kremser, 2007)	71
Abbildung 26:	Probennehmer mit Einlaufrohr an der Stange (Hauer, 2007)	71
Abbildung 27:	Probenentnahme links mittels Eimer (Foto: Gattermayr, 2005) und rechts mittels Nielsen-Sammler (Foto: Stimpfl, 2006)	72
Abbildung 28:	links: Ott-Sammler (Foto: Gattermayr, 2005) und rechts: „Tirol Torpedo“ (Prototyp nach H. Bucher) (Foto: Wagner, 2006)	73
Abbildung 29:	links: IWHW-Sammler (Foto: Kasess, 2006) und rechts: US-P61 Suspended-Sediment-Sampler (Foto: Seitz)	74
Abbildung 30:	links: ISCO-Sampler (Foto: Habersack et al., 2002), Pumpanlage im Kraftwerk Ybbs-Persenbeug (Foto: Verbund – AHP)	75
Abbildung 31:	Sonde Solitax ts-line in Schutzrohr und mit Wischer (Foto: Hauer, 2007)	77
Abbildung 32:	links: Spectro::lyser TM der Firma s::can, rechts: Messpfad des Spectro::lysers (Fotos: Bittner, 2008)	79
Abbildung 33:	Geräteträger „Trimaran“ des ADCP-Gerätes „Workhorse Rio Grande ZedHed“ (Foto: Haimann, 2007)	79
Abbildung 34:	ADCP-Gerät „Stream Pro“ der Firma RD Instruments (Foto: Haimann)	80
Abbildung 35:	Systemskizze zur Stationierung der Lotrechten	90
Abbildung 36:	Originale Sondenaufzeichnung an der Schwebstoffmessstelle Innsbruck/Inn 2007	95
Abbildung 37:	Beispiel für einen Ausreißer der Sondenaufzeichnung	95
Abbildung 38:	Beispiel für einen unplausiblen Wert einer Kalibrierprobe	96
Abbildung 39:	Kalibrierproben, Ganglinie des Sondenbeiwertes und der sondennahen Schwebstoffkonzentration mittels Sondenbeiwert berechnet	97
Abbildung 40:	Zusammenhang: Sondenaufzeichnung – Kalibrierproben	98
Abbildung 41:	Kalibrierproben, Sondenaufzeichnung, sondennahe Schwebstoffkonzentration mittels Sondenbeiwert (SB) und Regression (REG) berechnet	99
Abbildung 42:	Durchfluss, Sondenaufzeichnung und Kalibrierproben während des Messzeitraums	100
Abbildung 43:	Aus ADCP-Messung und Probenentnahmen (Dreiecke) ermittelte Schwebstoffverteilung im Querprofil	104
Abbildung 44:	Zusammenhang: Durchfluss – Querprofilbeiwert an der Messstelle Innsbruck/Inn	106
Abbildung 45:	Gegenüberstellung mittels Regression (REG) berechneter, sondennaher Schwebstoffkonzentration (rot) und mittlerer Schwebstoffkonzentration (blau) sowie Durchfluss (schwarz) und Ganglinie des Querprofilbeiwertes (grün)	107
Abbildung 46:	Ganglinie des Schwebstofftransportes für das Jahr 2007 an der Messstelle Innsbruck/Inn	108
Abbildung 47:	Tabellarische und graphische Darstellung der Schwebstofffracht an der Messstelle Innsbruck/Inn für das Jahr 2007	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Messstrategie für Basismessstellen in Österreich im Überblick	32
Tabelle 2:	Vergleich der Methoden zur Bestimmung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil	47
Tabelle 3:	Vergleich der Entnahmegерäte für die direkte Probenentnahme	76
Tabelle 4:	Einstellungen bei Solitax ts-line	78
Tabelle 5:	Vergleich von Rio Grande und Stream Pro (Stream Pro mit Erweiterung)	81
Tabelle 6:	Formblatt für Messprotokoll zur Entnahme sondennaher Proben während der Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahme	82
Tabelle 7:	Formblatt für Messprotokoll zur Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahme	83
Tabelle 8:	Formblatt für Messprotokoll zur Entnahme von Kalibrierproben	84
Tabelle 9:	Protokoll für Vielpunktentnahme	91
Tabelle 10:	Protokoll für Integrationsentnahme	92
Tabelle 11:	Protokoll für sondennahe Entnahme	93
Tabelle 12:	Laborauswertung der Schwebstoffproben	94
Tabelle 13:	Umrechnung der Schwebstoffkonzentrationen aus der Vielpunktentnahme auf Konzentrationen zu Beginn der Probenentnahme	101
Tabelle 14:	Rechnerische Auswertung der Vielpunktentnahme	102
Tabelle 15:	Umrechnung der Schwebstoffkonzentrationen aus der Integrationsentnahme auf Konzentrationen zu Beginn der Probenentnahme	103
Tabelle 16:	Rechnerische Auswertung der Integrationsentnahme	103
Tabelle 17:	Gegenüberstellung des Schwebstofftransportes und der mittleren Schwebstoffkonzentration	105
Tabelle 18:	Umrechnung der Schwebstoffkonzentrationen aus den Kalibrierproben auf Konzentrationen zu Beginn der Messung	105
Tabelle 19:	Gegenüberstellung der 2007 mittels Vielpunktentnahmen ermittelten Querprofilbeiwerte kP	106

1. EINLEITUNG

Schon seit langem werden in Österreich Schwebstoff- und Geschiebemessungen zur Klärung unterschiedlicher Problemstellungen, vor allem für den Kraftwerksbau in den 60er Jahren, durchgeführt. Im *Hydrographischen Dienst* existieren einige Sondermessnetze entlang der Donau und anderen Flüssen in Oberösterreich. Diese Messungen wurden im Hydrographischen Jahrbuch nicht veröffentlicht. Die in der Vergangenheit erhobenen Schwebstoffdaten waren vor allem wegen unterschiedlicher Erhebungs- und Auswertemethoden nur bedingt vergleichbar (vgl. *Habersack et al., 2004*).

Um der legislativen Verpflichtung eines quantitativen Feststoffmonitorings an österreichischen Fließgewässern aus den Vorgaben der Wasserrechtsnovelle vom 29. August 2003, § 59 c, und der Wasserrahmenrichtlinie der EU vom 23. Oktober 2000 (EU-WRRL) nachzukommen, wurde zunächst die Implementierung eines Schwebstoffmonitorings geplant. Dazu wurde die Arbeitsgruppe *Schwebstoffmessung im Hydrographischen Dienst* eingerichtet, in der VertreterInnen der *Abteilung Wasserhaushalt im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*, der *Hydrographischen Dienste der Bundesländer*, der *via donau – Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH* und der *Verbund Austrian Hydro Power* mitgearbeitet haben. Die Ziele der Arbeitsgruppe sind der Aufbau eines Schwebstoffbasismessnetzes, dessen Daten im Hydrographischen Jahrbuch veröffentlicht werden sollen, die Entwicklung einer einheitlichen Mess- und Auswertemethodik und die Erstellung eines Leitfadens für die Schwebstoffmessung in Österreich.

Die Problemstellungen bei der Schwebstoffmessung sind vielfältig. Sie reichen von der repräsentativen Probenentnahme (Einpunkt-, Vielpunkt- und Integrationsentnahme), der Probenauswertung im Labor (Filtermethoden) sowie der Entnahmehäufigkeit bis hin zu geeigneten Messtechniken und -geräten für die Gewinnung der Schwebstoffproben und die zeitlich kontinuierliche Schwebstoffmessung (indirekte Methoden). Darüber hinaus soll die Schwebstoffmessung zu hinreichend genauen und vergleichbaren Daten führen.

Für die Implementierung eines adäquaten Schwebstoffmonitorings war zunächst eine Verbesserung und Vereinheitlichung der Messmethodik notwendig, da auch international keine standardisierte Messtechnik für die Schwebstoffmessung zur Verfügung stand. Daher wurde das *Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW)* an der *Universität für Bodenkultur* beauftragt, parallel zum Aufbau des Schwebstoffbasismessnetzes Untersuchungen bezüglich der Mess- und Auswertemethodik vorzunehmen, deren Ergebnisse in den Leitfaden einfließen.

Bei den Untersuchungen wurden bevorzugt Messgeräte eingesetzt, die von verschiedenen Institutionen in Österreich zur Verfügung gestellt wurden und über die bereits Erfahrungen vorlagen. Ergänzend wurden neue Messgeräte gebaut bzw. von Firmen zu Testzwecken zur Verfügung gestellt.

Es war nicht möglich, im Rahmen der Untersuchungen sämtliche auf dem Markt befindlichen Geräte einer Eignungsprüfung zu unterziehen. Im *Anhang A* werden ausgewählte Geräte beschrieben. Es ist auch der Einsatz anderer oder neu entwickelter Geräte möglich, sofern sie den in *Kapitel 3* beschriebenen Anforderungen genügen und zu vergleichbaren Ergebnissen führen.

Im Leitfaden werden die für das quantitative Schwebstoffmonitoring entwickelte Messmethodik und die Monitoringstrategie beschrieben sowie die bisher gewonnenen Erfahrungen und Ergebnisse der Untersuchungen zu einer Mess- und Auswertanleitung zusammengefasst. Dabei werden Fragestellungen der Gewässergüte nicht behandelt. Methoden, die in der einschlägigen Literatur beschrieben sind, die aber für die gegenständliche Problemstellung weder relevant noch geeignet erschienen, finden im Leitfaden keine Erwähnung. Manche Themen werden auch nach Veröffentlichung des Leitfadens Gegenstand weiterer Untersuchungen bzgl. Optimierung der Messmethodik sein und in einer allfälligen nächsten Auflage eingearbeitet werden.

Der Leitfaden gilt für die Messstellen des Basismessnetzes des *Hydrographischen Dienstes* als verpflichtende Anleitung, stellt dagegen für andere Institutionen eine Empfehlung dar, um zu qualitätsgesicherten Schwebstoffdaten zu gelangen. Abhängig von der jeweiligen Fragestellung können für Sondermessstellen auch andere Messtechniken oder -methoden sinnvoll sein.

2. BEDEUTUNG UND ZIELE DES SCHWEBSTOFFMONITORINGS

2.1 Definition der Schwebstoffe

In Fließgewässern werden Geschiebe, Schwebstoffe und Schwimmstoffe bei Vorhandensein von entsprechender Transportenergie und einem ausreichenden Feststoffangebot transportiert. Schwebstoffe werden durch die Turbulenzen im fließenden Wasser in unterschiedlicher Konzentration über die Wassertiefe in Schwebelagen gehalten. Je nach Durchflussmenge, Fließgeschwindigkeit und Beschaffenheit der Deckschicht bzw. der oberen Sohle können bestimmte Kornfraktionen einmal als Schwebstoff und ein anderes Mal als Geschiebe transportiert werden (*Kresser, 1964*). Im Allgemeinen liegt der Grenzkorndurchmesser von Schwebstoffen bei 0,2 bis 0,7 mm (in Abhängigkeit von den hydraulischen Bedingungen), für Alpenflüsse wird häufig ein Korndurchmesser von 1 mm als Grenzwert angenommen (*Maniak, 1997*).

Daraus ergibt sich, dass aufgrund variabler Durchflussmengen und Feststoffpotenziale in den Einzugsgebieten unterschiedliche Schwebstoffmengen transportiert werden, die sich in ihrer Zusammensetzung in mineralogischer, chemischer und physikalischer Hinsicht, aber auch in der Korngrößenverteilung unterscheiden (*DVWK, 1986*).

2.2 Herkunft der Schwebstoffe

Schwebstoffe entstehen hauptsächlich durch Erosion. Unter dem Einfluss der Verwitterung werden Festgesteine aufgelockert und zersetzt. Das entstandene Lockermaterial wird durch Rutschprozesse und Oberflächenabfluss den Gewässern zugeführt und weiter talwärts verfrachtet. Im Gerinne entstehen Schwebstoffe als Produkt der Zerkleinerung von Geschiebe, aus Sohlen- und Seitenerosionen sowie Uferanrissen, wobei kleine Partikel aus der Gewässersohle oder den Böschungen herausgelöst und in der fließenden Welle mittransportiert werden. Dabei wird das Material teilweise in den Gerinnen und Stauräumen abgelagert und bei höheren Durchflüssen wieder mobilisiert. In Seen und Reservoirs werden große Feststoffvolumina abgelagert.

Auch durch anthropogene Tätigkeiten wie Arbeiten im Flussbett, Spülungen von Stauräumen, Einleitungen von Abwässern oder Einträge aus der Landwirtschaft können Feststoffe in den Fluss eingebracht werden, wodurch die Schwebstoffkonzentration in den Gewässern deutlich erhöht wird.

Hinsichtlich des Schwebstofftransportes können flächige (aktueller Landabtrag), lineare (Flussabschnitte mit Mobilisierung von sedimentiertem Material) und punktuelle (z. B. Einleitungen, lokale Anrisse im Flussbett ...) Quellen unterschieden werden.

Eine Unterscheidung der einzelnen Quellen anhand der gewonnenen Schwebstoffdaten ist oft nicht möglich, und diese Anteile können auch immer wieder variieren. Faktoren, die den Eintrag von Feststoffen in das Gerinne beeinflussen, sind in erster Linie Gebietsparameter wie Niederschlag,

Wind, Temperatur, Geologie, Vergletscherung, Bodenart, Bodennutzung, Vegetation und Geländeneigung. Die Mobilisierung von Schwebstoffen im Gerinne hängt mit den hydraulischen Parametern des Gerinnes (Abfluss, Wassertiefe, Sohl Schubspannung, Fließgeschwindigkeit, Gefälle) und mit der Korngröße und Korngrößenverteilung des Sohlmaterials zusammen.

Bei langjährigen Frachtbilanzen widerspiegeln die Daten von Schwebstofffracht und Geschiebefracht jedoch in ihrer Gesamtsumme gut den Materialabtrag aus einem Einzugsgebiet. Anthropogene Entnahmen und Zugaben von Feststoffen sind hierbei allerdings zusätzlich in Rechnung zu stellen.

2.3 Bedeutung der Schwebstoffe

Maniak (1997) weist darauf hin, dass Schwebstoffe im Allgemeinen den größten Anteil an transportierten Feststoffen ausmachen und somit von großer Bedeutung bei den Verlandungsprozessen (sedimentierte Schwebstoffe) von Flussprofilen und deren Vorländern, Hafenbecken, Speicheranlagen und Seen sind. Da bei großen Durchflussmengen auch ein hoher Anteil an Schwebstoffen transportiert wird, kann in strömungsberuhigten Bereichen die Transportkapazität unterschritten werden und dadurch Sedimentation auftreten. Die geringere Turbulenz erhöht die Sinkgeschwindigkeit der noch in Schwebelage gehaltenen Teilchen und bewirkt damit die erhöhte Ablagerungsrate (*Maniak, 1997*). Dieser Umstand tritt besonders dann schadensbildend auf, wenn schwebstoffbelastete Hochwässer auf intensiv genutzte Flächen ausufernd ablagern. Daneben sind Schwebstoffe auch durch ihre Fähigkeit, organische wie anorganische Schadstoffe zu adsorbieren, bedeutsam für eine toxikologische Verunreinigung von überfluteten Gebieten (*Maniak, 1997*).

In wasserwirtschaftlich genutzten Stauräumen verursachen Schwebstoffablagerungen negative wirtschaftliche Auswirkungen, da der Nutzinhalt sukzessive verringert und die Funktionsfähigkeit der Betriebseinrichtungen (z.B. Grundablass) beeinträchtigt werden kann (*DVWK, 1986*).

Schwebstoffablagerungen bzw. deren Remobilisierung im Fließgewässerbett (Flussschlauch) haben neben dem Geschiebe bedeutende Auswirkungen auf die Soilmorphologie, indem sie die Durchflussquerschnitte verändern und damit auch den Hochwasserschutz und die Schifffahrt sowie die abiotischen Randbedingungen aquatischer Ökosysteme beeinflussen.

2.3.1 Ökologische Bedeutung der Schwebstoffe

Grundsätzlich sind Schwebstoffe natürlicher Bestandteil des Ökosystems. Schwebstoffe können in Abhängigkeit von Konzentration und Dauer aber auch schädlich auf die Biozönose wirken (z.B. im Rahmen von Stauraumpülungen, *Newcombe & Macdonald, 1991*). Schwermetalle und andere anorganische, sowie organische Schadstoffe beeinträchtigen die Gewässergüte des Gewässers, indem sie an Schwebstoffe gebunden und verfrachtet werden. Bei Nieder- und Mittelwasserabflüssen führt die Ablagerung von kontaminierten Schwebstoffen in strömungsberuhigten Gewässerabschnitten zur Sedimentakkumulation mit hohen Schadstoffgehalten. Hochwasser-

ereignisse bewirken oft eine schlagartige Remobilisierung dieser temporären Schwebstoffablagerungen, die dann einerseits zu einer Beeinträchtigung der Gewässergüte und andererseits zur Ablagerung und Immobilisierung von Schadstoffen auf Retentionsflächen führen.

2.3.2 Bedeutung der Schwebstoffe im Zusammenhang mit Flussbau und Hochwasserschutz

Anlandungen von Feinmaterial in Flussprofilen führen zu einer Verringerung der Durchflusskapazität, wodurch es bei Hochwasserereignissen früher und häufiger zu Ausuferungen kommen kann. Die extremen Hochwasserereignisse in den Jahren 2002 und 2005 in Österreich zeigten, dass viele Schäden an Objekten und in der Landwirtschaft mit dem Feststoffhaushalt zusammenhängen. Schwebstoffe können zu einer Vervielfachung des Schadens (z.B. bei Eigenheimen in Abhängigkeit der erreichten Überflutungshöhe um 10–40 %; bei Personenkraftwagen eine Erhöhung um 80%) und bei bestimmten Objekten zum Totalschaden führen (*Habersack et al., 2004*).

2.3.3 Bedeutung der Schwebstoffe bezüglich der energiewirtschaftlichen Nutzung von Fließgewässern

Nachtnebel et al. (1998) haben bei ihren Untersuchungen zum Schwebstoffhaushalt der Donau festgestellt, dass die Errichtung von Stauräumen im Bereich von Flusstaukraftwerken zur Erhöhung der hydraulischen Unterschiede zwischen Mittelwasser und Hochwasser führt und die Variabilität der Sedimentations- und Remobilisierungseffekte im Vergleich zu den freien Fließstrecken verstärkt wird. Die Sedimentation von Schwebstoffen in Speichern von Hochdruckanlagen führt zum Verlust von Totraum, aber auch zur Reduktion des zu bewirtschaftenden Speichervolumens. Außerdem bewirkt der Feststoffanteil im Triebwasser erhöhten Verschleiß an Turbinen und anderen exponierten Bauteilen (*Bogen, 2005*). Bei den periodisch erforderlichen Beckenentleerungen findet speziell bei Erreichen des freien Durchflusses am Grundablass eine starke Remobilisierung von sedimentiertem Material statt, was zu großen Konzentrationsspitzen im Vorfluter führen kann und ein einzugsgebietsbezogenes, optimiertes Stauraummanagement erfordert (*Habersack et al., 2001*). Entsprechendes Schwebstoffmonitoring kann helfen, Grenzwertüberschreitungen und Schadenspotentiale rechtzeitig zu erkennen um notwendige Steuerungs- und/oder Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

2.4 Ziele des Schwebstoffmonitorings

Schwebstoffe sind Teil des Monitoringprogramms von physikalischen Parametern an Fließgewässern, deren Erhebung im § 59c Wasserrechtsgesetz (WRG) i.d.g.F. sowie in der Wasserkreislauferhebungsverordnung (WKEV) 2006 geregelt ist. Im Rahmen des österreichweiten Basismessnetzes erfolgen an ausgewählten Messstellen neben der Messung von Wasserstand und Wassertemperatur auch die Ermittlung von Durchfluss, Schwebstoffkonzentration und Schwebstofftransport sowie der Korngrößenverteilungen. Darüber hinaus werden an wenigen Messstellen Geschiebemessanlagen betrieben.

2.4.1 Erfüllung des gesetzlichen Auftrags

Im Rahmen der Wasserrechtsgesetznovelle aus dem Jahr 2003, mit der die europäische Wasserrahmenrichtlinie 2000 in österreichisches Recht umgesetzt wurde, wurde der § 59c (3) aus dem Hydrographiegesetz 1979 § 1 (1) neu aufgenommen: „Die Erhebung des Wasserkreislaufes hat sich auf das Oberflächengewässer, das Grundwasser und die Quellen, den Niederschlag, die Verdunstung und die *Feststoffe* in den Gewässern hinsichtlich Verteilung nach *Menge und Dauer* [...] zu beziehen.“

Bezüglich der Messung der Feststoffe beinhaltet die WKEV (2006) im § 12 folgende Festlegungen:

1. *„An einer Schwebstoffmessstelle sind die Schwebstoffkonzentration und der Schwebstofftransport durch direkte Probenentnahmen und bei Eignung der Messstelle zusätzlich mit einem kontinuierlichen Messwerterfassungssystem zu ermitteln.“*
2. *„An einer Geschiebemesstelle ist der Geschiebetransport (Geschiebefluss) bzw. die Geschiebefracht zu bestimmen.“*
3. *„Als kontinuierliche Messwerterfassungssysteme kommen bei der Schwebstoffmessung Trübungssonden zum Einsatz. Für die Umrechnung der Sondenwerte in Schwebstoffkonzentrationen ist eine regelmäßige Entnahme von sondennahen Einpunktpunkten erforderlich. Für die Angabe der mittleren Schwebstoffkonzentration, des Schwebstofftransportes und der Schwebstofffracht ist die Ermittlung der Schwebstoffverteilung im Gewässerprofil bei unterschiedlichen Durchflüssen und verschiedenen Schwebstoffführungen erforderlich.“*
4. *„An Schwebstoffmessstellen ohne kontinuierliche Messwerterfassung sind mindestens einmal täglich Proben zu entnehmen. Um den Verlauf der Schwebstoffkonzentration erfassen zu können, sind bei Hochwasser zusätzliche Proben zu entnehmen. Bei Niedrigwasser kann die Häufigkeit der Probenentnahme auf zwei- bis dreimal wöchentlich reduziert werden.“*
5. *„Bei kontinuierlicher Messwerterfassung sind bei mittlerer Schwebstoffführung mindestens ein- bis zweimal wöchentlich, bei Hochwasser mindestens täglich sondennahe Schwebstoffproben zu entnehmen. Bei niedriger Schwebstoffführung kann die sondennahe Probenentnahme seltener erfolgen.“*

2.4.2 Messnetzkonzept

(Einrichtung eines Basismessnetzes gem. § 4, § 5 und § 7 WKEV 2006)

- § 4 (1) „Das staatliche Messnetz setzt sich aus dem **Basismessnetz** und dem **Sondermessnetz** zusammen.“
- (2) „Die Messstellen des Basismessnetzes sind ortsfeste, in Anbetracht der klimatischen und hydrologischen Schwankungen über lange Zeiträume betriebene Einrichtungen zur Erstellung von Wasserhaushaltsbilanzen von Flussgebieten und Grundwasserkörpern und zum Nachweis von natürlichen oder vom Menschen verursachten Änderungen des Wasserkreislaufes. Das Basismessnetz hat auch in sinngemäßer Anwendung die Ziele der überblicksweisen Überwachung gemäß § 59e WRG 1959 zu berücksichtigen.“
- § 5 (1) „Die Messstellen des Basismessnetzes sind mit dem Ziel auszuwählen:
1. dass bei Oberflächengewässern eine repräsentative Erfassung von Wasserstand, Durchfluss, Wassertemperatur und der Feststoffe innerhalb der unterschiedlichen hydrologischen Regime durchgeführt werden kann;
 4. dass auf zwischenstaatliche Vereinbarungen Rücksicht genommen werden kann;“
- (2) „Die repräsentative Erfassung bedeutet, dass die Ergebnisse der Messungen des Basismessnetzes mit Methoden der hydrologischen Regionalisierung Rückschlüsse auf unbeobachtete Gebiete und Wasserkörper [...] ermöglichen“
- § 7 „Im Sinne dieser Verordnung gelten als:
4. **Feststoffe:** Die gesamten der vom Wasser mitgeführten ungelösten Stoffe, wie das Geschiebe, die Schwebstoffe und Schwimmstoffe, ausschließlich Eis.
Geschiebe sind jene Gesteinsteile, die vom fließenden Wasser auf oder nahe der Gewässersohle gleitend, rollend oder springend fortbewegt werden. Schwebstoffe sind die im Wasser in mehr oder weniger gleichmäßiger Verteilung durch Turbulenz in Schwebelage gehaltenen Stoffe und Schwimmstoffe sind jene festen Stoffe, die auf der Wasseroberfläche und im Wasser schwimmen, ausgenommen Eis.
 5. **Feststoffmessstelle:** In der Regel eine ortsfeste Messeinrichtung an einem Fließgewässer zur kontinuierlichen Erfassung von Schwebstoffen und/oder Geschiebe. Sie kann eine Schwebstoffmessstelle und/oder eine Geschiebemesstelle sein. An einer Feststoffmessstelle sind weiters die Parameter Wasserstand und Durchfluss zu erfassen.“

Laut Anlage B der WKEV 2006 sind 34 Schwebstoffmessstellen verordnet.

2.4.3 *Bereitstellung von Grundlagendaten*

Folgende Zielsetzungen sollen durch die Messstellen des Basisnetzes erreicht werden:

- Erfassung der Einträge nach und der Austräge aus Österreich (Grenzwässer),
- Erfassung der zeitlichen Verteilung und der Bilanz des Schwebstofftransportes in ausgewählten Gewässerabschnitten,
- Erfassung der Einträge in ausgewählte Seen,
- Abschätzung von Erosionsraten bzw. des Schwebstoffabtrages in ausgewählten Einzugsgebieten,
- Erstellung langfristiger Monitoringreihen für die Abschätzung von Klimaeinflüssen auf Erosions- und Transportprozesse,
- Erfassung von Daten für wasserwirtschaftliche, wasserbauliche und ökologische Problemstellungen,
- Ermöglichung von Prozess-, Ursachen- und Wirkungsanalysen.

Die zur Erreichung der Zielsetzungen erforderlichen Grundlagendaten werden durch die Umsetzung eines entsprechenden Monitoringkonzeptes bereitgestellt. Dabei wird eine ausreichend genaue Erfassung der Schwebstoffkonzentrationen, des Schwebstofftransportes bzw. der Jahres- und Monatsfrachten gewährleistet. Hierfür ist eine kontinuierliche Aufzeichnung wünschenswert, um auch einzelne Ereignisse möglichst gut erfassen zu können.

Darüber hinaus ist auch die Ermittlung der Korngrößenverteilung wünschenswert, damit Grundlagendaten für Modellierungen für wasserwirtschaftliche, wasserbauliche und ökologische Problemstellungen zur Verfügung gestellt werden können.

2.4.4 *Bereitstellung von Daten für spezielle Fragestellungen*

Eine Ergänzung des Basismessnetzes für weiterführende Fragestellungen durch Sondermessstellen ist sinnvoll.

Sondermessstellen werden zeitlich begrenzt je nach Fragestellung eingerichtet und entsprechend den Anforderungen wird das jeweilige Messprogramm durchgeführt. Die Errichtung von temporären Messstellen mit kontinuierlichen, indirekten Messmethoden kann sehr aufwändig sein. Im Einzelfall kann auch mit der Entnahme von Einzelproben das Auslangen gefunden werden. Die Häufigkeit der Probenentnahme richtet sich nach dem Informationsbedarf.

Als Beispiel für die Errichtung einer Sondermessstelle kann aus der Energiewirtschaft das Monitoring bei Speicherentleerungen genannt werden.

3. METHODIK UND MONITORINGSTRATEGIE

3.1 Grundlegende physikalische Gegebenheiten und Probleme bei der Erfassung von Schwebstoffen

Aufgrund ihrer höheren Dichte im Vergleich zu Wasser unterliegen Schwebstoffe einer permanenten Sinkbewegung. Infolge der durch die Fließbewegung des Wassers auftretenden Turbulenzen werden bereits abgetauchte Pakete des Wasser-Schwebstoffgemisches mit höheren Schwebstoffkonzentrationen wieder in höhere Wasserschichten gefördert und umgekehrt. Da die Sinkgeschwindigkeiten maßgebend von den vorhandenen Korndurchmessern abhängen, reichen bei kleineren Korngrößen (Schluff und Ton) relativ geringe Turbulenzintensitäten aus, um eine annähernd gleichmäßige Verteilung der Schwebstoffe in der Lotrechten zu gewährleisten. Für größere Partikel sind wesentlich höhere Turbulenzen erforderlich und daher die Konzentrationen der größeren Partikel in Sohlnähe meist höher.

Die zeitlichen Schwankungen der Schwebstoffkonzentrationen hängen vorwiegend mit den Änderungen des Wasserstandes bzw. des Durchflusses zusammen, sie werden jedoch auch von der Verfügbarkeit des Materials und vom Niederschlagsgeschehen beeinflusst. Im Verlauf eines Hochwasserereignisses können große Mengen an Schwebstoffen transportiert werden, wobei das Maximum der Schwebstoffkonzentration meist vor dem Hochwasserscheitel erreicht wird. Als Grund hierfür kann z.B. das Ausräumen des Flussbettes von leichten Sedimenten bei anlaufender Hochwasserwelle genannt werden (*DVWK, 1986*). Die Veränderung der Schwebstoffkonzentration in Raum und Zeit wird in *Abbildung 1* veranschaulicht.

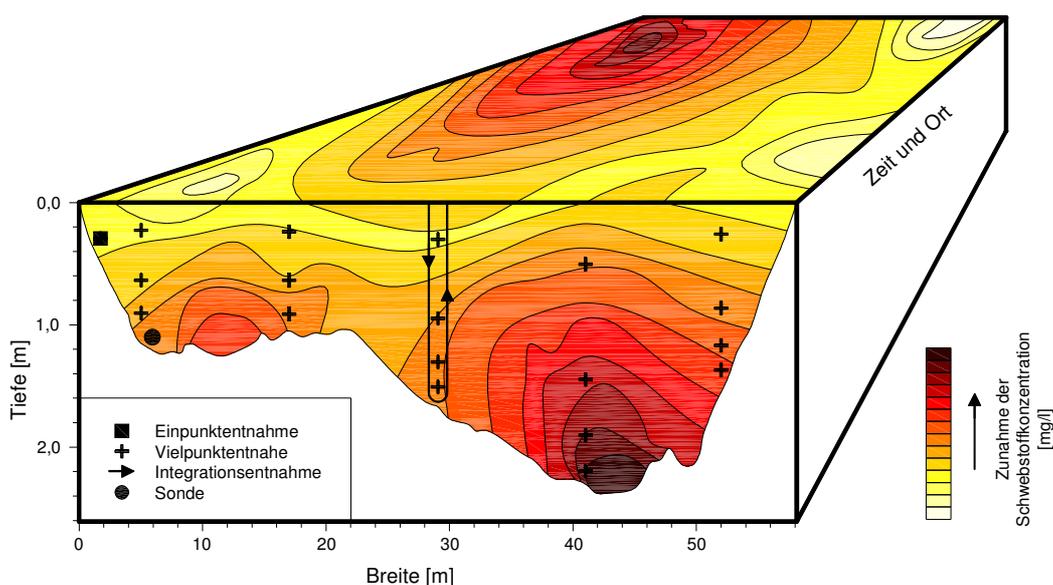


Abbildung 1: Variabilität der Schwebstoffkonzentration in Raum und Zeit (verändert nach BfG, 2003)

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, dass die Beprobung eines Fließgewässerquerschnittes mit einer Einpunkt-Entnahme häufig nicht ausreicht, um die auftretende zeitliche und räumliche Variabilität des Schwebstofftransportes repräsentativ erfassen zu können. Zur optimalen Erfassung wären daher Methoden erforderlich, die im betreffenden Querschnitt mit ausreichend zeitlicher Auflösung Konzentration und Fließgeschwindigkeit in einem geeigneten Raster messen. Da dies mit den derzeit verfügbaren Methoden nur in Ansätzen möglich ist, wird auf eine Kombination von Trübungsmessung und Probenentnahmen zurückgegriffen.

3.2 Methoden zur Erfassung der zeitlichen Variabilität der Schwebstoffkonzentration

3.2.1 Direkte Probenentnahmeverfahren

3.2.1.1 Einpunktentnahme

Bei der Einpunktentnahme wird an einer Stelle im Gewässer eine Schwebstoffprobe mit einem punktintegrierenden oder einem Momentanprobenentnahmegesetz entnommen. Die Entnahme kann von einer Brücke, von einer Seilkrananlage, vom Boot oder vom Ufer aus erfolgen (DVWK, 1986). Auch der Einsatz von Pumpprobenentnahmegesetzen ist möglich. Zur Erfassung der zeitlichen Variabilität sind wiederholt Entnahmen durchzuführen.

3.2.2 Indirekte Verfahren

Wie bereits in Kapitel 3.1 erläutert, ist die kontinuierliche Erfassung der Schwebstoffkonzentration Voraussetzung zur ausreichend genauen Ermittlung der zeitlichen Variabilität des Schwebstofftransportes. Das ist durch direkte Probenentnahmen derzeit nicht möglich, weshalb die Schwebstoffkonzentration indirekt durch die Messung der Trübung erfasst wird. Verschiedene Untersuchungen (z.B. Grasso et al., 2005) haben gezeigt, dass die Schwebstoffkonzentration eines Fließgewässers wesentlich besser mit der Trübung als mit dem Durchfluss oder Wasserstand korreliert. Um nun die Trübung als Ersatzparameter für die Schwebstoffkonzentration im Fließgewässer zu erfassen, bieten sich optische Messverfahren an, die die Verminderung der Sichtweite im Flusswasser durch optisch dichtere Einlagerungen (z.B. Schwebstoffe) im Streulicht- oder Durchlichtprinzip messen. Damit lässt sich die Gewässertrübung quantifizieren.

Die Trübungssonden werden standardmäßig vom Hersteller mittels Formazin kalibriert. Je nach Messverfahren und Anwendungsbereich werden in der Messtechnik unterschiedliche Ausgabeeinheiten verwendet.

Gebräuchliche Einheiten sind:

- FAU (Formazin Attenuation Units), Anwendung bei der Durchlichtmessung,
- FNU (Formazin Nephelometric Units), Streulichtmessung bei einem Winkel von 90°,
- FTU (Formazin Turbidity Units), Einheit in der Wasseraufbereitung.

Die optischen Methoden haben den Nachteil, dass die Verteilung der Korngrößen einen entscheidenden Einfluss auf die Messergebnisse hat. Kleine Korngrößen verursachen einen relativ hohen Trübungswert bei vergleichsweise kleiner Masse, während größere Körner aufgrund der kleineren spezifischen Oberfläche relativ geringe Trübungen hervorrufen (*Schoellhamer und Wright, 2003; Sillaber, 2004*). Es ist daher eine Umrechnung der Trübungsganglinie mittels Probenentnahmen in Schwebstoffkonzentrationen erforderlich, um daraus eine brauchbare Konzentrationsganglinie zu erhalten.

Weitere indirekte Verfahren zur Ermittlung der zeitlichen Variabilität des Schwebstofftransportes werden derzeit international in Forschungsprojekten (z.B. *Gray et al., 2003*) getestet (z.B. akustische Verfahren, Laser).

3.3 Methoden zur Erfassung der räumlichen Variabilität der Schwebstoffkonzentration im Querprofil

3.3.1 Direkte Probenentnahmeverfahren

3.3.1.1 Vielpunktentnahme

Für die Durchführung der Vielpunktentnahme wird der Durchflussquerschnitt in mehrere Abschnitte unterteilt, in deren Mitte Messlotrechten eingerichtet werden, für die in unterschiedlichen Tiefen je eine Probe entnommen wird. Die Anzahl der Lotrechten und die Anzahl der Messpunkte pro Lotrechte hängen von der Breite und der Tiefe des Gewässers ab (*DVWK, 1986*). Im Allgemeinen sind fünf bis zehn Lotrechte ausreichend, um die horizontale Verteilung der Schwebstoffe zu bestimmen (*Edwards und Glysson, 1999*).

Durch die gleichzeitige Bestimmung der lokalen Geschwindigkeiten in den jeweiligen Entnahmepunkten wird die Berechnung der geschwindigkeitsgewichteten mittleren Schwebstoffkonzentration (s_m) im Querprofil ermöglicht.

Laut *DVWK (1986)* gilt die Vielpunktentnahme als die genaueste Entnahmemethode zur Bestimmung des Schwebstofftransportes. Nachteilig wirkt sich der hohe zeitliche Aufwand aus, den die Durchführung einer Vielpunktentnahme mit sich bringt. Die Entnahmen sollten unter möglichst stationären Bedingungen stattfinden, da instationäre Bedingungen ein ungenaueres Ergebnis liefern.

3.3.1.2 Integrationsentnahme

Bei der Integrationsentnahme wird der Durchflussquerschnitt ebenfalls in mehrere Abschnitte unterteilt und das Entnahmegesetz in den jeweiligen Lotrechten mit konstanter Geschwindigkeit vom Wasserspiegel bis zur Sohle abgesenkt und hochgefahren. Bei Verwendung von Entnahmegesetzen mit Ventilsteuerung kann die Probe entweder beim Absenk- oder beim Hebevorgang gewonnen werden. Man erhält somit die mittlere geschwindigkeitsgewichtete Schwebstoffkonzentration

zwischen der Oberfläche und dem Sohlbereich für jede Messlotrechte. Voraussetzung dafür ist, dass das Einströmen in das Messgerät weitestgehend isokinetisch erfolgt. Der Vorteil der Integrationsentnahme gegenüber der Vielpunktentnahme liegt in der schnelleren Durchführbarkeit einer Beprobung eines Profils. Diese Methode wird jedoch mit zunehmender Fließgeschwindigkeit ungenauer, weshalb die Vielpunktentnahme bevorzugt eingesetzt werden sollte (DVWK, 1986).

3.3.2 Indirekte Verfahren

Prinzipiell sind sämtliche Messgeräte mit indirektem Messverfahren, die mobil einsetzbar sind, dazu geeignet, die räumliche Variabilität der Schwebstoffkonzentration zu erfassen.

3.3.2.1 Akustische Verfahren

„Acoustic Doppler Current Profiler“ (ADCP²) nutzen den Dopplereffekt zur Geschwindigkeitsmessung in Fließgewässern. Von den ins Gewässer getauchten Ultraschallwandlern werden Schallwellen ausgestrahlt, die an den Schwebstoffteilchen oder an der Gewässersohle reflektiert und von den „Transducern“ wieder detektiert werden. Über die registrierte Frequenzverschiebung lässt sich die Fließgeschwindigkeit des Mediums bestimmen.

Die rückgestrahlte Echointensität ist hauptsächlich von der Wellenlänge des Ultraschallsignals, von der Schwebstoffkonzentration und von der Korngrößenverteilung der Partikel abhängig (Müller *et al.*, 1993). Mit Hilfe dieses Zusammenhanges, der mit der Sonargleichung beschrieben werden kann, ist es möglich, detektierte relative Echointensitäten in absolute Intensitäten und in der Folge in Schwebstoffkonzentrationen umzurechnen. Dazu sind allerdings zeitgleich mit der ADCP-Aufnahme örtlich zuordenbare Wasserproben im betrachteten Fließgewässerprofil zu gewinnen, im Labor gravimetrisch auszuwerten und schließlich mit den absoluten Intensitäten der jeweiligen Messzellen in Beziehung zu setzen (Aardom und Mol, 2005).

Diese Daten können zur Bestimmung der mittleren Schwebstoffverteilung im Querprofil und zur Berechnung des Querprofilbeiwertes herangezogen werden.

3.2.2.2 Optische Verfahren

Trübungssonden oder andere optische Messgeräte können grundsätzlich an beliebigen Punkten im Querprofil mobil positioniert werden. Wird die Sonde mit einem Probenentnahmegesetz kombiniert (Abbildung 2), lässt sich neben der Konzentration der jeweiligen Kalibrierprobe auch die zeitliche

² ADCP ist ein eingetragenes Warenzeichen von RD Instruments, Inc. (RDI). Der Begriff hat sich aber inzwischen allgemein zur Bezeichnung von Akustischen Doppler Geräten zur Strömungs- und Durchflussmessung etabliert und wird im Folgenden auch in diesem Sinne verwendet.

Variabilität der Schwebstoffkonzentrationen in den Entnahmepunkten bestimmen. Bei guter Korrelation der Kalibrierproben mit den Ergebnissen der Sondenaufzeichnung lässt sich die Anzahl der zu entnehmenden Proben reduzieren. Weiters ist eine Steigerung der Messgenauigkeit durch die Erhöhung der Messpunktdichte möglich, ohne dabei den Umfang der Kalibrierproben zu vergrößern. Derzeit müssen die Messwerte noch mittels Kabel an das Ufer übertragen werden, was einen gravierenden Nachteil für diese Methode darstellt. Der Versuch, den Messwertumformer im Bereich des Laufwagens der Messeilbahn zu positionieren, hat gezeigt, dass auch diese Variante zielführend sein kann. Sie besitzt aber den Nachteil, dass ohne Funkfernübertragung die Messwerte während des Messvorganges nicht einsehbar und damit nicht kontrollierbar sind.



Abbildung 2: Trübungssonde an Probenentnahmegesetz (links) bzw. an Gewichtsstück des Seilflügels (rechts)
(Fotos: Stimpfl)

3.2 Anforderung an Geräte für die Erfassung der Schwebstoffkonzentration

3.2.1 Anforderung an Geräte für die direkte Probenentnahme

Die Entnahme von Schwebstoffproben aus dem Fließgewässer kann mit einfachen Schöpfgefäßen bis hin zu technisch aufwändigen Entnahmegesetzen erfolgen.

Entnahmegesetze, die in der Lage sind isokinetisch zu sammeln, sind dabei bevorzugt einzusetzen. Isokinetisch bedeutet, dass die Einströmgeschwindigkeit in den Sammler gleich der Fließgeschwindigkeit des umgebenden Gewässers ist. Bei einer zu hohen Einströmgeschwindigkeit weist die Probe eine geringere Konzentration als tatsächlich vorhanden auf, eine niedrigere Einströmgeschwindigkeit hat eine gegenteilige Wirkung. Aufgrund der Inhomogenität des Schwebstofftransportes sollte die Probenentnahme zeitlich integrierend erfolgen, um eine möglichst repräsentative Probe zu erhalten (Im Idealfall wäre eine Entnahmedauer von mindestens einer Minute erforderlich, in der Praxis ergibt sich die Entnahmedauer als Funktion des Probevolumens und der Einströmgeschwindigkeit). Die Schwebstoffprobe sollte direkt in die Probenflasche gelangen, da ein Umfüllen zu Materialverlust führen kann (Anhaften des Materials an Gefäßwänden). Die

Flasche mit einem Mindestvolumen von 1 Liter sollte nicht vollgefüllt werden (Falleneffekt), jedoch eine Mindestmenge von ½ Liter enthalten. Auch ein Einsatz bei hohen Fließgeschwindigkeiten ist wünschenswert, weshalb das Entnahmegesetz ein entsprechendes Gewicht aufweisen muss, damit es in Position gebracht und gehalten werden kann. Durch eine strömungsgünstige Form des Entnahmegesetzes kann die Abdrift gering gehalten werden. Für eine beliebige Positionierung im Gewässer muss das Entnahmegesetz mittels einer Messeilbahn oder eines Messanhängers (z.B. von Brücken) einsetzbar sein. Für den Einsatz bei Vielpunktentnahmen muss das Entnahmegesetz, außer in seichten, langsam fließenden Gewässern, mit einer Ventilsteuerung ausgestattet sein. Um die Probenentnahme bei gleichbleibenden Verhältnissen durchführen zu können, sollte der Zeitbedarf zur Bedienung des Gerätes und zur Probengewinnung möglichst gering sein.

3.4.2 *Anforderung an Geräte für die indirekte Erfassung der Schwebstoffkonzentration*

Zur indirekten Erfassung von Schwebstoffkonzentrationen stehen grundsätzlich optische und akustische Verfahren zur Auswahl. Bei der Verwendung von optischen Sensoren sollte darauf geachtet werden, dass der Messbereich von 0,001 bis über 50 g/l reicht. Da jedoch unter besonderen Verhältnissen, wie z.B. Murenabgänge, auch größere Konzentrationen auftreten können, ist der Messbereich an das jeweilige Gewässer anzupassen. Die Trübungssonden sollten mit einem Reinigungssystem ausgestattet sein, da eine Verschmutzung der Sondenoptik zur Verfälschung der Daten führt. Im *Anhang A* sind nur jene Typen von Trübungssensoren beschrieben, die entweder bereits seit längerem an Messstellen in Österreich erfolgreich eingebaut sind oder über einen Zeitraum von mehreren Wochen getestet wurden und sich für den Zweck der Schwebstoffmessung als geeignet erwiesen haben. Die Verwendung anderer Trübungssensoren ist nach Durchführung einer entsprechenden Eignungsprüfung zulässig, wobei besonders auf geringe Messunsicherheiten und eine sehr gute Reproduzierbarkeit im gesamten Messbereich geachtet werden soll.

Zur Bestimmung der Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil mittels akustischer Methoden können mobile ADCP-Geräte eingesetzt werden. Beim Einsatz von ADCP-Geräten ist darauf zu achten, dass eine Auswertung hinsichtlich Konzentrationsverteilung möglich ist.

3.5 *Anforderung an die Laborauswertung von Schwebstoffproben*

Um die Schwebstoffkonzentration der gewonnenen Proben bestimmen zu können, werden diese standardmäßig im Labor gravimetrisch auf den Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen untersucht. Dies erfolgt durch Filtration der gesamten Probenmenge mittels Druck- oder Vakuumfiltrationsanlagen unter Verwendung von Membranfiltern auf Cellulosebasis (oder gleichwertige Filter nach Durchführung einer Eignungsprüfung) mit einem Porendurchmesser von 0,45 µm.

3.6 Korngrößenverteilung

Für bestimmte Anwendungen, wie etwa Schwebstoffmodellierungen, sind Angaben zur Korngrößenverteilung erforderlich. Die Korngrößenverteilung unterliegt, ähnlich wie die Schwebstoffkonzentration, einer zeitlichen und räumlichen Variabilität. Im Rahmen der Bereitstellung von Grundlagendaten wäre die Erhebung der mittleren Korngrößenverteilung über den Querschnitt bzw. der Frachten der einzelnen Kornfraktionen, wie lt. ISO 4363 (2002) beschrieben, zu aufwändig. Um für allfällige Projekte wenigstens einen Überblick über die vorhandene Korngrößenverteilung im Profil zu erhalten, werden an den Basismessstellen fallweise Einpunktproben für Korngrößenuntersuchungen gewonnen und entsprechend ausgewertet. Dabei ist die Angabe der Entnahmebedingungen, wie Zeitpunkt der Entnahme, Entnahmegesetz, genaue Entnahmestelle im Gewässer und Durchflussverhältnisse während der Probenentnahme, notwendig. Weiters muss die Methode der Laboranalytik bekannt gegeben werden, da unterschiedliche Auswertemethoden unterschiedliche Ergebnisse liefern.

3.7 Monitoringstrategie

Da bei der Erfassung der Schwebstoffe eine Verknüpfung von direkten und indirekten Methoden sinnvoll erscheint, leitet sich die angewendete Monitoringstrategie in Österreich aus einer Kombination der o. a. Messmethoden ab. Optische Sonden erfassen kontinuierlich die Trübung in einem Punkt des Gewässers. Da die Aufzeichnungen stark von der zeitlichen Variabilität der Korngrößenverteilung im Gewässer beeinflusst werden, müssen diese durch die Entnahme von Flaschenproben in der Nähe der Sonde kalibriert (Kalibrierproben, vgl. *Kapitel 4.4*) werden. Dadurch wird eine Ganglinie der Schwebstoffkonzentration in Sondennähe ermittelt. Mittels Vielpunkt-, Integrationsentnahmen oder ADCP-Messungen wird die Verteilung der Schwebstoffkonzentration über das Querprofil erhalten und die, mit der Geschwindigkeit gewichtete, mittlere Konzentration im Querprofil berechnet. Durch Vergleich der mittleren Schwebstoffkonzentration mit jener der Kalibrierprobe in Sondennähe wird eine Zeitreihe der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil generiert. Eine einfache Multiplikation dieser Zeitreihe mit jener des Durchflusses ergibt den Schwebstofftransport, aus dem durch Integration über die Zeit für beliebige Zeiträume Schwebstofffrachten bestimmt werden können.

Die in Österreich angewendeten Messmethoden und die Häufigkeit ihrer Durchführung sind als Überblick in *Tabelle 1* dargestellt.

Tabelle 1: Messstrategie für Basismessstellen in Österreich im Überblick

Parameter	Methode	Häufigkeit
Trübung	Trübungssonde	Kontinuierlich
Schwebstoffkonzentration in Sondennähe	Einpunktentnahme mit Schöpfgefäß oder Pumpsammler in Sondennähe (Kalibrierproben)	bei Hochwasser mind. täglich; bei mittlerer Schwebstoffführung mind. 1–2 x wöchentlich; bei niedriger Schwebstoffführung seltener
Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil	Vielpunktentnahme, Integrationsentnahme, kombinierte ADCP-Messung mit Probenentnahme	2–4 x jährlich bei unterschiedlichen Durchflüssen je nach Absicherung des Querprofilbeiwertes
Korngrößen	Probenentnahme zur Gewinnung einer ausreichenden Menge an Schwebstoffen	anstrebenswert: mindestens 1x jährlich bei höherer Wasserführung

3.8 Sonderfälle

An bereits länger bestehenden Messstellen oder bei historischen Messungen ist die Einpunktprobenentnahme die bisher übliche Methode und wird bis zur vollständigen Umstellung der Messmethodik teilweise noch weiterhin verwendet. Darüber hinaus kann die Einpunktentnahme ersatzweise zur Anwendung kommen, wenn aufgrund von auftretenden Schwierigkeiten (z.B. Biofouling bei Sonden) kein umfangreicheres Monitoring durchgeführt werden kann. Auch kann es z.B. infolge Blitzschlages zu Ausfällen der Sonden kommen, sodass keine kontinuierlichen Trübungswerte aufgezeichnet werden. In solchen Fällen muss von der üblichen Monitoringstrategie abgewichen werden und die Schwebstoffbeobachtung in geringerem Umfang und an die jeweilige Situation angepasst durchgeführt werden. Die Durchführung einer alternativen Monitoringstrategie ist notwendig, wenn

- die räumliche Verteilung nicht ermittelt werden kann,
- keine kontinuierliche Aufzeichnung vorhanden ist,
- nur Einpunktproben entnommen werden können.

Bei der Auswertung bezüglich Schwebstofftransport und -fracht sind Abweichungen von der Anleitung in *Kapitel 5* zu berücksichtigen. So muss beim Fehlen von Sondaufzeichnungen anhand der Einpunktentnahmen und des Durchflusses eine kontinuierliche Schwebstoffganglinie konstruiert werden. Ist keine Information über die Querverteilung im Gewässer vorhanden, so wird angenommen, dass die Konzentration am Entnahmepunkt der mittleren Konzentration im Querprofil entspricht. Die Proben sollten jedoch immer an der selben Stelle des Gewässers entnommen werden. Zur Einschätzung der Repräsentativität der gewählten Entnahmestelle sollten zusätzliche Entnahmen über das Querprofil verteilt durchgeführt und zur Beurteilung herangezogen werden.

4. MESSANLEITUNG

4.1 Lage der Messstellen

Schwebstoffmessstellen sind so zu errichten und zu betreiben, dass das Schwebstoffmonitoring während des ganzen Jahres möglich ist und die Messergebnisse als repräsentativ für den Gewässerabschnitt angesehen werden können. Daher ist schon bei der Wahl der Lage der Messstelle als auch bei der Positionierung der Sonde im Gewässer auf Strömungsverhältnisse, Anlandungs- und Erosionstendenzen, Eisbildung, Trockenfallen und Einschotterung der Sonde, Biofouling, Einleitungen sowie Verkrautung Rücksicht zu nehmen.

4.1.1 *Schwebstoffmessstellen im Bereich von Durchflusspegeln*

Wie bei der Auswahl von Pegelstellen zur Wasserstandsmessung ist auf eine zuverlässige Ermittlung des gesamten Durchflusses und Schwebstofftransportes speziell bei Hochwasser zu achten. Auch im Hochwasserfall sollten der Betrieb und die Erreichbarkeit gewährleistet sein. Vor allem bei Messstellen des Basismessnetzes sollten die hydraulischen Randbedingungen im Bereich des Pegels über den gesamten Messbereich weder durch Rückstau eines Vorfluters, eines Stauraums noch durch Uferbewuchs beeinflusst sein.

Das Messprofil ist so zu wählen, dass sich möglichst gleichförmige Strömungsverhältnisse einstellen, damit die Geschwindigkeits- und Schwebstoffverteilung im Querprofil bei unterschiedlichen Wasserständen annähernd gleich bleiben. Außerdem sollten sich im Bereich der Messstelle keine Kehrströmungen ausbilden.

4.1.2 *Schwebstoffmessstellen im Bereich der Wehranlagen von Flusstaukraftwerken*

Die Trübungsmessung sowie die Kalibrierentnahmen sollten im Unterwasser von Wehren vorgenommen werden. Dabei ist darauf zu achten, dass bei allen Betriebszuständen (Turbinendurchfluss, Wehrüberlauf) ein repräsentatives Messergebnis sichergestellt ist. Werden Trübungssonden unmittelbar unterhalb der Kraftwerke eingesetzt, sollte sichergestellt sein, dass es zu keiner Beeinträchtigung der Messung durch Luftblasen kommt.

4.2 Messstelleneinrichtung

Da zur Bestimmung von Schwebstofffrachten der Durchfluss am Pegel bekannt sein muss, ist bei Basismessstellen der Durchfluss kontinuierlich zu bestimmen.

Zur kontinuierlichen Erfassung der Schwebstoffe ist es notwendig, die Messstelle mit einem Trübungssensor auszustatten. Dieser sollte direkt ins Fließgewässer eingesetzt werden. Die

Messoptik sollte dabei entweder in Fließrichtung oder orthogonal dazu im Gewässer positioniert werden. Prinzipiell wäre eine wasserstandsabhängige Höhenpositionierung der Trübungssonde im Fließgewässer wünschenswert, was jedoch nur mit großem Aufwand realisierbar ist. Die Höhe über der Sohle sollte so gewählt werden, dass ein Trockenfallen möglichst vermieden wird, und dass bei höheren Abflüssen Geschiebetrieb weder die aufgezeichnete Trübung verfälscht noch die Messeinrichtung beschädigt. Einflussfaktoren für allfälliges Biofouling sind zu berücksichtigen (siehe *Kapitel 4.3.2*).

Ist ein direkter Einbau der Sonde in das Gewässer nicht möglich, kann eine Trübungssonde in ein Rohrsystem eingebaut und durch permanentes Pumpen von Flusswasser die Trübung somit kontinuierlich aufgezeichnet werden. Dem Vorteil einer jederzeitigen Zugänglichkeit für die Sondenwartung steht eine mögliche Störung der Schwebstoffproben durch Pumpe und/oder Rohrleitung (Zerstörung von Flocken, selektive Entnahme) gegenüber. Bypass-Lösungen haben sich aus Gründen des Pumpenbetriebs und der repräsentativen Probenentnahme an einigen Messstellen nicht bewährt.

Die Halterung des Sensors sollte so gestaltet sein, dass eine Bergung des Messinstrumentes zu Wartungszwecken bei nahezu allen Durchflussverhältnissen möglich ist. Hierfür kommen Klapp- und Schienenkonstruktionen zum Einsatz (*Abbildung 3*).



Abbildung 3: links: Schienenkonstruktion für Solitax ts-line; Feldbach/Raab (Foto: Kerschbaumsteiner)
rechts: Klappkonstruktion für Solitax ts-line; Steyr/Enns (Foto: Altenhofer, 2006)

Es wird empfohlen, die Messstellen folgendermaßen auszustatten:

- Stromanschluss,
- Entsprechende Vorrichtung zur jederzeitigen Wartung und Reinigung der Sonde,
- Messeilbahn mit
 - möglichst hoher Fahrtgeschwindigkeit (besonders für die Vielpunktentnahme) und ausreichender Traglast
 - entsprechender Anordnung der Seilhöhe und Spannvorrichtung zur problemlosen Bedienung und Manipulation der Sammler im Pegel-/Windenhäus.

- Pegelhaus mit
 - Türöffnung in ausreichender Breite und Höhe für die Messeilbahn, besonders für die Durchführung von kombinierten Geschwindigkeits- und Schwebstoffmessungen,
 - einer Manipulationsplattform außerhalb des Pegelhauses für die Entleerung von Entnahmegerten,
 - ausreichendem Platzangebot für sachgerechte Proben- und Flaschenlagerung (Kühlschrank),
 - robusten Bodenbelägen und Druckluft für Gerätereinigung im Pegelhaus,
 - einer Wasserablaufmöglichkeit (Gully) im Fußboden mit entsprechenden Neigungsverhältnissen.

Alternativ können auch von Brücken oder Messschiffen aus Durchfluss- und Schwebstoffmessungen durchgeführt werden.

4.3 Kontinuierliche Sondenaufzeichnung

Die Einstellungen der Trübungssonden sind je nach Messverfahren unterschiedlich zu wählen. Grundsätzlich wird empfohlen, die Messwerte in mg TS/l aufzuzeichnen. Eine Aufzeichnung in Trübungseinheiten ist ebenfalls möglich, da ohnehin eine Kalibrierung anhand der sondennahen Proben durchgeführt wird. Des Weiteren wird festgelegt, die Messwerte mindestens im 15 min-Intervall, empfohlen als 15 min-Mittelwert, und mit einer Ansprechzeit von 1 min aufzuzeichnen. Die Art der Aufzeichnung muss dokumentiert werden.

4.3.1 Datenaufzeichnung und Datenübertragung

Bei der Wahl des Messbereichs einer Trübungssonde ist zu beachten, dass auch hohe Konzentrationen, wie sie bei Hochwasserereignissen auftreten, erfasst werden. Der Messbereich ist daher an das jeweilige Gewässer anzupassen (vergleiche *Kapitel 3.4.2*).

Eine Fernübertragung der Daten ist jedenfalls empfehlenswert und kann über Stromausgänge oder über Bussysteme organisiert werden. Je nach Möglichkeit ist wegen der Ausgabegenauigkeit den Bussystemen der Vorzug zu geben. Bei Verwendung analoger Übertragung auf Datenlogger ist auf die ausreichende Genauigkeit bei der Übertragung zu achten. Die Einstellungen sind so zu treffen, dass der Messbereich nicht überschritten wird. Dies kann durch zwei Datenkanäle gelöst werden, wobei ein Kanal den unteren Schwebstoffbereich mit hoher Auflösung und die andere Leitung den vollen Messbereich überträgt. Zur Kontrolle sollten die Daten auch direkt am Datenlogger ausgelesen werden.

4.3.2 Biofouling

Unter „Biofouling“ wird der Aufwuchs eines Algenfilms verstanden, der sich am Sensor bzw. auf der Optik ansetzt und so eine höhere Schwebstoffkonzentration vortäuscht. Dieses Problem wurde an Messstellen beobachtet, an denen Sonneneinstrahlung an der Messoptik auftritt. Haupt-einflussfaktoren dafür sind z.B. geringe Einbautiefe, geringe Trübung und fehlende Beschattung. Höhere Fließgeschwindigkeiten und niedrige Wassertemperaturen bewirken geringeres Biofouling.



Abbildung 4: **Biofouling an Sonden** (Foto links: Wakolbinger, Foto rechts: Kerschbaumsteiner)

Entsprechend der Anfälligkeit des Messstandortes für „Biofouling“ ist eine besondere Betreuung der Sonde erforderlich. Darunter ist die manuelle Entfernung eines Algenfilms auf der Messoptik zu verstehen, da der Wischer bzw. die Druckluftreinigung diesen nicht zu entfernen vermag. Um diesen erhöhten Aufwand zu minimieren, wird das Problem „Biofouling“ Gegenstand weiterer Studien sein. Eine konstruktive Maßnahme zur Abschirmung der Sonneneinstrahlung und somit zur Verhinderung des Auftretens von Biofouling ist in *Abbildung 5* dargestellt.



Abbildung 5: **Konstruktive Maßnahme zur Verhinderung von Biofouling** (Fotos: Kerschbaumsteiner)

4.3.3 Instandhaltung und Wartung

Die Sonde ist regelmäßig, mindestens einmal im Jahr, aus dem Gewässer zu bergen und von Verunreinigungen zu befreien. Das Reinigungsintervall muss je nach Häufigkeit und Stärke des Auftretens von Biofouling gewählt werden. Die Optik kann mit herkömmlichen Glas- und Scheibenreinigungsmitteln, bei stärkerer Verschmutzung mittels Algizid oder 5 %iger Salzsäure, gesäubert werden. Wenn Treibgut (Äste, Plastiksäcke ...) die Sonde bzw. die Sondenbefestigung verlegt, ist dieses sofort zu entfernen.

Die Lebensdauer der Gummilippen eines Wischers ist sowohl vom Wischintervall als auch von der Art der zu entfernenden Beläge abhängig, woraus sich eine individuelle Lebensdauer ergibt. Die Wischer sind mindestens einmal jährlich auf Verschleißerscheinungen hin zu untersuchen und gegebenenfalls zu wechseln.

Ein Service der Sonden ist entsprechend der Herstellerangaben durchzuführen.

4.4 Kalibrierprobenentnahme

Die Kalibrierprobenentnahme (Einpunktentnahme) erfolgt durch Absenken einer 1000 ml Weithalsflasche – befestigt mit einem Flaschenhalter an einer Stange oder am Seil – möglichst nahe der Sondenoptik. Die Flasche ist möglichst schnell auf die entsprechende Wassertiefe abzusenken und zu warten, bis keine Luft aus dem Schöpfgefäß entweicht. Anschließend ist die Probe rasch aus dem Gewässer zu ziehen. Dabei ist darauf zu achten, dass beim Bergen der Flasche kein Sohlsubstrat aufgenommen wird. Bei der Verwendung eines Entnahmegerätes an einer Stange kann ein Einlaufrohr montiert werden, um zeitlich integrierte Proben zu gewinnen. Dabei ist die Probenflasche so ins Wasser zu tauchen und dort zu halten, dass die Luft vollständig entweichen kann. Sobald keine Luftblasen mehr aufsteigen, kann das Entnahmegerät aus dem Wasser gezogen werden. Bei schnell fließenden Gewässern und bei der Entnahme von Brücken aus hat sich bewährt, das Entnahmegerät über dem Wasserspiegel solange parallel zur Fließrichtung zu schwingen, bis die „Schwinggeschwindigkeit“ ungefähr der Fließgeschwindigkeit entspricht. Anschließend wird die Probeflasche am flussaufwärts gelegenen Wendepunkt der Pendelbewegung ins Wasser gesenkt, um sie mit der fließenden Welle abdriften zu lassen.

Zur Entnahme von Kalibrierproben können auch Pumpprobensammler eingesetzt werden.

Das Entnahmeintervall von Kalibrierproben kann je nach Durchfluss variieren, im Normalfall sollte eine Entnahme wöchentlich erfolgen. Bei niedriger Schwebstoffführung kann die Entnahme seltener erfolgen, während bei Hochwasserereignissen mindestens einmal am Tag Entnahmen erforderlich sind (*siehe Tabelle 1*).

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Probenentnahmen sollte bei jeder Messstelle ein Schwebstoffprotokoll aufliegen, in dem der Zeitpunkt (Datum und Uhrzeit) der Einpunktprobenentnahme und der Wert der Sondenanzeige festgehalten werden. Eine Bergung und

Reinigung der Sonde sollte ebenfalls im Protokoll vermerkt werden. Die Erstellung eines Schwebstoffprotokolls kann in Anlehnung an jenes im *Anhang B* erfolgen.

4.5 Ermittlung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil

Die Ermittlung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentration dient der Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil und sollte bis zur Absicherung der Kennlinie des Querprofilbeiwertes (*Kapitel 5.4*) 2–4 mal im Jahr und bei möglichst unterschiedlichen Durchflüssen und Schwebstoffführungen durchgeführt werden. Um eine hohe Qualität bei der Probenentnahme gewährleisten zu können, sind diese nach den *Kapiteln 4.5.1 bis 4.5.3* durchzuführen, wobei auch die Ausführungen aus *Kapitel 4.6* zu berücksichtigen sind.

4.5.1 Vielpunktentnahme

Da die Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration über das Querprofil mittels Vielpunktentnahme geschwindigkeitsgemittelt erfolgt, ist zusätzlich zur Probenentnahme die Messung der Fließgeschwindigkeit in den Entnahmepunkten erforderlich.

Vielpunktentnahmen können bis zu Fließgeschwindigkeiten von 4 m/s durchgeführt werden. Die Proben sollten möglichst isokinetisch entnommen werden. Bei höheren Fließgeschwindigkeiten treten Bedingungen auf, die eine punktintegrierende Probenentnahme nicht mehr zulassen (*Edwards & Glysson, 1999*). Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass bei diesen Verhältnissen eine Probenentnahme an der Oberfläche ausreichend ist, da bei hohen Fließgeschwindigkeiten aufgrund der Turbulenz und bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten aufgrund des Fehlens der Sandfraktion eine gute Durchmischung angenommen werden kann. In *Abbildung 6* ist eine Vielpunktentnahme in vier Tiefenstufen dargestellt.

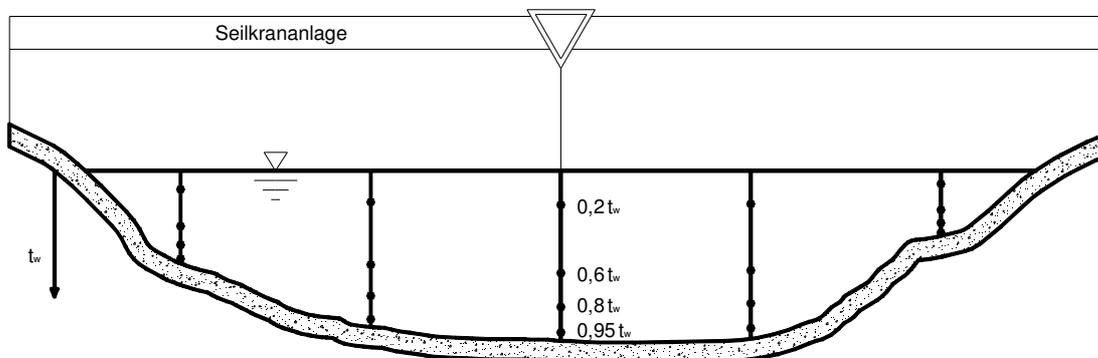


Abbildung 6: Darstellung einer Vielpunktentnahme in vier Tiefenstufen

Folgende Vorgangsweise ist zu wählen:

1. Die benetzte Breite des betreffenden Querprofils ist in 5–10 Abschnitte identischer Breite (Rundung der Breite zur einfacheren Teilung ist möglich) einzuteilen.
2. Die Stationierung der Messlotrechten ist jeweils durch die Mittelpunkte der vorher definierten Breitenabschnitte zu legen.
3. Die Anzahl der Entnahmepunkte je Lotrechte (normalerweise 3–5 Entnahmepunkte in gleichen relativen Entnahmetiefen) ist festzulegen. Die Entnahmetiefe wird vom Wasserspiegel aus berechnet (t_w = Wassertiefe in der Lotrechten)
 - 5-Punkt-Methode: $0,05 * t_w$, $0,2 * t_w$, $0,6 * t_w$, $0,8 * t_w$, $0,95 * t_w$
 - 4-Punkt-Methode: $0,2 * t_w$, $0,6 * t_w$, $0,8 * t_w$, $0,95 * t_w$
 - 3-Punkt-Methode: $0,2 * t_w$, $0,6 * t_w$, $0,8 * t_w$
 - 2-Punkt-Methode: $0,2 * t_w$, $0,8 * t_w$
 - 1-Punkt-Methode: $0,6 * t_w$
4. Zeitgleich mit der Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde sind der Wasserstand und die Sondenanzeige im Protokoll (siehe *Anhang B*) festzuhalten.
5. Mittels Geschwindigkeitsmessgerät oder Sammler erfolgt die Bestimmung der Wassertiefen in den Messlotrechten. Bei sämtlichen Tiefenbestimmungen ist der Fehler infolge der Abdrift entsprechend zu kompensieren.
6. Beträgt die Wassertiefe weniger als 3,6 m, ist beim Einsatz eines 100kg Gewichtsstückes eines Seilflügels die Entnahmetiefe bei der 4- oder 5- Punktentnahme entsprechend anzupassen (Abstand Grundtaster – Flügelachse 18 cm, bei 50 kg Gewichtsstück normalerweise 16 cm). Ist damit der unterste Entnahmepunkt bis 5 cm vom Messpunkt $0,8 * h$ entfernt, kann der unterste Messpunkt entfallen. Dies tritt im Allgemeinen beim Einsatz eines 100 kg Gewichtsstückes bei Wassertiefen $< 1,15$ m auf.
7. Die Fließgeschwindigkeiten sind in den Entnahmepunkten zu bestimmen.
8. Es werden weiterhin der Wasserstand und die Sondenanzeige mit Zeitangabe im Protokoll vermerkt, während zeitgleich die Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde erfolgt. Dieser Arbeitsschritt wird im 30 min-Intervall bis zur Beendigung der Viel-punktentnahme wiederholt.
9. Zur Durchführung der Entnahme ist ein isokinetischer Sammler einzusetzen, der für die punktintegrierende Probenentnahme geeignet ist.
10. Die Entnahme von Schwebstoffproben ist in den vorgesehenen Entnahmepunkten vorzunehmen. Die Entnahmedauer ist mittels Stoppuhr zu bestimmen. Die Probeflaschen sollten nicht vollgefüllt werden, aber auch nicht weniger als die Hälfte der möglichen Probemenge enthalten. Entnahmezeitpunkt, Entnahmedauer und Probeflaschennummer müssen im Protokoll festgehalten werden.

11. Die Beschriftung der Probenflaschen umfasst die Bezeichnung der Messstelle, die Probennummer sowie das Datum der Probenentnahme.
12. Die Auswertung erfolgt in Anlehnung an die Methoden des *DVWK (1986)* (siehe *Kapitel 5.3*). Die sich aus der Geschwindigkeitsverteilung ergebende Gewichtung ist notwendig, um die Konzentrationen, die aufgrund der Verteilung der Fließgeschwindigkeiten unterschiedlich zum Schwebstofftransport im gesamten Querprofil beitragen, korrekt repräsentieren zu können. Eine simple arithmetische Mittelung der Konzentrationen in den Messlotrechten würde der Geschwindigkeitsverteilung im Querprofil nicht ausreichend Rechnung tragen.

4.5.2 Integrationsentnahme

Integrationsentnahmen sind schneller durchführbar als Vielpunktentnahmen, weil weniger Proben benötigt werden und auf die simultane Geschwindigkeitsmessung verzichtet werden kann. Deshalb werden sie vorzugsweise bei instationären Durchflussverhältnissen eingesetzt. Auch bei seichten, durchwatbaren Gewässern mit geringen Fließgeschwindigkeiten (<1,5 m/s) liefern die Messungen gute Ergebnisse. Mit zunehmender Geschwindigkeit (>1,5 m/s) wird eine Integrationsentnahme ungenauer, weshalb unter diesen Bedingungen bevorzugt Vielpunktentnahmen durchgeführt werden sollen (*Kerschbaumsteiner, in prep.*).

Bei der Durchführung der Integrationsentnahme kann zwischen zwei Ansätzen, der „Equal-Width-Increment“ – „Identische Breiten“ Methode und der „Equal-Discharge-Increment“ – „Identische Durchflüsse“ Methode, unterschieden werden.

4.5.2.1 Durchführung einer integrativen Schwebstoffentnahme unter Verwendung der „Equal-Width-Increment“ – „Identische Breiten“ Methode

Um die „Equal-Width-Increment“ (EWI) – „Identische Breiten“ Methode anwenden zu können, muss das Querprofil in Abschnitte gleicher Breite unterteilt werden (*Abbildung 7*). In der Mitte dieser Abschnitte werden die Proben entnommen, wobei in jeder Lotrechten mit gleicher Sink- bzw. Hubgeschwindigkeit gefahren werden muss. Eine Mindestanzahl von 10 Lotrechten sollte eingehalten werden (*Edwards & Glysson, 1999*).

- b Breite der Abschnitte (gleich) ($b_1 = b_2 = b_n$)
 Q Durchfluss in den Abschnitten (nicht gleich) ($Q_1 \neq Q_2 \neq Q_n$)

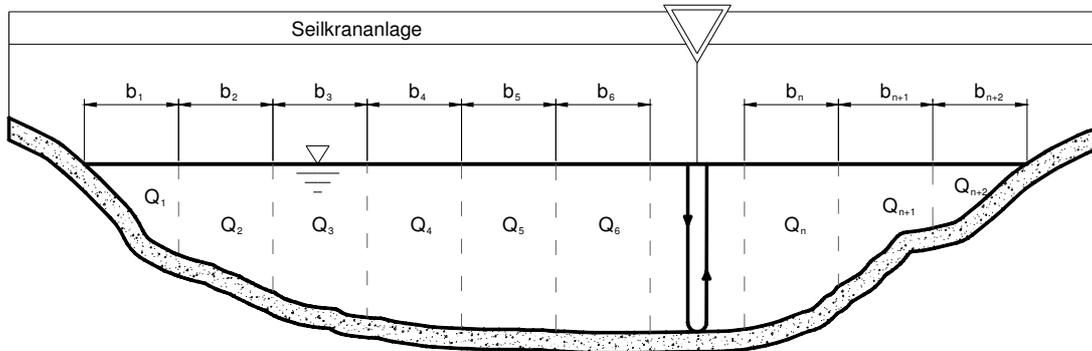


Abbildung 7: Darstellung einer Integrationsentnahme nach der „Equal-Width-Increment“ Methode

Im Folgenden werden 2 Varianten (mit und ohne Durchflussmessung) der „Equal-Width-Increment“ – „Identische-Breiten“-Methode – beschrieben. Zusätzliche Geschwindigkeitsmessungen ergeben eine Erhöhung der Genauigkeit.

Variante 1 (ohne Durchflussmessung):

1. Zur Durchführung der Entnahme ist ein isokinetischer Sammler einzusetzen, der für die Integrationsprobenentnahme geeignet ist.
2. Die benetzte Breite des betreffenden Querprofils ist in mindestens 10 Abschnitte identischer Größe (Rundung der Breite zur einfacheren Teilung ist möglich) einzuteilen.
3. Die Stationierung der Messlotrechten ist jeweils durch die Mittelpunkte der vorher definierten Breitenabschnitte zu legen.
4. Zur Bestimmung der zulässigen Absenkgeschwindigkeit des Sammlers in den Messlotrechten ist jene Lotrechte auszuwählen, deren Produkt aus mittlerer Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe am größten ist. An dieser Lotrechte ist die erforderliche Absenkgeschwindigkeit so zu wählen, dass einerseits eine Vollfüllung der Probeflasche während des Füllvorganges gerade nicht stattfindet und andererseits die gewählte Geschwindigkeit der Bedingung $v_s < 0,4 \cdot v_m$ genügt, wobei v_s die Absenk- und Hubgeschwindigkeit und v_m die mittlere Fließgeschwindigkeit in der betrachteten Vertikalen beschreibt. Sollten diese Bedingungen nicht erfüllbar sein, ist ein anderer Durchmesser für die Eintrittsöffnung zu wählen oder ein Sammler mit Ventilsteuerung einzusetzen (z.B. Entnahme von der Sohle zum Wasserspiegel).
5. Zeitgleich mit der Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde werden der Wasserstand und die Sondenanzeige im Protokoll (siehe *Anhang B*) unter Zeitangabe

festgehalten. Dieser Arbeitsschritt wird im 30 min-Intervall bis zur Beendigung der Integrationsentnahme wiederholt.

6. Die gewählte Absenkgeschwindigkeit muss gleich der Hubgeschwindigkeit sein und muss für alle Messlotrechten in diesem Profil beibehalten werden, wodurch sich, bedingt durch die isokinetische Entnahmekarakteristik des Sammlers, unterschiedliche Probenmengen in den einzelnen Lotrechten ergeben.
7. Die Beprobung der einzelnen Lotrechten erfolgt unter gleichzeitiger Erfassung des Entnahmezeitpunktes, der Entnahmedauer mittels Stoppuhr und des Sondenwertes zum Entnahmezeitpunkt durch Ablesen der Anzeigeeinheit.
8. Aus den einzelnen Proben ist dann die Schwebstoffkonzentration für jede Lotrechte zu ermitteln. Um die mittlere, mit dem jeweiligen Durchfluss gewichtete, Schwebstoffkonzentration für das gesamte Querprofil zu bestimmen, werden gedanklich alle Proben des Querprofils „zusammengeschüttet“ und daraus die mittlere Schwebstoffkonzentration bestimmt. Diese sich aus der Geschwindigkeitsverteilung ergebende Gewichtung ist notwendig, um die Konzentrationen, die aufgrund der unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten entsprechend verschieden zum Schwebstofftransport im gesamten Querprofil beitragen, korrekt repräsentieren zu können. Eine simple arithmetische Mittelung der Konzentrationen von den Messlotrechten würde der Geschwindigkeitsverteilung im Querprofil nicht ausreichend Rechnung tragen.
9. Alternativ zum „gedanklichen Zusammenschütten“ der Proben von den einzelnen Lotrechten können diese auch physikalisch vereinigt werden, um die Anzahl der Proben zu reduzieren. Dabei ist zu bedenken, dass durch die bereits erfolgte Tiefenintegration der Proben zusätzlich noch eine Integration zwischen den Lotrechten stattfindet und damit jede Möglichkeit zur Feststellung von Konzentrationsunterschieden im Querprofil verloren geht. Um nun sog. Ausreißer bei der Probenentnahme erkennen zu können, wird empfohlen, die Probenflaschen für jede Lotrechte separat zu befüllen und nach Beprobung aller Lotrechten visuell zu kontrollieren, ob sich bestimmte Flaschen deutlich von den übrigen unterscheiden. Sollte dies der Fall sein, wäre die Beprobung der betreffenden Lotrechten zu wiederholen und nach dem Probenvergleich die Vereinigung vorzunehmen.

Variante 2 (mit Durchflussmessung):

1. Zur Durchführung der Entnahme ist ein isokinetischer Sammler einzusetzen, der für die Integrationsprobenentnahme geeignet ist.
2. Die benetzte Breite des betreffenden Querprofils ist in mindestens 10 Abschnitte identischer Größe (Rundung der Breite zur einfacheren Teilung ist möglich) einzuteilen.
3. Die Stationierung der Messlotrechten ist jeweils durch die Mittelpunkte der vorher definierten Breitenabschnitte zu legen.
4. Die mittlere Fließgeschwindigkeit (v_m) je Messlotrechte ist zu bestimmen (Geschwindigkeitsmessung nach ÖNORM B 2401 (2006) bzw. 2403 (1998), ADCP).

5. Zur Bestimmung der zulässigen Absenkgeschwindigkeit des Sammlers in den Messlotrechten ist jene Lotrechte auszuwählen, deren Produkt aus mittlerer Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe am größten ist. An dieser Lotrechte ist die erforderliche Absenkgeschwindigkeit so zu wählen, dass einerseits eine Vollfüllung der Probeflasche während des Füllvorganges gerade nicht stattfindet und andererseits die gewählte Geschwindigkeit der Bedingung $v_s < 0,4 * v_m$ genügt, wobei v_s die Absenk- und Hubgeschwindigkeit und v_m die mittlere Fließgeschwindigkeit in der betrachteten Vertikalen beschreibt. Sollten diese Bedingungen nicht erfüllbar sein, wäre ein anderer Durchmesser für die Eintrittsöffnung zu wählen oder ein Sammler mit Ventilsteuerung (z.B. Entnahme von der Sohle zum Wasserspiegel) einzusetzen.
6. Zeitgleich mit der Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde werden der Wasserstand und die Sondenanzeige im Protokoll (siehe *Anhang B*) unter Zeitangabe festgehalten. Dieser Arbeitsschritt wird im 30 min-Intervall bis zur Beendigung der Integrationsentnahme wiederholt.
7. Die Beprobung der einzelnen Lotrechten erfolgt unter gleichzeitiger Erfassung des Entnahmezeitpunktes, der Entnahmedauer mittels Stoppuhr und des Sondenwertes zum Entnahmezeitpunkt durch Ablesen der Anzeigeeinheit.
8. Für die Ermittlung des Schwebstofftransportes ist die integrativ ermittelte Konzentration mit der mittleren Fließgeschwindigkeit zu multiplizieren (siehe *Kapitel 5.3.2*).

4.5.2.2 Durchführung einer integrativen Schwebstoffentnahme unter Verwendung der „Equal-Discharge-Increment“ – „Identische Durchflüsse“ Methode

Bei der „Equal-Discharge-Increment“ (EDI) – „Identische Durchflüsse“ Methode wird der Gewässerquerschnitt in Abschnitte mit gleichem Durchfluss unterteilt (*Abbildung 8*). Die Proben werden in den Lotrechten, die durch die Zentroide dieser Flächen gehen, entnommen. Die Absenk- und Hubgeschwindigkeit des Sammlers kann dabei für jede Lotrechte gesondert gewählt werden. Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Methode ist die Kenntnis über das Durchflussverhalten im Querschnitt. Jedoch werden weniger Messlotrechte – zwischen vier und neun – als bei der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen EWI-Methode benötigt, und damit eine Verkürzung der Entnahme- und Auswertezeit erreicht (*Edwards & Glysson, 1999*).

- b Breite der Abschnitte (nicht gleich) ($b_1 \neq b_2 \neq b_n$)
 Q Durchfluss in den Abschnitten (gleich) ($Q_1 = Q_2 = Q_n$)

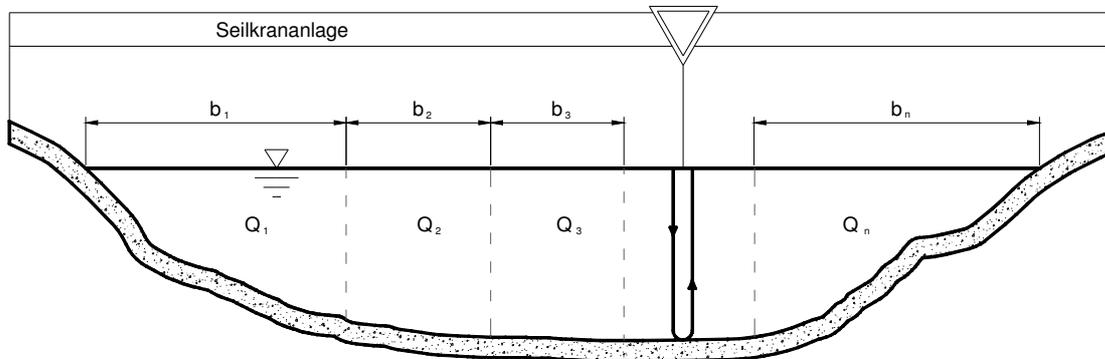


Abbildung 8: Darstellung einer Integrationsentnahme nach der „Equal-Discharge-Increment“ Methode

1. Zur Durchführung der Entnahme ist ein isokinetischer Sammler einzusetzen, der für die Integrationsprobenentnahme geeignet ist.
2. Die benetzte Breite des betreffenden Querprofils ist in 4–9 Abschnitte (b_1 – b_n) mit identischem Durchfluss einzuteilen. Die Bestimmung dieser Abschnitte erfolgt vorzugsweise mit einer unmittelbar vorangegangenen Durchflussmessung (Flügel, ADCP, etc.) oder alternativ anhand von früheren Durchflussmessungen bei vergleichbaren Durchflüssen bzw. Wasserständen. Die spezifischen Durchflüsse sind entsprechend dem Messfortschritt fortlaufend über die benetzte Breite zu einer Summenkurve aufzusummieren und in b Abschnitte einzuteilen. Über die Summenkurve ist die Stationierung der Integrationsentnahmen durch die Flächenmittelpunkte der jeweiligen Abschnitte vorzunehmen (siehe *Abbildung 9*).
3. Zeitgleich mit der Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde werden der Wasserstand und die Sondenanzeige im Protokoll (siehe *Anhang B*) unter Zeitangabe festgehalten. Dieser Arbeitsschritt wird im 30 min-Intervall bis zur Beendigung der Integrationsentnahme wiederholt.
4. Die gewählte Absenkgeschwindigkeit muss gleich der Hubgeschwindigkeit sein und braucht nicht für alle Messlotrechten beibehalten werden. Es sollten jeweils Probenmengen von $\frac{1}{2}$ –1 l entnommen werden. Dies ist durch eine Anpassung der Absenk- und Hubgeschwindigkeiten für die einzelnen Lotrechten zu erreichen.
5. Die Beprobung der einzelnen Lotrechten erfolgt unter gleichzeitiger Erfassung des Entnahmezeitpunktes, der Entnahmedauer mittels Stoppuhr und des Sondenwertes zum Entnahmezeitpunkt durch Ablesen der Anzeigeeinheit.

6. Die Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration erfolgt durch Bildung des arithmetischen Mittels der Schwebstoffkonzentrationen der einzelnen Lotrechten.
7. Sind die Probenmengen der einzelnen Lotrechten annähernd gleich, kann eine physikalische Vereinigung der Proben vorgenommen werden. Aufschlüsse über die räumliche Verteilung der Konzentrationen gehen jedoch damit verloren.

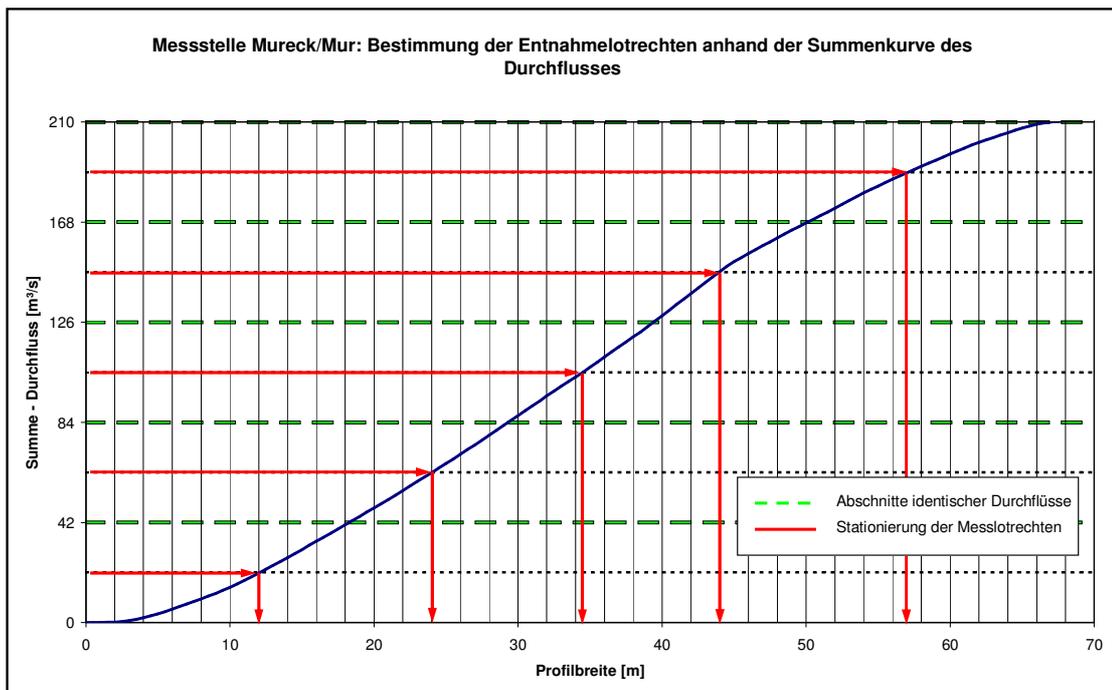


Abbildung 9: Bestimmung der Stationierung der Messlotrechten mittels Durchflusssummenkurve

4.5.3 ADCP mit Probenentnahme

Da sowohl die Durchführung als auch die Laborauswertung der Vielpunktentnahme sehr viel Zeit in Anspruch nimmt, können alternativ ADCP-Messungen in Kombination mit einer deutlich verringerten Zahl an Proben (bis zu 70% Verringerung der Probenanzahl nach erfolgter Optimierung im Vergleich zur normalen Vielpunktentnahme) durchgeführt werden, wodurch die Schwebstoffverteilung rascher ermittelt werden kann. Der Einsatzbereich des ADCP-Messgerätes hängt vor allem vom verwendeten Gerätetyp ab (siehe *Kapitel A.2.3* und *A.2.4*). Weitere Optimierungen sind nach noch zu erfolgenden Untersuchungen zu erwarten.

Dabei ist wie folgt vorzugehen:

1. Zur Bestimmung des Durchflusses mittels ADCP sind mindestens vier Messfahrten durchzuführen, deren Ergebnisse eine maximale Abweichung von 5 % vom Mittelwert aufweisen dürfen.

2. Zeitgleich mit der Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde sind der Wasserstand und die Sondenanzeige im Protokoll (siehe *Anhang B*) festzuhalten.
3. Die Anzahl und die Festlegung der Stationierung der Messlotrechten sind für die ersten Probenentnahmen analog zur Vielpunktentnahme vorzunehmen und anschließend je nach Messstelle zu optimieren.
4. Die Festlegung der Entnahmepunkte je Lotrechte (normalerweise 3–5 Entnahmepunkte in identischen relativen Entnahmetiefen) erfolgt analog zur Vielpunktentnahme, wobei diese vom Wasserspiegel aus ermittelt werden.
5. Zeitgleich mit der Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde werden der Wasserstand und die Sondenanzeige im Protokoll (siehe *Anhang B*) unter Zeitangabe festgehalten. Dieser Arbeitsschritt wird im 30 min-Intervall bis zur Beendigung der Integrationsentnahme wiederholt.
6. Aus der ADCP-Messung oder mit dem Sammler sind die Wassertiefen in den Lotrechten zu bestimmen. Bei Verwendung des Sammlers ist bei den Tiefenbestimmungen die Abdrift entsprechend zu kompensieren.
7. Zur Durchführung der Entnahme ist ein isokinetischer Sammler einzusetzen, der für die punktintegrierende Probenentnahme geeignet ist.
8. Die Entnahme von Schwebstoffproben ist in den vorgesehenen Entnahmepunkten vorzunehmen. Die Entnahmedauer ist mittels Stoppuhr zu bestimmen. Die Probeflaschen sollten nicht vollgefüllt werden, aber auch nicht weniger als die Hälfte der möglichen Probemenge enthalten. Entnahmezeitpunkt, Entnahmedauer und Probeflaschennummer müssen im Protokoll festgehalten werden.
9. Die Beschriftung der Probenflaschen umfasst die Bezeichnung der Messstelle, die Probennummer sowie das Datum der Probenentnahme.

4.5.4 Vergleich der verschiedenen Verfahren

Um die Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden sowie deren Einsatzbereiche vergleichen zu können, werden diese in *Tabelle 2* gegenübergestellt. Die darin angeführten Werte sind als Richtgrößen zu verstehen, die für jede Messstelle durch Tests optimiert werden müssen.

Tabelle 2: Vergleich der Methoden zur Bestimmung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil

Verfahren \ Kriterium	Vielpunkt	EWI	EDI	ADCP
Zeitaufwand	hoch	mittel	mittel	mittel
Zusätzliche Fließgeschwindigkeitsmessung	ja	ja/nein	nein	nein
Anzahl Lotrechte	5-10	>10	4-9	1-4*
Anzahl Proben je Lotrechte	3-5	1	1	3-5*
Geschwindigkeitsbereich	<4 m/s	<1,5 m/s	<1,5 m/s	<2,5-4 m/s (abh. v. Gerät und Geräteträger)
Entnahmegesetz mit Ventilsteuerung	ja	nein	nein	ja
Genauigkeit	hoch	mittel	mittel	hoch

*Anzahl der Kalibrierproben (müssen nicht notwendigerweise Lotrechte sein)

Optische Verfahren bedingen eine ähnliche Anzahl an Kalibrierproben wie das ADCP; nähere Angaben müssen messtellenspezifisch festgelegt werden.

4.6 Probenentnahme und -lagerung

Um die Repräsentativität der Proben zu gewährleisten, sind die Probenentnahmen entsprechend den vorangegangenen Kapiteln durchzuführen, wobei auf folgende Punkte besonders zu achten ist:

- Bei der Probenentnahme darf kein Ufer- oder Sohlssubstrat aufgewirbelt und von der Flasche aufgenommen werden.
- Die verwendeten Probenflaschen müssen sauber und von der Größe her für das Entnahmegesetz geeignet sein.
- Die Beschriftung der Probenflasche hat folgende Informationen zu enthalten: Name der Messstelle, Datum/Uhrzeit und Probennummer. Bei der Gewinnung von Einpunktpuben wird empfohlen, zusätzlich den Wert der Sondenanzeige zum Entnahmezeitpunkt zu vermerken.
- Das Messprotokoll zur Entnahme von Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahmen sollte folgende Angaben enthalten: Messstelle, Tag der Messung und den Messtrupp sowie die Anzahl der Lotrechten und deren Stationierung, den Wasserstand während der Messung, die Wassertiefe in den einzelnen Lotrechten, Entnahmetiefe und -dauer in den einzelnen Punkten, die Probenflaschennummer, die Uhrzeit der einzelnen Entnahmen und die

zugehörigen Sondenwerte der Anzeigeneinheit. Eine Vorlage für ein Messprotokoll kann dem *Anhang B* entnommen werden.

- Die Probenflaschen müssen bis zur Auswertung im Labor kühl und dunkel (empfohlen im Kühlschrank) gelagert werden, der Inhalt darf aber nicht gefrieren. Die Lagerungszeit bis zur Analyse im Labor sollte einen Zeitraum von 3–4 Wochen möglichst nicht überschreiten.

Bei Probenentnahmen mittels Sammler sind zusätzlich folgende Punkte zu beachten:

- Vor jeder Messung muss der Probensammler auf eventuelle Schäden untersucht werden. Es ist zu kontrollieren, ob die Einström- und Entlüftungsöffnung frei sind. Beim Durchblasen bzw. Durchschauen sollte keine Querschnittsverminderung erkennbar sein, gegebenenfalls sind Behinderungen zu entfernen. Die Dichtungen im Gerät sind ebenfalls zu überprüfen und nötigenfalls auszutauschen.
- Nach der Probenentnahme muss die Probenflasche aus dem Sammler genommen werden, wobei kein Probenwasser verloren gehen darf. Die Flasche sollte mindestens halbvoll, jedoch nicht ganz gefüllt sein. Weiters sind der Sammler und die Probe auf Sohlmaterial zu überprüfen und die Messung gegebenenfalls zu wiederholen.
- Die Probenflaschen der einzelnen Lotrechten einer Integrationsentnahme sollten nebeneinander aufgestellt und der Inhalt miteinander verglichen werden. Die Entnahmeholumina in den Flaschen sollten im Verhältnis zu Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe in den einzelnen Lotrechten stehen.
- Nach der letzten Probenentnahme sind Sedimentrückstände und Restwasser aus dem Flaschenraum des Sammlers zu entfernen. Weiters ist die Abdeckung der Steuerungseinheit zu öffnen, um diese trocknen zu lassen. Dies ist notwendig, um eine lange Betriebssicherheit zu gewährleisten.

4.7 Analysetechniken

In der Gewässergüte werden die abfiltrierbaren Stoffe nach *DIN 38409 Teil 2, 1987* und *ÖNORM M 6274* bestimmt. Diese Normen lassen bei der Auswertung gewisse Spielräume zu, die im vorliegenden Leitfaden genauer definiert werden müssen. Daher wird die gravimetrische Auswertung sämtlicher Schwebstoffproben, die im Zuge der Vielpunkt- bzw. der Integrationsentnahmen sowie zur Kalibrierung der Sondenaufzeichnung und der ADCP-Messung gewonnen werden, in Anlehnung an diese Normen, mit gewissen Modifikationen, durchgeführt.

4.7.1 Quantitative Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe

Für die Filtration können zwei Analysetechniken angewendet werden. Die Druckfiltration bringt auf die Probe Druck auf und presst die gesamte Probenflüssigkeit durch einen Membranfilter, während die Vakuumfiltration diese durch den entsprechenden Filter saugt (Abbildung 10). Die Schwebstoffteilchen bleiben ab einer bestimmten Korngröße auf der Filteroberfläche liegen. Nach dem Trocknungsvorgang wird die Masse der abfiltrierten Schwebstoffteilchen gravimetrisch bestimmt. Um vergleichbare Messergebnisse zu erhalten, muss der Porendurchmesser der Filter 0,45 μm betragen. Aus Gründen der hygroskopischen und strukturellen Stabilität und des konstanten Porendurchmessers haben sich als Filtermaterial Cellulosemischester (Celluloseacetat bzw. -nitrat) bewährt. Andere Filtermaterialien können eingesetzt werden, wenn ein Nachweis über eine gleichwertige Eignung wie die Cellulosemischesterfilter erbracht ist. Papierfilter und Glasfaserfilter erfüllen diese Anforderungen nicht und dürfen daher nicht verwendet werden (Lalk, 2003).



Abbildung 10: **Filtriergerät mit Zubehör und Vakuumpumpe im Hintergrund** (Foto links: Stimpfl, 2006); **Vakuumpfiltrationsanlage der Verbund AHP** (Foto rechts: Wagner, 2006)

Die Massebestimmung der Schwebstoffe erfolgt durch Differenzwägung der getrockneten Filter mit und ohne Probe. Nachdem die Probenmassen klein sind, müssen Präzisionswaagen für die Messung eingesetzt werden (Genauigkeit mindestens $\pm 0,1 \text{ mg}$).

Die Schwebstoffkonzentration wird aus der Schwebstoffmasse und dem gesamten zugehörigen Probenvolumen berechnet. Dazu ist es notwendig, dass das Probenvolumen vor der Filtration genau bestimmt wird (gravimetrisch oder mittels Messzylinder). Nachdem ein Umfüllen der Probe Verluste durch Adhäsion an den Gefäßwänden bedingt, ist dies, wenn nicht unbedingt erforderlich, zu vermeiden. Die Volumenbestimmung kann auch in einem geeigneten Filtrationsbehälter erfolgen.

Die Messgenauigkeit der Volumenbestimmung soll $\pm 5 \text{ ml}$ bei einem Liter Probenvolumen (d.s. $\pm 0,5 \%$) betragen. Grundsätzlich ist die gravimetrische Volumenbestimmung aus Genauigkeitsgründen vorzuziehen. Es ist jedoch ab einer Konzentration von etwa 8000 mg/l und höher die rechnerische Berücksichtigung der Feststoffdichte erforderlich, da anderenfalls die Messung über

einen Messzylinder genauere Resultate liefert. Die notwendigen Berechnungsschritte zur gravimetrischen Volumen- bzw. Konzentrationsbestimmung sind im *Anhang C* beschrieben.

Erfahrungen haben gezeigt, dass eine Probentrennung nicht ausreichend homogen durchgeführt werden kann und daher ist die Konzentrationsbestimmung mittels einer einzelnen Teilprobe nicht zulässig. Jedoch ist die Konzentrationsbestimmung der Probe aus der Summe aller Teilproben möglich.

Folgende Geräte werden für die Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe benötigt:

- Analysenwaage mit einer Genauigkeit von mindestens $\pm 0,1$ mg,
- Membranfilter (Celluloseacetat bzw. Cellulosenitrat) $0,45 \mu\text{m}$ Porendurchmesser
- Filtriergerät (Vakuum oder Druckfiltration) – Vakuumfiltrieranlage bestehend aus Trichter, Glasfritten-Filterhalter, Sammelflasche, Vakuumschlauch und Vakuumpumpe bzw. Wasserstrahlpumpe, Federklemme,
- Standzylinder zur Bestimmung des Probenvolumens auf $\pm 0,5\%$ genau, alternativ: Bestimmung des Probenvolumens im Trichter
- Objektträger,
- Spritzflasche,
- Pinzette,
- Trockenschrank mit Temperaturregelung,
- Thermometer zum Trockenschrank,
- Exsikkator, mit Silicagel oder Diphosphor-pentaoxid als Trocknungsmittel, alternativ: sofortiges Wiegen

Die Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe ist nach folgender Anleitung vorzunehmen:

1. Die Membranfilter mit Objektträger sind bei 105°C mindestens 10 min. bis max. 3 h zu trocknen bis Gewichtskonstanz eintritt. Gewichtskonstanz ist gegeben, wenn nach wiederholtem Trocknungs- und Wiegevorgang sich die Filtermasse nicht um mehr als $\pm 0,1$ mg unterscheidet.
2. Der Membranfilter inkl. Objektträger ist unmittelbar nach dem Trocknungsvorgang abzuwiegen (m_a) [mg]. Sollten Objektträger verwendet werden, die aufgrund ihrer Wärmekapazität eine Temperaturverminderung benötigen, soll diese in einem Exsikkator erfolgen.
3. Anschließend ist der Membranfilter in die Filtrationsanlage zu legen.
4. Die Probe ist in die Filteranlage zu gießen und das genaue Probenvolumen (V_p) [l] ist zu bestimmen. Sollte dies nicht möglich sein, so ist vorher gravimetrisch oder mittels Messzylinder die Volumenbestimmung durchzuführen. Die Probenflaschen und ge-

gebenenfalls Messzylinder sind mit Reinwasser gründlich zu spülen; das Spülwasser mit den restlichen Schwebstoffen ist ebenfalls in die Filteranlage zu gießen.

5. Während des Filtriervorganges ist mittels einer Spritzflasche mit Reinwasser dafür zu sorgen, dass auch am Trichter anhaftende Teilchen auf den Membranfilter gelangen.
6. Der Membranfilter mit den abfiltrierten Stoffen ist auf den zugehörigen Objektträger zu legen. Der Membranfilter mit den abfiltrierbaren Stoffen und dem Objektträger ist wiederum bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz zu trocknen (erfahrungsgemäß mindestens 30 min, je nach Menge und Material entsprechend länger).
7. Der Membranfilter mit den abfiltrierten Stoffen inkl. Objektträger ist unmittelbar nach dem Trocknungsvorgang abzuwiegen (m_b) oder muss im Exsikkator vorher abkühlen.
8. Die Berechnung der Trockenmasse erfolgt aus: $m_T = m_b - m_a$ [mg].
9. Die Schwebstoffkonzentration wird nach $s_0 = m_T/V_p$ [mg/l] berechnet.

4.7.2 Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe bei hohen Konzentrationen

Für die Auswertung von Schwebstoffproben mit hohen Konzentrationen besteht die Möglichkeit

- des Vorfiltrierens mit Papierfiltern.
- der Verwendung mehrerer Filter (Teilproben).

In beiden Fällen muss jedoch sichergestellt sein, dass das gesamte Probenvolumen filtriert wird. Ein Eindampfen der Proben sollte nur erfolgen, wenn auch die oben genannten Methoden, z.B. bei Proben mit hohem Tonanteil, nicht mehr durchgeführt werden können.

4.7.3 Qualitätssicherung der Laboranalysen

Eine hohe Genauigkeit bei der Durchführung der Laborauswertung ist Voraussetzung um den Schwebstofftransport und die Schwebstofffracht bestimmen zu können. Um eine hohe Qualität der Ergebnisse gewährleisten zu können, muss die Laborauswertung nach der Anleitung aus *Kapitel 4.7* durchgeführt werden. Folgenden Punkten ist bei der Laborauswertung besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da diese die Ergebnisse stark beeinflussen können:

1. Geringe Probenkonzentration und damit kleine Probenmassen,
2. Anhaften der Schwebstoffteilchen an den Gefäßwänden,
3. Hygroskopische Eigenschaften des Probenmaterials und des Filters,
4. Inhomogene Suspension (unterschiedliches Absetzverhalten von Schwebstoffteilchen) und
5. Lange und unsachgemäße Lagerung der Proben.

Daraus ergeben sich folgende Anforderungen an die Analytik:

1. Eine hohe Genauigkeit der Analysewaagen (0,1 mg) und hohe Genauigkeit/ Reproduzierbarkeit der Volumenbestimmung (+/- 0,5 %) ist Voraussetzung.
2. Das Umfüllen von Proben sollte möglichst vermieden werden. Auch die Trennung der Gesamtprobe in Teilproben gleicher Konzentration ist schwer durchführbar und sollte daher vermieden werden.
3. Wenig hygroskopische Filtermaterialien (z. B. Celluloseacetatfilter) sind zu verwenden und die Massebestimmung ist möglichst rasch nach dem Trocknungsvorgang durchzuführen.
4. Die Proben sind möglichst kühl und dunkel zu lagern, wobei die Lagerzeiten trotzdem kurz zu halten sind. Bei Lagerung unter Lichteinfluss und Wärme kann sich bedeutende Biomasse aufbauen. Außerdem kann eine lange Lagerung zur Ausfällung von gelösten Stoffen und damit zum Massenzuwachs der ungelösten Stoffe führen.

Eine Möglichkeit zur Überprüfung der Laborarbeit stellt die Gewinnung von Doppelproben dar. Doppelproben werden zeitgleich mit einer Vorrichtung, an der zwei Flaschen befestigt werden können, entnommen (*Abbildung 11*). Dabei ist darauf zu achten, dass die beiden Flaschen gleich tief ins Gewässer eintauchen. Durch die Befestigung des Schöpfgefäßes an einer Stange wird die Positionierung im Gewässer erleichtert. Die Analyseergebnisse dieser gleichzeitig entnommenen Proben sollten nur geringe Abweichungen aufweisen.



Abbildung 11: **Schöpfgefäß zur Entnahme von Doppelproben** (Bacher, 2008)

Bei der Durchführung von Ringversuchen werden Proben mit bekannten Konzentrationen an die Labors zur Auswertung gesendet. Die Genauigkeit der Laborauswertung ist über die Abweichung der gravimetrisch bestimmten zur tatsächlichen Konzentration ermittelbar.

4.8 Korngrößenuntersuchungen

4.8.1 Entnahmen für Korngrößenuntersuchungen

Je nach Methode der Laboranalytik sind unterschiedliche Mengen an Trockensubstanz erforderlich. Für die Analyse mittels Sedigraph sind z.B. ca. 5 g TS notwendig, bei anderen Analysemethoden können auch wesentlich geringere Mengen ausreichend sein. Es sind daher entsprechend den vorhandenen Konzentrationen und Analysemethoden verschieden große Probenmengen zu entnehmen. Sogenannte Großproben werden häufig mittels Eimer gewonnen und in Kunststoffbehältern in das Labor transportiert. Bei der Sedimentation in großen Kunststoffbehältern zur Aufkonzentration der Proben ist sicherzustellen, dass durch das Abhebern der klaren Flüssigkeit keine Feinkornanteile von der Gesamtprobe entfernt werden.

Sollen die Korngrößen an unterschiedlichen Punkten im Querprofil bestimmt werden, müssen die entsprechenden Mengen an den gewünschten Positionen durch geeignete Probensammler oder Pumpen gewonnen werden. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang die isokinetische Entnahme, um vor allem den Sandanteil, sofern er vorhanden ist, repräsentativ zu gewinnen.

4.8.2 Methoden der Korngrößenuntersuchung

Zur Durchführung von Korngrößenanalysen stehen unterschiedliche Technologien zur Verfügung. Bis zu einem Korndurchmesser von 63 μm können Siebanalysen angewendet werden. Für die Bestimmung kleinerer Durchmesser werden herkömmliche manuelle Methoden eingesetzt, wie die Pipettiermethode sowie die Methode nach Atterberg. Hierbei wird die Korngrößenverteilung nach Einwägen der Probe aufgrund der Sinkgeschwindigkeit bestimmt. Die Analysemethoden beruhen auf dem Stokes'schen Gesetz, welches nur für kugelförmige Partikel, die in der Natur in dieser Form nicht vorkommen, Gültigkeit hat. Die erreichbare Genauigkeit ist gut, jedoch sind diese Methoden sehr aufwändig und können nur bei großen Mengen an Schwebstoffen ($> 5 \text{ g/l}$) angewendet werden (*Spreafico et al., 2005*). Neben diesen herkömmlichen Methoden werden auch elektronische Geräte wie Sedigraph, Coulter Counter und Laser eingesetzt. Mit dem Sedigraph wird das Korngrößenspektrum ebenfalls über die Sinkgeschwindigkeit mittels Röntgenadsorption bestimmt. Die Sinkgeschwindigkeit wird in Abhängigkeit der Dichte gemessen. Da organische Partikel keine Röntgengichte haben, sind diese nicht bestimmbar. Das Gerät wurde für Tonminerale entwickelt und kann für Fraktionen $< 40 \mu\text{m}$ eingesetzt werden. Die benötigte Probenmenge kann sehr groß sein und sowohl die Aufbereitung als auch die Analyse nehmen viel Zeit in Anspruch (*Strasser, 1998*). Bis zu einer Größe von 2 μm sind die Ergebnisse von Pipette und Sedigraph ident, darunter endet die Genauigkeit der gravimetrischen Detektion. Coulter Counter und Laser sind Partikelmessgeräte, welche die Größe jedes einzelnen Kornes (Lasergerät) bzw. den elektrischen Spannungsabfall jedes Kornes (Coulter Counter) messen. Mittels Laser können sowohl anorganische als auch organische Partikel gemessen werden und man erhält zusätzliche Informationen über die Partikelform. Mit einem zusätzlichen Fluoreszenzdetektor bekommt man auch Angaben über die chemischen

Eigenschaften der Partikel. Mit dem Coulter Counter wird das tatsächliche Teilchenvolumen gemessen und für die Kornverteilungskurve der Korndurchmesser einer Kugel desselben Volumens angegeben. Mit geringem Aufwand und kleinen Probenmengen lassen sich bei den elektrischen Geräten gute Ergebnisse mit hoher Genauigkeit erzielen. Optische Messgeräte messen die Streuung des Lichts und ermitteln daraus die Partikelgröße.

Die Ergebnisse aus der Atterberg-Methode, der Pipette und dem Sedigraph lassen sich allerdings nicht mit den Ergebnissen der Partikelmessgeräte vergleichen (*Spreafico et al., 2005*). Es ist daher bei jeder Korngrößenbestimmung die angewandte Analysenmethode anzugeben.

5. AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER DATEN

5.1 Plausibilitätsprüfung der Rohdaten

Die vom Trübungssensor aufgezeichnete Ganglinie (15 min. Werte) wird zusammen mit dem Durchfluss und den Schwebstoffkonzentrationen aus den sondennahen Wasserproben dargestellt. Die Plausibilitätsprüfung der Rohdaten hat folgende Einflüsse zu berücksichtigen:

- Natürliche Einflüsse: z.B. Niederschlag, Hochwasser, Schnee- und Gletscherschmelze, Murenabgänge,
- Anthropogene Einflüsse: z.B. wasserbauliche Maßnahmen, Einleitungen, Stauraumpülungen,
- Gerätespezifische und messstellenbedingte Einflüsse: z.B. Fouling, Einschotterung, Trockenfallen, Blitzschlag, Vereisung, Wassereintritt in die Sonde, Treibgut, Gerätefehler, Messbereich, Ansprechzeit, Datenübertragung,
- Kalibrierproben: Fehler bei Probenentnahme, Lagerung und Laboranalyse.

Die Bewertung der aufgezeichneten Ganglinie erfolgt unter Berücksichtigung der möglichen Einflüsse. Diese Bewertung kann zu folgenden Konsequenzen führen:

- Beibehaltung der Originaldaten, wenn natürliche und/oder anthropogene Einflüsse erkennbar und erklärbar sind.
- Beibehaltung der Originaldaten, wenn der Verlauf der Ganglinie nicht erklärbar ist, aber diese Daten nicht in die Kategorie Ausreißer fallen. Ausreißer sind einzelne Messwerte, die um mindestens eine Größenordnung von ihren „Vorgängern“ und „Nachfolgern“ abweichen (*Abbildung 12*).
- Korrektur der Daten, wenn gerätespezifische bzw. messstellenbedingte Einflüsse erkannt wurden (Anpassung über Kalibrierproben, Durchfluss ...) oder Ausreißer vorliegen.

In allen drei Fällen ist eine Anmerkung in der Datenbank und den Protokollen erforderlich.

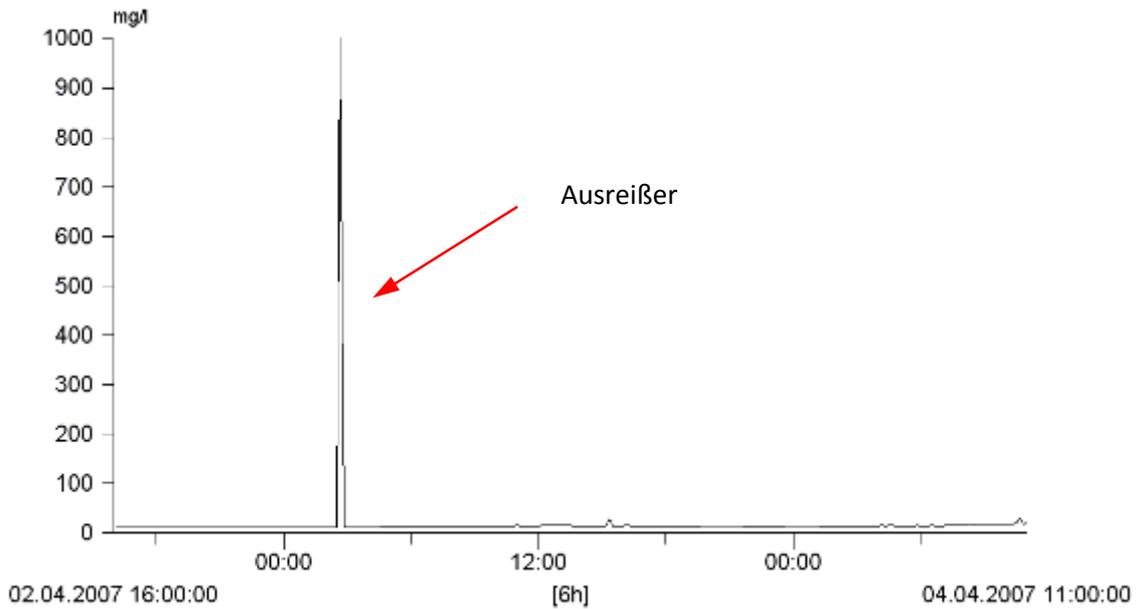


Abbildung 12: Beispiel für eine Sondenaufzeichnung mit Ausreißern an der Messstelle Mureck/Mur

Wird eine fehlerhafte Sondenaufzeichnung (z.B. Fouling siehe *Abbildung 13*) identifiziert, muss der betroffene Zeitraum bei der Bearbeitung entsprechend korrigiert werden. Folgende Korrekturhilfen der Ganglinie der Sondenwerte bzw. der Konzentrationswerte stehen beispielsweise zur Verfügung:

- Kalibrierproben
- Durchfluss (bei ausreichender Korrelation)
- Schwebstoffkonzentration einer Nachbarstelle am selben Gewässer

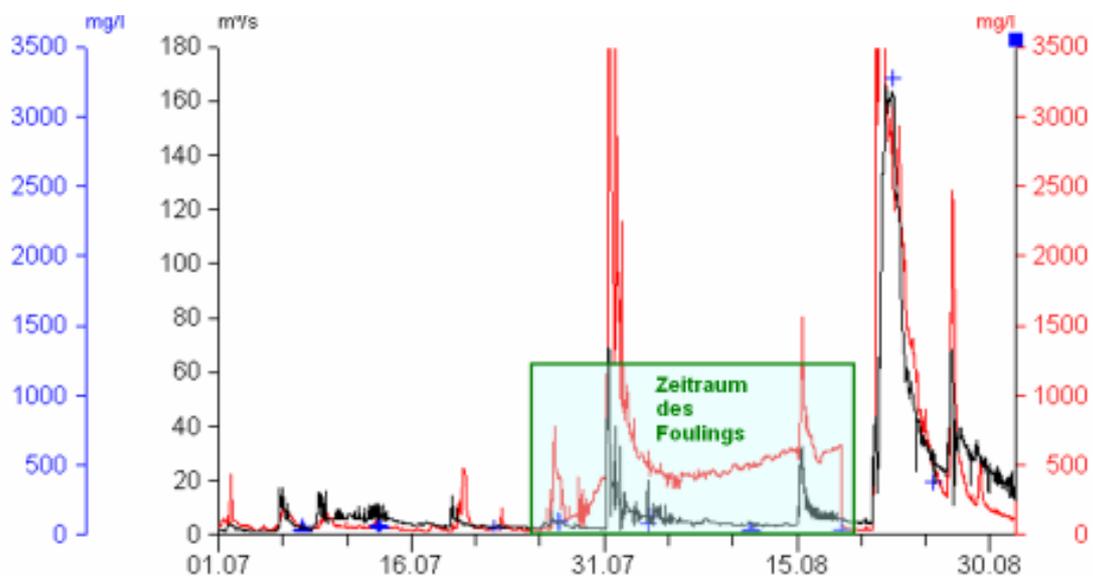


Abbildung 13: Beispiel für eine Sondenaufzeichnung bei auftretendem Biofouling an der Messstelle Feldbach/Raab; schwarz: Durchfluss; rot: Sondenauzeichnung, blau: Kalibrierproben (Stimpfl, 2006)

Durch eine Korrektur wird eine kontinuierliche Auswertung ermöglicht. Im Bezug auf die oben genannten Korrekturmöglichkeiten sind folgende Aspekte zu berücksichtigen. Nachträgliche Korrekturen fehlerhafter Ganglinien erscheinen bei einer ausreichenden Anzahl von Kalibrierproben grundsätzlich denkbar. Werden nur sondennahe Schwebstoffproben für die Korrektur der Ganglinie herangezogen, so ist dies im Regelfall mit einem Informationsverlust verbunden. Bei ausreichend guter Korrelation zwischen Sondenganglinie und Durchfluss (bzw. Sondenganglinie einer benachbarten Messstelle) im ungestörten Bereich kann eine Sondenganglinie für den gestörten Bereich rekonstruiert werden. Selbstverständlich sind im Rahmen solcher Korrekturen die Veränderungen des Wasserstandes und des Durchflusses sowie allfällige Kalibrierproben in die Überlegungen mit einzubeziehen. Bei sehr niedrigen Wasserständen können die Sensoren trockenfallen und völlig irrealen Werte liefern. Nach Eliminierung derartiger Messwerte stellt ein solcher „Sondenausfall“ nach erster Einschätzung für die Frachtberechnung kein besonderes Problem dar, da der natürliche Schwebstofftransport zu Zeiten mit geringen Abflüssen ohnehin nur geringfügig zur Gesamtfracht beiträgt.

5.2 Berechnung der kontinuierlichen Schwebstoffkonzentration an einem Punkt im Profil

Nach erfolgter Überprüfung der Sensorganglinie kann die Umrechnung der Sondenaufzeichnungen in sondennahe Schwebstoffkonzentrationen erfolgen. Hierfür sind zwei unterschiedliche Verfahren möglich, wobei auch eine Kombination der zwei Umrechnungswege denkbar ist.

- (A) Die Berechnung der Sondenbeiwerte k_s wird mittels Division der gravimetrisch bestimmten Schwebstoffkonzentration (s_k) durch die zugehörige Sondenaufzeichnung (s_s) durchgeführt (*Gleichung 1*). Anschließend erfolgt eine lineare Interpolation der aperiodischen Korrekturfaktoren (*Kirchlechner u. Niedermühlbichler, 2004*).

$$k_s = \frac{s_k}{s_s} \quad (1)$$

Damit kann die Ganglinie der sondennahen Schwebstoffkonzentration generiert werden. Bei einer beschränkten Anzahl von Kalibrierproben sind unter Verwendung aller verfügbaren Informationen (W , Q , s_s , s_k) geeignete Anpassungen vorzunehmen (z.B. Einfügen von Hilfspunkten, Modifikation von Kalibrierproben oder graphische Bearbeitung der Ganglinie der Korrekturfaktoren, *siehe Abbildung 14*).

Dieses Verfahren eignet sich besonders gut bei der Anpassung von Sondenganglinien mit einer relativ hohen zeitlichen Dichte von Kalibrierproben und einem ungünstigen empirischen Zusammenhang zwischen Trübungsmessung und sondennah gewonnenen Kalibrierproben.

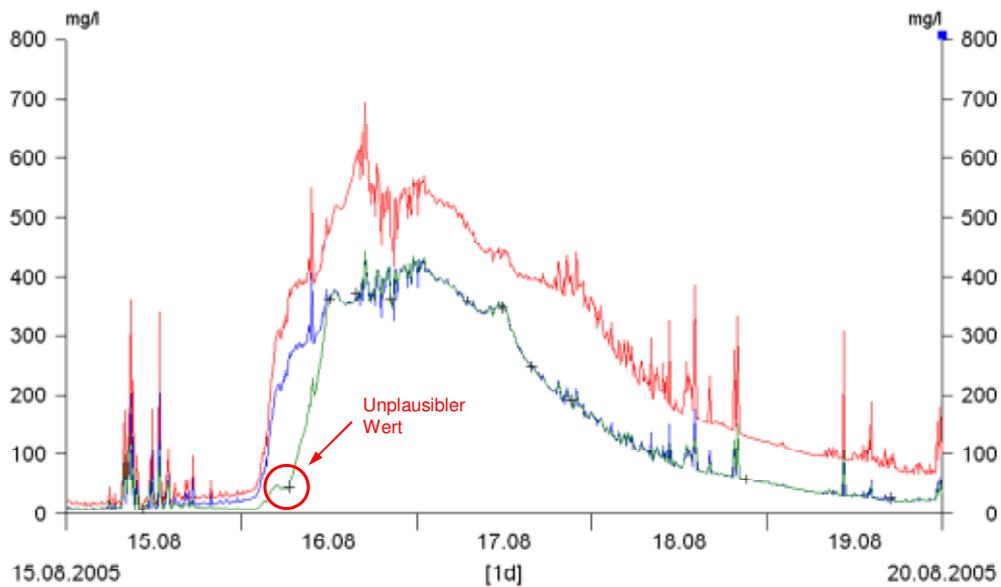


Abbildung 14: **Sondenaufzeichnung (rot), Kalibrierproben (schwarz). Sondennahe Schwebstoffkonzentration unter Berücksichtigung aller Kalibrierproben mittels Sondenbeiwert berechnet (grün) und sondennahe Schwebstoffkonzentration ohne Berücksichtigung der unplausiblen Kalibrierprobe mittels Sondenbeiwert berechnet (blau)**

- (B) Die Umrechnung der Sondenwerte in sondennahe Schwebstoffkonzentrationen erfolgt mittels einer Schätzfunktion auf Basis einer Regressionsanalyse oder anderer statistischer Ansätze zwischen Sondenwerten und Kalibrierproben (Abbildung 15). In zeitlicher Abfolge können auch unterschiedliche Ansätze zur Anwendung kommen. Als vorteilhaft erweist sich diese Methode für Messstellen, die eine gute Korrelation zwischen Sondenwerten und Kalibrierproben zeigen, aber unregelmäßige Entnahmeintervalle aufweisen.

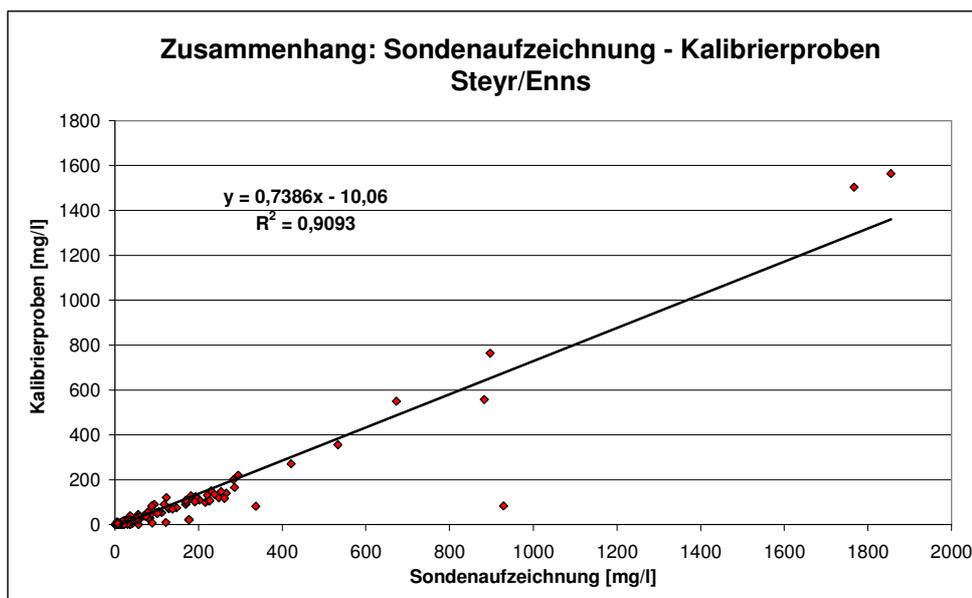


Abbildung 15: **Zusammenhang: Sondenaufzeichnung – Kalibrierproben an der Schwebstoffmessstelle Steyr/Enns** (verändert nach Altenhofer, 2007)

Einen Vergleich der mit den beiden Verfahren berechneten Schwebstoffkonzentrationen an einem Punkt zeigt *Abbildung 16*.

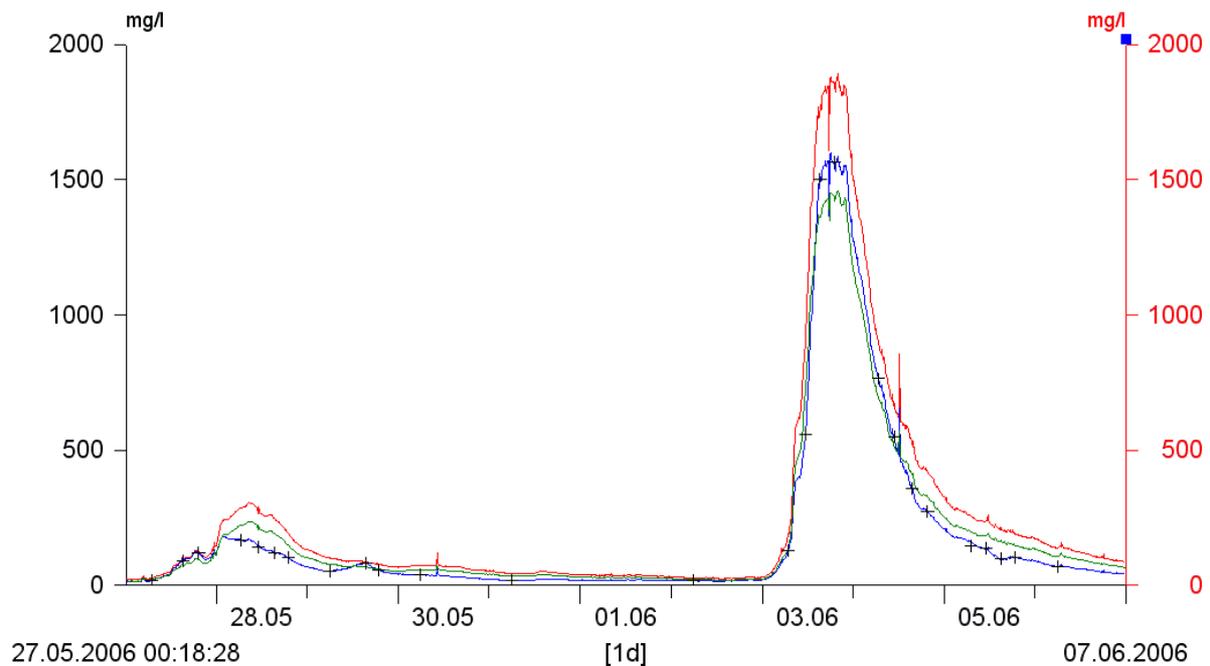


Abbildung 16: **Sondenaufzeichnung (rot), Kalibrierproben (schwarz), kontinuierliche Schwebstoffkonzentration an einem Punkt mittels Regression berechnet (grün), kontinuierliche Schwebstoffkonzentration an einem Punkt mittels Sondenbeiwert berechnet (blau) an der Messstelle Steyr-Ortskai/Enns**

5.3 Bestimmung des Schwebstofftransportes und der mittleren Schwebstoffkonzentration

Der Schwebstofftransport ergibt sich gemäß *Gleichung 2*.

$$Q_s = \int_0^b \int_0^{t_w} s_0 \cdot v \, dt_w \, db \quad (2)$$

- Q_s Schwebstofftransport
- s_0 Schwebstoffkonzentration
- v Fließgeschwindigkeit
- t_w Wassertiefe
- b Breite des Gewässers

Die mittlere Schwebstoffkonzentration im Profil ergibt sich als Quotient von Schwebstofftransport und Durchfluss (*Gleichung 3*).

$$s_m = \frac{Q_s}{Q} \quad (3)$$

s_m mittlere Schwebstoffkonzentration

Q_s Schwebstofftransport

Q Durchfluss

Zur praktischen Ermittlung des Schwebstofftransportes und der mittleren Schwebstoffkonzentration werden unterschiedliche Verfahren angewendet, die nachfolgend beschrieben sind.

Ein Beispiel für die Verteilung der Schwebstoffkonzentration, der Fließgeschwindigkeit und des Schwebstofftransportes im Querprofil ist in *Abbildung 17* dargestellt.

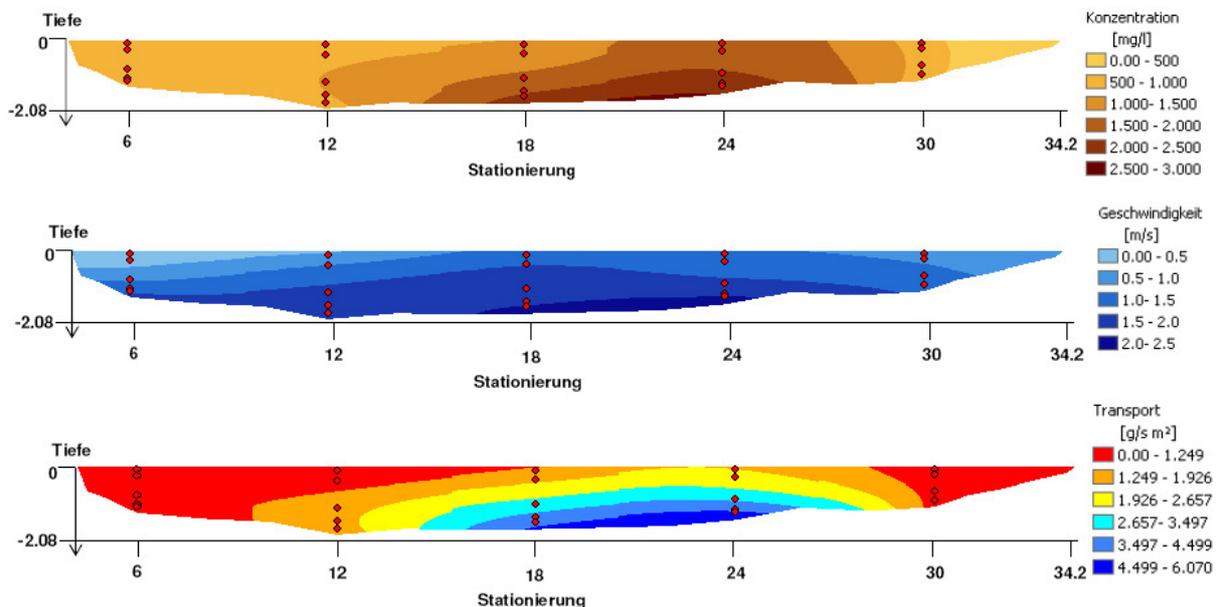


Abbildung 17: Schwebstoff-, Fließgeschwindigkeits- und Transportverteilungen im Querprofil an der Messstelle Bruck/Salzach (Wagner, 2006)

5.3.1 Bestimmung mittels Vielpunktentnahmen

Die Auswertung von Vielpunktentnahmen erfolgt anhand der gravimetrisch bestimmten Schwebstoffkonzentrationen in den Entnahmepunkten unter Berücksichtigung der zugehörigen Fließgeschwindigkeiten. Das Prinzip zur Bestimmung des Schwebstofftransportes im Querprofil wird in *Abbildung 18* dargestellt.

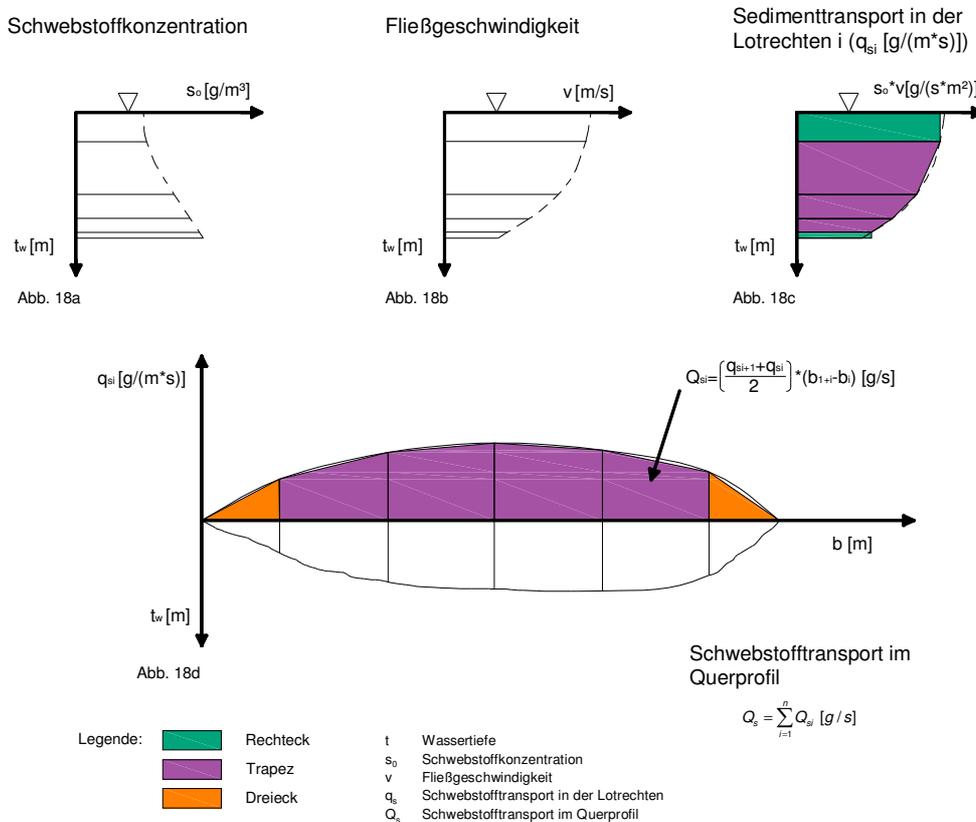


Abbildung 18: Konventionelles Auswerteverfahren für Vielpunktentnahmen (verändert nach DVWK, 1986)

Für die rechnerische Auswertung ist eine Integration über die Wassertiefe und über die Breite erforderlich, welche näherungsweise durch abschnittsweise Linearisierung der Verteilungsfunktionen (Unterteilung der Lotrechten und des Querprofils in Rechtecke, Trapeze und Dreiecke) ermittelt wird. Im ersten Schritt wird in jedem Messpunkt und in jeder Messlotrechten das Produkt aus der Schwebstoffkonzentration s_0 und der Fließgeschwindigkeit v gebildet. Der Schwebstofftrieb entlang einer Lotrechten in [g/(m*s)] errechnet sich aus dem Inhalt der Fläche jeder Lotrechten von der Wasseroberfläche bis zur Sohle (Abbildung 18c). Hierfür werden die Flächen vom untersten Entnahmepunkt bis zum obersten Entnahmepunkt durch Trapeze angenähert und die Fläche vom obersten Entnahmepunkt bis zur Gewässeroberfläche und vom untersten Entnahmepunkt zur Sohle als Rechteck gerechnet.

Der Schwebstofftransport Q_s in [kg/s] für das gesamte Querprofil wird mit Hilfe der Trapezformel aus den Schwebstofftrieben in den einzelnen Lotrechten und den mitwirkenden Breiten ermittelt (Abbildung 18d). An den Profilrändern wird der Schwebstofftrieb gleich Null gesetzt und der Transport über die Dreieckformel berechnet.

5.3.2 Bestimmung mittels Integrationsentnahmen

Die Auswertung einer Integrationsentnahme wird in ähnlicher Weise wie jene der Vielpunktentnahme vorgenommen.

Die erste Integration über die Lotrechte erfolgt durch die Methode der Probenentnahme selbst. Die mittlere Konzentration der Lotrechten ist bei diesem Verfahren eine gewichtete Konzentration, die sich aufgrund der geforderten Isokinetik und der konstanten Hub- und Absenkgeschwindigkeit des Probennehmers ergibt.

Die Ermittlung des Schwebstofftriebs für die einzelnen Entnahmelotrechte erfolgt bei der EWI-Methode, Variante 1, ohne Durchflussmessung. Um die mittlere, mit dem jeweiligen Durchfluss gewichtete, Schwebstoffkonzentration für das gesamte Querprofil zu bestimmen, werden gedanklich alle Proben des Querprofils „zusammengeschüttet“ und daraus die mittlere Schwebstoffkonzentration bestimmt. Daher wird die mittlere Schwebstoffkonzentration (s_m) nach der Gleichung 4

$$s_m = \frac{\sum s_0 \cdot V_P}{\sum V_P} \quad (4)$$

berechnet, wobei das Probenvolumen (V_p) einer Lotrechten direkt proportional zur mittleren Fließgeschwindigkeit dieser Lotrechten angenommen wird.

Bei der EWI-Methode, Variante 2 (mit Durchflussmessung), erfolgt die Berechnung aus dem Produkt von mittlerer Geschwindigkeit und mittlerer Konzentration der Integrationsprobe. Der Schwebstofftrieb ist nach $q_{si} = (s_{mL} \cdot v_m) \cdot t_w$ zu berechnen, wobei t_w die Wassertiefe der jeweiligen Lotrechten ist. Unter Anwendung der Flächenformel für Trapeze ist der Schwebstofftransport für das gesamte Querprofil zu ermitteln $[Q_{si} = [(q_{si} + q_{si+1}) / 2] \cdot (b_{(i+1)} - b_{(i)})]$.

Bei Verwendung der EDI-Methode wird die mittlere Schwebstoffkonzentration durch arithmetische Mittelung der Schwebstoffkonzentrationen der einzelnen Lotrechten bestimmt. Dies ist durch die abflussproportionale Positionierung der Messlotrechten möglich.

5.3.3 Bestimmung mittels ADCP-Messungen

Die Auswertung von ADCP-Messungen hinsichtlich der Schwebstoffkonzentration erfolgt mit einer Software, die die Umrechnung der rückgestreuten Echointensitäten aus den ADCP-Messungen in Schwebstoffkonzentrationen ermöglicht. Die rückgestreuten Echointensitäten, die von der Wellenlänge des Ultraschallsignals, der Schwebstoffkonzentration und der Korngrößenverteilung der Partikel abhängig sind, werden von der Software über die Sonargleichung in absolute Intensitäten umgerechnet. Dazu sind zeitgleich mit den ADCP-Messungen Probenentnahmen erforderlich, deren Schwebstoffkonzentrationen in das Programm einzugeben sind. Als Ergebnis wird die Verteilung der

Schwebstoffkonzentration [mg/l] im Querprofil (Abbildung 19) erhalten. Gleichzeitig wird bei der ADCP-Messung die Verteilung der Fließgeschwindigkeit im Querprofil erfasst. Die mittlere Schwebstoffkonzentration und der Schwebstofftransport ergeben sich analog zu Gleichung 2 und Gleichung 3.

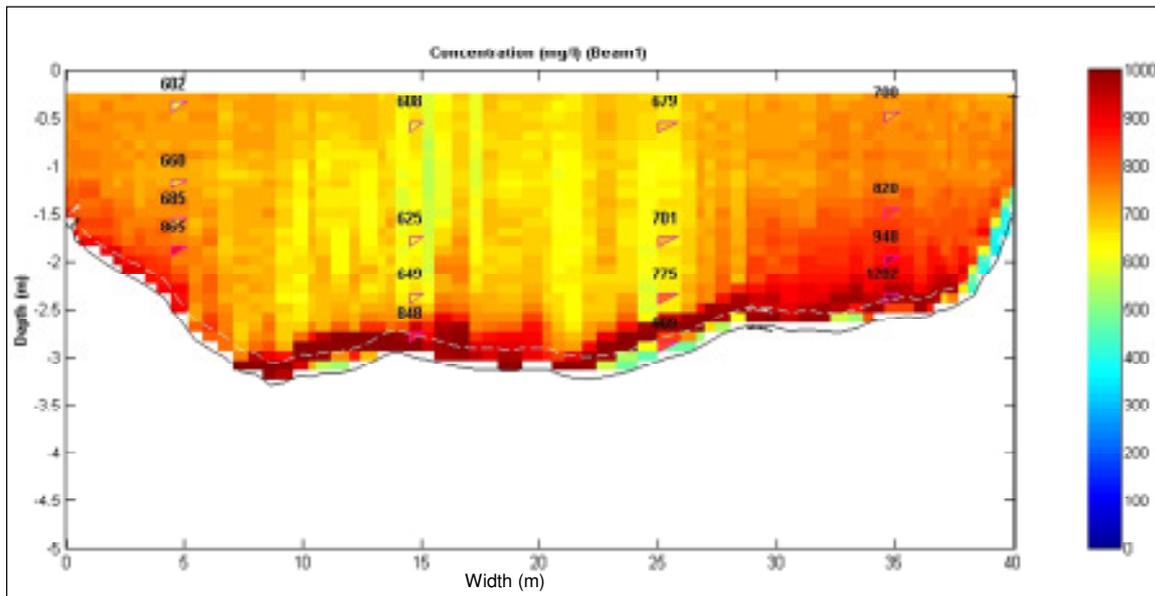


Abbildung 19: Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil mittels ADCP-Auswertung und Konzentrationen der Schwebstoffproben (Dreiecke) am Pegel Admont/Enns

5.4 Ermittlung des Querprofilbeiwertes k_p und der kontinuierlichen mittleren Schwebstoffkonzentration im Profil

Wie bereits im vorherigen Kapitel ausgeführt, werden die kontinuierliche Aufzeichnung der sondennahen Schwebstoffkonzentration und die zugehörigen Kalibrierproben lediglich lokal erfasst. Dies lässt nur eingeschränkt Rückschlüsse auf den jeweiligen Schwebstofftransport im gesamten Querprofil zu.

Um nun den Zusammenhang zwischen der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil (s_m) und der lokal gemessenen Konzentration (s_k) herstellen zu können, werden beide – annähernd zeitgleich ermittelten – Werte in Relation gesetzt und der Querprofilbeiwert k_p nach Gleichung 5 errechnet.

$$k_p = \frac{s_m}{s_k} \quad (5)$$

Wird dieses Verhältnis zu verschiedenen Zeitpunkten sowie bei unterschiedlichen Durchfluss- und Konzentrationsbedingungen gebildet und über den Durchfluss aufgetragen, so ergibt sich meist eine durchaus plausible Beziehung zwischen dem Durchfluss und dem Querprofilbeiwert [$k_p = f(Q)$]. Mit Hilfe von Regressionsgleichungen oder anderen statistischen Verfahren können empirische

Zusammenhänge hergestellt werden, die es ermöglichen, für sämtliche Durchflüsse Querprofilbeiwerte zu schätzen. Der Zusammenhang zwischen Durchfluss und Querprofilbeiwert ist messstellenspezifisch unterschiedlich (*Abbildung 20 und Abbildung 21*). Beeinflussende Faktoren sind u.a. die Entnahmestelle der Kalibrierproben, die Geschwindigkeitsverteilung und die Morphodynamik. Ähnliche Konzepte wurden von *Spreafico et al. (2005)* und von *Porterfield (1972)* formuliert.

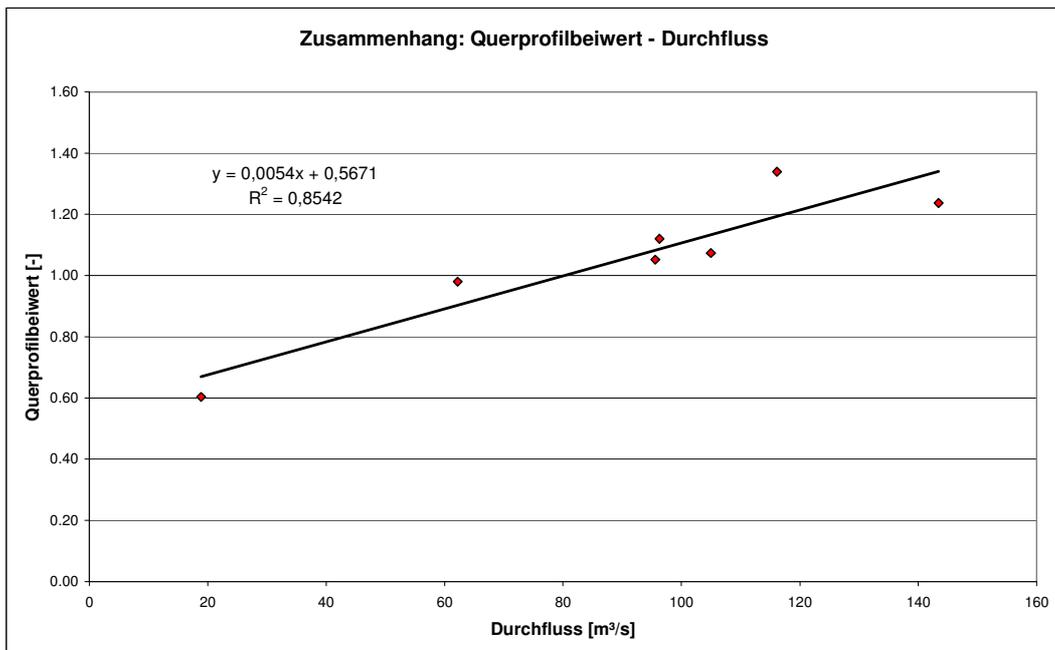


Abbildung 20: Zusammenhang: Querprofilbeiwert – Durchfluss an der Messstelle Gisingen/III

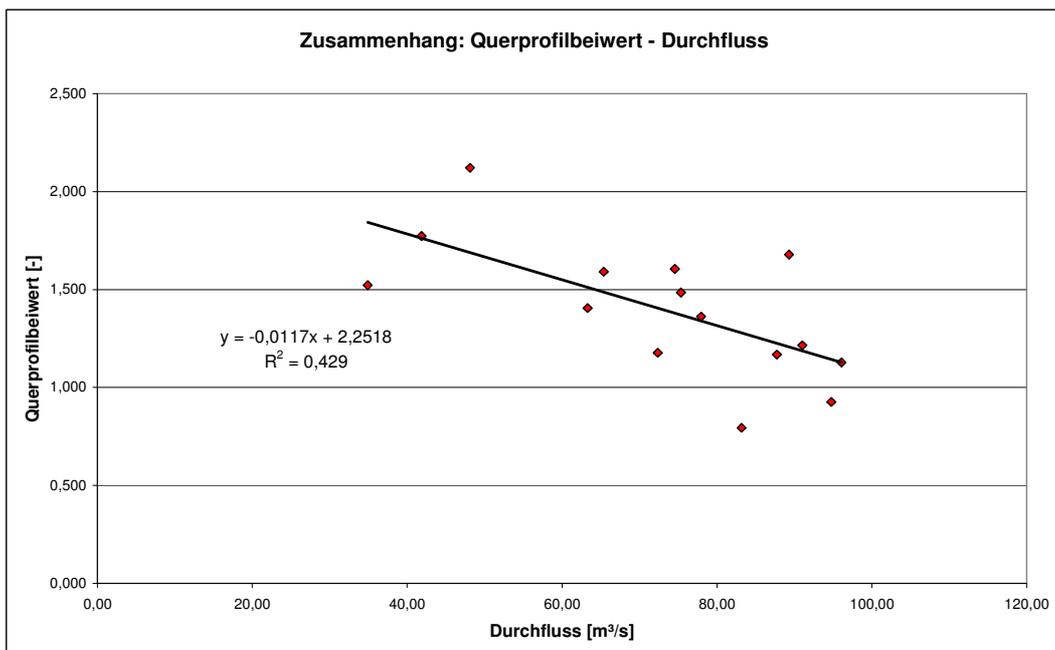


Abbildung 21: Zusammenhang: Querprofilbeiwert – Durchfluss an der Messstelle Dellach/Drau

Durch Multiplikation der vom Durchfluss abhängigen Ganglinie des Querprofilbeiwertes mit jener der Schwebstoffkonzentration in Sondennähe wird eine Zeitreihe der mittleren Schwebstoffkonzentration im Profil erstellt (Gleichung 6).

$$s_m = k_p [f(Q)] \cdot s_k \quad (6)$$

5.5 Berechnung des Schwebstofftransportes und der Fracht

Mit dem Durchfluss und der durch die vorangegangenen Umformungen zur Verfügung stehenden mittleren Schwebstoffkonzentration wird durch eine einfache Multiplikation der beiden Zeitreihen der entsprechende Schwebstofftransport Q_s [kg/s] errechnet (Abbildung 22). Durch Integration dieser Transportganglinie über die Zeit werden so für beliebige Zeiträume die Schwebstofffrachten V_s [kg bzw. t] bestimmt (Gleichung 7 und Abbildung 23).

$$V_s = \int_{t_1}^{t_2} Q_s(t) dt \quad (7)$$

V_s Schwebstofffracht
 Q_s Schwebstofftransport
 t Zeit

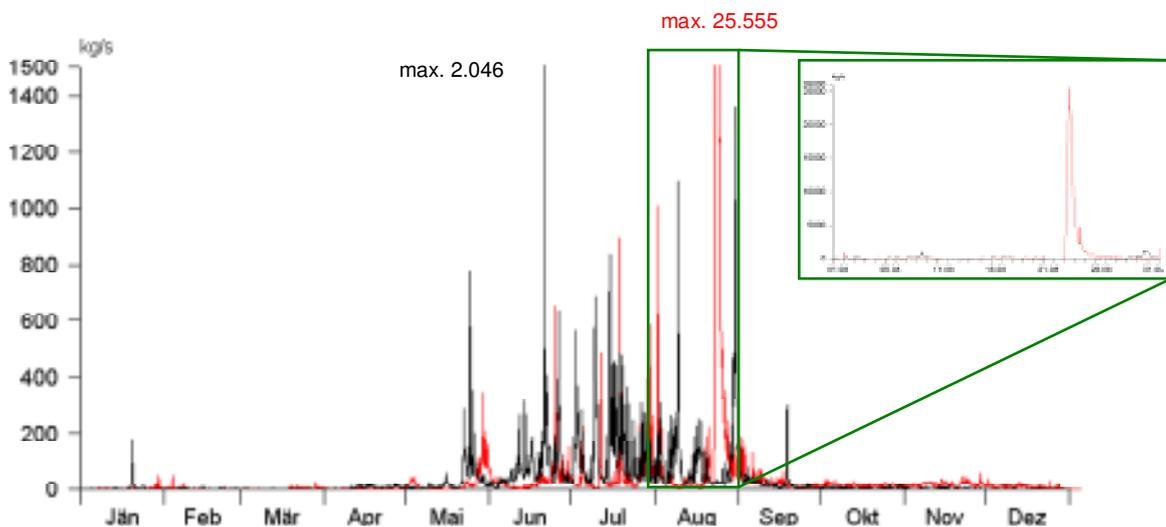


Abbildung 22: Schwebstofftransport im Jahr 2005 (rot) und im Jahr 2007 (schwarz) an der Messstelle Innsbruck/Inn; in Abbildung abgeschnitten: am 23.8.2005 Spitze bei 25.555 kg/s (11:30), am 21.6.2007 Spitze bei 2.046 kg/s (3:30)

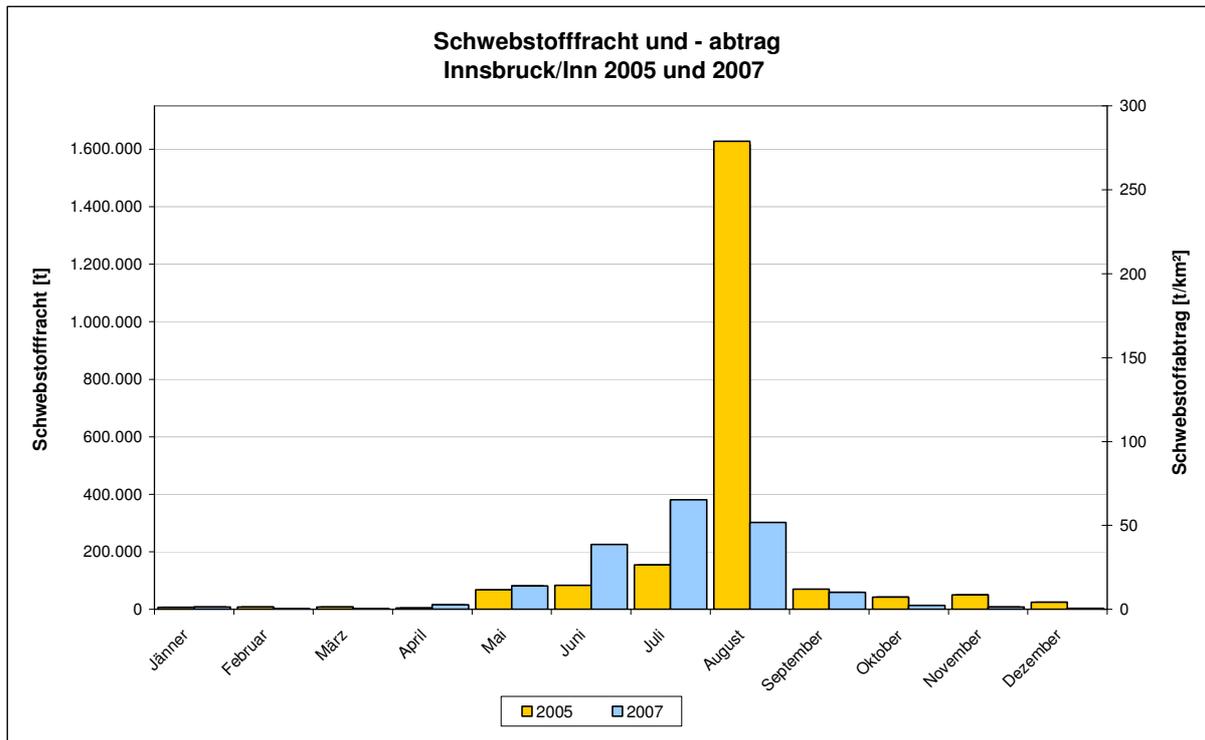


Abbildung 23: Monatliche Schwebstofffrachten und monatlicher Schwebstoffabtrag im Jahr 2005 und 2007 an der Schwebstoffmessstelle Innsbruck/Inn

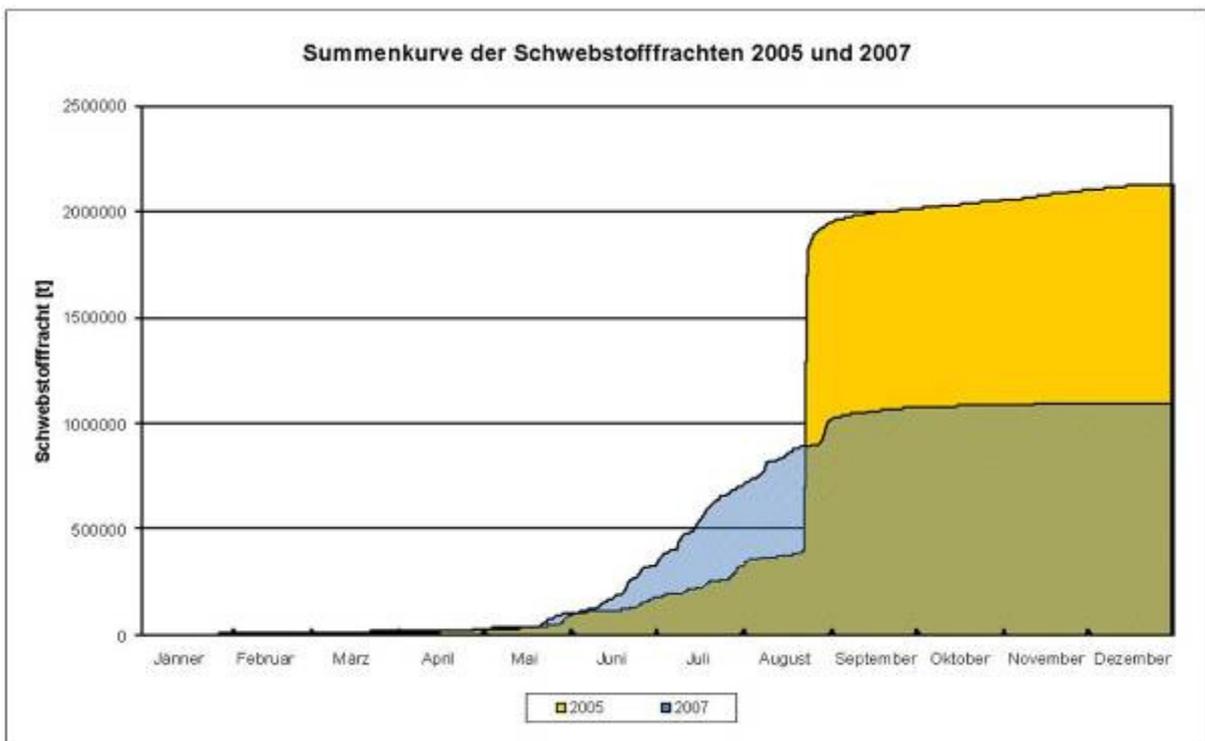


Abbildung 24: Summenkurve der Schwebstofffrachten an der Schwebstoffmessstelle Innsbruck/Inn für das Jahr 2005 und 2007

Bei der Auswertung von Jahresfrachten zeigt es sich häufig, dass während größerer Hochwasserereignisse ein erheblicher Anteil der Jahresfracht an Schwebstoffen transportiert wird. Während des Hochwasserereignisses im Jahr 2005 wurde in 5 Tagen rund 70 % der gesamten Schwebstofffracht des Jahres transportiert (*siehe Abbildung 24*). Damit werden frühere Ergebnisse (*Nachtnebel, 1998*) bestätigt. Ungenauigkeiten bei der Erfassung von Schwebstoffkonzentrationen während Hochwasserereignissen wirken sich daher viel stärker auf die Frachtermittlung aus als während Niederwasserzeiten.

5.6 Auswertemethoden bei fehlender kontinuierlicher Messung

Um auf den zeitlichen Verlauf der Schwebstoffkonzentrationen zwischen den Entnahmezeitpunkten zum Zweck der Frachtberechnung zu schließen, wurden unterschiedliche Verfahren entwickelt. Es sind dies einerseits die „Extrapolationsverfahren“, die, basierend auf einem Regressionsmodell, die Schätzung der Schwebstoffkonzentrationen in Abhängigkeit vom Durchfluss ermöglichen. Die Daten zur Regressionsberechnung sollten zeitlich möglichst nahe zu den fehlenden Daten gewählt werden. Des Weiteren existieren verschiedene Interpolationsmethoden, die eine Gewichtung der jeweiligen Konzentrationswerte zeit- oder abflussbasiert im Rahmen der Frachtberechnungen zulassen.

Das Aufstellen von empirischen Zusammenhängen zwischen Durchfluss und Konzentration stellt softwaretechnisch keine Schwierigkeit dar. Die Eingangsdaten (Stichproben) erfüllen meist jedoch nicht die Voraussetzungen, die für derartige Regressionsmodelle gegeben sein müssen. Dies betrifft vor allem die Verteilung der Residuen.

Für Interpolationsverfahren existiert eine größere Anzahl von Ansätzen, die für identische Datensätze unterschiedliche Ergebnisse bei den Frachtberechnungen liefern. Welche Methode sich für den jeweiligen Datensatz am besten eignet, muss individuell beurteilt werden.

6. LITERATUR

Aardom, J. H; Mol, J.-W. (2005): Quantification of sediment concentrations and fluxes from ADCP measurements, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 12.05, Akustische Doppler Geräte (ADCPs) in der Hydrometrie: Möglichkeiten und Perspektiven einer innovativen Technik, Beiträge zum Seminar am 28./29. September 2005 in Koblenz

Altenhofer, M. (2007): Schwebstoffmonitoring an der Enns in Steyr, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien

Bacher, K. (2008): Schwebstoffmonitoring an der Drau, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien

BfG-Bundesanstalt für Gewässerkunde (2003): Bedeutung der Nebenflüsse für den Feststoffhaushalt der Elbe, Abschlussbericht Bd. 1, Koblenz, April 2003

Bittner, G. (2008): Vergleich von Trübungssonden bei der Schwebstoffmessung unter definierten Laborbedingungen, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien

Bogen, J. (2005): Persönliche Mitteilung, Oslo 06/2005

DIN 38 409 Teil 2 (1987): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H), Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes (H2), Normungsausschuß Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

DVWK (1986): Schwebstoffmessungen, Regeln zur Wasserwirtschaft Nr. 125/1986; Kommissionsvertrieb Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

Edwards, T., Glysson, G. (1999): Field methods for measurement of fluvial sediment, Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, Book 3, Application of Hydraulics, Chapter C2, Reston, Virginia

Gattermayr, A. (2005): Schwebstoffmessung und Extrapolation der punktuell gemessenen Schwebstoffwerte auf den gesamten Flussquerschnitt, Diplomarbeit, Management Center Innsbruck, Innsbruck

Grasso, D. A.; Jakob A. ; Spreafico M. (2007): Abschätzung der Schwebstofffrachten mittels zweier Methoden, Wasser Energie Luft – 99. Jahrgang, Heft 3, Baden

Gray, J. R.; Melis, T.S.; Patiño, E.; Larsen, M. C.; Topping, D. J.; Rasmussen, P. P.; Figueroa-Alamo, C. (2003): U.S. Geological Survey Research on Surrogate Measurements for Suspended Sediment, <http://www.tucson.ars.ag.gov/icrw/Proceedings/Gray.pdf> (01.09.2008)

Habersack, H. M.; Bürgel, J.; Petraschek, A. (2004): Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 - FloodRisk, Synthesebericht; herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 181 S.

Habersack, H. M.; Schneider, J.; Bogner, K.; Brauner, M.; Markart, G.; Kohl, B.; Badura, H.; Fencia, F.; Gamerith, B.; Koboltschig, G.; Mayr, P.; Mischker, J.; Öhlböck, K.; Preinsdorfer, St.; Santner, P.; Wakonig, B.; Botthof, M.; Fieger, St. (2002): Water resources management in a changing environment: the impact of sediment on sustainability – WARMICE, EU-Projekt betreffend Stauraumverlandung (gemeinsam mit England und Spanien), Endbericht an die EU

- Habersack, H. M.; Bogner, K.; Schneider, J.; Brauner M. (2001): Catchment-wide analysis of the sediment regime with respect to reservoir sedimentation, J. of Sediment Research, Vol. 16, No. 2, 159-169.
- Haimann, M. (2007): Schwebstoffmonitoring an der Sulm und an der Enns, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien
- Hauer, H. (2007): Schwebstoffmessung an der Messstelle Neumarkt/Raab, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien
- ISO 4363 (2001): Measurement of liquid flow in open channels – Methods for measurement of characteristics of suspended sediment, ISO, Genf
- Kasess, D. (2006): Optimierung der Schwebstoffmessung an der Traisen in Niederösterreich, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien
- Kerschbaumsteiner, W. (in prep.): Schwebstoffmonitoring an österreichischen Fließgewässern unter Anwendung moderner Messtechnik, Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien
- Kirchlechner, P.; Niedermühlbichler, H. (2004): persönliche Mitteilung, Wien
- Kremser, H. (2007): Schwebstoffmessung an Ill und Rhein, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien
- Lalk, P. (2003): Bericht über die 9. Sitzung der Arbeitsgruppe Schwebstoffmessung (unveröffentlicht), BMLFUW, Wien
- Maniak, U. (1997): Hydrologie und Wasserwirtschaft, Eine Einführung für Ingenieure. 5. bearbeitete Auflage, Springer Verlag, Berlin
- Müller, H. W.; Nachtnebel, H. P.; Schwaighofer, B. (1993): Schwebstoffanalyse und -bilanz in Fluss-Stauhaltungen, Schriftenreihe der Forschungsinitiative des Verbundkonzerns, Band 15, Wien
- Nachtnebel, H.; Seidelmann, R.; Müller, H.; Schwaighofer, B. (1998): Herkunft und Zusammensetzung der Schwebstoffe in der Donau und ihren wichtigsten Zubringern, Band 45, Schriftenreihe der Forschung im Verbund
- Newcomble, C. P.; MacDonald, D. D. (1991): Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. N. Am. J. Fish. Managem. 11, S 72–82
- ÖNORM B 2400 (2004): Hydrologie – Hydrographische Fachausdrücke und Zeichen – Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN ISO 772, Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖNORM B 2401 (2006): Hydrometrie – Methoden zur Bestimmung des Durchflusses und der Geschwindigkeit in offenen Gerinnen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖNORM B 2403 (1998): Durchflussmessung mit dem hydrometrischen Flügel, Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖNORM EN ISO 7027 (2000): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Trübung, Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- ÖNORM M 6274 Teil 2 (1985): Wasseruntersuchung – Bestimmung der Massenkonzentration an abfiltrierbaren Stoffen und ihres Glührückstandes, Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- Porterfield, G. (1972): Computation of fluvial-sediment discharge, Techniques of Water-Resources Investigations, United States Geological Survey, Chapter C3
- Schoellhamer, D. H.; Wright S. A. (2003): Continuous measurements of suspended sediment discharge in rivers by use of optical backscatterance sensors, US Geological Survey, Sacramento, California, USA

Sillaber, M. (2004): Optimierung der Schwebstoffmessung an der Ill, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien

Spreafico, M.; Lehmann, C.; Jakob, A.; Grasso, A. (2005): Feststoffbeobachtung in der Schweiz – Ein Tätigkeitsbericht der Landeshydrologie, Berichte des BWG, Serie Wasser nr. 8, Bern

Stimpfl, G. (2006): Schwebstoffmonitoring an Mur und Raab, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien

Strasser, M (1998): Vergleichende Untersuchungen von Geräten zur Bestimmung der Korngrößenverteilung von Schwebstoffen, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien

Wagner B. (2006): Schwebstoffmonitoring an den Pegelstellen Bruck und Golling an der Salzach, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien

7. ANHANG

ANHANG A: Geräte für die direkte und indirekte Erfassung der Schwebstoffkonzentration

A.1 Geräte für die direkte Probenentnahme

A.1.1 1l-Schöpfgefäß (PE-Flasche an Teleskopstange mit bzw. ohne Einlaufrohr oder am Seil)

Die Flasche wird von einer Plattform (Ufer, Steg, Brücke, Boot) aus in die gewünschte Position gebracht und befüllt (Abbildung 25 und Abbildung 26). Je nach Ausstattung des Schöpfgefäßes ergeben sich unterschiedliche Einsatzbereiche. Bei Verwendung einer Teleskopstange eignet sich der Sammler zur Entnahme von Kalibrierproben vom Ufer aus. Wird der Flascheneinlauf durch ein Einlaufrohr (siehe Abbildung 26) verjüngt, erfolgt die Probenentnahme zeitlich integrierend. Zur Entnahme von Schwebstoffproben von der Brücke oder vom Steg aus wird das Schöpfgefäß am Seil befestigt.



Abbildung 25: **Probenentnahme mittels Schöpfgefäß am Seil und an der Stange** (Foto links: Wagner, 2005; Foto rechts: Kremser, 2007)



Abbildung 26: **Probennehmer mit Einlaufrohr an der Stange** (Hauer, 2007)

A.1.2 Eimer

Bei Verwendung eines Eimers zur Probengewinnung wird dieser von einer geeigneten Stelle aus (Ufer, Steg, Brücke, Boot) mittels Seil oder Stange ins Wasser getaucht und befüllt. Eventuell entsteht die Gefahr der Entmischung durch Beeinflussung der Strömung (*Abbildung 27*). Eimer werden hauptsächlich zur Gewinnung von Großproben für Korngrößenanalysen eingesetzt.



Abbildung 27: **Probenentnahme links mittels Eimer und rechts mittels Nielsen-Sammler**
(Foto links: Gattermayr, 2005; Foto rechts: Stimpfl, 2006)

A.1.3 Nielsen-Sediment-Sammler

Dieses Gerät ist strömungsgünstig, zylindrisch geformt und ist zur Stabilisierung in der Strömung mit einer Schwanzflosse ausgestattet. Am vorderen Abschnitt des Gerätes befindet sich ein Einlaufrohr, das in einen Kunststoffbehälter, die Probenflasche, mündet. Aus dem Schraubverschluss der Flasche wird ein weiteres Rohr geführt, dessen Öffnung in Fließrichtung orientiert ist und der Flaschenentlüftung während des Füllvorganges dient. Die Befüllung beginnt mit dem Eintauchen ins Wasser und dauert solange an, wie sich das Gerät in der Strömung befindet. Der Einsatz des Gerätes wird üblicherweise von einer Seilkrananlage aus durchgeführt und in Position gebracht (*Abbildung 27*). Der Probensammler ohne Gewichtsstück kann aber auch wie ein „Stangenflügel“ in Form einer Watmessung (ohne Gewichtsstück) oder auch von einer Brücke aus bedient werden. Der Nielsen-Sammler wird für Integrationsentnahmen eingesetzt und ist in seichten und langsam fließenden Gewässern auch für Vielpunktentnahmen bedingt geeignet. Die Fülldauer muss vor der Entnahme durch Probieren ermittelt werden, bei zu langer Fülldauer kann es unter Umständen zur Aufkonzentration der Probe durch die Sedimentation von durchströmender Suspension kommen.

A.1.4 Schwebstoffentnahmegerät der Firma OTT

Dieses Gerät enthält 6 Probenflaschen mit je 2 Liter Inhalt. Ähnlich dem Nielsen-Sammler strömt über ein Einlaufrohr an der Gerätespitze die Wasserprobe in das Gerät. Über eine eigene Steuereinheit, können die 6 Probeflaschen nacheinander gefüllt werden (Abbildung 28). Da der Betrieb des Gerätes gewichtsbedingt eine Seilkrananlage erfordert, ist es möglich, mit einer „Fahrt“ 6 Punktproben einer Vielpunktentnahme oder auch 6 Lotrechte nach dem Integrationsverfahren zu gewinnen. Auch hier muss die Fülldauer vor der Messung durch Probieren ermittelt werden, um eine Aufkonzentration der Probe zu vermeiden. Aufgrund ungünstiger Strömungseigenschaften kann es zu starker Abdrift des Gerätes kommen. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Probenentnahme nicht isokinetisch erfolgt und andererseits bereits während der Probenentnahme der ersten Flasche auch Wasser in die übrigen Flaschen eindringt. Aufgrund der genannten Nachteile wird eine Anwendung des Gerätes ohne Verbesserungsmaßnahmen nicht empfohlen.



Abbildung 28: links: **Ott-Sammler** (Foto: Gattermayr, 2005) und rechts: „**Tirol Torpedo**“ (Prototyp nach H. **Bucher**) (Foto: Wagner, 2006)

A.1.5 Schwebstoffentnahmegerät des HD Tirol („Torpedo“)

Dieses Gerät ist dem Nielsen Probensammler ähnlich, es enthält jedoch zusätzlich ein fernsteuerbares Ventil, das das Einströmen von Wasser in das Probengefäß steuert. Damit ist es prinzipiell möglich, dieses Gerät sowohl als Integrationsammler als auch für Vielpunktentnahmen einzusetzen. Das Gerät wurde als Prototyp hergestellt (Abbildung 28). Ob es bei einer zu langen Fülldauer zu einer Aufkonzentration der Proben kommt, wäre noch zu prüfen. Ebenso ist die Stabilität des Gerätes bei hohen Fließgeschwindigkeiten nicht bekannt. Im derzeitigen Entwicklungszustand ist eine Verwendung des Gerätes noch nicht empfehlenswert.

A.1.6 Schwebstoffentnahmegerät des IWHW

Dieses Gerät besteht im Wesentlichen aus einem beidseitig offenen Rohr mit relativ großem und konstantem Durchmesser. Bei der Probenentnahme wird das Rohr in Fließrichtung durchströmt. Zwei ferngesteuerte Klappen lassen einen gleichzeitigen Verschluss des Rohres zur Probenentnahme zu. Das Gerät ist für die Probengewinnung im Rahmen von Vielpunktentnahmen gedacht und kann in Kombination mit dem Messflügel eingesetzt werden. Bei höheren Fließgeschwindigkeiten ($\geq 2,5$ m/s) ist der kombinierte Einsatz nicht mehr sinnvoll, da der Strömungswiderstand zu groß wird und durch seitliche Ablenkung die Lage und damit die Fließgeschwindigkeitsmessung ungünstig beeinflusst wird. Verbesserungen wären durch eine verkleinerte und strömungsgünstige Bauform zu erreichen. Das Gerät befindet sich im Prototypenstadium (*Abbildung 29*). Da mit diesem Gerät eine zeitliche Integration nicht möglich ist und lediglich Momentanproben gewonnen werden können, wird der Einsatz bei Vielpunktentnahmen nicht empfohlen.



Abbildung 29: links: IWHW-Sammler und rechts: US-P61 Suspended-Sediment-Sampler (Foto links: Kasess, 2006; Foto rechts: Seitz)

A.1.7 Schwebstoffentnahmegerät US-P61A

Dieses Gerät ist dem Nielsen-Sammler ähnlich, besitzt jedoch zusätzlich eine Ventilsteuerung, die ein kontrolliertes Einströmen von Wasser in das Probengefäß ermöglicht. Damit ist es möglich, dieses Gerät sowohl als Integrationssammler als auch für die Probenentnahme bei Vielpunktentnahmen einzusetzen (*Abbildung 29*). Auch hier muss die Fülldauer vor der Messung durch Probieren ermittelt werden, um eine Aufkonzentration der Probe zu vermeiden. Der US-P61A ist ein international anerkanntes Gerät und stellt das Referenzgerät gemäß ISO 4363 dar.

A.1.8 Pumpentnahme

Grundsätzlich ist es möglich, die sondennahen Proben mittels Pumpprobennehmern automatisiert zu gewinnen. Die Geräte enthalten einen Satz von Probeflaschen, die von verschiedenen Parametern abhängig befüllt werden können.

Im Bereich von Kraftwerken an der Donau werden 1-Liter-Proben durch Entnahmeautomaten im Unterwasser des Trennpfeilers zwischen Wehranlage und Krafthaus gewonnen.

Vorteile:

- punktintegrierende Probenentnahme
- automatisiert
- sondennahe Entnahme möglich
- zeitlich beliebig einsatzbereit, daher optimale Verteilung der Proben möglich

Nachteile:

- begrenzte Saughöhe (Überflutungsgefahr im Hochwasserfall)
- nicht frostsicher
- isokinetische Entnahme nur bei einer bestimmten Geschwindigkeit gegeben
- Saugöffnung sollte in Fließrichtung weisen; dabei große Verstopfungsgefahr
- wartungsintensiv

Einsatzbereich:

- Entnahme von Kalibrierproben
- bei Kraftwerken
- Gewinnung von zusätzlichen Proben im Hochwasserfall



Abbildung 30: links: ISCO-Sampler (Foto: Habersack et al., 2002), rechts: Pumpanlage im Kraftwerk Ybbs-Persenbeug (Foto: Verbund – AHP)

A.1.9 Gegenüberstellung der Messgeräte für die direkte Probenentnahme

Zur Veranschaulichung der Vor- und Nachteile der einzelnen Entnahmegерäte erfolgt in *Tabelle 3* eine Gegenüberstellung im Bezug auf die bedeutendsten Parameter.

Tabelle 3: Vergleich der Entnahmegерäte für die direkte Probenentnahme

Vergleich der Entnahmegерäte für die Probenentnahme								
Parameter /Entnahmegерät	Schöpfgefäß	Eimer	Nielsen	OTT*	Torpedo*	IWHW*	US-P61A	Pumpsammler
Anschaffungskosten	gering	gering	gering/mittel	hoch	mittel	mittel	mittel	je nach Typ
Zeitbedarf für Probenentnahme	gering	gering	mittel	mittel	groß	groß	groß	gering
Zeitbedarf für Wartung	gering	gering	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	hoch
Handhabung	manuell	manuell	manuell/SK**	Seilkran	Seilkran	Seilkran	Seilkran	automatisch
Umfüllen	nicht erforderlich	erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich
Eintauchtiefe	nur oberflächennah	nur oberflächennah	beschränkt	unbeschränkt	unbeschränkt	unbeschränkt	unbeschränkt	je nach Typ
Probenmenge	1 Liter	5 - 10 Liter	max. 1 Liter	max. 2 Liter	max. 1 Liter	1 Liter	max. 1 Liter	je nach Typ
Einsatz bei hoher Fließgeschwindigkeit	ja	schwierig	beschränkt	schwierig	nicht bekannt	schwierig	ja	ja
Beginn der Befüllung	mit Eintauchen	mit Eintauchen	mit Eintauchen	steuerbar	steuerbar	steuerbar	steuerbar	steuerbar
Entnahme isokinetisch	nein	nein	annähernd	nein	nein	ja	ja	ja/nein
integrierende Befüllung möglich	abh. v. Schöpfgefäß	nein	ja	ja	ja	nein	ja	ja

*im Handel nicht bzw. nicht mehr erhältlich

**Seilkran

A.2 Geräte für die indirekte Erfassung der Schwebstoffkonzentration

Die nachfolgend angeführten Geräte sind Beispiele für die derzeit in Österreich verwendeten Geräte, für welche bereits Erfahrungen (Stand 2008) vorliegen (siehe *Kapitel 3.4.2*). Darüber hinaus wurden vor allem bei Trübungssonden Voruntersuchungen durchgeführt (*Bittner, 2008*).

A.2.1 *Solitax ts-line*

An vielen Messstellen des Basismessnetzes wird derzeit die Trübungssonde Solitax ts-line von Hach-Lange eingesetzt. Diese Sonde arbeitet mit einem kombinierten Infrarot-Absorption-Streulichtverfahren, wobei zwei Messkanäle verwendet werden. Die Trübung [FNU] wird nach der herkömmlichen 90°-Streulichtmethode bestimmt. Bei Umstellung auf [g TS/l] wird zusätzlich der zweite Messkanal aktiviert. Diese Streulichtmessung liegt in einem Winkel von 140° zur Lampe und bewirkt eine Feststoffmessung unabhängig vom Absorptionskoeffizienten im Infrarotbereich, d.h. dadurch wird der Farbeinfluss kompensiert.

Der Messbereich liegt zwischen 0,001 und 4000 FNU bzw. 0,001 bis 50 g TS/l. Die Genauigkeit wird vom Hersteller mit < 1 % bzw. < 5 % angegeben. Die Sensoren werden im Werk nach der DIN ISO 7027 eingestellt. Eine jährliche Wartung ist empfehlenswert. Um das Messfenster von Partikelverschmutzung frei zu halten, ist in die Sonde ein Wischer integriert, der in manuell wählbaren Intervallen das Messfenster mit einer Gummilippe reinigt.



Abbildung 31: Sonde Solitax ts-line in Schutzrohr und mit Wischer (Foto: Hauer, 2007)

Bei der Verwendung von Solitax ts-line Sonden sollten die Einstellungen nach den Empfehlungen in *Tabelle 4* gewählt werden.

Tabelle 4: Einstellungen bei Solitax ts-line

EINSTELLUNGEN	WAHLMÖGLICHKEITEN	WERKS-KONFIG	EMPFEHLUNG
Parameter	TRB, TS		TS
Messeinheit	TRB (FNU, EBC, TE/F, NTU) TS (mg/l, g/l, ppm, %)	FNU	mg/l
Reinig. Intervall	1 min, 5 min, 15 min, 30 min, 1 h, 4 h, 12 h, 1 Tag, 3 Tage, 7 Tage	12 h	4 h
Ansprechzeit	0 – 300 s	3s	60 s
Loggerintervall	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15 min	10 min	15 min

A.2.2 *spectro::lyser*TM

Der *spectro::lyser*TM der Firma *s::can* ist eine Spektrometersonde, die nach dem Messprinzip der UV-VIS-Spektrometrie arbeitet. Neben der Trübung können mit dieser Sonde auch andere Parameter im Wellenlängenbereich von 200–750nm erfasst werden. Um unterschiedlichste Anwendungsfälle abzudecken, wird der *spectro::lyser*TM mit Messweglängen von 1mm bis 100mm angeboten. Je kürzer der Messweg, desto größer ist der erfassbare Messbereich: die Genauigkeit der Messung nimmt jedoch dadurch ab. Bei einer gewählten Pfadlänge von 5 mm kann ein Messbereich bis 20 g TS/l erreicht werden. Die Kalibrierung erfolgt in zwei Schritten. Bei der globalen Kalibrierung wird die Spektrometersonde an häufig auftretende Anwendungsbereiche angepasst. Es sind darin die Algorithmen zur Berechnung der Parameter aus den Fingerprints (Darstellung des Absorptionsspektrums für einen konkreten Messzeitpunkt in Abhängigkeit der Wellenlänge) enthalten. Während der lokalen Kalibrierung wird die Sonde an die konkrete Zusammensetzung des zu messenden Mediums mit Hilfe von Vergleichswerten aus dem Labor angepasst. Die Reinigung der Messoptik erfolgt über Druckluft, die durch ein Ventil in unmittelbarer Nähe zum Messfenster in regelmäßigen Abständen austritt. Sowohl das Reinigungsintervall als auch die Stärke des Druckstoßes (bis 8 bar) können variiert werden.



Abbildung 32: links: Spectro::lyser™ der Firma s::can, rechts: Messpfad des Spectro::lyzers (Fotos: Bittner, 2008)

A.2.3 Rio Grande

Das Workhorse Rio Grande ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) der Firma RD Instruments wird vorwiegend fest in einem Boot installiert oder mit einem Schwimmkörper (Trimaran) verwendet (Abbildung 33). Dieses Messsystem kann ab einer Wassertiefe von 75 cm eingesetzt werden. Durch die Auswahlmöglichkeit unterschiedlicher Modi kann das Gerät an die Gewässerbedingungen angepasst und somit sowohl bei Hoch- als auch bei Niederwasser eingesetzt werden. Bei Verwendung eines Trimarans als Geräteträger ist die Einsetzbarkeit bei einer Geschwindigkeit von 4 m/s begrenzt. Die Frequenz beträgt entweder 600 kHz oder 1200 kHz. Die Messgenauigkeit beträgt $\pm 0,25\%$ der Geschwindigkeit (Wasser und Boot) oder $\pm 0,25$ cm/s.

Nachteilig wirkt sich bei diesem System die große Zeitspanne aus, die der Sensor zum Abklingen der Eigenschwingungen benötigt um zwischen Senden und Empfangen umzuschalten. Gemeinsam mit der Eintauchtiefe des Wandlers resultiert dies in einem oberen Blankingbereich von rund 35 cm. Das bedeutet, dass die obersten 35 cm weder für die Geschwindigkeits- noch für die Schwebstoffkonzentrationsbestimmung erfassbar sind.



Abbildung 33: Geräteträger „Trimaran“ des ADCP-Gerätes „Workhorse Rio Grande ZedHed“ (Foto: Haimann, 2007)

A.2.4 *StreamPro*

Das StreamPro ADCP der Firma RD Instruments (*Abbildung 34*) arbeitet nach dem Prinzip der Breitband-Doppler-Technologie. In der Standardausstattung ist das Gerät vor allem für seichte Gewässer ohne nennenswerten Wellengang, bei Tiefen von 0,3 m bis 2 m, und Fließgeschwindigkeiten bis zu 3 m/s geeignet. Die Messgenauigkeit wird mit $\pm 1,0\%$ oder $\pm 0,2$ cm/s angegeben. Die Lieferung des Sensors erfolgt in Kombination mit einem Katamaran, der von Brücken oder Seilkrananlagen aus eingesetzt werden kann. Mittels Bluetooth werden die Messdaten auf einen Pocket-PC übertragen, wobei die Reichweite der Verbindung beschränkt ist. Durch die höhere Frequenz von 2 MHz im Vergleich zum Workhorse Rio Grande ist der Einsatz bei hohen Schwebstoffkonzentrationen nicht möglich, da die Schwingungen rascher gedämpft werden.



Abbildung 34: ADCP-Gerät „Stream Pro“ der Firma RD Instruments (Foto: Haimann)

Optional wird ein größeres Messboot angeboten, das stabiler im Wasser liegt und daher bei Fließgeschwindigkeiten bis zu 4 m/s eingesetzt werden kann. Ebenso ist eine Software-Erweiterung erhältlich, die eine Vergrößerung der Messtiefe auf bis zu 4 m ermöglicht. Um größere Reichweiten zu erzielen, kann mit Hilfe der Software WinRiver II das Messgerät über eine Antenne auch vom Laptop aus bedient werden. Dadurch kann die Reichweite je nach Antenne auf 100–200 m erhöht werden.

A.2.5 *Gegenüberstellung von Rio Grande und Stream Pro*

Zur Veranschaulichung der Einsatzbereiche der beiden angeführten ADCP-Geräte erfolgt in *Tabelle 5* eine Gegenüberstellung der wesentlichen Parameter.

Tabelle 5: Vergleich von Rio Grande und Stream Pro (Stream Pro mit Erweiterung)

		Rio Grande	Stream Pro
Breite des Gewässers	[m]	>100	40 (200)
max Tiefe	[m]	0,6 - 21	0,3 – 2 (4)
max Geschwindigkeit	[m/s]	4,0	2,5 – 3,0
max Schwebstoffkonzentration	[mg/l]	>1000	800-1000
bei einer Tiefe von	[m]	>1,5	1,2
Turbulenz	[-]	mittel	gering

ANHANG C: BEISPIELE

C.1 Beispiel Laborauswertung

C.1.1 Gravimetrische Konzentrationsbestimmung

Die Volumenbestimmung der Probe kann gravimetrisch (indirekt) oder direkt z.B. mittels Messzylinder erfolgen.

A) Indirekte Volumenbestimmung

Die gravimetrische Volumenbestimmung erfolgt nach der *Gleichung 8*.

$$V_P = \frac{1000 \cdot m_g - m_T}{1000 \cdot \rho_w} + \frac{m_T}{1000 \cdot \rho_s} \quad (8)$$

$$s_0 = \frac{m_T}{V_P} \quad (9)$$

Dabei bedeuten:

m_g ... Masse der Gesamtprobe [g]

m_T ... Masse der Trockensubstanz [mg]

ρ_s ... Feststoffdichte [g/l] – (Richtwert 2500 g/l)

ρ_w ... Dichte des Reinwassers [g/l] (1000 g/l)

V_P ... Volumen der Gesamtprobe [l]

s_0 ... Schwebstoffkonzentration [mg/l]

Die Berechnung soll anhand des folgenden Beispiels erläutert werden:

Geg.: $m_g = 1020$ g

$m_T = 8333$ mg

$\rho_s = 2500$ g/l

$\rho_w = 1000$ g/l

Ges.: V_P

$$V_P = \frac{1000 \cdot 1020 - 8333}{1000 \cdot 1000} + \frac{8333}{1000 \cdot 2500} = 1,015 \text{ l}$$

Die Schwebstoffkonzentration errechnet sich nach *Gleichung 9* zu:

$$s_0 = \frac{8333}{1,015} = 8210 \text{ mg/l}$$

Ohne Berücksichtigung der Feststoffdichte würde das Ergebnis wie folgt lauten:

$$s_0' = 1000000 \frac{m_T}{\rho_w \cdot m_g} = 1000000 \frac{8333}{1000 \cdot 1020} = 8170 \text{ mg/l}$$

Daher ist ab einer Schwebstoffkonzentration von über 8000 mg/l bei der gravimetrischen Volumenbestimmung die Feststoffdichte auf jeden Fall zu berücksichtigen.

B) Direkte Volumenbestimmung

Bei der direkten Volumenbestimmung wird das Volumen der Schwebstoffprobe z.B. mittels Messzylinder bestimmt.

Die Bestimmung der Schwebstoffkonzentration erfolgt nach *Gleichung 9*.

Bei einer Schwebstoffkonzentration über 8000 mg/l ist bei Verwendung der gravimetrischen Volumenbestimmung die Feststoffdichte unbedingt zu berücksichtigen, sonst ist das Volumen auszulitern.

C.1.2 Schnellverfahren zur Konzentrationsbestimmung

Um rasch einen Überblick über die vorherrschende Schwebstoffkonzentration zu erhalten, kann Gleichung 10 herangezogen werden. Da dieses Verfahren ein ungenaueres Ergebnis liefert als die gravimetrische Konzentrationsbestimmung, sollte es nicht für weitere Auswertungen herangezogen werden.

$$s_0 = \frac{1000 \cdot \rho_s (m_g - \rho_w \cdot V_P)}{V_P \cdot (\rho_s - \rho_w)} \quad (10)$$

Dabei bedeuten:

m_g ... Masse der Gesamtprobe [g]

V_P ... Volumen der Gesamtprobe [l]

ρ_s ... Feststoffdichte [g/l] - (Richtwert 2500 g/l)

ρ_w ... Dichte des Reinwassers [g/l]

s_0 ... Schwebstoffkonzentration [mg/l]

Das folgende Beispiel soll zur Erklärung der Berechnungsschritte dienen:

Geg.: $m_g = 1020 \text{ g}$

$V_p = 1,015 \text{ l}$

$\rho_s = 2500 \text{ g/l}$

$\rho_w = 1000 \text{ g/l}$

Ges.: s_0

$$s_0 [mg / l] = \frac{1000 \cdot 2500 \cdot (1020 - 1000 \cdot 1,015)}{1,015 \cdot (2500 - 1000)} = 8210 mg / l$$

C.2 Beispiel Auswertung

C.2.1 Messprotokoll Kalibrierproben

PROTOKOLL					
SCHWEBSTOFFMESSSTELLE					
Pegel: <u>Innsbruck/Inn (neu)</u>			Jahr: <u>2007</u>		
Pegelnnummer: <u>201525</u>					
Datum	Uhrzeit [SOZ/MEZ]	Probennummer	Sondenauf- zeichnung [mg/l]	Wasserstand [cm]	Bemerkungen (Wetter, Farbe des Gewässers, ...)
01.03.07	08:30	ININ-01-03-07/1	15.2	234.5	grünlich, trocken
03.05.07	12:50	ININ-03-05-07/1	3.0	269.0	grünlich, trocken
09.05.07	17:35	ININ-09-05-07/1	121.0	288.5	bräunlich, trocken
11.05.07	08:15	ININ-11-05-07/1	159.0	261.0	grün-grau, trocken
18.05.07	07:35	ININ-18-05-07/1	72.1	279.0	militärgrün, trocken
21.05.07	12:55	ININ-21-05-07/1	160.0	310.5	bräunlich, trocken
23.05.07	08:15	ININ-23-05-07/1	350.0	327.0	militärgrün, trocken
25.05.07	07:30	ININ-25-05-07/1	490.0	343.0	grau-braun, trocken
25.05.07	07:50	ININ-25-05-07/2	76.0	341.0	bräunlich, trocken
26.05.07	14:10	ININ-26-05-07/1	490.0	334.0	bräunlich, Regen
31.05.07	09:30	ININ-31-05-07/1	47.0	291.0	grünlich, trocken
01.06.07	17:12	ININ-01-06-07/1	67.0	310.0	grünlich, Regen
06.06.07	17:07	ININ-06-06-07/1	44.0	323.0	grünlich, trocken
11.06.07	13:30	ININ-11-06-07/1	230.0	351.0	grünlich, trocken
13.06.07	11:05	ININ-13-06-07/1	220.0	343.0	grün-grau, trocken
22.06.07	08:05	ININ-22-06-07/1	580.0	353.0	braun, trocken
26.06.07	14:18	ININ-26-06-07/1	860.0	357.0	braun, trocken
28.06.07	10:25	ININ-28-06-07/1	89.0	326.0	grün-grau, trocken
03.07.07	07:26	ININ-03-07-07/1	840.0	360.0	grau-braun, trocken
03.07.07	15:00	ININ-03-07-07/2	540.0	351.0	grau-braun, trocken
04.07.07	09:50	ININ-04-07-07/1	278.4	362.8	grau-braun, trocken
09.07.07	19:20	ININ-09-07-07/1	330.0	340.0	grau-braun, trocken
09.07.07	07:54	ININ-09-07-07/2	930.0	399.5	grau-braun, Regen
10.07.07	08:45	ININ-10-07-07/1	1100.0	392.0	braun, Regen
12.07.07	00:00	ININ-12-07-07/1	190.0	347.0	grün-grau, trocken

laufende Protokollzahl: 1Beobachter: N.N.

C.2.2 Ermittlung der Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Profil

Zur Ermittlung der Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil werden sowohl Vielpunktentnahmen, Integrationsentnahmen als auch ADCP-Messungen in Kombination mit Probenentnahmen durchgeführt. Die erfolgte Stationierung der Lotrechten ist aus *Abbildung 35* ersichtlich. Da für die Integrationsentnahme nach der EWI-Methode mehr Lotrechten zu beproben sind als bei der Vielpunktentnahme, werden bei dieser Methode in allen 10 Lotrechten Entnahmen durchgeführt, während bei Vielpunktentnahme und ADCP-Messung nur in jeder zweiten Lotrechte Proben entnommen werden (in *Abbildung 35* grün dargestellt). In diesem Beispiel werden die Integrationsentnahmen nur beim Hochfahren von der Gewässersohle zur Gewässeroberfläche gewonnen. Gleichzeitig werden sondennah Schwebstoffproben in Form von Doppelproben zur Kalibrierung der Sonde entnommen. Die vor den Probenentnahmen durchgeführten ADCP-Messungen ergeben einen Durchfluss von $259,18 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mittelwert aus vier Messfahrten). Diese Messungen werden auch zur Bestimmung der für die Auswertungen notwendigen Fließgeschwindigkeiten herangezogen.

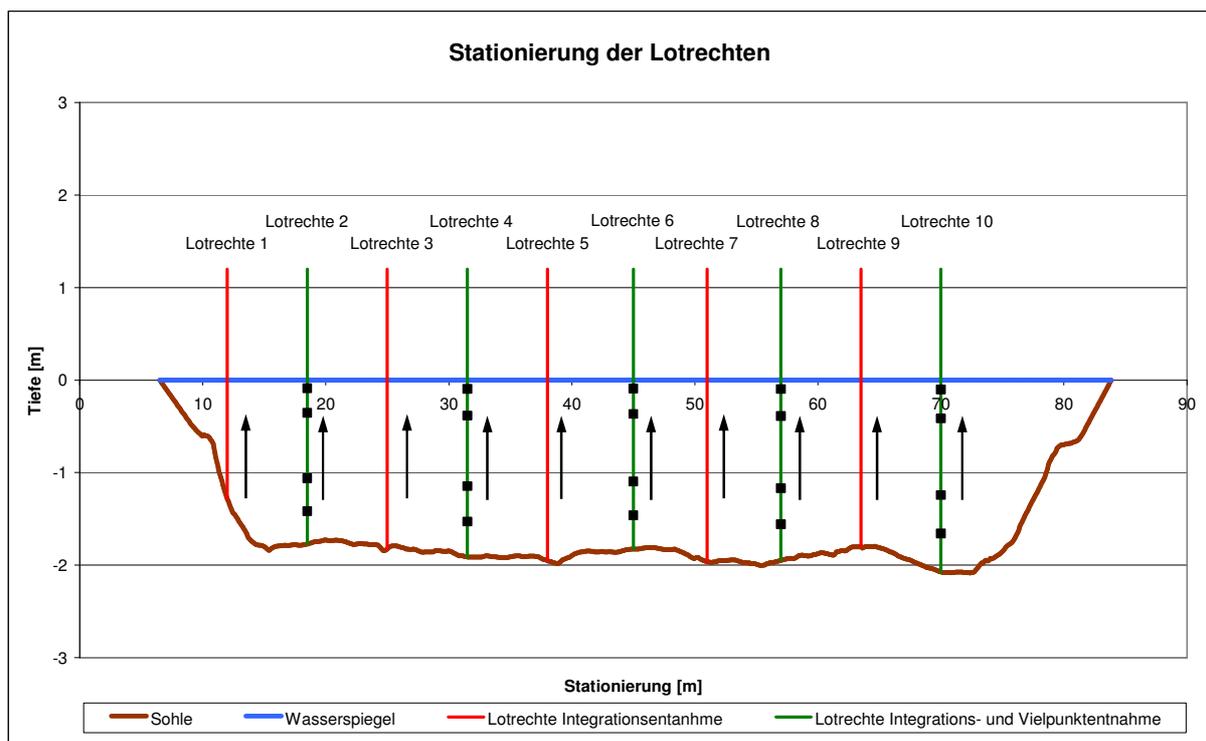


Abbildung 35: Systemskizze zur Stationierung der Lotrechten

Tabelle 9, Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12 enthalten die Messprotokolle der Schwebstoffentnahmen sowie die Ergebnisse der gravimetrischen Auswertung der Proben im Labor.

Tabelle 12: Laborauswertung der Schwebstoffproben

Proben-Identifikation	Datum der Probenentnahme	Uhrzeit Probenentnahme	Schwebstoffkonzentration Labor [mg/l]
SUS-ININ-19-07-07/1	19.07.2007	08:43	810
SUS-ININ-19-07-07/1a	19.07.2007	08:43	700
SUS-ININ-19-07-07/2	19.07.2007	09:14	810
SUS-ININ-19-07-07/2a	19.07.2007	09:14	810
SUS-ININ-19-07-07/3	19.07.2007	09:39	720
SUS-ININ-19-07-07/3a	19.07.2007	09:39	778
SUS-ININ-19-07-07/4	19.07.2007	10:00	700
SUS-ININ-19-07-07/4a	19.07.2007	10:00	709
SUS-ININ-19-07-07/5	19.07.2007	10:15	650
SUS-ININ-19-07-07/5a	19.07.2007	10:15	745
SUS-ININ-19-07-07/6	19.07.2007	08:24	780
SUS-ININ-19-07-07/7	19.07.2007	08:30	750
SUS-ININ-19-07-07/8	19.07.2007	08:36	790
SUS-ININ-19-07-07/9	19.07.2007	08:43	270
SUS-ININ-19-07-07/10	19.07.2007	08:49	1800
SUS-ININ-19-07-07/11	19.07.2007	08:55	730
SUS-ININ-19-07-07/12	19.07.2007	09:00	740
SUS-ININ-19-07-07/13	19.07.2007	09:04	740
SUS-ININ-19-07-07/14	19.07.2007	09:09	630
SUS-ININ-19-07-07/15	19.07.2007	09:14	800
SUS-ININ-19-07-07/16	19.07.2007	09:19	830
SUS-ININ-19-07-07/17	19.07.2007	09:24	1000
SUS-ININ-19-07-07/18	19.07.2007	09:28	730
SUS-ININ-19-07-07/19	19.07.2007	09:31	780
SUS-ININ-19-07-07/20	19.07.2007	09:35	840
SUS-ININ-19-07-07/21	19.07.2007	09:40	130
SUS-ININ-19-07-07/22	19.07.2007	09:44	1700
SUS-ININ-19-07-07/23	19.07.2007	09:48	870
SUS-ININ-19-07-07/24	19.07.2007	09:51	730
SUS-ININ-19-07-07/25	19.07.2007	09:54	830
SUS-ININ-19-07-07/26	19.07.2007	09:57	1600
SUS-ININ-19-07-07/27	19.07.2007	10:00	940
SUS-ININ-19-07-07/28	19.07.2007	10:03	1300
SUS-ININ-19-07-07/29	19.07.2007	10:06	1000
SUS-ININ-19-07-07/30	19.07.2007	10:08	680
SUS-ININ-19-07-07/31	19.07.2007	10:11	690
SUS-ININ-19-07-07/32	19.07.2007	10:13	870
SUS-ININ-19-07-07/33	19.07.2007	10:14	970
SUS-ININ-19-07-07/34	19.07.2007	10:17	1200
SUS-ININ-19-07-07/34	19.07.2007	10:20	720

C.2.3 Plausibilitätsprüfung der Rohdaten

Die Sondenaufzeichnung wird zusammen mit dem Durchfluss und den Kalibrierproben dargestellt (*Abbildung 36*). Sowohl Sondenaufzeichnung als auch Kalibrierproben werden auf Plausibilität untersucht (Vergleich *Kapitel 5.1*). Fehlerhafte Sondenaufzeichnungen und unplausible Kalibrierproben sind zu korrigieren bzw. bei der Auswertung nicht zu berücksichtigen. In *Abbildung 37* und *Abbildung 38* sind sowohl ein Beispiel für einen Sondenausreißer als auch für einen fehlerhaften Wert der Kalibrierproben dargestellt.

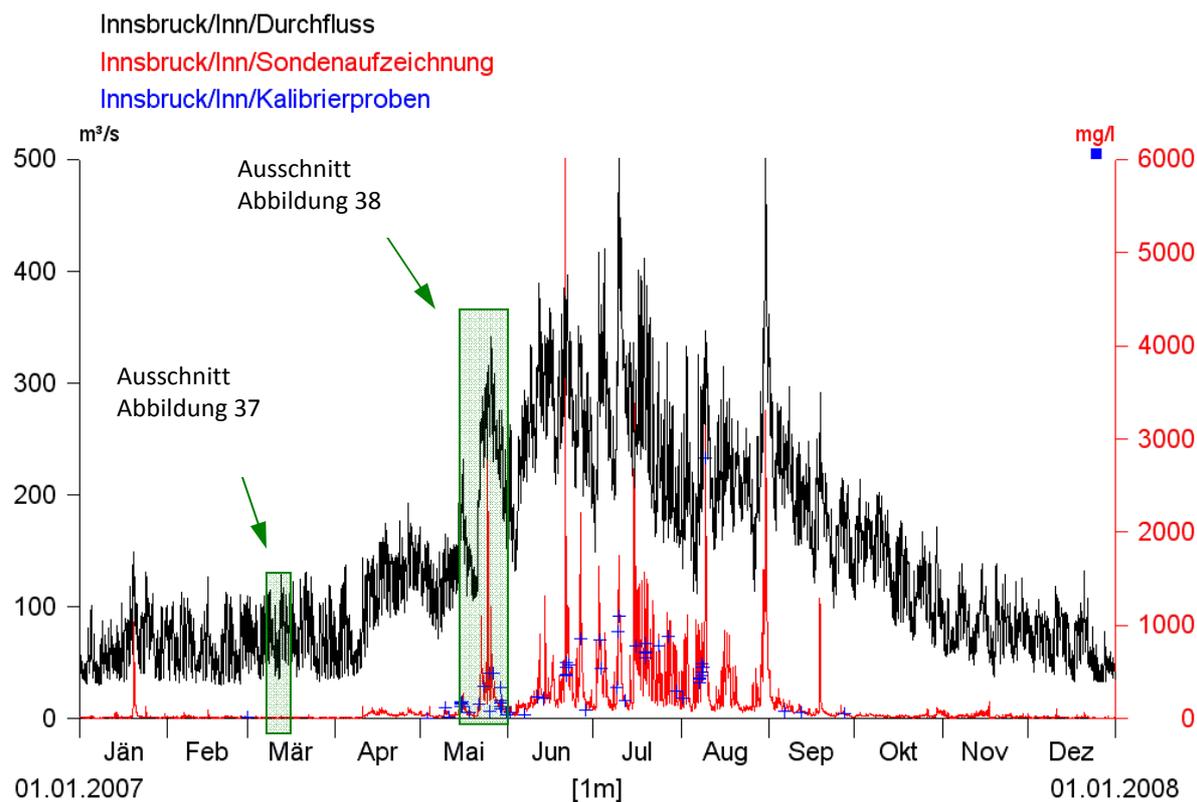


Abbildung 36: Originale Sondenaufzeichnung an der Schwebstoffmessstelle Innsbruck/Inn 2007

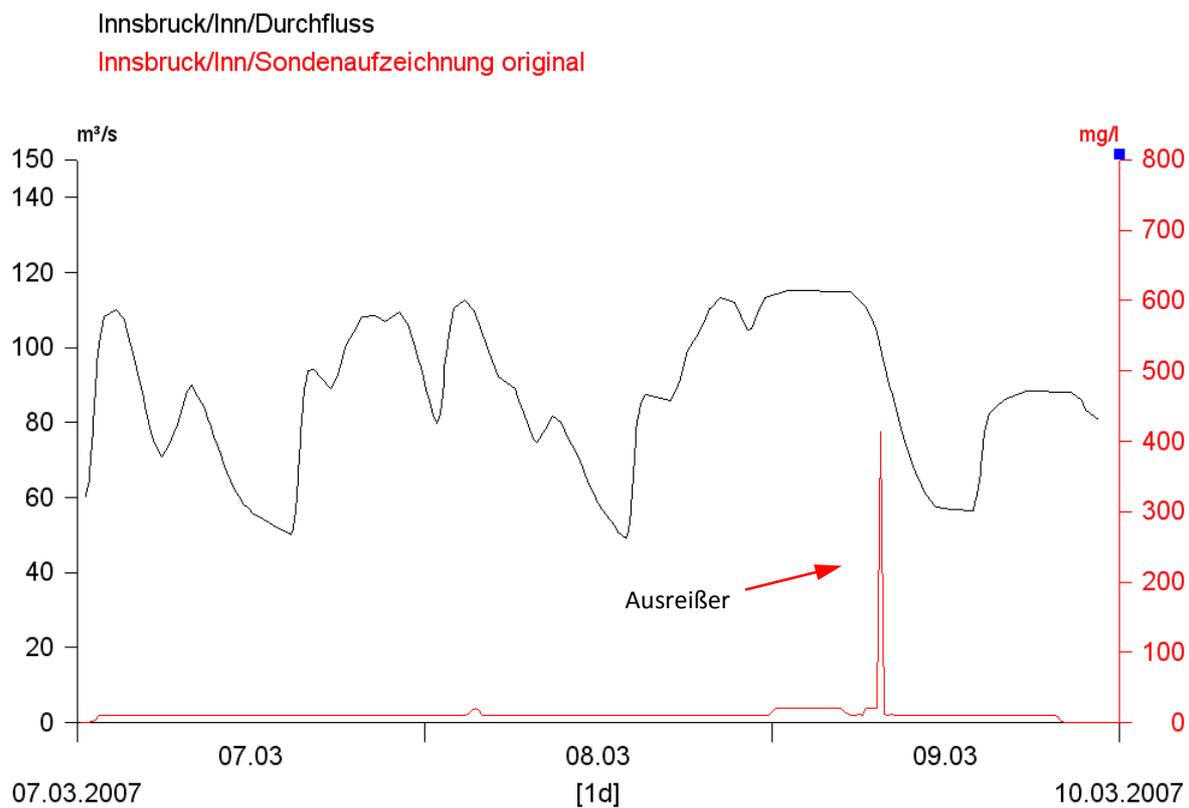


Abbildung 37: Beispiel für einen Ausreißer der Sondenaufzeichnung

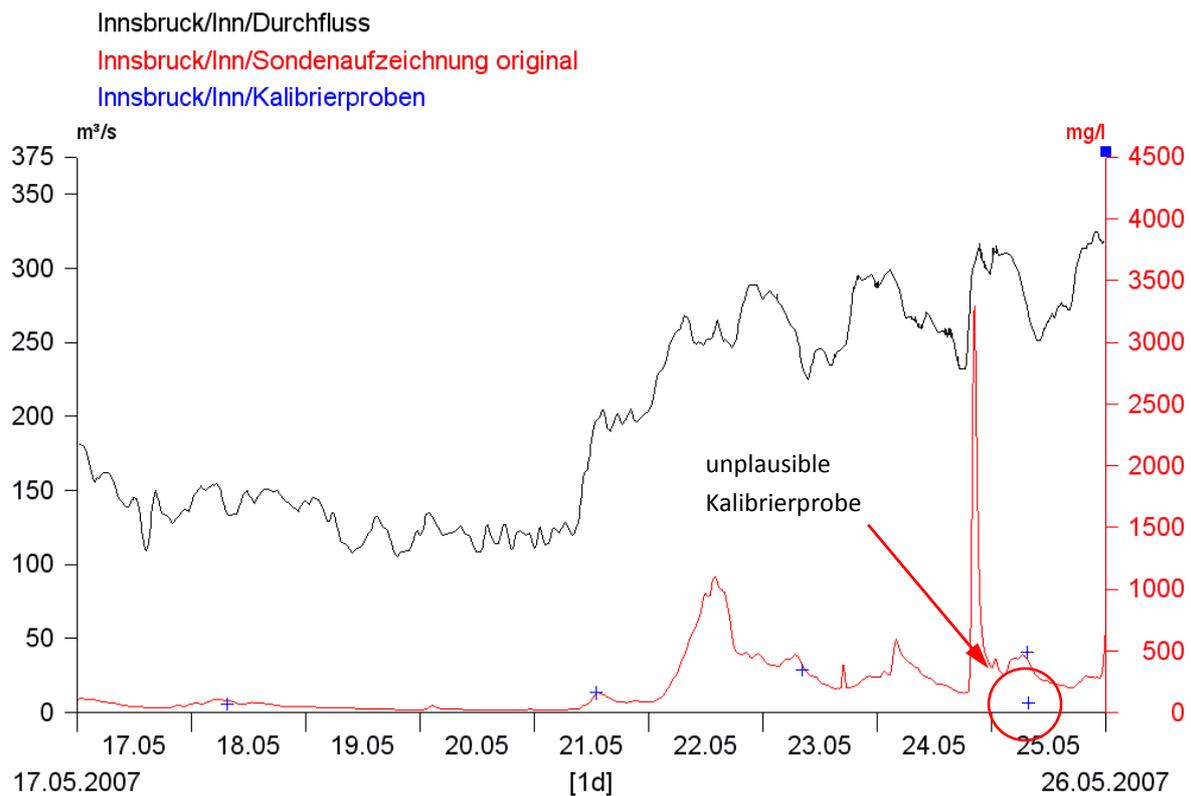


Abbildung 38: Beispiel für einen unplausiblen Wert einer Kalibrierprobe

C.2.4 Berechnung der sondennahen Schwebstoffkonzentration

Sondenbeiwert

Die Sondenbeiwerte werden durch Division der Werte der Kalibrierproben durch den zugehörigen Wert der Sondenaufzeichnung berechnet. Durch lineare Interpolation zwischen den Sondenbeiwerten wird eine Ganglinie des Sondenbeiwertes generiert. Durch Multiplikation dieser Ganglinie mit jener der Sondenaufzeichnung wird eine Ganglinie der sondennahen Schwebstoffkonzentration ermittelt (Abbildung 39).

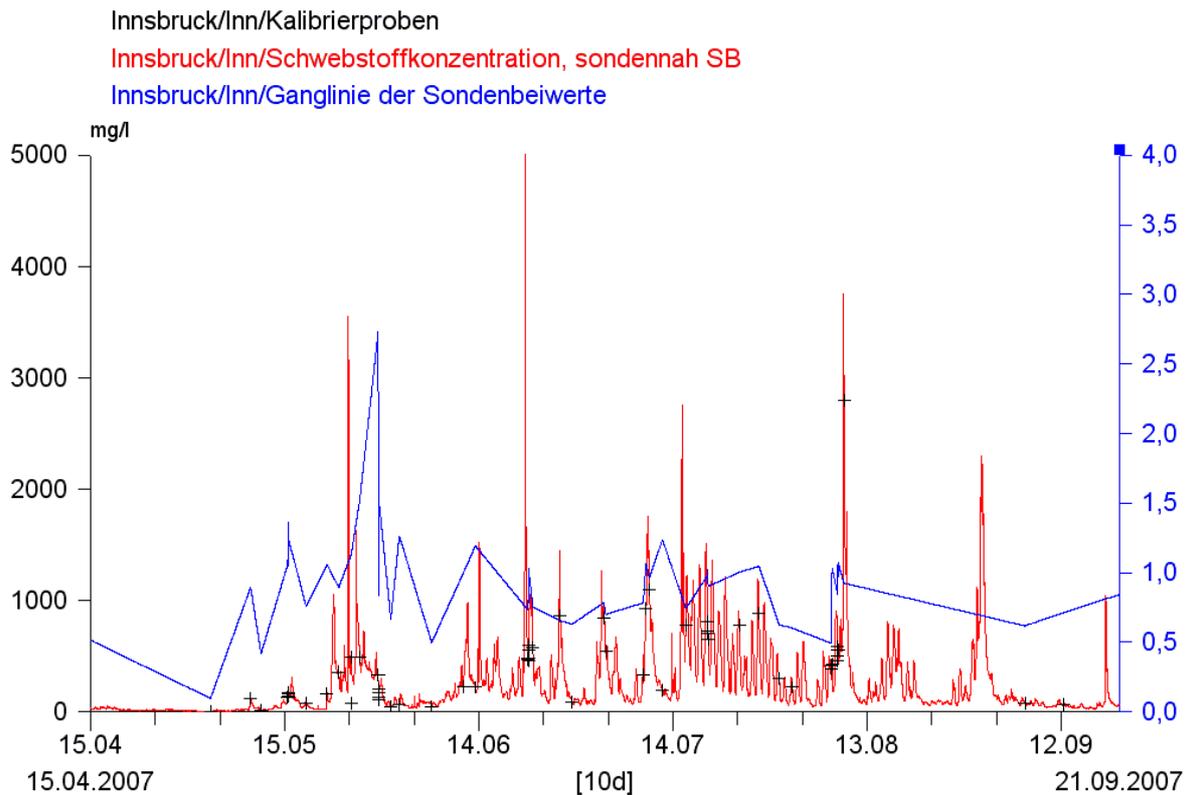


Abbildung 39: Kalibrierproben, Ganglinie des Sondenbeiwertes und der sondennahen Schwebstoffkonzentration mittels Sondenbeiwert berechnet

Regression

Für die Berechnung der sondennahen Schwebstoffkonzentration mittels Regression oder anderer statistischer Auswertemethoden werden Sondaufzeichnung und Kalibrierproben gegeneinander aufgetragen (Abbildung 40). Im vorliegenden Beispiel wurde der Ansatz der linearen Regression gewählt.

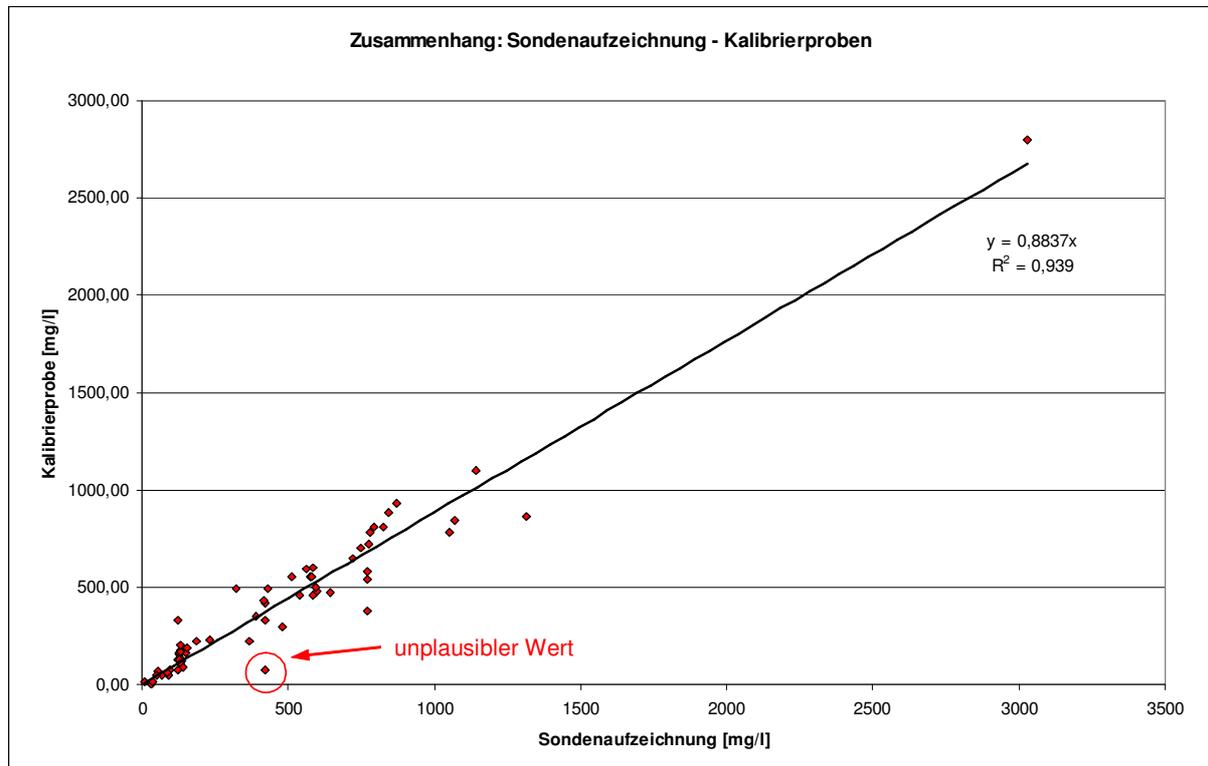


Abbildung 40: Zusammenhang: Sondenaufzeichnung – Kalibrierproben

Nach Eliminieren eines unplausiblen Kalibrierprobenwertes (*Abbildung 40*) ergibt sich mit einem Regressionswert von 0,95 eine recht gute Übereinstimmung. Die daraus resultierende *Gleichung 11*

$$s_k = 0,8885 \cdot s_s \quad (11)$$

wurde zur Umrechnung der Sondenaufzeichnung in sondennahe Schwebstoffkonzentration herangezogen.

Vergleich der beiden Methoden zur Bestimmung der sondennahen Schwebstoffkonzentration

Abbildung 41 zeigt eine Gegenüberstellung der von Ausreißern bereinigten Sondenaufzeichnung und der mittels Sondenbeiwert bzw. Regression berechneten Ganglinien der sondennahen Schwebstoffkonzentration für den Zeitraum 10.4.–18.5.2007.

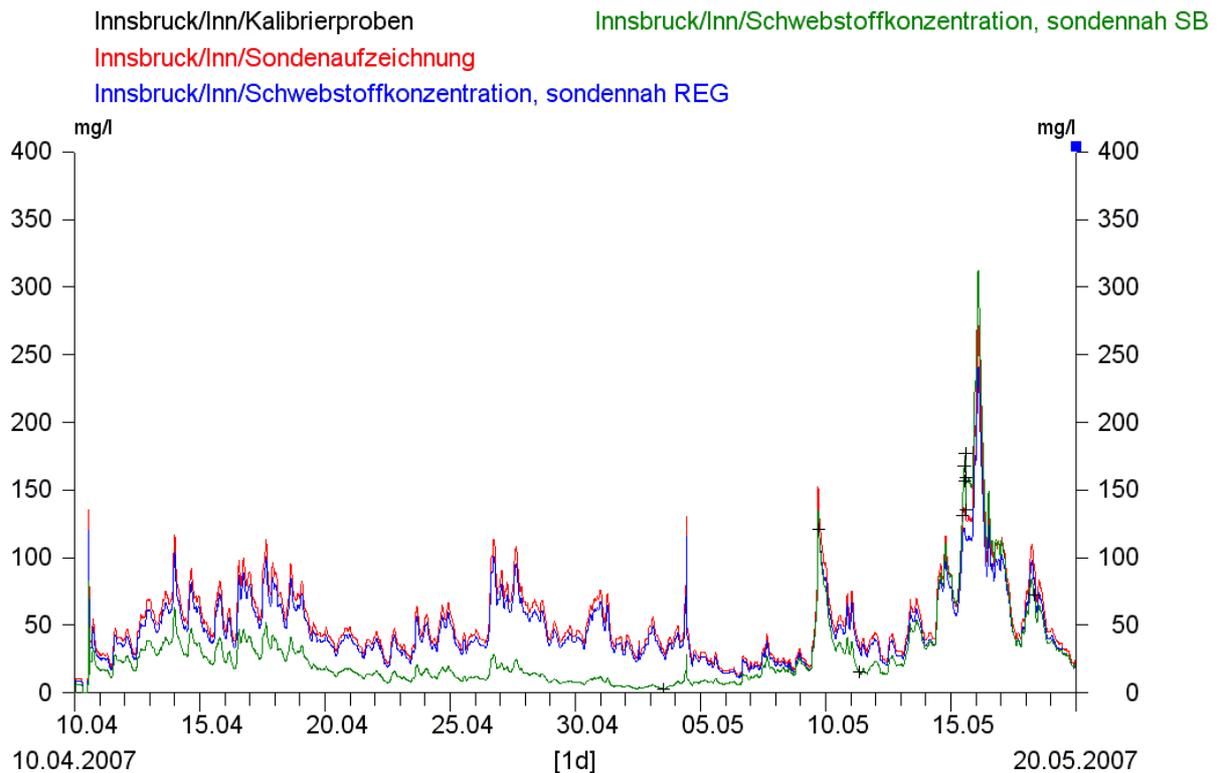


Abbildung 41: Kalibrierproben, Sondenaufzeichnung, sondennahe Schwebstoffkonzentration mittels Sondenbeiwert (SB) und Regression (REG) berechnet

In *Abbildung 41* wird verdeutlicht, dass durch die Umrechnung mittels Regression die sondennahe Schwebstoffkonzentration eine Verschiebung der Sondenaufzeichnung um den errechneten Faktor 0,8885 erfährt, wobei die neu errechnete Ganglinie in diesem Beispiel immer unter der Sondenaufzeichnung liegt.

Bei einer hohen Anzahl an Schwebstoffproben liefert die Methode der Sondenbeiwerte zuverlässige Ergebnisse (vergleiche *Abbildung 41* Zeitraum 9.5.–18.5.2007). Bei geringer Probenanzahl kann es zu großen Abweichungen zwischen Sondenaufzeichnung und sondennahe Schwebstoffkonzentration kommen, die wahrscheinlich nicht der Realität entsprechen (vergleiche *Abbildung 41* Zeitraum 15.4.–5.5.2007). Die sondennahe Schwebstoffkonzentration liegt in diesem Beispiel, abhängig von den Kalibrierproben, sowohl über als auch unter der Sondenaufzeichnung.

Zur weiteren Berechnung des Schwebstofftransportes und der -fracht wird die plausiblere Berechnungsmethode, oder auch abschnittsweise eine Kombination der beiden Methoden, herangezogen. Am Beispiel Innsbruck/Inn wird für die weitere Berechnung die über die Regression ermittelte sondennahe Schwebstoffkonzentration herangezogen, da für die Herbst- und Wintermonate 2007 keine Kalibrierproben zur Verfügung standen.

C.2.5 Berechnung des Schwebstofftransportes und der mittleren Schwebstoffkonzentration

Vielpunktentnahme

In *Abbildung 42* sind die während der Messung vorherrschenden Bedingungen dargestellt. Da der Wasserstand annähernd konstant blieb, musste keine rechnerische Anpassung der Wassertiefe durchgeführt werden. Die Werte der Sondenaufzeichnung sanken jedoch von 850 auf 570 mg/l, weshalb eine Trendbereinigung der Schwebstoffproben durchgeführt werden muss. Dabei werden die Schwebstoffkonzentrationen der Proben im Verhältnis zur Sondenaufzeichnung zu einem bestimmten Zeitpunkt berechnet. In diesem Beispiel wird als Bezugszeitpunkt der Beginn der Probenentnahme herangezogen, da zu diesem Zeitpunkt auch die ADCP-Messungen durchgeführt wurden. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung 12.

$$s_0(t_0) = \frac{s_0(t_i) \cdot s_s(t_0)}{s_s(t_i)} \quad (12)$$

Dabei bedeuten

$s_0(t_0)$ Schwebstoffkonzentration zum Bezugszeitpunkt

$s_0(t_i)$ gemessene Schwebstoffkonzentration zum Zeitpunkt i

$s_s(t_0)$ Sondenaufzeichnung zum Bezugszeitpunkt

$s_s(t_i)$ Sondenaufzeichnung zum Zeitpunkt der Probenentnahme (Zeitpunkt i)

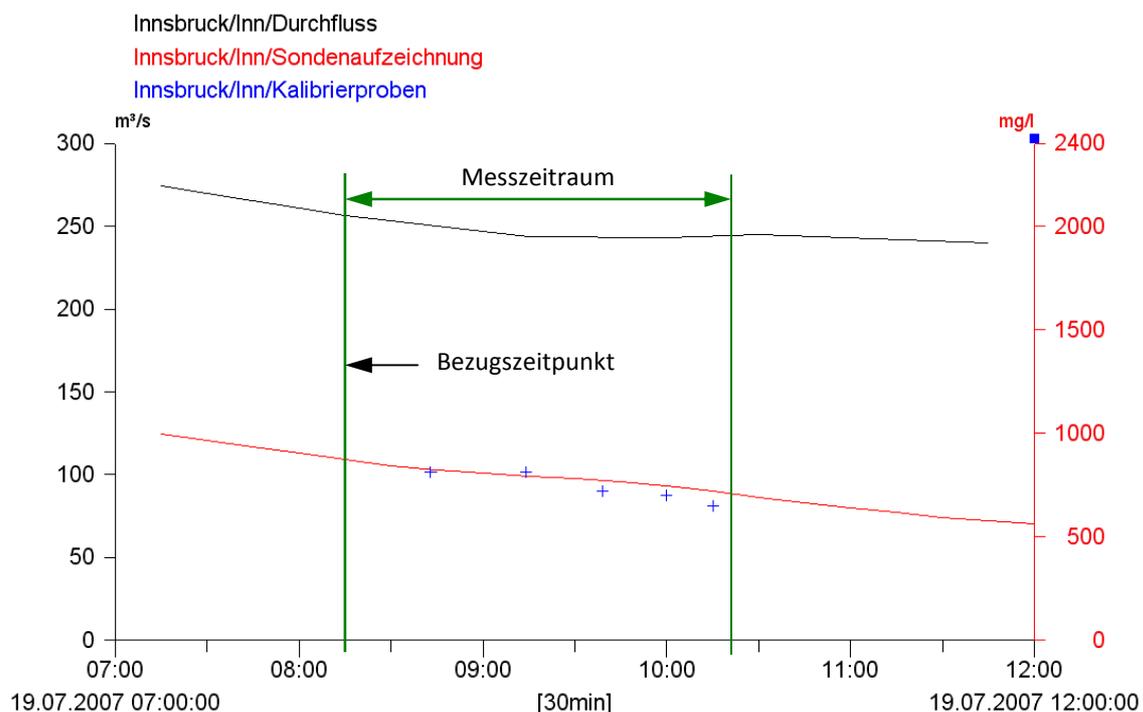


Abbildung 42: Durchfluss, Sondenaufzeichnung und Kalibrierproben während des Messzeitraums

In *Tabelle 13* sind die berechneten Schwebstoffkonzentrationen dargestellt, die nachfolgend für die rechnerische Auswertung der Vielpunktentnahme herangezogen wurden (*Tabelle 14*).

Tabelle 13: Umrechnung der Schwebstoffkonzentrationen aus der Vielpunktentnahme auf Konzentrationen zu Beginn der Probenentnahme

Probenflaschennummer	Zeitpunkt der Geräteauslösung	Sonde	Proben	Korr. der Proben auf Beginn Messung
	[MEZ]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
SUS-ININ-19-07-07/6	08:24	854,0	780,0	780
SUS-ININ-19-07-07/7	08:30	839,0	750,0	763
SUS-ININ-19-07-07/8	08:36	831,0	790,0	812
SUS-ININ-19-07-07/10	08:49	816,0	1800,0	1884
SUS-ININ-19-07-07/12	09:00	802,0	740,0	788
SUS-ININ-19-07-07/13	09:04	795,0	740,0	795
SUS-ININ-19-07-07/14	09:09	808,0	630,0	666
SUS-ININ-19-07-07/16	09:19	799,0	830,0	887
SUS-ININ-19-07-07/18	09:28	774,0	730,0	805
SUS-ININ-19-07-07/19	09:31	779,0	780,0	855
SUS-ININ-19-07-07/20	09:35	770,0	840,0	932
SUS-ININ-19-07-07/22	09:44	766,0	1700,0	1895
SUS-ININ-19-07-07/24	09:51	759,0	730,0	821
SUS-ININ-19-07-07/25	09:54	757,0	830,0	936
SUS-ININ-19-07-07/26	09:57	758,0	1600,0	1803
SUS-ININ-19-07-07/28	10:03	739,0	1300,0	1502
SUS-ININ-19-07-07/30	10:08	738,0	680,0	787
SUS-ININ-19-07-07/31	10:11	736,0	690,0	801
SUS-ININ-19-07-07/32	10:13	722,0	870,0	1029
SUS-ININ-19-07-07/34	10:17	711,0	1200,0	1441

Für die Auswertung wird im ersten Schritt in jedem Entnahmepunkt das Produkt aus Schwebstoffkonzentration s_0 und Fließgeschwindigkeit v (Fließgeschwindigkeit in den Entnahmepunkten aus den ADCP Messungen) gebildet (*Tabelle 14 Spalte 7*). Im nächsten Schritt wird der Schwebstofftrieb je Lotrechten aus dem Inhalt der Flächen jeder Lotrechten von der Wasseroberfläche bis zur Sohle errechnet. Dabei werden die Flächen vom untersten Entnahmepunkt bis zum obersten Entnahmepunkt durch Trapeze und die Fläche vom obersten Punkt bis zur Gewässeroberfläche und vom untersten Punkt zur Sohle durch ein Rechteck angenähert (*Tabelle 14 Spalte 8*). Der Schwebstofftransport Q_s in [kg/s] für das gesamte Querprofil wird mit Hilfe der Trapezformel aus den Schwebstofftrieben in den einzelnen Lotrechten und den mitwirkenden Breiten ermittelt. An den Profilrändern wird der Schwebstofftrieb gleich Null gesetzt und der Transport über die Dreieckformel berechnet.

Tabelle 14: Rechnerische Auswertung der Vielpunktentnahme

Auswertung Schwebstofftransport Vielpunktentnahme									
Lotrechte	Abstand v. Nullpkt	Wassertiefe	Entnahmetiefe	s_0	v	$s_0 \cdot v$		S-Trieb q_s	S-Teilflüsse
	b	t_w				$s_0 \cdot v$			$Q_{si} = [q_{si+1} + q_{si}] \cdot [b_{i+1} - b_i] / 2$
	[m]	[m]	[m]	[g/m ³]	[m/s]	[g/m ² *s]	[g/m ² *s]	[g/m ² *s]	
Ufer li:	9,5								19134,90
L2	18,5	2,14	0,11	780,0	2,20	1712,10	188,33	4252,20	50394,68
			0,43	763,0	2,20	1678,60	542,51		
			1,28	812,0	1,55	1254,54	1246,58		
			1,71	1884,0	1,65	3108,60	938,08		
							1336,70		
L4	31,5	2,04	0,10	788,0	2,49	1958,18	195,82	3500,83	56816,48
			0,40	795,0	2,79	2218,05	626,43		
			1,21	666,0	2,04	1355,31	1447,21		
			1,62	887,0	1,72	1525,64	590,59		
							640,77		
L6	45,0	1,75	0,09	805,0	2,70	2169,48	195,25	4916,43	56863,51
			0,35	855,0	2,70	2304,23	581,58		
			1,05	932,0	2,41	2246,12	1592,62		
			1,40	1895,0	2,17	4102,68	1111,04		
							1435,94		
L8	57,0	1,92	0,10	821,0	2,43	1990,93	199,09	4560,82	51310,97
			0,38	936,0	2,47	2307,24	601,74		
			1,15	1083,0	2,04	2203,91	1736,79		
			1,54	1502,0	1,85	2771,19	970,14		
							1053,05		
L10	70,0	1,65	0,08	787,0	2,29	1798,30	143,86	3333,17	26332,07
			0,33	801,0	2,39	1910,39	463,59		
			0,99	1029,0	1,85	1898,51	1256,93		
			1,32	1441,0	1,62	2334,42	698,43		
							770,36		
Ufer re:	85,8								

Schwebstofftransport:
260852,62 g/s
260,85 kg/s

Für den Zeitpunkt der Messung ergibt sich ein Schwebstofftransport im Querprofil von 260,85 kg/s. Die mittlere Schwebstoffkonzentration wird nach Gleichung 13 berechnet.

$$s_m = \frac{Q_s}{Q} = \frac{260,85 \text{ kg/s}}{259,18 \text{ m}^3/\text{s}} \cdot 1000 = 1006,5 \text{ mg/l} \quad (13)$$

Integrationsentnahme

Die Integrationsentnahme wurde nach der EWI-Methode mit Durchflussmessung (mittels ADCP) durchgeführt. Vor der Auswertung der Integrationsentnahme müssen die gemessenen Schwebstoffkonzentrationen auf den Beginn der Probenentnahme berechnet werden (Tabelle 15). Die Schwebstoffprobe Nr. 21 weist im Vergleich zu den anderen Proben der Integrationsentnahme eine deutlich niedrigere Schwebstoffkonzentration auf. Dies kann auf einen Fehler bei der Probenentnahme oder bei der Laborauswertung zurückzuführen sein. Dass zum Entnahmezeitpunkt tatsächlich eine so geringe Konzentration vorhanden war, scheint unwahrscheinlich, da auch die kurz zuvor bzw. danach in dieser Lotrechte entnommenen Proben der Vielpunktentnahme deutlich höhere Werte aufweisen. Aus diesem Grund wurde die Probe aus dem Datensatz gelöscht und in der Berechnung nicht berücksichtigt. Die niedrigere Konzentration der Probe Nummer 9 lässt sich eventuell aus einer Abnahme der Konzentration zum Ufer hin erklären und wird daher, und wegen einer fehlenden Vergleichsmöglichkeit mit Proben aus der Vielpunktentnahme, beibehalten.

Tabelle 15: Umrechnung der Schwebstoffkonzentrationen aus der Integrationsentnahme auf Konzentrationen zu Beginn der Probenentnahme

Probenflaschennummer	Zeitpunkt der Geräteauslösung	Sonde	Proben	Korr. der Proben auf Beginn Messung
	[MEZ]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
SUS-ININ-19-07-07/9	08:43	827.0	270.0	279
SUS-ININ-19-07-07/11	08:55	814.0	730.0	766
SUS-ININ-19-07-07/15	09:14	787.0	800.0	868
SUS-ININ-19-07-07/17	09:24	794.0	1000.0	1076
SUS-ININ-19-07-07/23	09:48	770.0	870.0	965
SUS-ININ-19-07-07/27	10:00	745.0	940.0	1078
SUS-ININ-19-07-07/29	10:06	732.0	1000.0	1167
SUS-ININ-19-07-07/33	10:14	723.0	970.0	1146
SUS-ININ-19-07-07/35	10:20	703.0	720.0	875

Für die rechnerische Auswertung (Tabelle 16) wird im ersten Schritt der Schwebstofftrieb aus dem Produkt aus Schwebstoffkonzentration und mittlerer Fließgeschwindigkeit der Lotrechte berechnet (Tabelle 16, Spalte 5). Um den Schwebstofftrieb je Lotrechte zu erhalten, wird dieses Produkt mit der Wassertiefe der jeweiligen Lotrechte multipliziert (Tabelle 16, Spalte 6). Für die Berechnung des Schwebstofftransportes über das gesamte Querprofil muss die Fläche unter der durch den Schwebstofftrieb der einzelnen Lotrechten aufgespannten Kurve berechnet werden. Dabei werden die beiden äußeren Flächen durch Dreiecke und die anderen Flächen durch Trapeze angenähert (Tabelle 16, Spalte 8). Der Schwebstofftransport ergibt sich zu 227,81 kg/s.

Tabelle 16: Rechnerische Auswertung der Integrationsentnahme

Auswertung Schwebstofftransport Integrationsentnahme							
Lotrechte	Wassertiefe	s_0	v_m	$s_0 \cdot v_{ml}$	S-Trieb	Abstand v. Nullpkt	S-Transport
	t_w			$s_0 \cdot v_{ml}$	$q_{si}=(s_0 \cdot v_{ml}) \cdot t_w$	b	$Q_{Si}=[(q_{Si+1} + q_{Si}) / 2] \cdot (b_{i+1} - b_i)$
	[m]	[g/m ³]	[m/s]	[g/m ² ·s]	[g/m ³ ·s]	[m]	[g/s]
Ufer1					0.00	9.5	770.77
L1	1.30	847.0	0.56	474.32	616.62	12.0	13419.26
L2	1.65	1209.5	1.76	2128.72	3512.39	18.5	26287.81
L3	1.85	1129.5	2.19	2473.61	4576.17	25.0	28872.15
L4	1.92	1043.5	2.15	2243.53	4307.57	31.5	27097.31
L5	1.90	934.4	2.27	2121.09	4030.07	38.0	58693.36
L7	2.00	1041.6	2.40	2499.84	4999.68	51.0	26411.04
L8	2.02	840.7	2.24	1883.17	3804.00	57.0	22675.22
L9	1.86	741.7	2.30	1705.91	3172.99	63.5	14181.65
L10	2.12	270.0	2.08	561.60	1190.59	70.0	9405.68
Ufer2					0.00	85.8	

Schwebstofftransport:
227814.25 g/s
227.81 kg/s

Durch Division des Schwebstofftransportes durch den Durchfluss errechnet sich die mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil s_m (Gleichung 14).

$$s_m = \frac{Q_s}{Q} = \frac{227,81 \text{ kg/s}}{259,18 \text{ m}^3/\text{s}} \cdot 1000 = 879,0 \text{ mg/l} \quad (14)$$

ADCP-Messung plus Kalibrierproben

Für die Auswertung der ADCP-Messungen wurden alle während der Vielpunktentnahme entnommenen Proben herangezogen und mit den rückgestreuten Echointensitäten korreliert. Dafür müssen die Entnahmelotrechte den jeweiligen Ensembles (Gesamtheit der Tiefenzellen einer Lotrechte) der ADCP-Messung zugeordnet werden. Mit dem Programm ViSea Plume Detection Toolbox erhält man die in *Abbildung 43* dargestellte Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen.

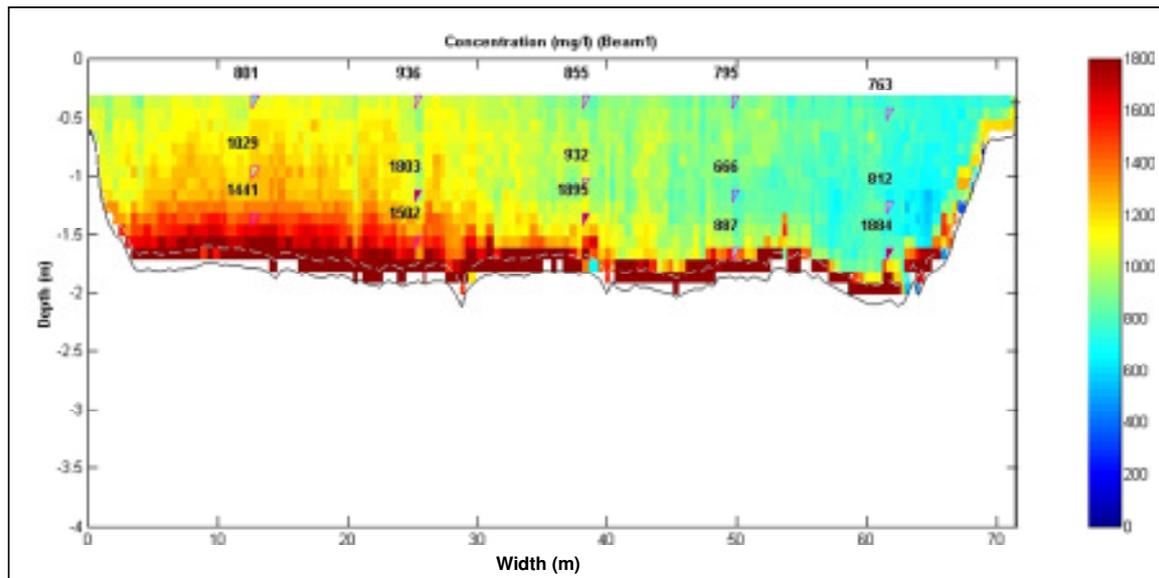


Abbildung 43: Aus ADCP-Messung und Probenentnahmen (Dreiecke) ermittelte Schwebstoffverteilung im Querprofil

Die mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil errechnet sich nach *Gleichung 15*.

$$s_m = \frac{Q_s}{Q} = \frac{282,4 \text{ kg/s}}{259,18 \text{ m}^3/\text{s}} \cdot 1000 = 1089,6 \text{ mg/l} \quad (15)$$

Bei der Berechnung des Schwebstofftransportes mittels Plume Detection Toolbox werden die mit dem ADCP nicht gemessenen Bereiche an der Gewässeroberfläche und in der Nähe der Gewässersohle durch Extrapolation eingerechnet. Uferbereiche können derzeit nicht berücksichtigt werden. Eine Reduktion der Anzahl der Proben ist generell möglich, kann aber erst nach einer messstellenspezifischen Untersuchung zur Optimierung der Proben durchgeführt werden.

Vergleich der unterschiedlichen Methoden zur Ermittlung der Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Profil

Aus den Berechnungen ergeben sich sehr unterschiedliche Werte für den Schwebstofftransport und die mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil (Tabelle 17). Die Ergebnisse aus der Integrationsentnahme liegen um mehr als 10 % unter jenen der Vielpunktentnahme. Der über die ADCP-Messung ermittelte Schwebstofftransport ist um rund 10 % höher als jener aus der Vielpunktentnahme.

Tabelle 17: Gegenüberstellung des Schwebstofftransportes und der mittleren Schwebstoffkonzentration

Daten Innsbruck/Inn						
Datum	Zeit - Start MEZ	Zeit - Ende MEZ	Verfahren	Q _{Mittelwert} [m ³ /s]	Q _s [mg/l]	s _m [mg/l]
19.07.2007	08:24	10:20	Vielpunkt	259.2	260.85	1006.5
19.07.2007	08:24	10:20	Integration	259.2	227.81	879.0
19.07.2007	08:24	10:20	ADCP	259.2	282.40	1089.6

C.2.6 Berechnung des Querprofilbeiwertes

Die Schwebstoffkonzentrationen der Kalibrierproben wurden ebenfalls auf Werte zu Beginn der Messung rückgerechnet (Tabelle 18). Der Querprofilbeiwert wird durch Division der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil durch den Mittelwert der Schwebstoffkonzentration der während der Messung gewonnenen Kalibrierproben bestimmt. Die Berechnung des Querprofilbeiwertes aus der Vielpunktentnahme erfolgt in Gleichung 16.

$$k_p = \frac{s_m}{s_k} = \frac{1006,5}{825,0} = 1,22 \quad (16)$$

Tabelle 18: Umrechnung der Schwebstoffkonzentrationen aus den Kalibrierproben auf Konzentrationen zu Beginn der Messung

Probenflaschennummer	Zeitpunkt der Geräteauslösung [MEZ]	Sonde [mg/l]	Proben [mg/l]	Korr. der Proben auf Beginn Messung [mg/l]
SUS-ININ-19-07-07/1	08:43	827,0	810,0	836
SUS-ININ-19-07-07/1a	08:43	827,0	700,0	723
SUS-ININ-19-07-07/2	09:14	787,0	810,0	879
SUS-ININ-19-07-07/2a	09:14	787,0	810,0	879
SUS-ININ-19-07-07/3	09:39	766,0	720,0	803
SUS-ININ-19-07-07/3a	09:39	766,0	778,0	867
SUS-ININ-19-07-07/4	10:00	745,0	700,0	802
SUS-ININ-19-07-07/4a	10:00	745,0	709,0	813
SUS-ININ-19-07-07/5	10:15	723,0	650,0	768
SUS-ININ-19-07-07/5a	10:15	723,0	745,0	880
Mittelwert				825

Für die weitere Berechnung wird nur der mittels Vielpunktentnahme bestimmte Querprofilbeiwert herangezogen, da auch die anderen Querprofilbeiwerte für diese Messstelle mit dieser Methode ermittelt wurden. *Tabelle 19* gibt eine Übersicht über die 2007 durchgeführten Vielpunktentnahmen und die sich daraus ergebenden mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil sowie die Querprofilbeiwerte.

Tabelle 19: Gegenüberstellung der 2007 mittels Vielpunktentnahmen ermittelten Querprofilbeiwerte k_p

Daten Innsbruck/Inn							
Datum	Zeit - Start MEZ	Zeit - Ende MEZ	Verfahren	$Q_{\text{Mittelwert}}$ [m ³ /s]	s_m [mg/l]	s_k [mg/l]	Querprofilbeiwert k_p
15.05.2007	12:37	14:49	Vielpunkt	188,5	276,5	223,0	1,24
29.05.2007	10:37	12:52	Vielpunkt	238,6	230,7	200,0	1,15
21.06.2007	14:40	16:33	Vielpunkt	312,4	556,5	580,0	0,96
19.07.2007	08:24	10:20	Vielpunkt	259,2	1006,5	825,0	1,22
08.08.2007	10:46	11:51	Vielpunkt	208,6	637,3	520,0	1,23

Durch Auftragen der Querprofilbeiwerte über den Durchfluss ergibt sich eine Beziehung, die in *Abbildung 44* dargestellt ist.

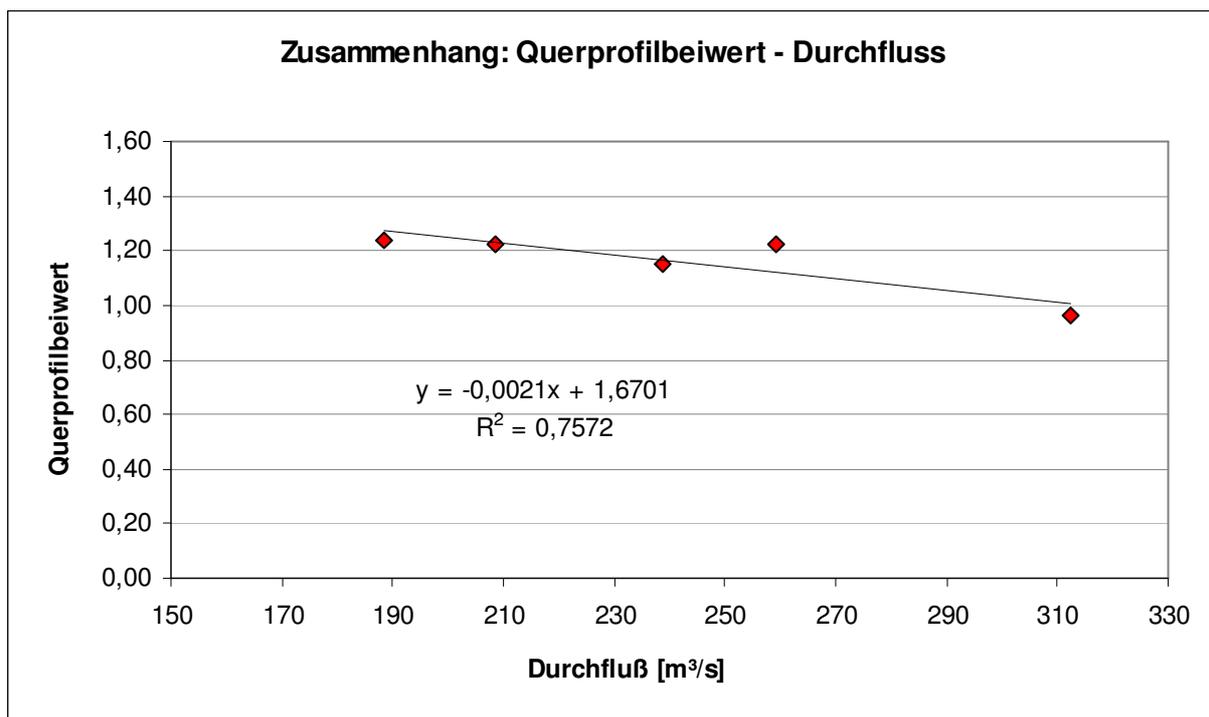


Abbildung 44: Zusammenhang: Durchfluss – Querprofilbeiwert an der Messstelle Innsbruck/Inn

C.2.7 Berechnung der kontinuierlichen mittleren Schwebstoffkonzentration

Für die Berechnung der Ganglinie des Querprofilbeiwertes wird die Gleichung aus *Abbildung 44* herangezogen. Da der Querprofilbeiwert, wie aus *Abbildung 44* ersichtlich, bei steigendem Durchfluss abnimmt, wird angenommen, dass bei höheren Durchflüssen das Querprofil bezüglich des

Schwebstoffes vollkommen durchmischt ist und daher der Querprofilbeiwert gleich 1 ist. Dies trifft für dieses Beispiel an der Messstelle Innsbruck/Inn zu, muss aber nicht an allen Messstellen gelten (siehe Kapitel 5.4). Durch Umformung der Gleichung aus *Abbildung 44* zu *Gleichung 17*

$$x = \frac{1,6701 - y}{0,0021} \quad (17)$$

wobei $y = 1$ ist, errechnet sich jener Durchfluss, bei dem vollkommene Durchmischung auftritt, mit $319 \text{ m}^3/\text{s}$.

Daraus ergibt sich, dass die Ganglinie der mittleren Schwebstoffkonzentration bei niedrigen Durchflüssen ($< 319 \text{ m}^3/\text{s}$) im Vergleich zur Ganglinie der sondennahen Schwebstoffkonzentration angehoben wird, jedoch bei Durchflüssen $\geq 319 \text{ m}^3/\text{s}$ die Ganglinien identisch sind (*Abbildung 45*).

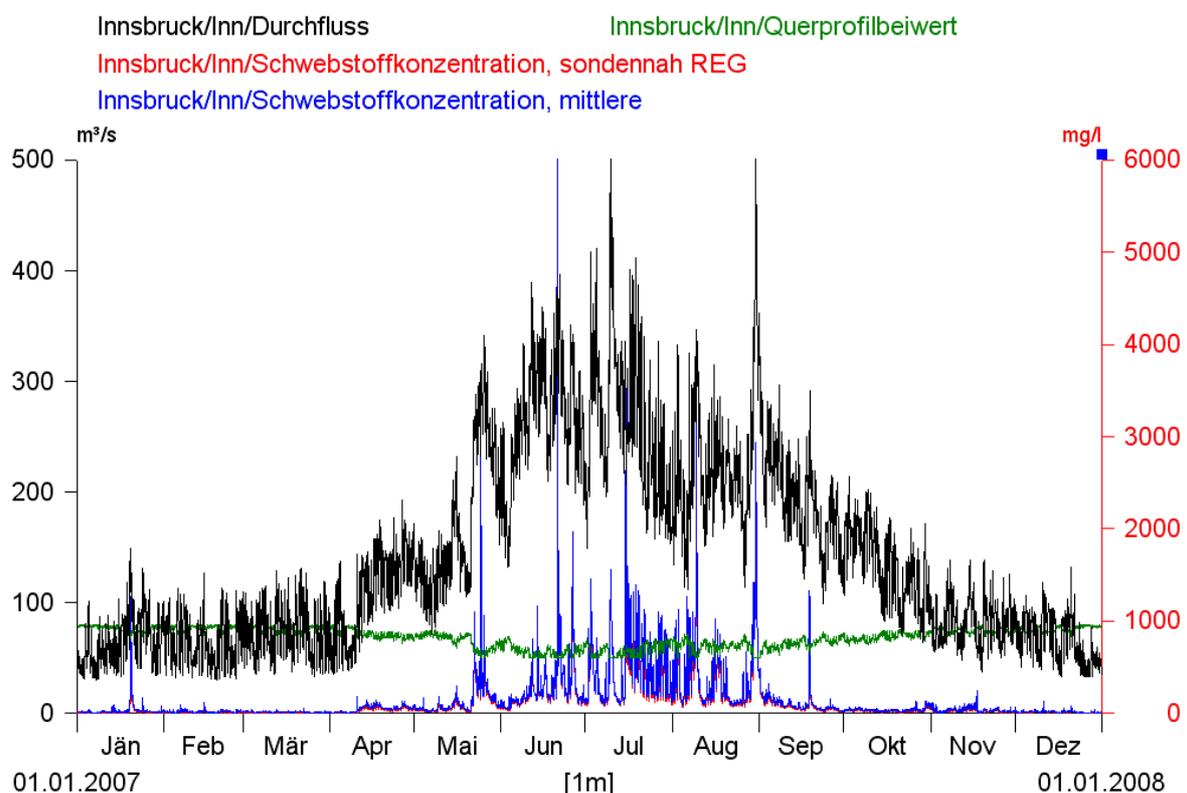


Abbildung 45: Gegenüberstellung mittels Regression (REG) berechneter, sondennaher Schwebstoffkonzentration (rot) und mittlerer Schwebstoffkonzentration (blau) sowie Durchfluss (schwarz) und Ganglinie des Querprofilbeiwertes (grün)

C.2.8 Berechnung des kontinuierlichen Schwebstofftransportes

Durch Multiplikation der Ganglinie der mittleren Schwebstoffkonzentration mit der Ganglinie des Durchflusses und nach Division durch 1000 (Umrechnung in kg) wird der Schwebstofftransport in kg/s berechnet (*Abbildung 46*).

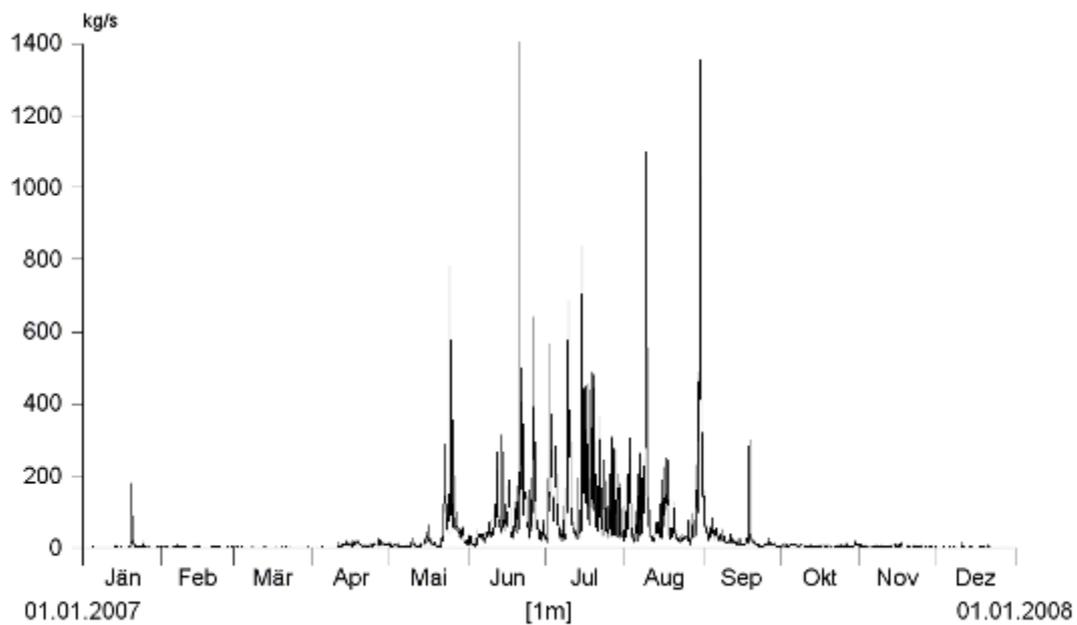


Abbildung 46: Ganglinie des Schwebstofftransportes für das Jahr 2007 an der Messstelle Innsbruck/Inn

C.2.9 Berechnung der Schwebstofffracht

Für die Berechnung der Schwebstofffracht [kg] wird der Schwebstofftransport für den jeweiligen Zeitraum aufsummiert. Eine Umrechnung in [t] wird aus Gründen der besseren Darstellung durchgeführt. Um einen Vergleich der Messstellen zu ermöglichen, wird auch der Schwebstoffabtrag (Schwebstofffracht [t]/Einzugsgebiet [km²]) berechnet.

Schwebstofffracht 2007	
Jänner	8.500 t
Februar	2.900 t
März	2.400 t
April	16.000 t
Mai	80.700 t
Juni	224.000 t
Juli	378.300 t
August	299.600 t
September	58.500 t
Oktober	13.900 t
November	8.100 t
Dezember	3.100 t
Jahr 2007	1.096.000 t

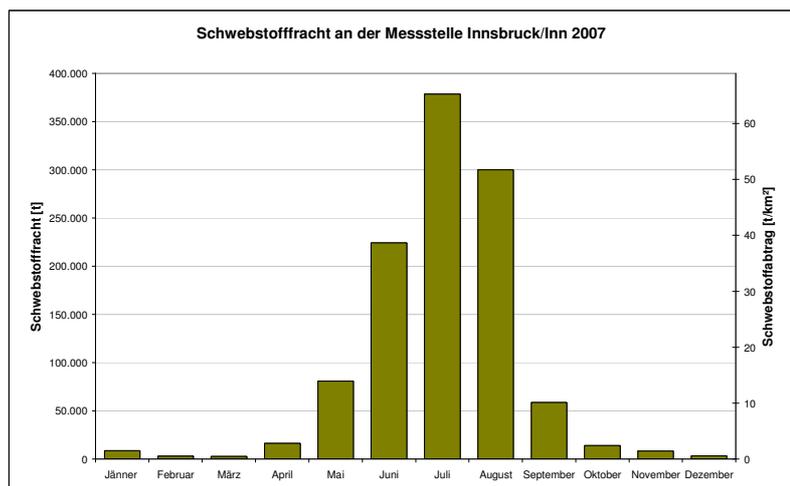


Abbildung 47: Tabellarische und graphische Darstellung der Schwebstofffracht an der Messstelle Innsbruck/Inn für das Jahr 2007

