

**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWEERTES
ÖSTERREICH**

bmlfuwgv.at

SCHWEBSTOFFE IM FLIESS- GEWÄSSER

LEITFADEN ZUR ERFASSUNG DES
SCHWEBSTOFFTRANSPORTES



IMPRESSUM



Medieninhaber und Herausgeber:
BUNDESMINISTERIUM
FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT,
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT
Stubenring 1, 1010 Wien
www.bmlfuw.gv.at

Koordination: Petra Lalk

Text und Redaktion: Helmut Habersack, Marlene Haimann, Willibald Kerschbaumsteiner, Petra Lalk

Konzept, Gestaltung und Redaktion: Wolfgang Gattermayr, Helmut Habersack, Marlene Haimann, Willibald Kerschbaumsteiner, Paul Kirchlechner, Christian Kölbl, Ilse Koglbauer, Christian Krammer Petra Lalk, Gerald Lindner, Clemens Mathis, Achim Naderer, Thomas Peneder, Daniel Pfurtscheller, Christine Verena Schabus, Barbara Staudinger, Christian Wakolbinger

Titelbild: Péter Csáfordi

Gestaltungskonzept: WIEN NORD Werbeagentur



Auflage 2

Alle Rechte vorbehalten.
Wien, November 2017

VORWORT

IM ZUGE DES KLIMAWANDELS WERDEN IN ÖSTERREICH IN DEN NÄCHSTEN JAHRZEHNTE DURCH DIE VERSTÄRKTE GLETSCHERSCHMELZE UND DAS AUFTAUEN DER PERMAFROSTBÖDEN GRÖßERE MENGEN AN SCHWEBSTOFFEN FREIGESETZT.

Neben der langfristigen, natürlichen Entwicklung des Feststoffkreislaufes, welcher u.a. die Bildung von fruchtbaren Böden beinhaltet, treten dadurch zusätzlich, relativ kurzfristig Veränderungen im Schwebstoffhaushalt ein. Unabhängig vom Klimawandel verändern menschliche Eingriffe, wie flussbauliche Maßnahmen, Wasserkraftwerke und Speicher, aber auch die zunehmende Bodenversiegelung die Menge und die Zusammensetzung der Schwebstoffe in unseren Fließgewässern. Unwetterereignisse in den letzten Jahren zeigen auch, dass durch schwebstoffhaltiges Wasser die Hochwasserschäden deutlich zunehmen und Veränderungen das Überschwemmungsrisiko erhöhen. Auch der Nährstoff- und Schadstofftransport ist stark an den Schwebstofftransport gekoppelt, wodurch der ökologische Zustand eines Gewässers beeinflusst werden kann. Um in allen wasserwirtschaftlichen Planungen das Thema Schwebstoffe berücksichtigen zu können, sind kontinuierlich erhobene Messdaten von großer Bedeutung.

Bereits bei der Einrichtung des Feststoffmessnetzes der Hydrographie Österreichs, wurde der einheitlichen Erfassung der Schwebstoffe besonderes Augenmerk gewidmet und dazu eine erste Fassung eines Leitfadens erstellt. Die nun vorliegende zweite Auflage berücksichtigt die bisher gewonnenen Erfahrungen mit der Messmethode und den eingesetzten Messgeräten. Damit werden qualitätsgesicherte und bundesweit einheitlich erhobene Daten im Hydrographischen Jahrbuch veröffentlicht und für die Bearbeitung der vielfältigen Problemstellungen zur Verfügung gestellt.

INHALTSVERZEICHNIS

LEITFADEN ZUR ERFASSUNG DES SCHWEBSTOFFTRANSPORTES.....	1
IMPRESSUM	2
VORWORT	3
1 EINLEITUNG	7
2 ZIELE DES SCHWEBSTOFFMONITORINGS.....	8
2.1 Definition der Schwebstoffe	8
2.2 Herkunft der Schwebstoffe	8
2.3 Bedeutung der Schwebstoffe	9
2.3.1 Ökologie	9
2.3.2 Flussbau und Hochwasserschutz	9
2.3.3 Energiewirtschaftliche Nutzung von Fließgewässern	10
2.4 Ziele des Schwebstoffmonitorings	10
2.4.1 Erfüllung des gesetzlichen Auftrags	10
2.4.2 Messnetzkonzept	11
2.4.3 Bereitstellung von Grundlagendaten	12
2.4.4 Bereitstellung von Daten für spezielle Fragestellungen	12
3 METHODIK ZUR ERFASSUNG VON SCHWEBSTOFFEN.....	13
3.1 Physikalische Grundlagen	13
3.2 Zeitliche Variabilität der Schwebstoffkonzentration	14
3.2.1 Direkte Verfahren	14
3.2.2 Indirekte Verfahren	14
3.3 Räumliche Variabilität der Schwebstoffkonzentration im Profil	15
3.3.1 Direkte Verfahren	15
3.3.1.1 Vielpunktmethode	15
3.3.1.2 Integrationsmethode	15
3.3.2 Indirekte Verfahren	15
3.3.2.1 Akustische Verfahren	15
3.3.2.2 Optische Verfahren.....	16
3.4 Anforderung an Messgeräte	16
3.4.1 Geräte für die direkte Probenentnahme	16
3.4.2 Geräte für die indirekte Erfassung der Schwebstoffkonzentration	17
3.5 Laborauswertung	17
3.5.1 Schwebstoffkonzentration	17
3.5.2 Korngrößenverteilung	17
3.6 Monitoringstrategie	18
3.7 Sonderfälle	18
4 MESSANLEITUNG.....	20
4.1 Lage der Messstellen	20
4.1.1 Im Bereich von Durchflusspegeln	20
4.1.2 Im Bereich der Wehranlagen von Flusstaukraftwerken	20
4.2 Messstelleneinrichtung	20
4.3 Kontinuierliche Sondenaufzeichnung	22
4.3.1 Datenaufzeichnung und Datenübertragung	22
4.3.2 Verfälschung von Messwerten	23
4.3.2.1 Biofouling.....	23
4.3.2.2 Weitere Ursachen	24
4.3.3 Instandhaltung und Wartung	24
4.4 Probenentnahme	25
4.4.1 Kalibrierprobenentnahme	25
4.4.1.1 Entnahme mittels Stange	26
4.4.1.2 Entnahme mittels Seil.....	26
4.4.1.3 Entnahme mittels automatischem Probensammler	27
4.4.2 Ermittlung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Profil	28
4.4.2.1 Vielpunktmethode	28
4.4.2.2 Integrationsmethode	30

4.4.2.2.1	integrative Schwebstoffentnahme unter Verwendung der Equal-Width-Increment“ – „Identische Breiten" Methode	30
4.4.2.2.2	integrative Schwebstoffentnahme unter Verwendung der „Equal-Discharge-Increment“ – „Identische Durchflüsse“ Methode	34
4.4.2.3	ADCP mit Probenentnahme	36
4.4.2.4	Vergleich der verschiedenen Verfahren	37
4.4.3	Entnahmen für Korngrößenuntersuchungen	37
4.4.3.1	Einzelprobe.....	38
4.4.3.2	Entnahme im Querprofil.....	38
4.5	Analysetechniken	38
4.5.1	Quantitative Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe	38
4.5.1.1	Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe bei hohen Konzentrationen	41
4.5.1.2	Qualitätssicherung der Laboranalysen.....	41
4.5.2	Methoden der Korngrößenuntersuchung	42
5	AUSWERTUNG DER DATEN	44
5.1	Plausibilitätsprüfung der Sondenwerte und Kalibrierproben	44
5.2	Korrekturmöglichkeiten der Sondenwerte und Kalibrierproben	45
5.3	Kontinuierliche Schwebstoffkonzentration in Sondennähe	46
5.4	Schwebstofftransport und mittlere Schwebstoffkonzentration im Profil	49
5.4.1	Bestimmung mittels Vielpunktmethoden	50
5.4.2	Bestimmung mittels Integrationsmethode	51
5.4.3	Bestimmung mittels ADCP-Messungen	52
5.5	Kontinuierliche mittlere Schwebstoffkonzentration im Profil	52
5.6	Schwebstofftransport und -Fracht	53
5.7	Auswertemethoden bei Sonderfällen	55
5.7.1	Extrapolationsverfahren	56
5.7.2	Interpolationsverfahren	56
5.7.3	Statistische Konzepte für die Probenentnahme- und Auswertung	58
6	MESSUNSICHERHEITEN UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	59
6.1	Mess- und Auswerteunsicherheiten	59
6.2	Interpretation der Ergebnisse	63
	VERZEICHNISSE	65
	Literatur	65
	Rechtliche Grundlagen	68
	Links	68
	Abbildungsverzeichnis	69
	Tabellenverzeichnis	71
	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	72
	Glossar	73
	ANHANG A: GERÄTE ZUR ERFASSUNG DER SCHWEBSTOFFKONZENTRATION	75
A.1	Geräte für die direkte Probenentnahme	75
A.1.1	Probenflaschen	75
A.1.2	Eimer	76
A.1.3	Nielsen-Sediment-Sammler	76
A.1.4	Schwebstoffentnahmegerat US P-61A1 bzw. US P-63	76
A.1.5	Pumpentnahme	77
A.1.6	Vergleich der Messgeräte für die direkte Probenentnahme	78
A.2	Geräte für die indirekte Erfassung der Schwebstoffkonzentration	80
A.2.1	Solitax ts-line bzw. Solitax hs-line	80
A.2.2	Spectro::lyser™	81
A.2.3	Rio Grande	81
A.2.4	StreamPro	82
A.2.5	Gegenüberstellung von Rio Grande und Stream Pro	82
	ANHANG B: FORMBLÄTTER FÜR MESSPROTOKOLLE.....	84
	ANHANG C: BEISPIELE	87
C.1	Beispiel Laborauswertung	87
C.1.1	Gravimetrische Konzentrationsbestimmung	87
C.1.2	Schnellverfahren zur Konzentrationsbestimmung	88

C.2	Beispiel Auswertung der Schwebstoffdaten	89
C.2.1	Messprotokoll Kalibrierproben	89
C.2.2	Ermittlung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Profil	90
C.2.3	Plausibilitätsprüfung der Sondenwerte und Kalibrierproben	94
C.2.4	Berechnung der sondennahen Schwebstoffkonzentration	96
C.2.4.1	Sondenbeiwert	96
C.2.4.2	Sondenkennlinie	97
C.2.4.3	Vergleich der beiden Methoden zur Bestimmung der sondennahen Schwebstoffkonzentration	97
C.2.5	Berechnung des Schwebstofftransportes und der mittleren Schwebstoffkonzentration	99
C.2.5.1	Vielpunktmethode	99
C.2.5.2	Integrationsmethode	101
C.2.4.3	ADCP-Messung plus Kalibrierproben.....	103
C.2.5.4	Vergleich der unterschiedlichen Methoden zur Ermittlung der Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Profil	103
C.2.6	Berechnung der kontinuierlichen mittleren Schwebstoffkonzentration	104
C.2.7	Berechnung des kontinuierlichen Schwebstofftransportes	105
C.2.8	Berechnung der Schwebstofffracht	105
ANHANG D: METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER KORNGRÖSSENVERTEILUNG.....		107
D.1	Siebung	107
D.2	Sedimentation	107
D.2.1	Pipette	108
D.2.2	Aräometer	108
D.2.3	Optische Sedimentation (Röntgenbeugung)	109
D.3	Coulter Counter	110
D.4	Laserbeugung	111

1 EINLEITUNG

DER LEITFADEN ZUR ERFASSUNG DES QUANTITATIVEN SCHWEBSTOFFTRANSPORTES IST FÜR DIE MESSSTELLEN DER HYDROGRAPHIE IN ÖSTERREICH BETREFFEND DIE METHODIK, DIE MONITORINGSTRATEGIE, DIE SCHWEBSTOFFMESSUNG SELBST, SOWIE DIE AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER DATEN VERBINDLICH.

Damit können qualitätsgesicherte und einheitlich erhobene Daten der Schwebstoffkonzentration und des Schwebstofftransportes veröffentlicht und für die Bearbeitung vielfältiger Problemstellungen zur Verfügung gestellt werden. Im „Hydrographischen Jahrbuch von Österreich 2008“ (BMLFUW, 2010) wurden erstmals Daten der Schwebstoffkonzentration und des Schwebstofftransportes von 20 Basismessstellen publiziert, die nach der Methodik dieses Leitfadens erhoben wurden. Seitdem ist die Anzahl der veröffentlichten Schwebstoffmessstellen auf über 30 gestiegen, für die Schwebstoff-Tagesfrachten im Internet unter <http://ehyd.gv.at> zur Verfügung gestellt werden. Damit wird der legislativen Verpflichtung eines quantitativen Feststoffmonitorings bzgl. Schwebstoffe an österreichischen Fließgewässern aus den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie der EU vom 23. Oktober 2000 (EU-WRRL) und der Wasserrechtsnovelle vom 29. August 2003, § 59 c nachgekommen.

Die zeitliche und räumliche Variabilität der Schwebstoffführung ist eine besondere Herausforderung der Schwebstoffmessung und betrifft alle Arbeitsschritte von der Probenentnahme bis hin zur Ermittlung des kontinuierlichen Schwebstoffverlaufes an einer Messstelle.

Zur Zeit der Planung des Schwebstoffmonitorings gab es keine standardisierte Messmethodik für die Schwebstoffmessung, die operationell für den Hydrographischen Dienst anwendbar war. Daher wurde eine Arbeitsgruppe im Hydrographischen Dienst eingerichtet um eine Methodik der Schwebstoffmessung zu entwickeln. Das Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW) an der Universität für Bodenkultur wurde beauftragt (Projektleitung Prof. Habersack), parallel zum Aufbau des Schwebstoffbasismessnetzes Untersuchungen bezüglich der Mess- und Auswertemethodik vorzunehmen, deren Ergebnisse die Grundlage für den Leitfaden bildeten. Bei den Untersuchungen wurden bevorzugt Messgeräte eingesetzt, die von verschiedenen Institutionen in Österreich zur Verfügung gestellt wurden und über die bereits Erfahrungen vorlagen. Zu Testzwecken wurden von Firmen Geräte zur Verfügung gestellt. Im Anhang A des Leitfadens sind diese Geräte beschrieben. Auch können andere oder neu entwickelte Geräte verwendet werden, sofern sie den in Kapitel 3 beschriebenen Anforderungen genügen und zu vergleichbaren Ergebnissen führen.

Seit der Veröffentlichung der ersten Auflage des Leitfadens wurden wertvolle Erfahrungen im Bereich Messstelleneinrichtung und –betrieb sowie Erkenntnisse aus Projekten gewonnen, die eine Überarbeitung des Leitfadens (BMLFUW, 2008) erforderlich machten. Die 2. Auflage des Leitfadens wurde, speziell in Kapitel 4 „Messanleitung“ und 5 „Auswertung und Interpretation der Daten“ sowie der Anhang, wesentlich überarbeitet und ergänzt. Das Kapitel 6 ist neu und beschäftigt sich mit Fragen der Messunsicherheit.

2 ZIELE DES SCHWEBSTOFF-MONITORINGS

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 Schwebelage gehalten. Je nach Durchflussmenge, Fließgeschwindigkeit und Beschaffenheit der Deckschicht bzw. der 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, 2005).

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 in Flüssen entstehen hauptsächlich durch Erosion. Unter dem Einfluss der Verwitterung werden Festgesteine aufgelockert und zersetzt. Das entstandene Locker- und Bodenmaterial wird durch Starkniederschlag, verbunden mit Oberflächenabfluss, oder durch Rutschungen 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.

Durch anthropogene Tätigkeiten wie Arbeiten im Flussbett, Räumungen nach Hochwasser, Spülungen von Stauräumen oder Einträge aus landwirtschaftlichen Flächen kann die Schwebstoffkonzentration in den Gewässern deutlich erhöht werden.

Schwebstoffe im Gewässer können zusätzlich zum mineralischen Anteil auch einen organischen Anteil enthalten. Dieser kann natürlichen Ursprungs sein (z.B. Laub, abgestorbene Organismen) oder aus anthropogenen Quellen stammen (z.B. Abwasser, Einträge aus der Landwirtschaft). In untergeordnetem Ausmaß werden auch Kunststoffpartikel als Schwebstoff transportiert.

Der Schwebstoffeintrag in Gewässer kann aus flächigen, linearen oder punktuellen Quellen kommen. Eine Unterscheidung der einzelnen Quellen anhand der gewonnenen Schwebstoffdaten ist oft nicht möglich. 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 von hydraulischen Parametern des Gerinnes (Abfluss, Wassertiefe, Sohlschubspannung, Fließgeschwindigkeit, Gefälle) und von der Korngröße und Korngrößenverteilung des Sohlmaterials ab.

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 sowie die Wirkung von Stauräumen sind hierbei allerdings zusätzlich in Rechnung zu stellen.

2.3 BEDEUTUNG DER SCHWEBSTOFFE

Schwebstoffe machen im Allgemeinen den größten Anteil an transportierten Feststoffen aus und sind somit von großer Bedeutung bei den Verlandungsprozessen von Flussprofilen und deren Vorländern, im Mündungsbereich von Flüssen, in Hafenbecken, Speicheranlagen und Seen (Maniak, 2005). In strömungsberuhigten Bereichen kann 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. Dieser Umstand kann besonders dann schadensbildend auftreten, wenn schwebstoffbelastete Hochwasser auf intensiv genutzte Flächen ausufernd.

Schwebstoffe können organische oder anorganische Stoffe adsorbieren. Je nach Art oder Konzentration der adsorbierten Stoffe können Ablagerungen von belasteten Schwebstoffen entweder positive oder negative Auswirkungen haben. Ablagerungen von nährstoffreichen Schwebstoffen können zur Bildung von fruchtbaren Böden beitragen. Ablagerungen von schadstoffbelasteten Schwebstoffen können toxikologische Verunreinigungen von überfluteten Gebieten verursachen.

Schwebstoffablagerungen bzw. deren Remobilisierung im Fließgewässerbett (Flussschlauch) haben neben dem Geschiebe bedeutende Auswirkungen auf die Sohlmorphologie, indem sie die Durchflussquerschnitte verändern und damit auch den Hochwasserschutz und die Schifffahrt sowie die abiotischen Randbedingungen aquatischer Ökosysteme beeinflussen. In wasserwirtschaftlich genutzten Stauräumen verursachen Schwebstoffablagerungen negative wirtschaftliche Auswirkungen, da der Nutzinhalt sukzessive verringert wird und die Funktionsfähigkeit der Betriebseinrichtungen (z.B. Grundablass) beeinträchtigt werden kann (DVWK, 1986).

2.3.1 ÖKOLOGIE

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 Staunispülungen, Newcombe & Macdonald, 1991). Die Erosion von landwirtschaftlichen Flächen stellt eine wesentliche Quelle für den Eintrag des Nährstoffes Phosphor ins Gewässer dar. Im Fließgewässer sind Schwermetalle hauptsächlich an Schwebstoffe der Ton- und Schlufffraktion (Korndurchmesser $< 63 \mu\text{m}$) gebunden. Bezüglich der Schadstofffrachten durch adsorbierte anorganische und organische Schadstoffe ist der Transport von Schwebstoff von besonderer Bedeutung (Maniak, 2005). Durch Abbau von organischen Stoffen kann es in Gewässern zu einer Sauerstoffzehrung kommen. Bei Niedrig- und Mittelwasserabflüssen führt die Ablagerung von kontaminierten Schwebstoffen in strömungsberuhigten Gewässerabschnitten zur Sedimentakkumulation mit hohen Schadstoffgehalten. Hochwasserereignisse 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 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 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 ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE 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 Wasserrechtsgesetz 1959 idF BGBl. I Nr. 82/2003 sowie in der Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Erhebung des Wasserkreislaufes in Österreich (Wasserkreislaufferhebungsverordnung – WKEV), BGBl. II Nr. 478/2006 geregelt ist. Im Rahmen des österreichweiten Basismessnetzes erfolgt an ausgewählten Messstellen neben der Messung von Wasserstand, Wassertemperatur und Durchfluss, auch die Ermittlung von Schwebstoffkonzentration und Schwebstofftransport sowie der Korngrößenverteilung. Darüber hinaus werden an wenigen Messstellen Geschiebemessanlagen betrieben.

2.4.1 ERFÜLLUNG DES GESETZLICHEN AUFTRAGS

Im Rahmen der Wasserrechtsgesetznovelle vom 29. August 2003, mit der die Wasserrahmenrichtlinie der EU vom 23. Oktober 2000 (EU-WRRL) in österreichisches Recht umgesetzt wurde, wurde der § 59c (3) aus dem Bundesgesetz über die Erhebung des Wasserkreislaufes und der Wassergüte (Gewässerkunde) – Hydrographiegesetz, BGBl. Nr. 58/1979 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 Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Erhebung des Wasserkreislaufes in Österreich (Wasserkreislaufferhebungsverordnung – WKEV), BGBl. II Nr. 478/2006 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 Geschiebemessstelle 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 Einpunktproben erforderlich. Für die Angabe der mittleren Schwebstoffkonzentration, des Schwebstofftransports 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

Ein Basismessnetz wird gem. § 4, § 5 und § 7 der Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Erhebung des Wasserkreislaufes in Österreich (Wasserkreislaufferhebungsverordnung – WKEV), BGBl. II Nr. 478/2006) eingerichtet.

§ 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 Wasserrechtsgesetz 1959 idF BGBl. I Nr. 82/2003 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 Schwebelagen 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 Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Erhebung des Wasserkreislaufes in Österreich (Wasserkreislaufferhebungsverordnung – WKEV), BGBl. II Nr. 478/2006 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 Fragestellungen,
- 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.

Als Grundlage für Feststoffmodellierungen ist die Ermittlung der Korngrößenverteilung notwendig.

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 ZUR ERFASSUNG VON SCHWEBSTOFFEN

3.1 PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

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 Sohlhöhe 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.

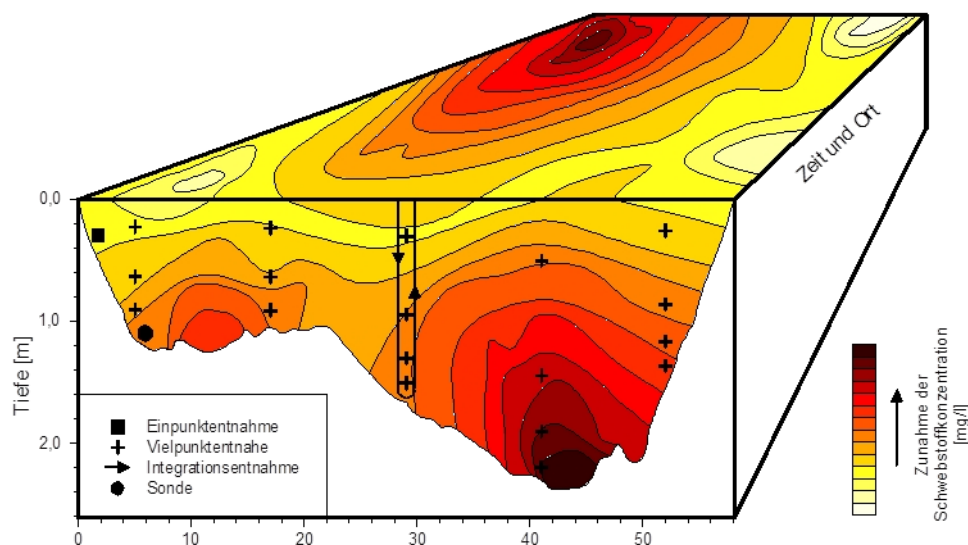


Abbildung 1: Variabilität der Schwebstoffkonzentration in Raum und Zeit (verändert nach BfG, 2003)

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, dass die Beprobung eines Fließgewässerquerschnittes mit einer Einpunktnahme 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 ZEITLICHE VARIABILITÄT DER SCHWEBSTOFFKONZENTRATION

3.2.1 DIREKTE VERFAHREN

Bei der direkten Probenentnahme (Einpunktentnahme) wird an einer Stelle im Gewässer eine Schwebstoffprobe mit einem Gerät zur punktintegrierenden oder momentanen Entnahme gewonnen. Die Entnahme kann von einer Brücke, von einer Seilkrananlage, vom Boot oder vom Ufer aus erfolgen (DVWK, 1986). Auch der Einsatz von Pumpprobenentnahmegeräten 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 nicht möglich. Zur indirekten Ermittlung von Schwebstoffkonzentrationen eignen sich optische (Trübungsmessung, Lasertechnologie) und akustische Messverfahren (Acoustic Doppler Current Profiler) (DVWK, 1999).

Verschiedene Untersuchungen (z.B. Grasso et al., 2007) haben gezeigt, dass die Schwebstoffkonzentration eines Fließgewässers wesentlich besser mit der Trübung als mit dem Durchfluss oder Wasserstand korreliert. Die Trübung im Fließgewässer wird entweder durch Streulicht- oder Durchlichtverfahren gemessen. 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 indirekten Methoden haben den Nachteil, dass die Beschaffenheit der Schwebstoffe, insbesondere die Verteilung der Korngrößen einen entscheidenden Einfluss auf die Messergebnisse hat. Kleine Korngrößen verursachen bei Trübungssonden 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). Die Trübungsganglinie muss daher mit sondennah gewonnenen Proben (Kalibrierproben) auf eine Konzentrationsganglinie umgerechnet werden.

Bei Messungen mittels Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) kann durch die Auswertung des Streuechos von Schallsignalen auf die dreidimensionale Verteilung von Schwebstoffen in Gewässern geschlossen werden. Möglich ist ein Einsatz fix montierter horizontaler ADCPs zur Ermittlung der zeitlichen Variabilität der Schwebstoffkonzentration innerhalb der gegebenen Reichweite der Messzellen im Gewässer. Die notwendigen Kalibrierproben müssen den Messzellen des ADCPs zugeordnet werden.

3.3 RÄUMLICHE VARIABILITÄT DER SCHWEBSTOFFKONZENTRATION IM PROFIL

3.3.1 DIREKTE VERFAHREN

3.3.1.1 VIELPUNKTMETHODE

Für die Durchführung der Vielpunktmethode wird der Durchflussquerschnitt in mehrere Abschnitte unterteilt, in deren Mitte Messlotrechte eingerichtet werden, für die in unterschiedlichen Tiefen je eine Probe entnommen wird. Die Anzahl der Lotrechte 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 oder zeitnahe 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 Vielpunktmethode als die genaueste Entnahmemethode zur Bestimmung des Schwebstofftransportes. Nachteilig wirkt sich der hohe zeitliche Aufwand aus, den die Durchführung einer Vielpunktmethode mit sich bringt. Die Entnahmen sollten unter möglichst stationären Bedingungen stattfinden, da instationäre Bedingungen ein ungenaueres Ergebnis liefern.

3.3.1.2 INTEGRATIONSMETHODE

Bei der Integrationsmethode 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 Integrationsmethode gegenüber der Vielpunktmethode liegt in der schnelleren Durchführbarkeit einer Beprobung eines Profils (DVWK, 1986). Diese Methode wird jedoch mit zunehmender Fließgeschwindigkeit ungenauer, weshalb die Vielpunktmethode bevorzugt eingesetzt werden sollte.

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“ (ADCP¹) 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, über die Laufzeit wird die Tiefe des Messvolumens erfasst.

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 Folgenden auch in diesem Sinne verwendet.

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).

3.3.2.2 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 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 Messseilbahn 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)

3.4 ANFORDERUNG AN MESSGERÄTE

3.4.1 GERÄTE FÜR DIE DIREKTE PROBENENTNAHME

Die Entnahme von Schwebstoffproben aus dem Fließgewässer kann mit einfachen Schöpfgefäßen bis hin zu technisch aufwändigen Entnahmegesetzen erfolgen. Für die Gewinnung einer repräsentativen Schwebstoffprobe aus dem Fließgewässer sollte der Probensammler bestimmte Anforderungen erfüllen, die in der ISO/TS 3716 (2006) definiert sind.

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 Pro-

bevolumens 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 Entnahmeggerät ein entsprechendes Gewicht aufweisen muss, damit es in Position gebracht und gehalten werden kann. Durch eine strömungsgünstige Form des Entnahmeggerätes kann die Abdrift gering gehalten werden. Für eine beliebige Positionierung im Gewässer muss das Entnahmeggerät mittels einer Messeilbahn oder eines Messanhängers (z.B. von Brücken) einsetzbar sein. Für den Einsatz bei der Vielpunktmethode muss das Entnahmeggerät, 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 GERÄTE FÜR DIE INDIREKTE ERFASSUNG DER SCHWEBSTOFFKONZENTRATION

Zur indirekten Erfassung der zeitlichen Variabilität von Schwebstoffkonzentrationen stehen grundsätzlich optische und akustische Verfahren zur Auswahl. Bei der Verwendung von optischen Sonden sollte darauf geachtet werden, dass der Messbereich von 1 mg/l bis mindestens 50.000 mg/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 Trübungssonden 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 Trübungssonden ist nach Durchführung einer entsprechenden Eignungsprüfung zulässig, wobei besonders auf hohe Messgenauigkeit 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 LABORAUSWERTUNG

3.5.1 SCHWEBSTOFFKONZENTRATION

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.

3.5.2 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 Einpunktpuben 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.

3.6 MONITORINGSTRATEGIE

Bei der Erfassung der Schwebstoffe ist eine Verknüpfung von direkten und indirekten Methoden sinnvoll. Die in Österreich angewendete Monitoringstrategie leitet sich daher aus einer Kombination der oben angeführten 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 4.4.1) werden. Dadurch wird eine Ganglinie der Schwebstoffkonzentration in Sondennähe ermittelt. Mittels Vielpunkt-, Integrationsmethode oder ADCP-Messungen wird die Verteilung der Schwebstoffkonzentration über das Querprofil ermittelt und die mit der Geschwindigkeit gewichtete, mittlere Konzentration für das Querprofil errechnet. Es wird ein Zusammenhang zwischen sondennaher Schwebstoffkonzentration und mittlerer Schwebstoffkonzentration im Querprofil definiert. Mit dieser Relation 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 in Sondennähe (Kalibrierproben)	bei Hochwasser mind. täglich; bei mittlerer Schwebstoffkonzentration mind. 1–2 x wöchentlich; bei niedriger Schwebstoffkonzentration seltener
Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil	Vielpunktmethode, Integrationsmethode, kombinierte ADCP-Messung mit Probenentnahme	2–4 x jährlich bei unterschiedlichen Durchflüssen je nach Absicherung der Querprofilkennlinie
Korngrößen	Probenentnahme zur Gewinnung einer ausreichenden Menge an Schwebstoffen	anstrebenswert: mindestens 1x jährlich bei höherer Wasserführung

3.7 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, keine Möglichkeit zur Ermittlung der Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil) 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* zulässig. 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 möglichst immer an derselben 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

Dauerbetriebene 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, (Bio-) Fouling, Einleitungen sowie Verkrautung Rücksicht zu nehmen. Zur Berechnung der Schwebstofffrachten muss der Durchfluss bei der Messstelle kontinuierlich bestimmt werden.

4.1.1 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 der Messstelle gewährleistet sein. Vor allem bei Messstellen des Basismessnetzes sollten im Bereich des Pegels die hydraulischen Randbedingungen über den gesamten Messbereich ungestört sein und nicht durch Staueffekte oder Uferbewuchs verändert bzw. verschlechtert werden.

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

4.1.2 IM BEREICH DER WEHRANLAGEN VON FLUSSSTAU-KRAFTWERKEN

Die Trübungsmessung sowie die Kalibrierprobenentnahmen 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, muss sichergestellt sein, dass es zu keiner Beeinträchtigung der Messung kommt.

4.2 MESSSTELLENEINRICHTUNG

Zur kontinuierlichen Erfassung der Schwebstoffe ist es notwendig, die Messstelle mit einer Trübungssonde auszustatten. Diese 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 und Einfrieren möglichst vermieden wird, und dass bei höheren Abflüssen ein Geschiebetrieb weder die aufgezeichnete Trübung verfälscht noch die Messeinrichtung beschädigt. Einflussfaktoren für allfälliges (Bio-) Fouling sind zu berücksichtigen (siehe Kapitel 4.3.2). Bei der Konzeption der Messstelle ist darauf zu achten, dass bei einer Sondaufzeichnung eine kontinuierliche Zeitreihe erfasst wird. Es wird daher eine redundante Ausstattung empfohlen, um Datenlücken zu vermeiden.

Ist ein direkter Einbau einer Sonde in das Gewässer nicht möglich, kann durch Einbau einer Sonde in eine Bypassleitung, die mit Flusswasser beschickt wird, die Trübung gemessen und 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 z.B. aus Gründen des Pumpenbetriebs an einigen Messstellen nicht bewährt.

Die Halterung der Sonde sollte so gestaltet sein, dass seine Bergung zu Wartungszwecken bei nahezu allen Durchflussverhältnissen möglich ist. Hierfür sind Klapp- und Schienenkonstruktionen geeignet (Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5).



Abbildung 3: Schienenkonstruktion für Solitax ts-line Hainburg/Donau (Fotos: viadonau)



Abbildung 4: Schienenkonstruktion für Solitax ts-line in Tirol (Fotos: HD Tirol)



Abbildung 5: links: Klappkonstruktion für Solitax ts-line; Dt. Brodersdorf/Leitha (Foto: Krammer) Mitte und rechts: Einbau an Brückenpfeilern mit Schienensystem zur einfachen Zugänglichkeit zu Wartungszwecken und bei Hochwasser; Projektmessstelle an der Drau (Fotos Schabus)

Es wird empfohlen, die Messstellen folgendermaßen auszustatten:

- Netzstromanschluss,
- Entsprechende Vorrichtung zur jederzeitigen Wartung und Reinigung der Sonde,
- Messseilbahn mit möglichst hoher Fahrtgeschwindigkeit (besonders für die Vielpunktmethode) und ausreichender Traglast entsprechender Anordnung der Seilhöhe und Spannvorrichtung zur problemlosen Bedienung und Manipulation der Sammler im Pegel-/Windenhaus.
- Pegelhaus (Abbildung 6) mit Türöffnung in ausreichender Breite und Höhe für die Messseilbahn, besonders für die Durchführung von kombinierten Geschwindigkeits- und Schwebstoffmessungen, einer Manipulationsplattform außerhalb des Pegelhauses für die Entleerung von Entnahmegewichten, 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.



Abbildung 6: Innenausstattung Pegelhaus Arthur-Haidl-Promenade Innsbruck/Inn (Fotos: HD Tirol)

4.3 KONTINUIERLICHE SONDENAUFZEICHNUNG

Die Einstellungen der Trübungssonden sind je nach Messverfahren unterschiedlich zu wählen. Es wird festgelegt, dass die Messwerte mindestens im 15 min-Intervall aufzuzeichnen sind. Empfohlen wird eine Mittelwertbildung von Einzelmessungen unter Berücksichtigung der Ansprechzeit (Reaktionszeit eines Sensors um einen veränderten Wert anzunehmen). Das Zustandekommen der abgespeicherten Werte (Einzelwerte, Mittelwertbildungen, etc.) ist zu dokumentieren.

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 unter Berücksichtigung allfälliger murfähriger Zubringer flussaufwärts der Messstelle anzupassen (vergleiche Kapitel 3.4.2).

Eine Fernübertragung und Speicherung der Daten ist jedenfalls empfehlenswert und kann über Stromausgänge oder über Bussysteme organisiert werden. Je nach Möglichkeit ist wegen der Genauigkeit den Bussystemen der Vorzug zu geben. Die Einstellungen sind so zu treffen, dass der Messbereich der Trübungssonde

nicht unterschritten wird. Bei Analogübertragung kann dies durch Übertragung des Messwertes in zwei Datenkanälen gelöst werden, wobei ein Kanal den unteren Messbereich mit hoher Auflösung und der zweite Kanal den vollen Messbereich mit geringerer Auflösung überträgt. Zur Kontrolle sollten die Daten auch direkt am Datenlogger ausgelesen werden.

Bei Fernübertragung der Trübungswerte empfiehlt sich die Einrichtung eines Alarmierungssystems. Dabei können Schwellenwerte definiert werden, ab deren Überschreitung der Pegelbeobachter automatisiert über SMS, Telefon und dergleichen verständigt wird. Damit kann eine effizientere Beprobung speziell bei hoher Schwebstoffkonzentration erreicht werden.

4.3.2 VERFÄLSCHUNG VON MESSWERTEN

4.3.2.1 BIOFOULING

Unter „Biofouling“ wird der Aufwuchs eines Algenfilms verstanden, der sich auf der Optik der Trübungssonde (Abbildung 7) ansetzt und so eine höhere Schwebstoffkonzentration vortäuscht. Dieses Problem wurde an Messstellen beobachtet, an denen Sonneneinstrahlung an der Messoptik auftritt. Haupteinflussfaktoren dafür sind z.B. geringe Wasserüberdeckung, geringe Trübung und fehlende Beschattung.



Abbildung 7: 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. Der praktische Messbetrieb hat gezeigt, dass eine häufige (monatliche) manuelle Reinigung der Sondenoptik mit verdünnter Salzsäure das „Biofouling“ in den meisten Fällen wirksam vermindern kann. Eine konstruktive Maßnahme zur Abschirmung der Sonneneinstrahlung und somit zur Verminderung des Auftretens von Biofouling ist in Abbildung 8 dargestellt.



Abbildung 8: Konstruktive Maßnahme zur Verhinderung von Biofouling (Fotos: Kerschbaumsteiner)

4.3.2.2 WEITERE URSACHEN

Weitere Ursachen für ein Verfälschen der Messwerte können anorganische Anlagerungen (Oxide, Feinsedimente, ...), Einschotterung, Luftblasen vor der Sonde, Trockenfallen bzw. unzureichende Wasserüberdeckung der Sonde, direkte Sonneneinstrahlung bei geringer Schwebstoffkonzentration, Gewässerverkrautung vor der Sondenoptik, Eis, Stromausfall, technische Störungen, fehlerhafte Einstellungen, oder Blitzschlag sein.

Bei anorganischen Anlagerungen schafft lediglich regelmäßiges Reinigen Abhilfe. Einschotterung und Trockenfallen der Sonde können in der Regel durch die richtige Wahl der Einbauhöhe, evtl. durch zwei redundante Sonden in unterschiedlichen Höhen, vermieden bzw. kompensiert werden (Kapitel 4.3.2). Ein Gefrieren der Sonde im Winter kann meistens durch entsprechende Wasserüberdeckung verhindert werden. Bei zu geringer Wassertiefe kann es sinnvoll sein, die Sonde im Winter aus dem Gewässer auszubauen, um eine Beschädigung zu verhindern. Aufwuchs von Vegetation im Messprofil vor der Optik wird durch regelmäßige Wartung der Messstelle verhindert. Durch den Einsatz von Akkus können Stromausfälle überbrückt und daher kontinuierliche Aufzeichnungen gewährleistet werden.

4.3.3 INSTANDHALTUNG UND WARTUNG

Die Sonde ist regelmäßig, 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 u.a. 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 PROBENENTNAHME

Schwebstoffproben können momentan oder zeitintegrierend gewonnen werden. Die zeitintegrierende Probenentnahme kann weiter in punktingegrierend und tiefeningegrierend unterteilt werden (ISO/TS 3716, 2006).

Um die Repräsentativität der Proben zu gewährleisten, sind die Probenentnahmen entsprechend den Kapiteln 4.4.1 bis 4.4.3 durchzuführen, wobei auf folgende Punkte besonders zu achten ist:

- Bei der Probenentnahme darf kein Ufer- oder Sohlsubstrat aufgewirbelt und aufgenommen werden.
- Die verwendeten Probenflaschen müssen sauber und von der Größe her für das Entnahmeggerät geeignet sein. Ein Umfüllen der Proben ist zu vermeiden.
- Die Beschriftung der Probenflasche hat zumindest die folgende Informationen zu enthalten: Name der Messstelle, Datum/Uhrzeit und Probennummer. Bei der Gewinnung von Kalibrierproben wird empfohlen, zusätzlich den Wert der Sondenanzeige zum Entnahmezeitpunkt zu vermerken.
- Die Probenentnahmen sind in Messprotokollen zu vermerken. Vorlagen für Messprotokolle können 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.
- Nach der letzten Probenentnahme sind Sedimentrückstände und Restwasser aus dem Flaschenraum des Sammlers zu entfernen. Gegebenenfalls ist die Abdeckung der Steuerungseinheit zu öffnen, um diese trocknen zu lassen.

4.4.1 KALIBRIERPROBENENTNAHME

Die Gewinnung von Schwebstoffproben in der Nähe der Sondenoptik dient der Kalibrierung einer Trübungsonde oder einer anderen indirekten Erfassung der Schwebstoffkonzentration.

Das Entnahmeintervall von Kalibrierproben kann je nach Durchfluss variieren, im Normalfall sollten mindestens ein bis zwei Kalibrierproben pro Woche entnommen werden. Bei niedriger Schwebstoffführung

kann die Entnahme seltener erfolgen, während bei Hochwasserereignissen mindestens einmal am Tag Entnahmen erforderlich sind (siehe Tabelle 1).

Nach Möglichkeit soll die Kalibrierprobe direkt in die Probeflasche gefüllt werden. Beim Umfüllen kommt es unter Umständen zu Verfälschungen, da sich Körner (vor allem Sand) im Flaschenhals absetzen können und nicht vollständig im Zuge des Umschüttens ausgeleert werden.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Probenentnahmen sollte im Pegelhaus ein Schwebstoffprotokoll aufliegen, in dem von jeder gezogenen Probenflasche die spezielle Kennung/Nummer sowie Datum und Uhrzeit einer Probenahme und der Trübungswert der Sondenanzeige vermerkt werden. Servicearbeiten an der Sonde wie Reinigung der Sonde, Wischertausch etc. sollten ebenfalls im Protokoll notiert werden. Die Erstellung eines Schwebstoffprotokolls kann in Anlehnung an jenes im Anhang B erfolgen.

Im Folgenden sind verschiedene Methoden zur Entnahme von Kalibrierproben beschrieben.

4.4.1.1 ENTNAHME MITTELS STANGE

Die Kalibrierprobenentnahme erfolgt durch Absenken einer 1000 ml Weithalsflasche, an der idealerweise ein Einlaufrohr montiert ist, an einer Teleskopstange möglichst nahe der Sondenoptik (Abbildung 9). Der Einsatz einer Teleskopstange hat den Vorteil, dass auch bei hohen Wasserständen die Probenflaschen in die Nähe der fix montierten Trübungssonde herangeführt werden kann. Die Entnahme soll möglichst isokinetisch erfolgen. Der Einsatz eines Einlaufrohrs an der Flaschenöffnung dient der Gewinnung von zeitlich integrierten Proben. Dabei ist die Probenflasche so ins Wasser zu tauchen und dort zu halten, dass das Einlaufrohr gegen die Strömungsrichtung weist und die Luft entweichen kann. Je nach Fließgeschwindigkeit ist die Flasche so lange einzutauchen, dass die Flasche nicht ganz voll jedoch zumindest halb gefüllt ist. Die Flasche ohne Einlaufrohr ist möglichst schnell auf die entsprechende Wassertiefe abzusenken. Kurz bevor die Flasche vollständig befüllt ist, ist sie rasch aus dem Gewässer zu ziehen. Es ist in jedem Fall darauf zu achten, dass kein Sohlssubstrat aufgenommen wird.



Abbildung 9: Entnahme mittels Stange (Fotos: HD Tirol)

4.4.1.2 ENTNAHME MITTELS SEIL

Bei schnell fließenden Gewässern und bei der Entnahme von Brücken kann die Probenentnahme mittels Probeflasche am Seil durchgeführt werden. Dabei ist das Entnahmegesetz über dem Wasserspiegel solange parallel zur Fließrichtung zu schwingen, bis die „Schwingengeschwindigkeit“ 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. Erfahrungsgemäß strömen bei einem solchen Beprobungsvorgang hauptsächlich oberflächennahe Wasserschichten in den Probenbehälter.

Mittels Seilkrananlage oder Messanhänger kann am Seil ein Entnahmegesetz mit Einlaufrohr (Abbildung 10) eingesetzt werden. Diese Methode erlaubt die Bestimmung der genauen Lage des Entnahmepunktes und stellt somit eine sondennahe Entnahme der Kalibrierprobe sicher. Durch das Einlaufrohr wird eine zeitlich integrierte Probe gewonnen.



Abbildung 10: Entnahme mittels Seil (Fotos Mathis)

4.4.1.3 ENTNAHME MITTELS AUTOMATISCHEM PROBENSAMMLER

Mittels Pumpprobensammler können Kalibrierproben automatisch gesteuert (fixe Zeitintervalle, trübungsabhängig) entnommen werden. Dabei sollten die Probenflaschen ohne Zwischenbehälter direkt befüllt werden. Der Förderschlauch ist so zu verlegen, dass die Ansaugöffnung in unmittelbarer Nähe der Trübungssonde positioniert wird.

Bei automatisierter Beprobung sind zusätzlich folgende Punkte zu beachten:

- Die Ansaugeschwindigkeit soll keine Fraktionierung der Schwebstoffe zur Folge haben (isokinetische Probenentnahme).
- Nach erfolgter Flaschenabfüllung ist der Ansaugschlauch ohne Rückstände für den nächsten Fördervorgang vorzubereiten.
- Bei der Positionierung der Ansaugöffnung ist darauf zu achten, dass kein Sohlsubstrat in den Pumpenschlauch gelangt.
- Logistische Fragen sind vor Einsatz eines automatisierten Sammlers abzuklären (ausreichende Anzahl an Probenflaschen, Flaschenkennzeichnung, Entnahmeintervalle mit Steuerung der Probenahme in Abhängigkeit der Trübung, Zeit, Fracht oder Durchfluss).

4.4.2 ERMITTLUNG DER RÄUMLICHEN VERTEILUNG DER SCHWEBSTOFFKONZENTRATION IM PROFIL

Die Ermittlung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentration dient der Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil und sollte bis zur Absicherung der Querprofilkennlinie (Kapitel 5.5) 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 4.4.2.1 bis 4.4.2.3 durchzuführen, wobei auch die Ausführungen zu Beginn des Kapitels 4.4 zu berücksichtigen sind. In Abbildung 11 ist die Durchführung einer Vielpunktentnahme abgebildet.



Abbildung 11: Vielpunktentnahme (Fotos links Schatzl, rechts Pfurtscheller)

Während der Durchführung von Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahmen sowie ADCP-Messungen kombiniert mit Probenentnahmen ist ein Messprotokoll zu führen. Eine Vorlage für ein Messprotokoll kann dem Anhang B entnommen werden.

4.4.2.1 VIELPUNKTMETHODE

Da die Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration über das Querprofil mittels Vielpunktmethode geschwindigkeitsgewichtet erfolgt, ist zusätzlich zur Probenentnahme die Messung der Fließgeschwindigkeit in den Entnahmepunkten erforderlich. Die Proben sollten möglichst isokinetisch entnommen werden.

Die Vielpunktmethode kann bis zu Fließgeschwindigkeiten von ca. 4 m/s durchgeführt werden. Bei höheren Fließgeschwindigkeiten treten Bedingungen auf, die eine punktingegrierende Probenentnahme nicht mehr zulassen (Edwards & Glysson, 1999). In Abbildung 12 ist eine Vielpunktentnahme in fünf Lotrechten und vier Tiefenstufen dargestellt.

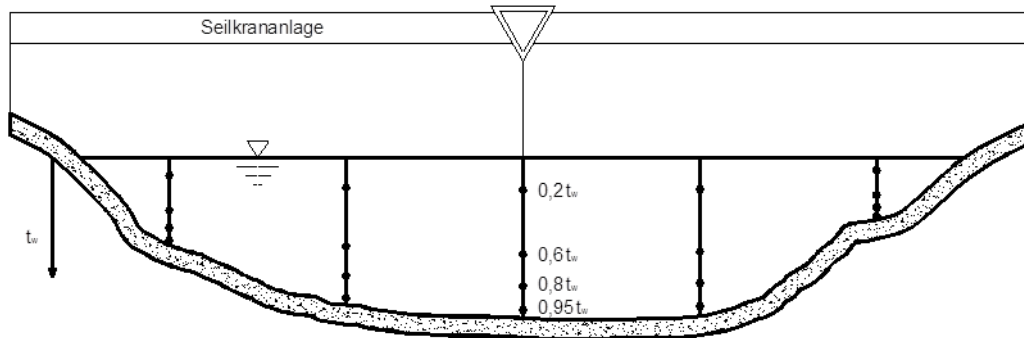


Abbildung 12: Darstellung einer Vielpunktentnahme in fünf Lotrechten und vier Tiefenstufen

Folgende Vorgangsweise ist zu wählen:

1. Bei Beginn der Messung müssen die folgenden Informationen im Protokoll (Anhang B) ausgefüllt werden: Messstellenbezeichnung, Datum, Art der Messung, verwendetes Messgerät zur Schwebstoffprobenentnahme, Messteam, Uhrzeit soweit bekannt Wasserstand und Wassertemperatur.
2. Die benetzte Breite des betreffenden Querprofils ist zu bestimmen sowie im Protokoll zu vermerken und in 5–10 Abschnitte identischer Breite (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. Mittels Geschwindigkeitsmessgerät oder Sammler erfolgt die Bestimmung der Wassertiefen in den Messlotrechten. Bei sämtlichen Tiefenbestimmungen ist nach Möglichkeit der Fehler infolge der Abdrift entsprechend zu berücksichtigen. Die Wassertiefen in den einzelnen Lotrechten sind im Protokoll zu vermerken.
5. 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 Lotrechte)
 - 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
6. Beim Einsatz eines Gewichtsstückes eines Seilflügels kann es notwendig sein, die Entnahmetiefen der untersten Entnahmepunkte entsprechend anzupassen (Abstand Grundtaster – Flügelachse bei 100 kg Gewichtsstück normalerweise 18 cm, bei 50 kg Gewichtsstück normalerweise 16 cm). Ist der unterste Entnahmepunkt bis 5 cm vom nächsten Messpunkt entfernt, kann der unterste Entnahmepunkt entfallen.
7. Die Fließgeschwindigkeiten sind in den Entnahmepunkten zu bestimmen.
8. Zu Beginn der Probenentnahme wird eine Schwebstoffprobe möglichst nahe beim kontinuierlichen Messgerät entnommen (siehe Kapitel 4.4.1). Zeitgleich mit der Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde sind der Entnahmezeitpunkt sowie der Wasserstand und die Sondenanzeige im Protokoll (siehe Anhang B) festzuhalten. Dieser Arbeitsschritt wird angepasst an die jeweilige

Messstelle mehrfach wiederholt, z.B. im 30 min-Intervall oder bei jeder Lotrechten, um eine ausreichende Anzahl an Kalibrierproben zu erhalten.

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 und dabei die Entnahmedauer mittels Stoppuhr zu bestimmen. Die Probeflaschen sollten nicht vollgefüllt werden, aber auch nicht weniger als die Hälfte der möglichen Probemenge enthalten. Wird diese Bedingung nicht erfüllt, so ist die Probenentnahme zu wiederholen. Die Beschriftung der Probeflasche umfasst die Bezeichnung der Messstelle, die Probennummer sowie das Datum der Probenentnahme.
11. Die Entnahmestelle (Stationierung und Entnahmetiefe), der Entnahmezeitpunkt, die Entnahmedauer und Probeflaschennummer müssen im Protokoll festgehalten werden. Wenn möglich, sollten auch die Sondenanzeige und der Wasserstand zum Entnahmezeitpunkt eingetragen werden.
12. Diese Vorgehensweise (Punkt 9 bis 11) ist bei den übrigen Entnahmepunkten und Lotrechten zu wiederholen.
13. Nach Beendigung der Messung müssen die folgenden Informationen (soweit bekannt) im Protokoll ausgefüllt werden: Wasserstand, Wassertemperatur sowie die Uhrzeit bei Abschluss der Messungen.
14. Im Anschluss an die Entnahme werden die Proben ins Labor gebracht und auf den Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen analysiert (Kapitel 4.5.1).
15. Die Auswertung erfolgt in Anlehnung an die Methoden des DVWK (1986) (siehe Kapitel 5.4.1). 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.

4.4.2.2 INTEGRATIONSMETHODE

Die Integrationsmethode ist schneller durchführbar als die Vielpunktmethode, weil weniger Proben benötigt werden und auf die simultane Geschwindigkeitsmessung verzichtet werden kann. Deshalb wird 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 die Integrationsmethode ungenauer, weshalb unter diesen Bedingungen bevorzugt die Vielpunktmethode eingesetzt werden soll (Kerschbaumsteiner, 2009).

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

4.4.2.2.1 INTEGRATIVE 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 13). In der Mitte dieser Abschnitte

werden die Proben entnommen. Im Folgenden werden 2 Varianten (mit und ohne Durchflussmessung) der „Equal-Width-Increment“ – „Identische-Breiten“-Methode – beschrieben. Die zusätzlichen Geschwindigkeitsmessungen ergeben eine Erhöhung der Genauigkeit. Bei der Variante ohne Durchflussmessung muss in jeder Lotrechten mit gleicher Sink- bzw. Hubgeschwindigkeit gefahren werden, die Umkehr ist möglichst rasch durchzuführen. Eine Mindestanzahl von 10 Lotrechten sollte eingehalten werden (Edwards & Glysson, 1999).

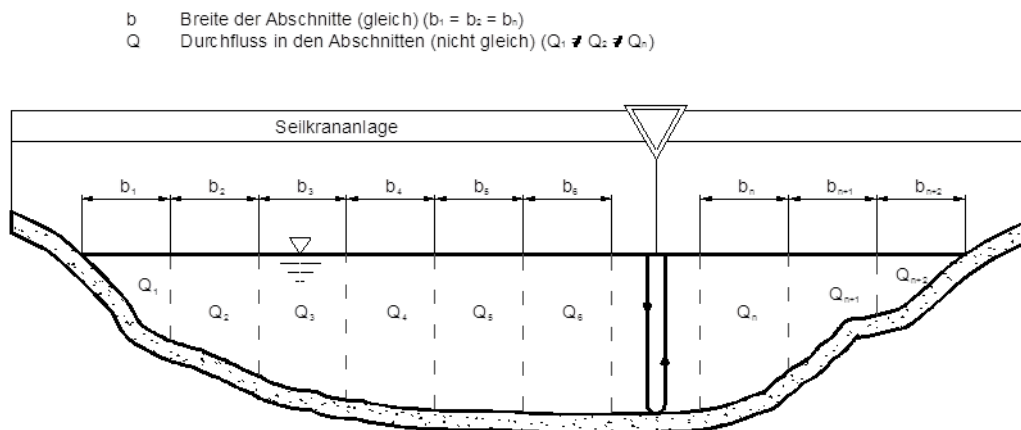


Abbildung 13: Darstellung einer Integrationsentnahme nach der „Equal-Width-Increment“ Methode

Variante 1 (ohne Durchflussmessung):

1. Bei Beginn der Messung müssen die folgenden Informationen im Protokoll (Anhang B) ausgefüllt werden: Messstellenbezeichnung, Datum, Art der Messung, verwendetes Messgerät zur Schwebstoffprobenentnahme, Messteam und Uhrzeit soweit bekannt Wasserstand und Wassertemperatur.
2. Die benetzte Breite des betreffenden Querprofils ist in mindestens 10 Abschnitte identischer Größe einzuteilen.
3. Die Stationierung der Messlotrechten ist jeweils durch die Mittelpunkte der vorher definierten Breitenabschnitte zu legen.
4. Zu Beginn der Probenentnahme wird eine Schwebstoffprobe möglichst nahe beim kontinuierlichen Messgerät entnommen (siehe Kapitel 4.4.1). Zeitgleich mit der Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde sind der Entnahmezeitpunkt sowie der Wasserstand und die Sondenanzeige im Protokoll (siehe Anhang B) festzuhalten. Dieser Arbeitsschritt wird angepasst an die jeweilige Messstelle mehrfach wiederholt, z.B. im 30 min-Intervall oder bei jeder Lotrechten, um eine ausreichende Anzahl an Kalibrierproben zu erhalten.
5. Zur Durchführung der Entnahme ist ein isokinetischer Sammler einzusetzen, der für die Integrationsprobenentnahme geeignet ist.
6. 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 Lotrechten 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, ist ein

anderer Durchmesser für die Eintrittsöffnung zu wählen oder ein Sammler mit Ventilsteuerung einzusetzen (z.B. Entnahme von der Sohle zum Wasserspiegel).

7. Die gewählte Absenkgeschwindigkeit muss gleich der Hubgeschwindigkeit sein und muss für alle Messlotrechten in diesem Profil beibehalten werden, wodurch sich, bedingt durch die isokinetische Entnahmecharakteristik des Sammlers, unterschiedliche Probenmengen in den einzelnen Lotrechten ergeben.
8. Gleichzeitig mit der Beprobung der einzelnen Lotrechten erfolgt die Bestimmung der Entnahmedauer mittels Stoppuhr. Die Beschriftung der Probenflasche umfasst die Bezeichnung der Messstelle, die Probennummer sowie das Datum der Probenentnahme.
9. Die Entnahmestelle, der Entnahmezeitpunkt, die Entnahmedauer und Probenflaschennummer müssen im Protokoll festgehalten werden. Wenn möglich, sollten auch die Sondenanzeige und der Wasserstand zum Entnahmezeitpunkt eingetragen werden.
10. Um sogenannte Ausreißer bei der Probenentnahme zu erkennen, sollten die Probenflaschen der einzelnen Lotrechten einer Integrationsentnahme 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. Sollte sich eine bestimmte Flasche deutlich von den übrigen unterscheiden, ist die Beprobung der betreffenden Lotrechten zu wiederholen. Erst nach einem Probenvergleich kann eine eventuelle Probenvereinigung (siehe Punkt 14) vorgenommen werden.
11. Nach Beendigung der Messung müssen die folgenden Informationen (soweit bekannt) im Protokoll ausgefüllt werden: Wasserstand, Wassertemperatur sowie die Uhrzeit bei Abschluss der Messungen.
12. Im Anschluss an die Entnahme werden die Proben ins Labor gebracht und die Masse und das Volumen gemäß Kapitel 4.5.1 bestimmt.
13. 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.
14. 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.
15. 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.

Variante 2 (mit Durchflussmessung):

1. Bei Beginn der Messung müssen die folgenden Informationen im Protokoll (Anhang B) ausgefüllt werden: Messstellenbezeichnung, Datum, Art der Messung, verwendetes Messgerät zur Schwebstoffprobenentnahme, Messteam, soweit bekannt Wasserstand, Wassertemperatur und Uhrzeit.
2. Die benetzte Breite des betreffenden Querprofils ist zu bestimmen sowie im Protokoll zu vermerken und 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) und Wassertiefe (t_w) je Messlotrechte ist zu bestimmen und zu protokollieren (Geschwindigkeitsmessung nach ÖNORM B 2401 (2006) bzw. 2403 (1998), oder mittels ADCP).
5. Zu Beginn der Probenentnahme wird eine Schwebstoffprobe möglichst nahe beim kontinuierlichen Messgerät entnommen (siehe Kapitel 4.4.1). Zeitgleich mit der Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde sind der Entnahmezeitpunkt sowie der Wasserstand und die Sondenanzeige im Protokoll (siehe Anhang B) festzuhalten. Dieser Arbeitsschritt wird angepasst an die jeweilige Messstelle mehrfach wiederholt, z.B. im 30 min-Intervall oder bei jeder Lotrechte, um eine ausreichende Anzahl an Kalibrierproben zu erhalten.
6. Zur Durchführung der Entnahme ist ein isokinetischer Sammler einzusetzen, der für die Integrationsprobenentnahme geeignet ist.
7. Die erforderliche Absenkgeschwindigkeit ist 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. Die Absenk- und Hubgeschwindigkeit kann für jede Lotrechte einzeln gewählt werden.
8. Nach Beendigung der Messung müssen die folgenden Informationen (soweit bekannt) im Protokoll ausgefüllt werden: Wasserstand, Wassertemperatur sowie die Uhrzeit bei Abschluss der Messungen.
9. Im Anschluss an die Entnahme werden die Proben ins Labor gebracht und auf den Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen analysiert (Kapitel 4.5.1).
10. Für die Ermittlung des Schwebstofftransportes ist die integrativ ermittelte Konzentration mit der mittleren Fließgeschwindigkeit zu multiplizieren (siehe Kapitel 5.3.2).

4.4.2.2.2 INTEGRATIVE 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 14). Die Proben werden in den Lotrechten, die durch den Durchflussschwerpunkt des jeweiligen Abschnittes gehen (Abbildung 14) 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 Auswertzeit erreicht (Edwards & Glysson, 1999).

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

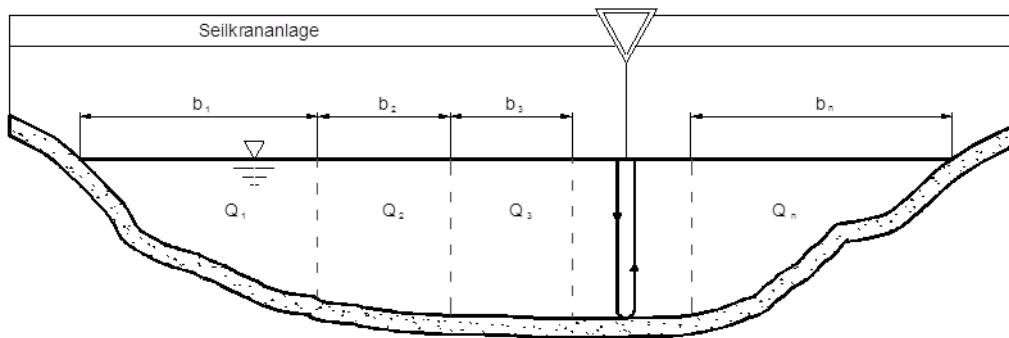


Abbildung 14: Darstellung einer Integrationsentnahme nach der „Equal-Discharge-Increment“ Methode

1. Bei Beginn der Messung müssen die folgenden Informationen im Protokoll (Anhang B) ausgefüllt werden: Messstellenbezeichnung, Datum, Art der Messung, verwendetes Messgerät zur Schwebstoffprobenentnahme, Messteam, Uhrzeit soweit bekannt Wasserstand und Wassertemperatur.
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 tiefenintegrierten Probenentnahme durch die Flächenmittelpunkte der jeweiligen Abschnitte vorzunehmen (Abbildung 15).
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. Zur Durchführung der Entnahme ist ein isokinetischer Sammler einzusetzen, der für die Integrationsprobenentnahme geeignet ist.
5. 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.

6. Gleichzeitig mit der Beprobung der einzelnen Lotrechten erfolgt die Bestimmung der Entnahmedauer mittels Stoppuhr. Die Beschriftung der Probenflasche umfasst die Bezeichnung der Messstelle, die Probennummer sowie das Datum der Probenentnahme.
7. Die Entnahmestelle, der Entnahmezeitpunkt, die Entnahmedauer und Probeflaschennummer müssen im Protokoll festgehalten werden. Wenn möglich, sollten auch die Sondenanzeige und der Wasserstand zum Entnahmezeitpunkt eingetragen werden.
8. Die Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration erfolgt durch Bildung des arithmetischen Mittels der Schwebstoffkonzentrationen der einzelnen Lotrechten.
9. 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.

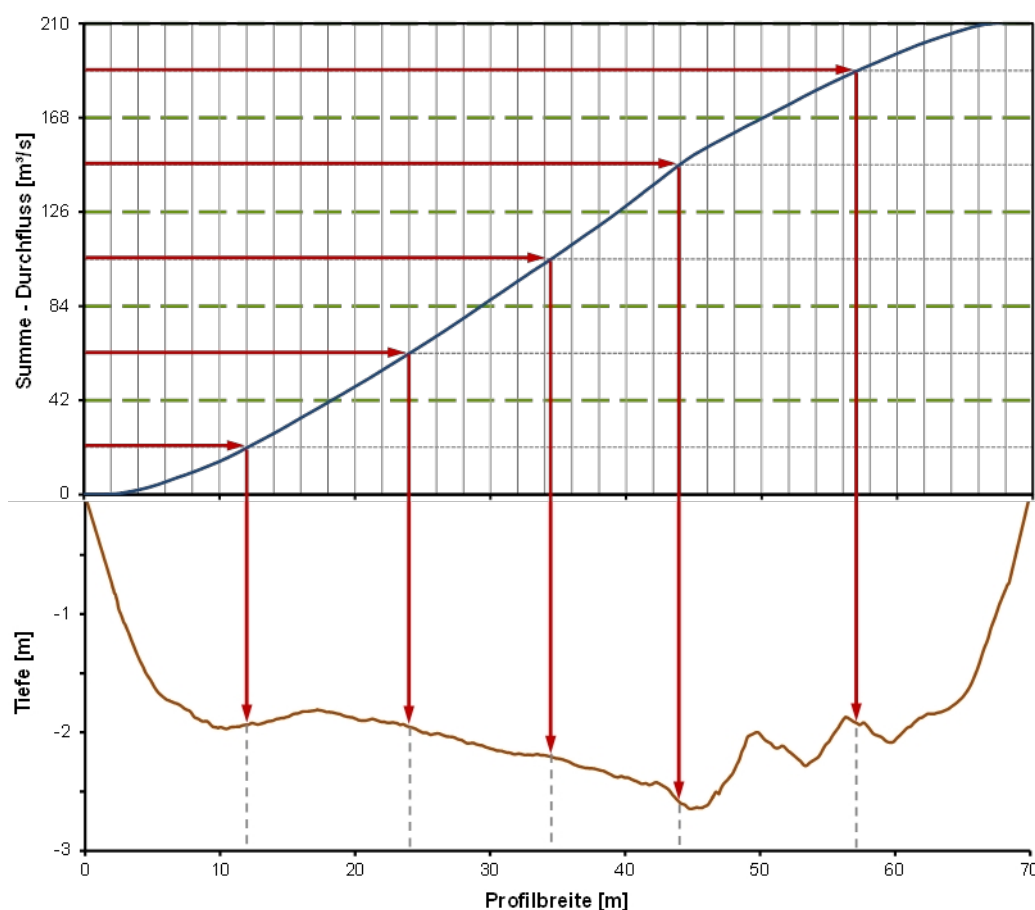


Abbildung 15: Bestimmung der Stationierung der Messlotrechten mittels Durchflusssummenkurve am Beispiel Mureck/Mur

4.4.2.3 ADCP MIT PROBENENTNAHME

Da sowohl die Durchführung als auch die Laborauswertung der Vielpunktmethode sehr viel Zeit in Anspruch nimmt, können alternativ ADCP-Messungen in Kombination mit einer deutlich verringerten Zahl an Proben (bis zu 50 % Verringerung der Probenanzahl nach erfolgter Optimierung im Vergleich zur normalen Vielpunktmethode) 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).

Dabei ist wie folgt vorzugehen:

1. Die Durchflussbestimmung mittels ADCP kann mit der Bottom-Track Methode mit mindestens vier Messfahrten oder mit der Section by Section Methode durchgeführt werden. Dabei dürfen die Ergebnisse der vier Messfahrten eine maximale Abweichung von 5 % vom Mittelwert aufweisen bzw. die Mindestanzahl der Lotrechte ist so zu wählen, dass der Abfluss im jeweiligen Abschnitt 5% vom Gesamtabfluss nicht überschreitet.
2. Die Anzahl und die Festlegung der Stationierung der Messlotrechte sind für die ersten Probenentnahmen analog zur Vielpunktmethode vorzunehmen und anschließend je nach Messstelle zu optimieren.
3. Die Festlegung der Entnahmepunkte je Lotrechte (normalerweise 3–5 Entnahmepunkte in identischen relativen Entnahmetiefen) erfolgt analog zur Vielpunktmethode, wobei diese vom Wasserspiegel aus ermittelt werden. Dabei ist das Blanking des jeweiligen Messgerätes zu berücksichtigen und der oberste und unterste Entnahmepunkt sind entsprechend anzupassen.
4. Bei Beginn der Messung müssen die folgenden Informationen im Protokoll (Anhang B) ausgefüllt werden: Messstellenbezeichnung, Datum, Art der Messung, verwendetes Messgerät zur Schwebstoffprobenentnahme, Messteam, soweit bekannt Wasserstand, Wassertemperatur und Uhrzeit.
5. Zu Beginn der Probenentnahme wird eine Schwebstoffprobe möglichst nahe beim kontinuierlichen Messgerät entnommen (siehe Kapitel 4.4.1). Zeitgleich mit der Entnahme einer Kalibrierprobe bei der Trübungssonde sind der Entnahmezeitpunkt sowie der Wasserstand und die Sondenanzeige im Protokoll (siehe Anhang B) festzuhalten. Dieser Arbeitsschritt wird im 30 min-Intervall bis zur Beendigung der Vielpunktentnahme 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. Die Beschriftung der Probenflasche umfasst die Bezeichnung der Messstelle, die Probennummer sowie das Datum der Probenentnahme.

9. Die Entnahmestelle (Stationierung und Entnahmetiefe), der Entnahmezeitpunkt, die Entnahmedauer und Probeflaschennummer müssen im Protokoll festgehalten werden. Wenn möglich, sollten auch die Sondenanzeige und der Wasserstand zum Entnahmezeitpunkt eingetragen werden.
10. Diese Vorgehensweise (Punkt 8 und 9) ist bei den übrigen Entnahmepunkten und Lotrechten zu wiederholen.
11. Nach Beendigung der Messung müssen die folgenden Informationen (soweit bekannt) im Protokoll ausgefüllt werden: Wasserstand, Wassertemperatur sowie die Uhrzeit bei Abschluss der Messungen.
12. Im Anschluss an die Entnahme werden die Proben ins Labor gebracht und auf den Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen analysiert (Kapitel 4.5.1).
13. Für die Ermittlung des Schwebstofftransportes ist gemäß Kapitel 5.4.3 vorzugehen.

4.4.2.4 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 SCHWEBSTOFF-KONZENTRATIONEN IM QUERPROFIL

Kriterium	Verfahren	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 messstellenspezifisch festgelegt werden.

4.4.3 ENTNAHMEN FÜR KORNGRÖSSENUNTERSUCHUNGEN

Je nach Methode der Laboranalytik sind unterschiedliche Mengen an Trockensubstanz erforderlich. Für die Analyse werden von wenigen mg (z.B. Laser) bis zu mehreren g Trockensubstanz (z.B. 20 g bei Aräometer) benötigt. Eine Siebanalyse, die grundsätzlich empfohlen wird, erfordert Probenmengen von mindestens 5 g, idealerweise 10 g. Es sind daher entsprechend den vorhandenen Konzentrationen und Analysemethoden (in

Absprache mit dem jeweiligen Labor) verschieden große Probenmengen zu entnehmen. Die Proben sollen bis zur Durchführung der Korngrößenanalyse möglichst dunkel und kühl gelagert werden.

Datum, Zeit, Ort und genaue Lage der Probenentnahme im Querprofil sind zu dokumentieren.

4.4.3.1 EINZELPROBE

Proben für Korngrößenuntersuchungen werden häufig oberflächennah mittels Probenflasche, Kanister oder Eimer gewonnen. Bei Entnahme mittels Eimer ist die Probe in Kunststoffbehältern in das Labor zu transportieren. 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.

4.4.3.2 ENTNAHME IM QUERPROFIL

Soll die mittlere Korngrößenverteilung im Querprofil bestimmt werden, wird lt. ISO 4363 (2002) empfohlen, die gleiche Methode der Probenentnahme wie zur Bestimmung der mittleren Konzentration im Querprofil zu verwenden. Die entsprechenden Mengen müssen an den gewünschten Positionen durch geeignete Proben-sammler oder Pumpen gewonnen werden. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang die isokinetische Entnahme, um vor allem den Sandanteil, sofern er vorhanden ist, repräsentativ zu gewinnen.

4.5 ANALYSETECHNIKEN

In der Gewässergüte werden die abfiltrierbaren Stoffe nach DIN 38409 Teil 2 (1987) und ÖNORM M 6274 Teil 2 (1985) 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.

Die Kenntnis der Korngrößen des Schwebstoffes ist z.B. für den Einsatz von numerischen Modellen hinsichtlich Feststoffaufkommen und -verteilung erforderlich. Ziel der Korngrößenanalysen ist die Erstellung einer Summenkurve der Prozentanteile der Korngrößenklassen an der Gesamtmasse.

4.5.1 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 16). 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 16: Filtriergerät mit Zubehör und Vakuumpumpe im Hintergrund (Foto links: Stimpfl, 2006); Vakuumpumpe der VHP (Foto rechts: Kerschbaumsteiner)

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 $\pm 0,1$ 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 ± 5 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.1* 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) – Vakuumpumpe bestehend aus Trichter, Glasfritten-Filterhalter, Sammelflasche, Vakuumschlauch und Vakuumpumpe bzw. Wasserstrahlpumpe, Federklemme,
- Standzylinder zur Bestimmung des Probenvolumens, alternativ: Bestimmung des Probenvolumens im Trichter
- Objektträger,

- Spritzflasche,
- Pinzette,
- Trockenschrank mit Temperaturregelung,
- Thermometer zum Trockenschrank,
- Exsikkator, mit Silicagel oder Diphosphorpentaoxid als Trocknungsmittel, besser ist sofortiges Wiegen der Filter

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 gegebenenfalls 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 nach vollständiger Filtration 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.

4.5.1.1 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.

Mitunter werden bei der Probenentnahme neben mineralischen Anteilen auch organische Anteile in die Probenflasche aufgenommen. Makroskopisch erkennbare Bestandteile (wie Holzstücke, Blätter), welche augenscheinlich nicht der Schwebstoffprobe zuzuordnen sind, sind zu entfernen. Das Vorkommen ist jedoch bei der Laboranalyse anzugeben, um eine nachträgliche Bewertung der Probe zu erleichtern. Ein ähnliches Verfahren wird für den Umgang mit Ausreißern (einzelne Kieskörner) empfohlen, nämlich diese nicht in das Trockengewicht einzurechnen.

4.5.1.2 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 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. Wenn ein Teilen unbedingt erforderlich ist, dann müssen alle Teile einzeln gemessen und die Summenmasse bestimmt werden.
3. Wenig hygroskopische Filtermaterialien (z.B. Celluloseacetatfilter) sind zu verwenden und die Massebestimmung ist möglichst rasch nach dem Trocknungsvorgang durchzuführen.

4. Die Schwebstoffproben sind bis zur Filtration 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. Dabei ist darauf zu achten, dass die beiden Flaschen gleich tief ins Gewässer eintauchen. Durch die Befestigung der Probenflasche an einer Stange wird die Positionierung im Gewässer erleichtert. Die Analyseergebnisse dieser gleichzeitig entnommenen Proben sollten nur geringe Abweichungen aufweisen.

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.

4.5.2 METHODEN DER KORNGRÖSSENUNTERSUCHUNG

Zur Durchführung von Korngrößenanalysen stehen unterschiedliche Technologien (Siebung, Sedimentationsverfahren, Coulter Counter und Laserbeugung) zur Verfügung (siehe Anhang D). Diese Methoden haben teilweise überlappende Anwendungsbereiche und erfordern unterschiedliche Mengen an Probenmaterial. Die Analysen sollten so durchgeführt werden, dass auf jeden Fall eine Angabe auf 100 % des Materials erfolgt.

Die Aufbereitung der Proben für eine Korngrößenanalyse erfolgt nach ÖNORM B 4412-1 (1974) und ÖNORM L 1061-2 (2002). Dabei werden die Proben vor der Analyse in Tetranatriumdiphosphat-Lösung dispergiert ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), um die Aggregate in ihre Primärteilchen zu zerlegen. Zusätzlich werden die Proben mittels Ultraschallbad dispergiert. Im Gegensatz dazu wird eine Aggregatanalyse ohne Dispergierung durchgeführt.

Für die Bestimmung der gröberen Anteile der Proben wird grundsätzlich die Anwendung einer Siebanalyse empfohlen. Diese sollte idealerweise bis zu einer Maschenweite von 20 μm durchgeführt werden, da die unterschiedlichen Auswertemethoden, bedingt z.B. durch die hohe Sedimentationsgeschwindigkeit des Grobschluffs, zu großen Unterschieden in diesem Bereich führen können. Eine Siebung bis 20 μm kann zu einer Vereinheitlichung der Ergebnisse beitragen.

Für die Bestimmung der kleineren Korndurchmesser mindestens bis zu 2 μm können herkömmliche Methoden, wie z.B. die Pipettiermethode sowie die Methode nach Atterberg, oder auch elektronische Geräte wie Sedigraph, Coulter Counter und Laser eingesetzt werden. Der Sedigraph und der Laser sind insbesondere für die Bestimmung der Feinstanteile (Tonminerale) bis zu 0,2 μm geeignet.

Bei den herkömmlichen Methoden 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). 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 Röntgendichte haben, sind diese nicht bestimmbar. 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 (Lasergesetz) 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 elektronischen Geräten gute Ergebnisse mit hoher Genauigkeit erzielen. Optische Messgeräte messen die Streuung des Lichts und ermitteln daraus die Partikelgröße.

Da sich die Ergebnisse der unterschiedlichen Technologien nicht vergleichen lassen (Spreafico et al., 2005), ist daher bei jeder Korngrößenbestimmung die angewandte Analysenmethode anzugeben.

5 AUSWERTUNG DER DATEN

5.1 PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG DER SONDENWERTE UND KALIBRIERPROBEN

Die vom Trübungssensor aufgezeichnete Ganglinie wird zusammen mit den Schwebstoffkonzentrationen aus den Kalibrierproben und dem Durchfluss dargestellt. Die Plausibilitätsprüfung der Sondenwerte hat folgende Einflüsse zu berücksichtigen:

- Natürliche Einflüsse: z.B. Niederschlag, Hochwasser, Schnee- und Gletscherschmelze, Murenabgänge,
- Anthropogene Einflüsse: z.B. wasserbauliche Maßnahmen, Einleitungen, Stauraumspülungen,
- Gerätespezifische und messstellenbedingte Einflüsse: z.B. Fouling, Einschotterung, Trockenfallen, Blitzschlag, Vereisung, Wassereintritt in die Sonde, Treibgut, Gerätefehler, Messbereich, Ansprechzeit, Datenübertragung, Wartungsarbeiten.

Fehlerquellen unplausibler Kalibrierproben können sein:

- Fehler bei Probenentnahme: Überfüllen, Aufwirbeln von Schlamm durch Bodenkontakt,
- Verwechslung von Flaschen oder Beschriftungen,
- Aufwachsen von Mikroorganismen bei zu langer und zu warmer Lagerung,
- Umfüllen bzw. Teilen der Proben bei der 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.
- Korrektur der Daten, wenn gerätespezifische bzw. messstellenbedingte Einflüsse erkannt wurden (Anpassung über Kalibrierproben, Durchfluss ...) oder Ausreißer vorliegen (Abbildung 17).

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

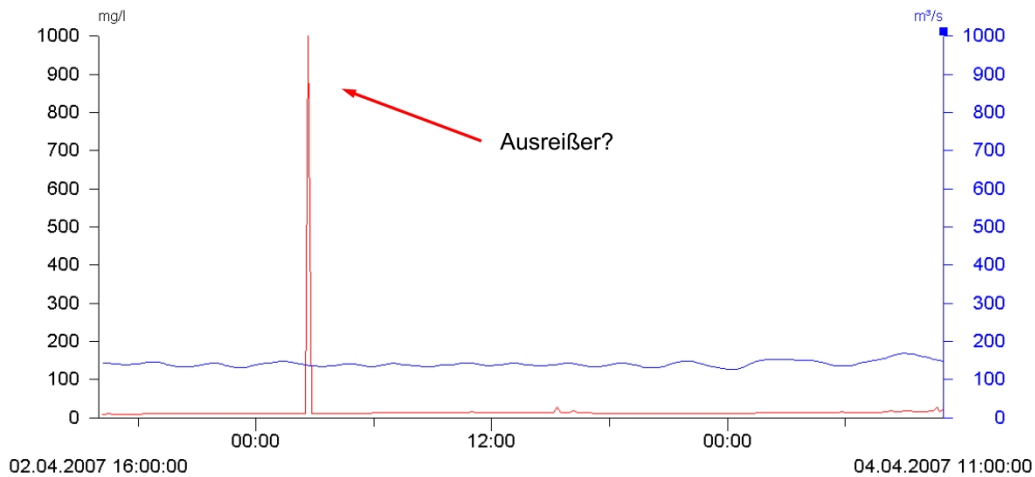


Abbildung 17: Beispiel für eine Sondenauzeichnung (rot) mit Ausreißern an der Messstelle Mureck/Mur gemeinsam mit dem Durchfluss dargestellt (blau)

5.2 KORREKTURMÖGLICHKEITEN DER SONDENWERTE UND KALIBRIERPROBEN

Wird eine fehlerhafte Sondenauzeichnung (z.B. Fouling siehe Abbildung 18, Trockenfallen siehe Abbildung 19) 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)
- Ganglinie einer redundanten Sonde oder einer geeigneten benachbarten Messstelle am selben Gewässer

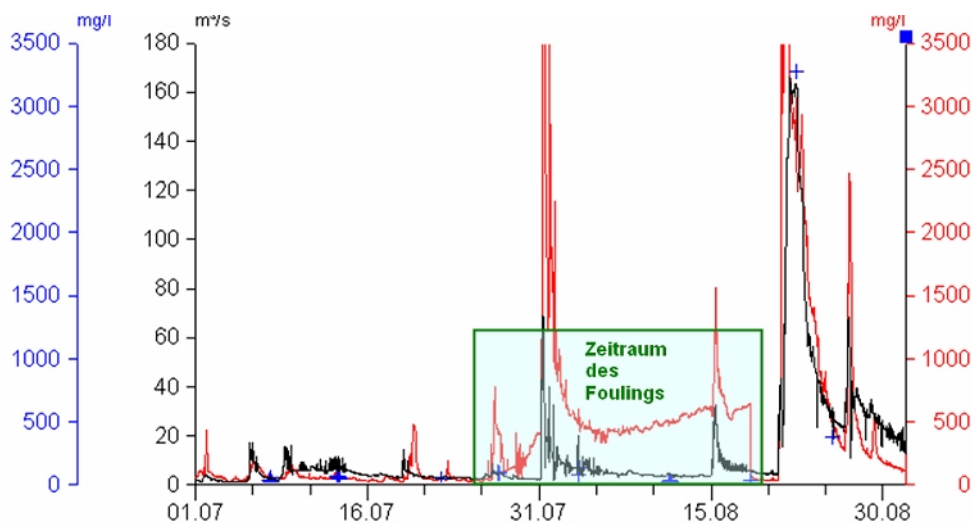


Abbildung 18: Beispiel für eine Sondenauzeichnung bei auftretendem Biofouling an der Messstelle Feldbach/Raab; schwarz: Durchfluss; rot: Sondenauzeichnung, blau: Kalibrierproben (Stimpfl, 2006)

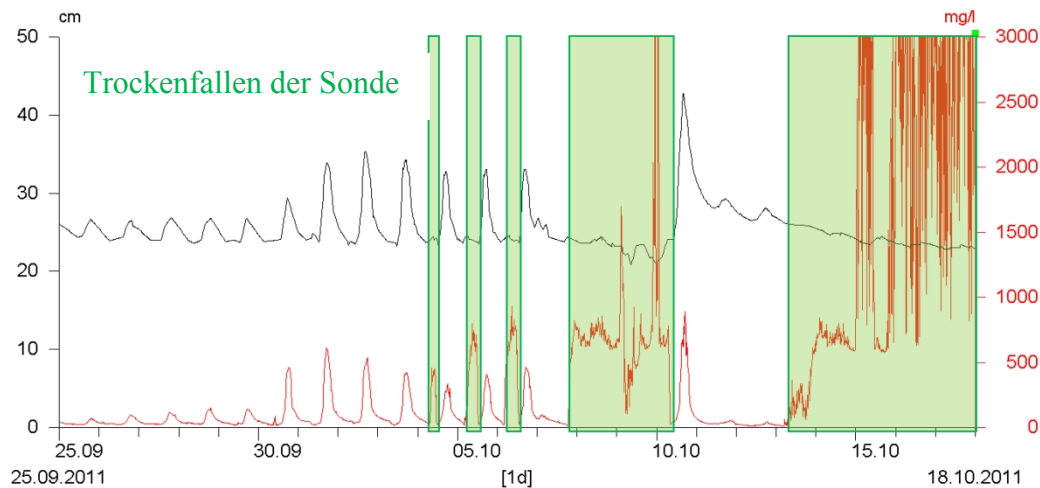


Abbildung 19: Beispiel für irrealer Sondenwerte aufgrund des Trockenfallens der Sonde (grüne Bereiche) an der Messstelle Vent/Rofenache; schwarz: Wasserstand; rot: Sondaufzeichnung

Im Idealfall steht für die Rekonstruktion einer Sondenganglinie eine redundante Sonde oder eine Sonde einer benachbarten Messstelle an demselben Gewässer zur Verfügung. Werden nur sondennahe Schwebstoffproben, ohne Ersatzganglinie, für die Korrektur der Ganglinie herangezogen, so ist dies im Regelfall mit einem Informationsverlust verbunden. Daher kann bei ausreichend guter Korrelation zwischen Sondenganglinie und Durchfluss eine Ersatzganglinie aus dem Durchfluss für den gestörten Bereich konstruiert werden. Im Rahmen solcher Korrekturen sind die Veränderungen des Wasserstandes und des Durchflusses sowie allfällige Kalibrierproben in die Überlegungen mit einzubeziehen. Ein Sondenausfall bei sehr niedrigen Wasserständen stellt bei der Frachtberechnung kein großes Problem dar, da der natürliche Schwebstofftransport zu Zeiten mit geringen Abflüssen ohnehin nur geringfügig zur Gesamtfracht beiträgt. Fehlerhafte Kalibrierproben sind nicht zu korrigieren und für die weiteren Umrechnungen nicht heranzuziehen.

5.3 KONTINUIERLICHE SCHWEBSTOFFKONZENTRATION IN SONDENNÄHE

Nach Überprüfung und/oder Korrektur der Sondenganglinie und der Kalibrierproben erfolgt die Umrechnung der Sondaufzeichnungen in sondennahe Schwebstoffkonzentrationen. Hierfür gibt es zwei Verfahren (A und B), die an einer Messstelle auch kombiniert werden können.

Verfahren A: Die Berechnung der Sondenbeiwerte k_s wird mittels Division der gravimetrisch bestimmten Schwebstoffkonzentration (s_k) durch die zugehörige Sondaufzeichnung (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 (siehe Abbildung 20). 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.

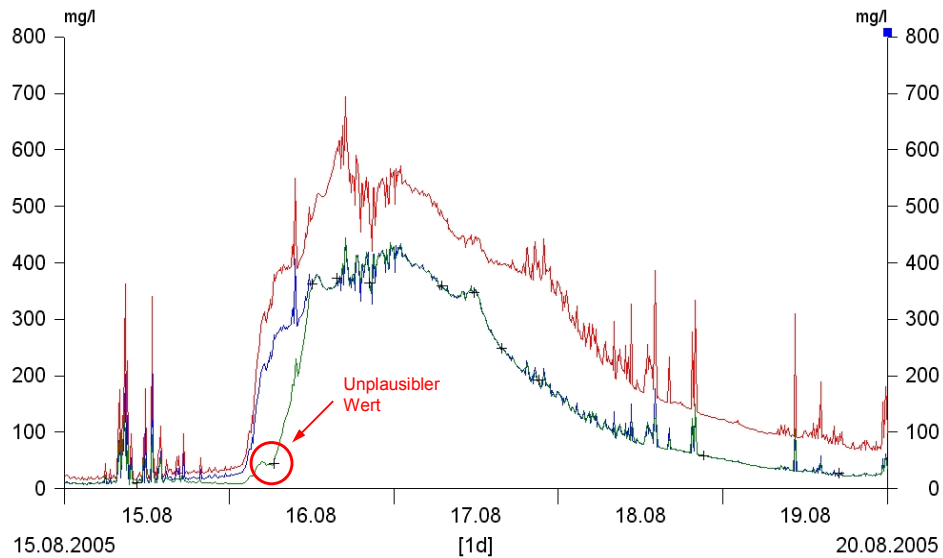


Abbildung 20: Sondaufzeichnung (rot), Kalibrierproben (schwarz). Sondennahe Schwebstoffkonzentration unter Berücksichtigung aller Kalibrierproben mittels Sondenbeiwert berechnet (grün) und sondennahe Schwebstoffkonzentration ohne Berücksichtigung der unplausiblen Kalibrierprobe mittels Sondenbeiwert berechnet (blau)

Verfahren B: Die Umrechnung der Sondenwerte in sondennahe Schwebstoffkonzentrationen erfolgt mittels einer Schätzfunktion auf Basis einer Regressionsanalyse oder anderer statistischer Ansätze zwischen Sondenwerten und Kalibrierproben (Sondenkennlinie siehe Abbildung 21). In zeitlicher Abfolge können auch unterschiedliche Ansätze zur Anwendung kommen. Dieses Verfahren eignet sich besonders gut für Messstellen oder Zeitbereiche, bei denen eine gute Korrelation zwischen Sondenwerten und Kalibrierproben, evtl. aber unregelmäßige Entnahmeintervalle vorliegen.

Sondenkennlinie Gisingen/III

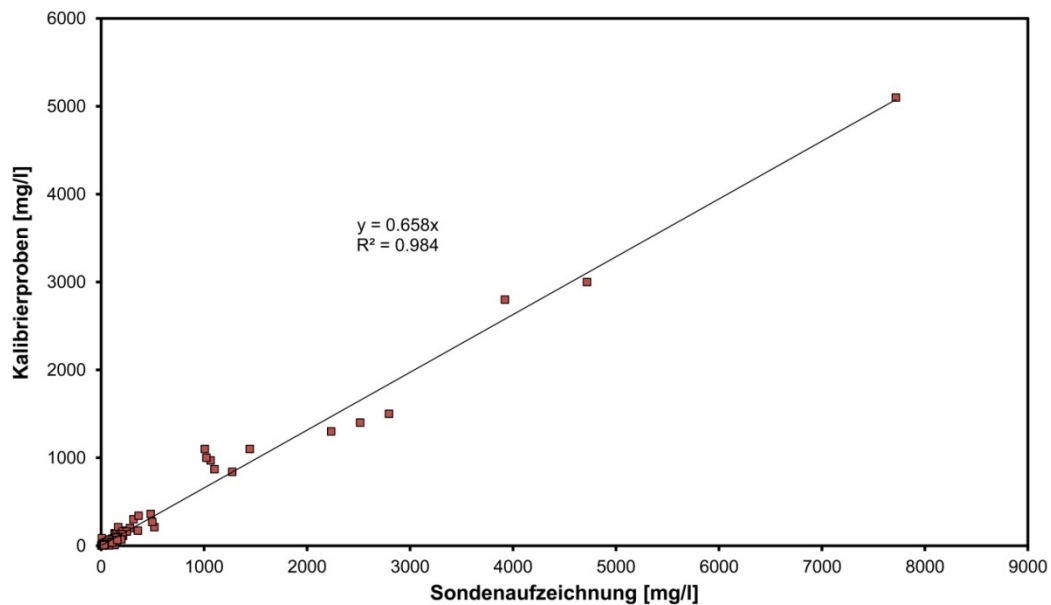


Abbildung 21: Sondenkennlinie (Zusammenhang: Sondaufzeichnung – Kalibrierproben) an der Schwebstoffmessstelle Gisingen/III

Einen Vergleich der mit den beiden Verfahren berechneten sondennahen Schwebstoffkonzentrationen ist in Abbildung 22 dargestellt.

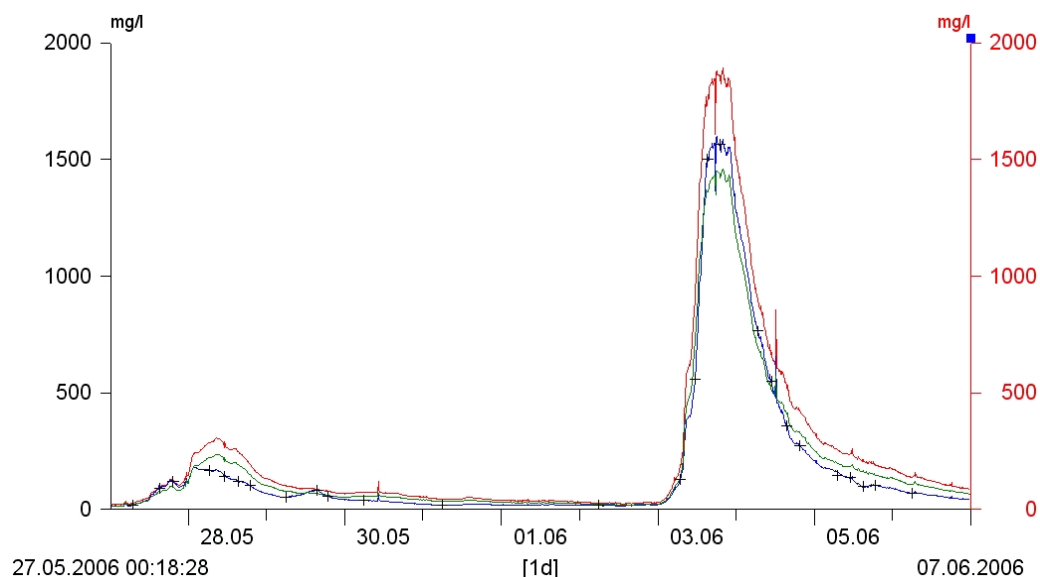


Abbildung 22: Sondaufzeichnung (rot), Kalibrierproben (schwarz), kontinuierliche Schwebstoffkonzentration an einem Punkt mittels Regression berechnet (grün), kontinuierliche Schwebstoffkonzentration an einem Punkt mittels Sondenbeiwert berechnet (blau) an der Messstelle Steyr-Ortskai/Enns

Für jede einzelne Messstelle muss sorgfältig ausgewählt werden, welche sondennahe Schwebstoffkonzentration (mittels Sondenbeiwert oder Sondenkennlinie) für die weitere Umrechnung in die mittlere Schwebstoffkonzentration im Profil verwendet werden soll. Dafür können die aus Messungen ermittelten mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil herangezogen werden, um das Verfahren für die Berechnung der sondennahen Schwebstoffkonzentration auszuwählen, wie im folgenden Beispiel erläutert wird. Die Ermittlung der Ganglinie der mittleren Schwebstoffkonzentration beim Hochwasserereignis vom 5.-15. November 2012 in Lavamünd/Drau ergibt bei der Anwendung des Sondenbeiwertes eine bessere Übereinstimmung mit der gemessenen mittleren Schwebstoffkonzentration (Abbildung 23), (Lalk et al., 2015).

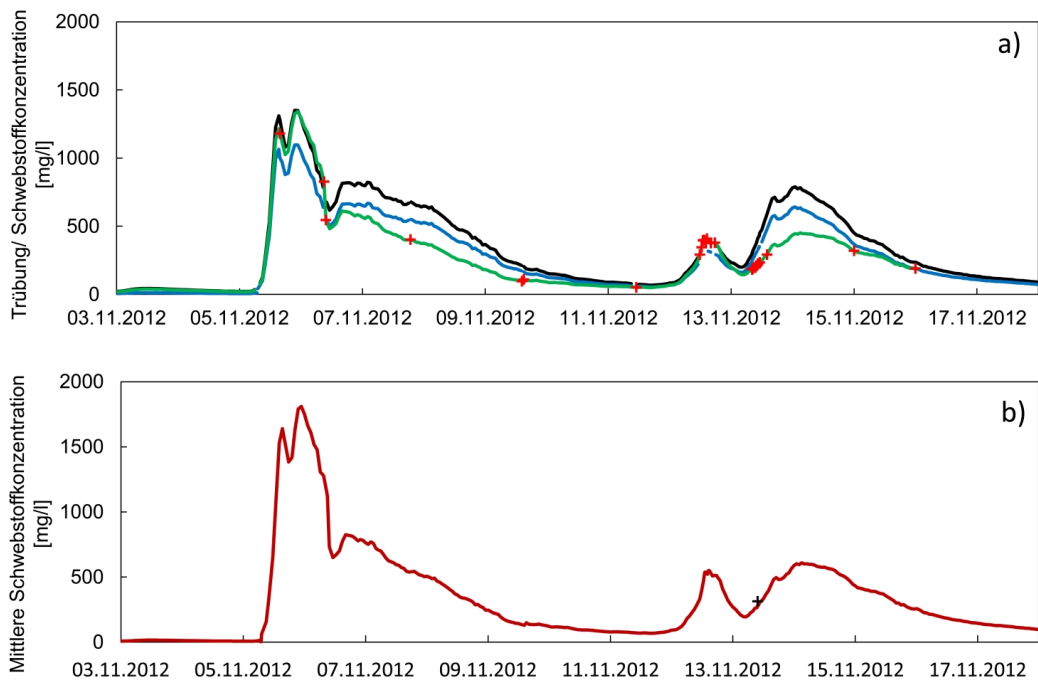


Abbildung 23: a) Vergleich der Ermittlung der sondennahen Schwebstoffkonzentration durch Sondenbeiwert (grün) und Sondenkennlinie (blau), Sondaufzeichnung (schwarz), Kalibrierproben (rot); b) gemessene (schwarz) und berechnete (rot) mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil in Lavamünd/Drau 2012

5.4 SCHWEBSTOFFTRANSPORT UND MITTLERE SCHWEBSTOFFKONZENTRATION IM PROFIL

Der Schwebstofftransport ergibt sich gemäß Gleichung 2.

$$Q_s = \int_{b_x}^{b_x+t_w} \int_0^{b_x} s_0(h, b) \cdot v(h, b) \, dh \, db \quad (2)$$

Q_s	Schwebstofftransport
s_0	Schwebstoffkonzentration
v	Fließgeschwindigkeit
t_w	Wassertiefe
h	Höhe über Sohle
b	benetzte Breite

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 24 dargestellt.

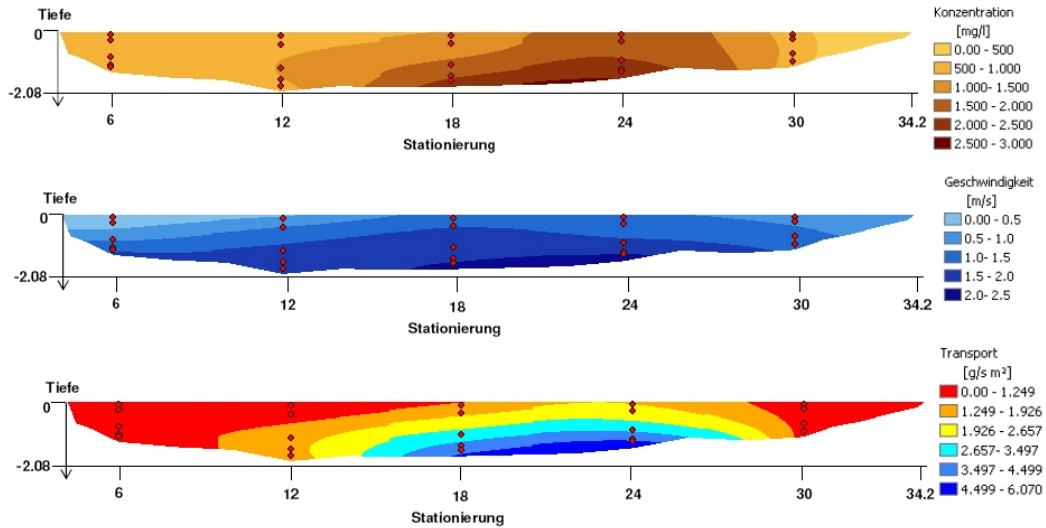


Abbildung 24: Schwebstoff-, Fließgeschwindigkeits- und Transportverteilungen im Querprofil an der Messstelle Bruck/Salzach (Wagner, 2006)

5.4.1 BESTIMMUNG MITTELS VIELPUNKTMETHODEN

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 25 dargestellt.

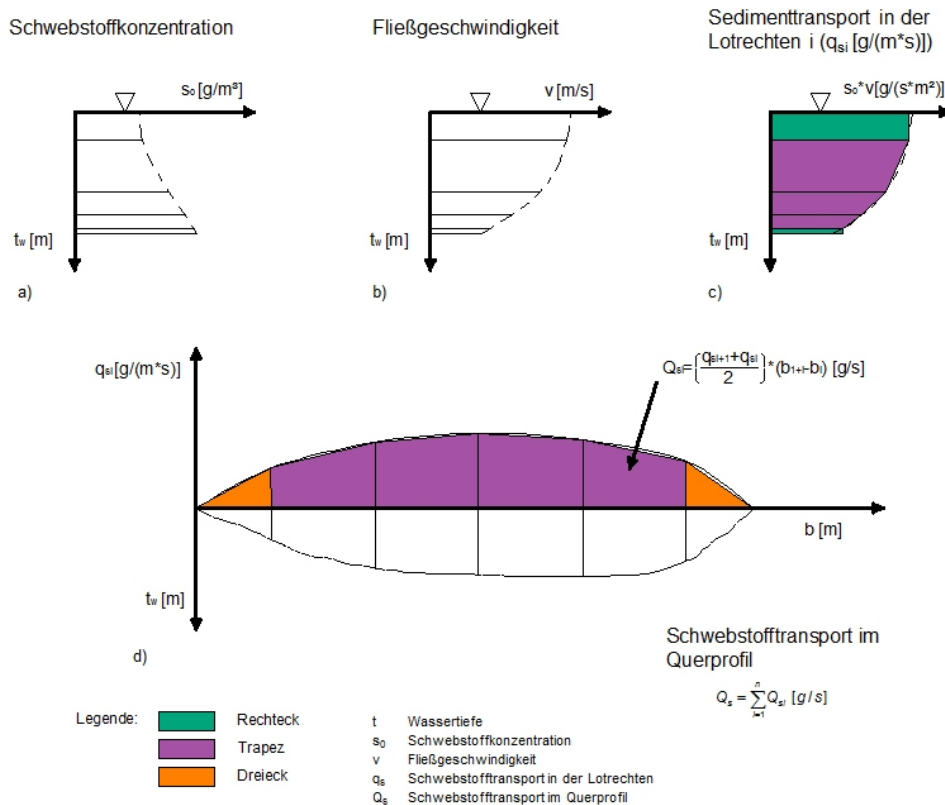


Abbildung 25: Konventionelles Auswerteverfahren für Vielpunktentnahmen (verändert nach DVWK, 1986)

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 $[g/(ms)]$ errechnet sich aus dem Inhalt der Fläche jeder Lotrechten von der Wasseroberfläche bis zur Sohle (Abbildung 25c). Hierfür werden die Flächen vom untersten Entnahmepunkt bis zum obersten Entnahmepunkt durch Trapeze angenähert und die Fläche vom obersten Entnahmepunkt bis zur Gewässer Oberfläche 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 25d). An den Profilrändern wird der Schwebstofftrieb gleich Null gesetzt und der Transport über die Dreieckformel berechnet.

5.4.2 BESTIMMUNG MITTELS INTEGRATIONSMETHODE

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 Entnahmelotrechten erfolgt bei der EWI-Methode, Variante 1, ohne Durchflussmessung. Um die mittlere, mit dem jeweiligen Durchfluss gewichtete Schwebstoffkonzentration für das gesamte Querprofil s_m 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

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

berechnet, wobei s_{mL} die mittlere Schwebstoffkonzentration in einer Lotrechten ist und 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 in der Lotrechten v_{mL} und mittlerer Konzentration der Integrationsprobe (s_{mL}). Der Schwebstofftrieb ist nach $q_{si} = (s_{mL} v_{mL}) t_{wL}$ zu berechnen, wobei t_{wL} die Wassertiefe der jeweiligen Lotrechten ist. Unter Anwendung der Flächenformel für Trapeze ist der Schwebstofftransport für das gesamte Querprofil zu ermitteln $[Q_{si} = [(q_{si} + q_{si+1}) / 2] (b_{(i+1)} - b_{(i)})]$.

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.

5.4.3 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 26) 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.

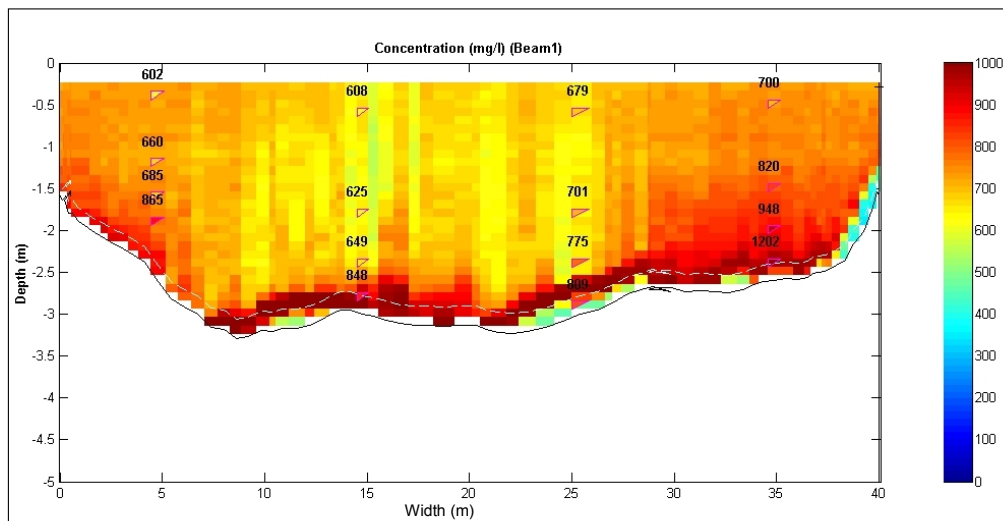


Abbildung 26: Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil mittels ADCP-Auswertung und Konzentrationen der Schwebstoffproben (Dreiecke) am Pegel Admont/Enns

5.5 KONTINUIERLICHE MITTLERE 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.

Werden diese Wertepaare bei unterschiedlichen Konzentrationen dargestellt, so ergibt sich eine Relation zwischen sondennaher und mittlerer Schwebstoffkonzentration. Mit Hilfe von Regressionsgleichungen oder anderen statistischen Verfahren können empirische Zusammenhänge hergestellt werden, die es ermöglichen, für sämtliche sondennahen Konzentrationen mittlere Schwebstoffkonzentrationen zu schätzen (Querprofilkennlinie, Abbildung 27). Der Zusammenhang zwischen sondennaher und mittlerer Schwebstoffkonzentration ist messstellenspezifisch unterschiedlich. 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.

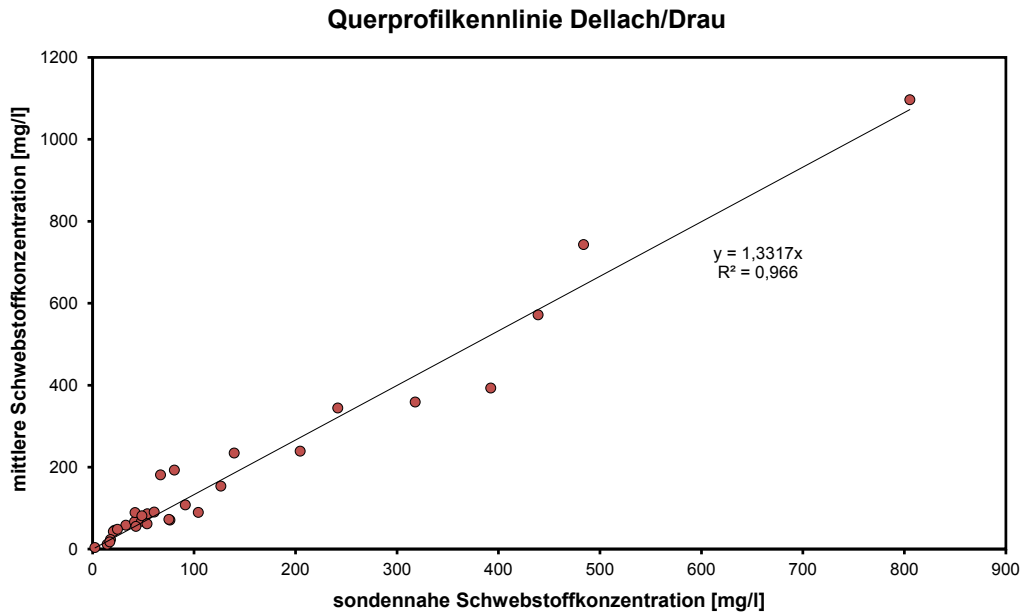


Abbildung 27: Querprofilkennlinie (Zusammenhang: sondennahe – mittlere Schwebstoffkonzentration) an der Messstelle Dellach/Drau

5.6 SCHWEBSTOFFTRANSPORT UND -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 28). Durch Integration dieser Transportganglinie über die Zeit werden so für beliebige Zeiträume die Schwebstofffrachten $V_{s,M}$ [kg bzw. t] bestimmt (Gleichung 5 und Abbildung 29).

$$V_{s,M,t_1,t_2} = \int_{t_1}^{t_2} Q_s(t) dt \quad (5)$$

V_{s,M,t_1,t_2} Schwebstofffracht integriert über die Zeit t_1 bis t_2

Q_s Schwebstofftransport

t Zeit

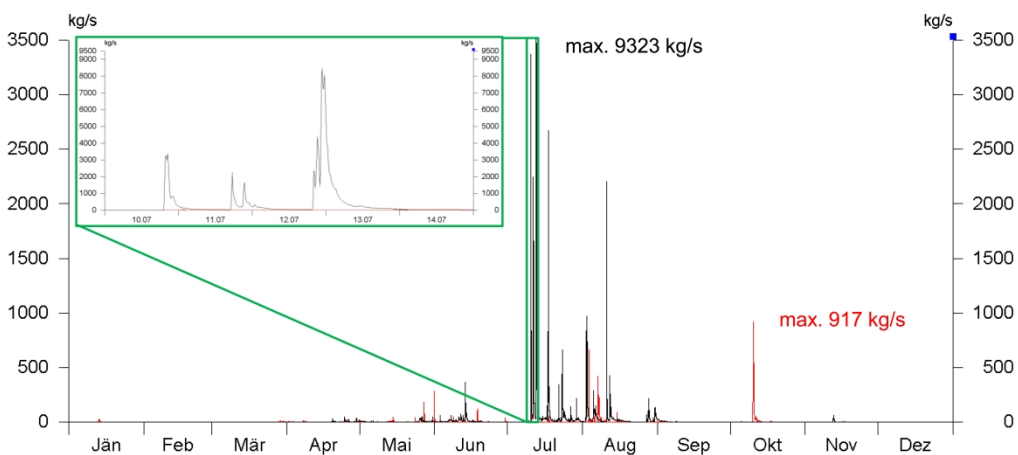


Abbildung 28: Schwebstofftransport im Jahr 2010 (schwarz) und im Jahr 2011 (rot) an der Messstelle Landeck-Bruggern/Sanna; in Abbildung abgeschnitten (Detail): am 12.7.2010 Spitze bei 9.323 kg/s (22:30)

In Einzugsgebieten, in denen sich mehrere Messstellen befinden, werden Massenbilanzen herangezogen, um die exakte Anwendung beziehungsweise Kombination der Umrechnungsfaktoren auf die Ergebnisse von Frachtberechnungen zu überprüfen. Dabei werden einerseits Jahresfrachten, andererseits auch Ereignisfrachten betrachtet. Im Fall von Ereignisfrachten muss dabei der Ereignistyp berücksichtigt werden. Starknieder-

schläge oder Gewitter, die räumlich auf ein Teileinzugsgebiet begrenzt sind, führen zu hohen Schwebstofffrachten in dieser Region, aber haben abnehmenden Einfluss auf flussab liegende Messstellen. Im Gegensatz dazu werden sich bei flächendeckenden Niederschlägen im gesamten naturbelassenen Einzugsgebiet die Schwebstofffrachten mit zunehmender Einzugsgebietsgröße vergrößern (Lalk et al., 2014). Messstellen unterhalb von Speichern und Seen weisen durch deren Retentionswirkung generell geringere Frachten auf.

Bei der Auswertung von Jahresfrachten zeigt sich häufig, dass während größerer Hochwasserereignisse ein erheblicher Anteil der Jahresfracht an Schwebstoffen transportiert wird. So wurde zum Beispiel während eines Ereignisses im Jahr 2010, verursacht durch ein Unwetter im Sölketal, an der Messstelle Trautenfels/Enns in 3 Tagen rund 60 % der gesamten Schwebstoffjahresfracht transportiert (Abbildung 29 und Abbildung 30). Damit wird bestätigt, dass Ungenauigkeiten bei der Erfassung von Schwebstoffkonzentrationen während Hochwasserereignissen sich daher viel stärker auf die Frachtermittlung auswirken als während Niedrigwasserzeiten (Nachtnebel, 1998).

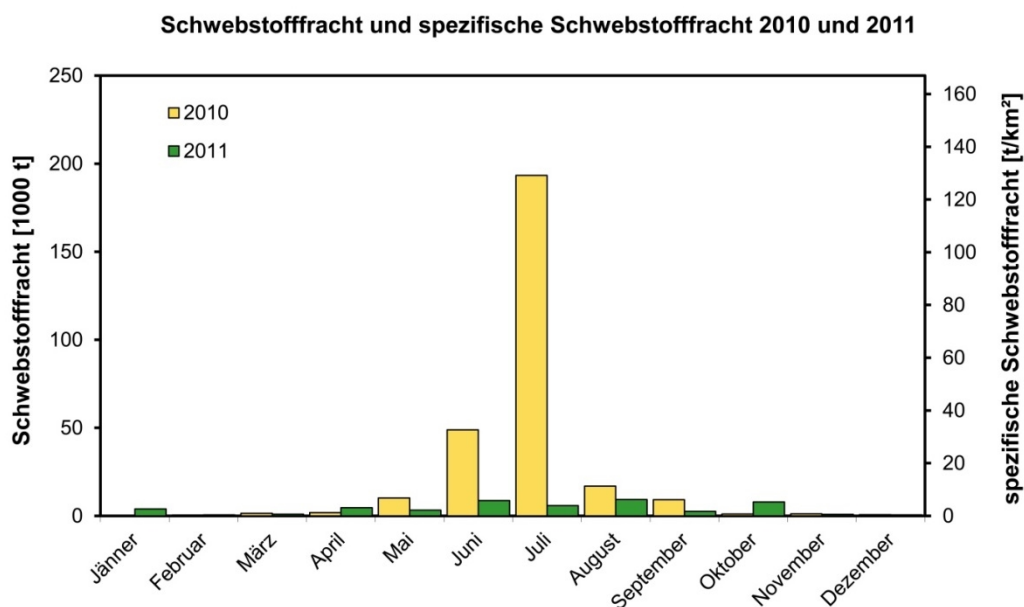


Abbildung 29: Monatliche Schwebstofffrachten und monatliche spezifische Schwebstofffracht im Jahr 2010 und 2011 an der Schwebstoffmessstelle Trautenfels/Enns

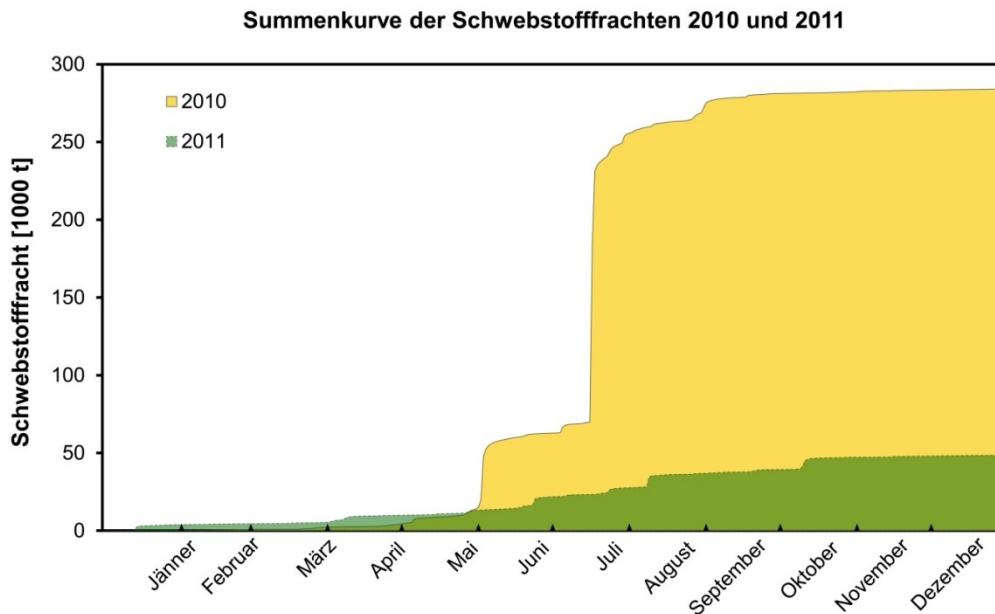


Abbildung 30: Summenkurven der Schwebstofffrachten an der Schwebstoffmessstelle Trautenfels/Enns für die Jahre 2010 und 2011

5.7 AUSWERTEMETHODEN BEI SONDERFÄLLEN

Werden die Schwebstoffmessungen nicht nach der in Kapitel 3.6 beschriebenen Monitoringstrategie durchgeführt z.B. bei bereits länger bestehenden Messstellen oder bei vorübergehenden Sondermessprogrammen (vergleiche Kapitel 3.7), ist es notwendig, auch bei der Auswertung bezüglich Schwebstofftransport und -fracht von der Anleitung in Kapitel 5 abzuweichen.

Wird an einer Messstelle die Schwebstoffkonzentration nur an einem Punkt im Gewässer erfasst (mittels kontinuierlicher Erfassung und Kalibrierung über Proben) und liegt keine Information über die Querverteilung im Gewässer vor, so wird angenommen, dass die Konzentration am Entnahmepunkt der mittleren Konzentration im Querprofil entspricht. Werden die Proben vom Ufer aus entnommen, kann es zu einer Unterschätzung, in manchen Fällen jedoch auch zu einer Überschätzung des Transportes und der Fracht kommen (z.B. Haimann et al., 2014).

An bereits länger bestehenden Messstellen oder bei historischen Messungen stehen meist nur Einpunktprobenentnahmen für die Auswertung zur Verfügung. Die Methode, mittels konventioneller Flaschenproben eine quasi kontinuierliche Schwebstoffkonzentrationsganglinie zu generieren, ist praktisch nicht umsetzbar. Erfolgen Schwebstoffentnahmen in relativ großen Zeitabständen (z.B. täglich 1 x oder seltener) müssen die Stichproben statistisch gesehen als unabhängig betrachtet werden. Terminwerte sind zeitabhängig und können damit eine systematische Abweichung vom geschätzten Mittelwert zum tatsächlichen Mittelwert der Grundgesamtheit verursachen (z.B. Thomas, 1985). Die Schwebstofffracht und deren Genauigkeit wird insbesondere von der Häufigkeit, vom Entnahmeschema und von der Berechnungsmethode sowie von der Einzugsgebietsgröße beeinflusst (Webb et al., 1997, Walling und Webb, 1988). Besonders in kleineren und alpinen Fließgewässern ist eine geringe Varianz der Schwebstoffkonzentrationen erfahrungsgemäß nicht zu erwarten, womit sich mit einer geringeren Probenzahl nur eine sehr eingeschränkte Genauigkeit bei der Frachtbestimmung erzielen lässt (Thomas, 1985).

Um den o.a. Unzulänglichkeiten der Probenentnahmekonzepte zu begegnen, wurden neben der graphischen Methode (Porterfield, 1972) auch rechnerische Verfahren zur Interpolation und Extrapolation der Konzentrationsdaten entwickelt.

5.7.1 EXTRAPOLATIONSVERFAHREN

Die unterschiedlichen Methoden der Extrapolation basieren in vielen Fällen auf einem doppelt logarithmischen Modell (Gleichung 6), das die Schätzung der Schwebstoffkonzentration in Abhängigkeit vom Abfluss mit Einschränkungen zulässt (z. B. Walling, 1977; Webb et al., 1997; Asselman, 1999; Horowitz, 2003; Grasso, 2003).

$$V_{s,M} = a \cdot Q^b \quad (6)$$

$V_{s,M}$ Schwebstofffracht [t]
 Q Durchfluss [m^3/s]
 a, b Konstanten

Die Anwendung des empirischen Zusammenhanges bringt mit sich, dass nicht die direkt gemessenen Werte in die Frachtberechnungen Eingang finden, sondern lediglich die geschätzten Erwartungswerte, die die besten Mittelwerte für die betreffenden Durchflüsse darstellen (Sachs, 1999). Mit der Linearisierung und der folgenden Rücktransformation des exponentiellen Zusammenhanges (Gleichung 7) geht eine systematische Beeinflussung des Ergebnisses einher (Cohn, 1995), zumal die Residuen unabhängig, normal verteilt und einen Mittelwert von Null aufweisen sollten, um die Bedingungen einer korrekten Regressionsanalyse erfüllen zu können. Die Residuen können infolge der komplexen Prozesse im Einzugsgebiet (Murabgänge, Hysterisis, etc.) beträchtliche Größen annehmen und für die angestrebte Frachtermittlung daher von großer Bedeutung sein (Thomas und Lewis, 1995). Dies gilt im Besonderen für Bereiche höherer Konzentration (Cohn, 1995). Außerdem wird oft beobachtet, dass mit zunehmender zeitlicher Auflösung der Frachtberechnungen die Residuen immer größer werden (Horowitz, 2003). Um mit den angeführten Extrapolationsmethoden dennoch brauchbare Ergebnisse im Rahmen der Frachtermittlung zu erzielen, wurden zahlreiche Korrekturstrategien beschrieben, die einerseits durch Korrekturfaktoren (z.B. Thomas, 1985, Ferguson, 1986, Koch & Smillie, 1986) und andererseits durch Stratifizierung der Datensätze (Saisonalität, steigende und abfallende Wasserstände, Dauerlinien, etc.) eine Verbesserung der Schätzergebnisse zu erzielen versuchen (z. B. Phillips et al., 1999).

$$V_{s,M} = a \cdot Q^b + c \quad (7)$$

$V_{s,M}$ Schwebstofffracht [t]
 Q Durchfluss [m^3/s]
 a, b, c Konstanten

5.7.2 INTERPOLATIONSVERFAHREN

Alternativ zu den Extrapolationsmethoden können auch Interpolationsverfahren zur Bestimmung von Schwebstofffrachten eingesetzt werden (Walling und Webb, 1985; Cohn, 1995).

Um Schwebstofffrachten auf Basis von momentan entnommenen Schwebstoffkonzentrationen ermitteln zu können, ist eine Gewichtung (w_i) gemäß Gleichung 8 der jeweilig gewonnenen Konzentrationen vorzunehmen. Wenn alle Entnahmen zeitlich äquidistant erfolgt sind, kann dieser Schritt entfallen (Cohn, 1995).

$$V_{s,M} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot f \cdot Q_i \cdot s_{0i} \quad (8)$$

w_i ... Gewichtungsfaktor für die jeweilige Probenkonzentration zum Zeitpunkt i [-]
 Q_i ... Durchflussmenge zum Zeitpunkt i [m^3/s]
 s_{0i} ... Schwebstoffkonzentration zum Zeitpunkt i [mg/l bzw. g/m^3]
 f ... Umrechnungsfaktor

Verschiedene Autoren (z.B. Walling und Webb, 1985; Webb et al., 1997; BfG, 2003) haben mehrere Methoden zur Bestimmung von Schwebstofffrachten zusammengestellt. Diese Methoden beruhen auf dem Prin-

zip der Interpolation mit Hilfe von Gewichtungen, die wiederum auf Zeit und oder auf Durchflüssen basieren können (Tabelle 3).

TABELLE 3: METHODEN DER SCHWEBSTOFFFRACHTBESTIMMUNG AUF BASIS VON DIREKTEN KONZENTRATIONSBESTIMMUNGEN

Formel
$V_{s,M} = f \cdot \Delta t \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{s_{0i}}{n} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n} \right)$
$V_{s,M} = f \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{s_{0i}}{n} \right) \cdot \bar{Q}_p \cdot \Delta t$
$V_{s,M} = f \cdot \Delta t \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{s_{0i} \cdot Q_i}{n} \right)$
$V_{s,M} = f \cdot \sum_{i=1}^n (s_{0i} \cdot \bar{Q}_t \cdot \Delta t)$
$V_{s,M} = f \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (s_{0i} \cdot Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \cdot \bar{Q}_p \cdot \Delta t$
$V_{s,M} = f \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{s_{0i-1} + s_{0i}}{2} \right) \cdot \left(\frac{Q_{i-1} + Q_i}{2} \right) \cdot \Delta t$

s_{0i} ...	Probenkonzentration	[mg/l; g/m ³]
Q_i ...	Durchfluss bei der Probenentnahme	[m ³ /s]
Q_p ...	Mittlerer Durchfluss im betr. Zeitraum	[m ³ /s]
Q_t ...	Mittlerer Durchfluss zwischen den Entnahmezeitpunkten	[m ³ /s]
n ...	Anzahl der Proben	[-]
f ...	Umrechnungsfaktor	[-]
Δt ...	Zeitabschnitt	[s]
$V_{s,M}$...	Schwebstofffracht auf Basis der mittleren Konzentrationen im Querprofil	[g; kg; t]
s_m ...	mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil [mg/l]	

Die DVWK Regel zur Schwebstoffmessung (1986) sieht bei Dauermessstellen eine tägliche Entnahme als Terminwert (z.B. 08:00 Uhr) vor. Dabei wird angenommen, dass die jeweils bestimmte Konzentration dem Tagesmittelwert entspricht. Wird mehr als eine Probe pro Tag geworben, wird der Tagesmittelwert der Schwebstoffkonzentration anhand der graphisch dargestellten Konzentrationsganglinie durch Flächenteilung ermittelt. Fehlen Messungen zur Bestimmung der Tagesmittelwerte, werden diese durch lineare Interpolation bestimmt (DVWK, 1986 und BfG, 2003).

Die so bestimmten Tagesmittelwerte der Konzentrationen werden mit den entsprechenden mittleren Tagesabflüssen multipliziert und anschließend über den interessierenden Zeitraum integriert.

Die BfG (2003) empfiehlt bei Berechnungen, die auf Basis von Tagesmitteln durchgeführt werden, eine Korrektur durchzuführen. Dies erscheint unter der Annahme, dass bei höheren Durchflüssen eine größere Schwebstoffkonzentration vorhanden ist, sinnvoll. Die Korrektur erfolgt durch die Bildung von Quotienten aus dem mittleren Tagesabfluss aller Tage des betreffenden Zeitraumes und dem Mittel der Tagesmittelabflüsse der Tage mit Probenentnahmen.

5.7.3 STATISTISCHE KONZEPTE FÜR DIE PROBENENTNAHME- UND AUSWERTUNG

Thomas (1985) stellt fest: "No matter how sophisticated, analysis and interpretation can never substitute for well collected data". Er schlägt deshalb vor, das Probenentnahmekonzept so zu optimieren, dass die gewünschten Ergebnisse mit möglichst geringem Aufwand erzielbar sind. Dazu bedient man sich der Methode der geschichteten oder stratifizierten Stichprobenentnahme (z.B. Freese, 1962; Thomas 1985; Sachs, 1999). Diese Vorgangsweise macht sich Kenntnisse über die Grundgesamtheit zunutze, die eine Einteilung der Stichproben in relativ homogene Gruppen zulässt. So können damit genauere Aussagen über die Grundgesamtheit getroffen werden, wenn die Variabilität innerhalb der Strata kleiner ist als zwischen den zufälligen Stichproben aus verschiedenen Schichten (Freese, 1962). Optimal sind die Strata dann gestaltet, wenn innerhalb der Schichten die Varianz minimal und dazwischen am größten ist (Thomas & Lewis, 1995). Außerdem bietet dieses Verfahren Informationen zu den Mittelwerten und Varianzen jedes einzelnen Stratums (Cohn, 1995). Im Rahmen der Schwebstoffmessung wurde für dieses Entnahmekonzept meist der Durchfluss als erklärende Variable herangezogen (Cohn, 1995). Das Konzept sieht vor, dass das zu erwartende Durchflussvolumen in volumengleiche Strata aufgeteilt wird. Die Durchflüsse, die mit geringerer Häufigkeit aber mit hohem Sedimentfluss und hoher Variabilität auftreten, sind mit entsprechend häufigerem Beprobungsintervall zu versehen. Damit ist sichergestellt, dass in Zeiträumen mit großem Schwebstofffluss eine verhältnismäßig große Anzahl von Proben entnommen wird, die die Genauigkeit der Frachtbestimmung entsprechend verbessert. Thomas & Lewis (1993) haben auch eine Stratifizierung nach der Zeit vorgeschlagen, die sich besonders dann eignet, wenn mehrere Parameter (z.B. Schwebstoffe und gelöste Schad- und/oder Nährstoffe) beobachtet werden sollen. Für die stratifizierte Stichprobenentnahme ist jedoch eine Automatisierung der Probenentnahme Voraussetzung.

Neben der Extrapolationsmethode wendet das Bundesamt für Wasser und Geologie in der Schweiz eine weitere direkte Methode, eine Art Dauerkurvenmethode, zur Bestimmung von Jahresfrachten und mittleren Monatsfrachten an (Grasso, 2003). Da beim Schweizer Monitoring-Programm an den Messstellen zweimal pro Woche eine Wasserprobe entnommen wird, ergeben sich etwa 104 Proben pro Jahr. Die jeweils im Labor bestimmten Schwebstoffkonzentrationen werden als Tagesmittelwerte angenommen und durch Multiplikation mit dem zugehörigen mittleren Tagesabfluss die Schwebstoff-Tagesfracht abgeschätzt. Es ergeben sich dadurch Wertepaare aus den ermittelten Schwebstofftagesfrachten und den dazugehörigen Tagesmittelwerten des Abflusses. Anschließend erfolgt eine Sortierung der Wertepaare absteigend nach dem Abfluss; darauf folgt noch die Anordnung von entsprechenden Rangziffern. Mit Hilfe der Quotienten aus Rangziffer und der Gesamtanzahl der Wertepaare werden die Schwebstofffrachten der einzelnen Entnahmetage in 29 Klassen aufgespalten, wobei die Klassenbreiten fix festgelegt sind und sich zwischen 0,02 % und 10 % der gesamten Anzahl der Wertepaare bewegen. Durch Multiplikation der mittleren Tagesfrachten der jeweiligen Klassen mit deren Klassenbreiten (in Prozent) als Gewichtungsfaktoren wird deren Anteil an der mittleren Tagesfracht berechnet. Die Summe aller Anteile bildet die mittlere Tagesfracht, die durch entsprechende Multiplikationen mit der Anzahl der Tage von der interessierenden Zeitperiode zur Fracht des Berechnungszeitraumes integriert wird.

Cohn (1995) hält fest, dass Extrapolationsverfahren (rating curves) auf Basis von log-log Modellen für große und mittlere Einzugsgebiete brauchbare Ergebnisse liefern, wenn die systematischen Fehler durch entsprechende Korrekturen beseitigt werden. Für kleinere, rasch reagierende Einzugsgebiete bieten sich statistische Konzepte an, die es ermöglichen, Schätzungen ohne systematische Fehler mit Angabe der Varianz vorzunehmen. Sie bilden hier die einzige Alternative zu einem quasi kontinuierlichen Messprogramm.

6 MESSUNGSICHERHEITEN UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

MIT DEM VORLIEGENDEN LEITFADEN ZUR ERFASSUNG DES QUANTITATIVEN SCHWEBSTOFFTRANSPORTES GIBT ES IN ÖSTERREICH EINE GENAUE, FÜR BASISMESSSTELLEN VERBINDLICHE ANLEITUNG BETREFFEND METHODIK, MONITORING-STRATEGIE, SCHWEBSTOFFMESSUNGEN SELBST, SOWIE DIE AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER DATEN. Durch die Vereinheitlichung der Mess- und Auswertemethodik ist eine grundsätzliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Schwebstoffkonzentrationen, -transportraten und -frachten an den Messstellen gegeben. Jedoch erfordern unterschiedliche Gegebenheiten an den Messstellen einen gewissen Spielraum bei der Einrichtung der Messstellen, der Auswahl der Messmethoden und bei der Auswertung der Daten. Sowohl die Erhebung als auch die Auswertung der Schwebstoffdaten sind mit Unsicherheiten behaftet, die die Ergebnisse der (mittleren) Schwebstoffkonzentrationen, -transportraten und -frachten beeinflussen. Da für die Bestimmung der Schwebstoffparameter auch Durchflussmessungen erforderlich sind, sind die Unsicherheiten der Durchflussmessung in den Schwebstoffdaten inkludiert.

Grobe und viele systematische Fehler bzw. Messabweichungen (z.B. falsche Messmethodik, Überfüllen von Probenflaschen) können durch Einhaltung der Vorgaben im Leitfaden vermieden werden. Für die Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentrationen (über das Profil), -transportraten und -frachten sind zusätzlich auch messstellenspezifische Unterschiede zu berücksichtigen. Diese ergeben sich vor allem aus den individuellen hydraulischen Verhältnissen an jeder Messstelle, insbesondere der Verteilung der Schwebstoffkonzentration über das Profil. Durch die zeitliche und räumliche Variabilität des Schwebstofftransports (siehe Abbildung 1) ist keine Messung reproduzierbar.

6.1 MESS- UND AUSWERTEUNSIKERHEITEN

Die Messunsicherheit kennzeichnet die Streuung und den Bereich, in dem mit gewisser Wahrscheinlichkeit der wahre Wert erwartet werden darf. Der wahre Wert ist grundsätzlich unbekannt. Jedoch gilt es diesen wahren Wert mit möglichst geringer Abweichung zu erfassen.

Messunsicherheiten können grundsätzlich in drei Kategorien aufgeteilt werden:

- **Grobe Messabweichungen:** Sie entstehen z.B. durch falsche Messmethoden, defekte Geräte, falsche Ablesung, falsches Aufschreiben, Aufwirbelung von Schlamm bei Probenentnahmen. Sie sind grundsätzlich vermeidbar.
- **Zufällige Messabweichungen:** Sie entstehen bei Messungen unter an sich gleichen Bedingungen durch messtechnisch nicht erfassbare und nicht beeinflussbare Änderungen von Messgeräten, des Messobjekts und verschiedener Umwelteinflüsse. Da sie statistischen Messgesetzen gehorchen, kann ihr Einfluss auf das Messergebnis ermittelt werden.
- **Systematische Messabweichungen:** Die Ursachen liegen im Messgerät, Datensammler, Sensor, Messverfahren, in der Datenübertragung oder beim Beobachter. Es handelt sich um Einflüsse von Temperatur und Luftdruck, Eich- und Kalibrierfehler, Alterung von Bauteilen, Beobachtungsfeh-

ler. Systematische Messabweichungen können prinzipiell korrigiert werden (z.B. Rückrechnen falscher Kalibrierungen). Bei in situ Anwendungen ist dies aber meist nicht durchführbar.

Für die Schwebstoffmessung unter Anwendung der im Leitfaden beschriebenen Messmethodik bestehen Messunsicherheiten bei folgenden Einflusskomponenten:

1. Auswahl einer geeigneten Trübungssonde und eines Datensammlers
2. Häufigkeit der Datenaufzeichnung der Trübungssonde und des Wasserstands
3. Fluktuation des Signals der Trübungssonde (Einstellungen der Trübungssonde und des Datensammlers, Wartung)
4. Datenausfall, Verfälschung von Messwerten durch z.B. Fouling, fehlende oder falsche Proben etc.
5. Repräsentativität der sondennahen Probenentnahme (für die Kalibrierung der Trübungssonde)
6. Auswertung der Proben im Labor
7. Kalibrierung der Trübungssonde (Ermittlung der sondennahen Schwebstoffkonzentration)
8. Ermittlung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentration über das Profil
9. Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil
10. Ermittlung des Abflusses

Ad 1) In alpinen Gewässern können in Einzugsgebieten mit hoher Mobilisierbarkeit von Feststoffen vergleichsweise sehr hohe Schwebstoffkonzentrationen auftreten. In Österreich wurde die bisher (seit 2008) höchste beobachtete Schwebstoffkonzentration von 216 g/l am 26. Juli 2013 in Lienz-Falkensteinsteig/Drau durch Unwetter mit Murenabgängen verursacht (BMLFUW, 2015). Der Messbereich der Trübungssonde muss daher ausreichend groß [0; 500 g/l] (vgl. Kapitel 3.4.2) sein. Je nach Gegebenheit ist es auch möglich, eine Schwebstoffmessstelle mit zwei Trübungssonden mit unterschiedlichen Messbereichen und zwei Übertragungswegen auszustatten. Außerdem sollte die Sonde automatische Reinigungsvorrichtungen gegen Sensor-Fouling aufweisen. Falls dennoch ein ansteigender Trend der Sensorganglinie beobachtet wird, sind zusätzlich manuelle Reinigungen erforderlich. Lt. Navratil et al. (2011) sind bei Wahl einer grundsätzlich geeigneten Trübungssonde die Unsicherheiten daraus vernachlässigbar.

Ad 2) Der gewählte Zeitschritt der Datenabspeicherung sollte hinreichend genau sein um Hochwasserereignisse aufzuzeichnen. In Navratil et al. (2011) wird ein 10 min Intervall für Trübung und Wasserstand für ausreichend erachtet, um eine Hochwasserwelle aus einem Einzugsgebiet von 22 km² durch ca. 4-5 Messpunkte abzudecken. In Österreich werden Trübung und Wasserstand in der Regel im 15 min Intervall abgespeichert. Bei starken Änderungen z.B. im Bereich von Kraftwerksbeeinflussungen wird die Trübung teilweise auch im 5 min Intervall aufgezeichnet. Lt. Navratil et al. (2011) sind bei Aufzeichnung der Daten in einem adäquaten Intervall die Unsicherheiten daraus vernachlässigbar.

Ad 3) Das Signal der Trübungssonde variiert stark bei Hochwasserereignissen, zeigt aber auch Schwankungen in kürzeren Zeitintervallen als eine Minute. Zeitlich hoch aufgelöste Sondenaufzeichnungen (5s) zeigen beträchtliche Streuungen der Schwebstoffkonzentrationen, die sich durch gleitende Mittelbildung verringern

lassen (Kerschbaumsteiner, 2009). Es empfiehlt sich daher, die Daten der Trübungssonde als Mittelwert und nicht als Momentanwert (vgl. Kapitel 4.3) abzuspeichern.

Ad 4) Datenlücken oder fehlerhafte Aufzeichnungen der Trübungssonde (sie sollten so weit als möglich vermieden, bzw. kurz gehalten werden), werden möglichst anhand von Aufzeichnungen in der Nähe gelegener oder redundanter Sonden, Wasserstand, Kalibrierproben ergänzt oder korrigiert, während unplausible Proben für die weitere Datenverarbeitung unberücksichtigt bleiben (Lalk et al., 2015). Im Detail werden die Plausibilitätsprüfung in Kapitel 5.1 und die Korrekturmöglichkeiten in Kapitel 5.2 erläutert. Ergänzten Daten werden bei der Veröffentlichung im Hydrographischen Jahrbuch (mit Fußnoten) gekennzeichnet, so dass Zeitbereiche mit geringerer Genauigkeit ersichtlich sind. Unsicherheiten aufgrund ergänzter Daten in Bereichen mit niedrigen Konzentrationen sind bei der Ermittlung der Jahresfracht vernachlässigbar.

Ad 5) Die Art und Häufigkeit der sondennahen Probenentnahme kann eine Quelle vielfältiger Unsicherheiten sein. Es können händische oder automatische Probensammler eingesetzt werden. In Navratil et al. (2011) wird bei starken Schwankungen des Signals der Trübungssonde empfohlen, in kürzeren Zeitintervallen als eine Minute, keine Momentanproben sondern zeitintegrierende Kalibrierproben zu gewinnen. Die Anforderungen an die Probenentnahme sind in Kapitel 4.4, v.a. 4.4.1 definiert. Die Häufigkeit der sondennahen Probenentnahme für eine Kalibrierung der Trübungssonde ist in Tabelle 1 beschrieben.

Große Mengen an Schwebstoff werden in österreichischen Flüssen während kurzzeitiger Ereignisse in oft wenigen Stunden transportiert (Lalk et al., 2015). Für eine adäquate Beprobung von Hochwasserereignissen werden immer häufiger automatische Probensammler eingesetzt. Die Gewinnung von Proben während Hochwasserereignissen, Unwettern oder Murenabgängen ist von besonderem Interesse, weil ein einzelnes (extremes) Ereignis einen großen Anteil der Jahres- oder Monatsfracht ausmachen kann. Lt. Navratil et al. (2011) beträgt der kombinierte zufällige und systematische Fehler aus automatischer Probenentnahme und Laboranalyse (siehe Pkt. 6) im Durchschnitt 17 % über den Konzentrationsbereich [0,5; 150 g/l]. Die Standardabweichung wird mit zunehmender Konzentration größer.

Ad 6) Die gravimetrische Auswertung sämtlicher Schwebstoffproben, die im Zuge der Kalibrierprobenentnahme, der Vielpunkt- bzw. der Integrationsentnahmen und der ADCP-Messung gewonnen werden, werden in Anlehnung an DIN 38409 Teil 2 (1987) und ÖNORM M 6274 Teil 2 (1985) mit gewissen Modifikationen, (siehe Kapitel 3.5.1 und 4.5) durchgeführt. Im Zuge eines durchgeführten Ringversuches wurde die relativ gute Vergleichbarkeit verschiedener Filter auf Cellulosebasis mit Porendurchmesser 0,45 µm, trotz etwas unterschiedlicher Zusammensetzung, beschrieben. Im niedrigen Konzentrationsbereich lagen die relativen Abweichungen mit +/- 25 % (ein Ausreißer mit 40 %) relativ hoch (absolute Werte +/- 5 mg/l), im mittleren Konzentrationsbereich um die 10-11 % (einmal 16 %) und im hohen Konzentrationsbereich immerhin < 5 % (absolut < 200 mg/l). Der eingesetzte Glasfaser- und die beiden Papierfilter lieferten v.a. im mittleren und höheren Konzentrationsbereich wesentlich größere Abweichungen als die Filter auf Cellulosebasis. Daher wurde ihre Verwendung für die Analyse von Schwebstoffproben nicht empfohlen (Lalk, 2003).

Laut Navratil et al. (2011) beträgt der zufällige Fehler nur aus der Laboranalyse 5 %, der systematische Fehler aus der Laboranalyse 3 %. In Tabelle 4 beträgt der zufällige Fehler nur aus der Laboranalyse 1,5 %, der systematische Fehler aus der Laboranalyse 2 %. Gegenüber den dominanteren Unsicherheiten der (automatischen) Probenentnahme sind die Unsicherheiten aus der Laboranalyse vernachlässigbar.

Ad 7) Bei der Umrechnung der Werte der Trübungssonde in sondennahe Schwebstoffkonzentration werden Unsicherheiten der Punkte 3 - 6 miteinander kombiniert und akkumuliert. Daher ist diesem Punkt besondere Aufmerksamkeit zu schenken. In Österreich werden zur Berechnung der sondennahen Schwebstoffkonzentration aus der Trübungsaufzeichnung zwei Methoden, Sondenbeiwert und lineare Regression verwendet. Auch eine Kombination der beiden Methoden in wechselnder zeitlicher Abfolge ist möglich (vgl. Kapitel 5.3).

Der Zusammenhang zwischen Sondenwerten und sondennaher Schwebstoffkonzentration kann sich im Laufe der Zeit, manchmal auch von Ereignis zu Ereignis (bei Freisetzung von Material aus unterschiedlichen Teileinzugsgebieten), ändern. Daher müssen auch bei Verwendung der (linearen) Regression immer wieder unterschiedliche Bezugskurven ermittelt werden. Oder es ist vorzugsweise die Methode des Sondenbeiwertes zu verwenden, wenn Kalibrierproben in ausreichender Anzahl (Tabelle 1) und v.a. auch bei Hochwasserereignissen genommen wurden. Ein Vergleich der beiden Methoden zeigt, dass die Unterschiede zwischen den Methoden zumeist marginal sind, jedoch in Einzelfällen Abweichungen bis zu +/- 50 % vom Mittelwert der beiden Methoden in Bezug auf die mittleren Konzentrationen und Frachten möglich sind. Außerdem kann je nach angewandeter Methode der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen Konzentration und Transportrate verschoben sein (Lalk et al., 2014).

Ad 8) Die Messmethoden und Angaben zur Häufigkeit der Ermittlung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Profil sind in Kapitel 4.4.2, die Auswertung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Profil in Kapitel 5.4. beschrieben. In Tabelle 2 sind die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Methoden zusammengefasst. Die Vielpunktentnahme ist die Referenzmethode für die Ermittlung der Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Profil. Die Analyse der Messunsicherheit von Vielpunktentnahmen macht eine Fehlerbeurteilung sowohl in Bezug auf die Durchflussmessung (siehe Pkt. 10.) als auch auf die Bestimmung der Sedimentkonzentrationen erforderlich. Nach ISO 4363 (2002), die sich mit Methoden zur Messung von Schwebstoffen in Fließgewässern beschäftigt, werden als die wichtigsten Fehlerkomponenten einerseits die fehlerhafte Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentrationen in den Messlotrechten und andererseits der Fehler infolge der unzureichenden Anzahl von Messlotrechten identifiziert. Neben den zufälligen Fehlern tragen auch systematische Abweichungen zur gesamten Messunsicherheit bei. Beide Komponenten können getrennt betrachtet und nach deren Ermittlung bei bekannten Vorzeichen addiert werden. Sind die Vorzeichen unbekannt, kommt eine quadratische Addition in Betracht.

Der zufällige und systematische Anteil der Gesamtmessunsicherheit setzt sich nach ISO 4363 (2002) aus den in Tabelle 4 beschriebenen Komponenten zusammen:

TABELLE 4: RICHTWERTE FÜR MESSUNSIKERHEITEN BEI VIELPUNKTMESSUNGEN NACH ISO 4363 (2002)

Fehlerart/Fehlertyp	Zufällige Unsicherheit (Standardabweichung)	Systematische Unsicherheit (relativer mittlerer Fehler)
CI (Fehler durch Konzentrationsschwankungen bzw. geringe Entnahmedauer)	8,0 %	
CII (Fehler durch eine beschränkte Anzahl von Entnahmepunkten in den Lotrechten)	8,0 %	2,0 %
CIII (Fehler durch eine Beschränkte Anzahl von Lotrechten im Querprofil)	3,0 %	1,5 %
Fehler bedingt durch das Entnahmegesetz	3,0 %	
Fehler bei der Probenauswertung (Laboranalytik)	1,5 %	2,0 %

Die Integrationsentnahme überschätzt bei Fließgeschwindigkeiten größer als 1,5 m/s den Schwebstofftransport im Vergleich zur Vielpunktmessung (Kerschbaumsteiner, 2009). Die räumlichen Konzentrationsverteilungen können auch mittels kalibrierter ADCP-Rückstreuintensitäten ermittelt werden. Die kalibrierten Rückstreuintensitäten bestätigen die Verteilungsmuster der Schwebstoffkonzentration, die die Vielpunktmessungen vermuten lassen und visualisieren die Transportprozesse mit einer hohen räumlichen Auflösung. Eine Reduktion der Probenahme kann mit dem Nachweis eines nicht zu großen Genauigkeitsverlusts (+/- 5 %) im Vergleich zur Vielpunktentnahme erfolgen. Voraussetzung dafür ist, dass auch bei reduzierter Anzahl von Proben das ganze Spektrum der Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil abgedeckt wird. Die Reduktion der Probenanzahl muss aber messstellenspezifisch untersucht werden (Kerschbaumsteiner et al. 2009).

Ad 9) Häufig wird angenommen, z.B. in Navratil et al. (2011), dass bei guter Turbulenz und Durchmischung die Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Profil so gleichmäßig ist, dass mit guter Näherung die Konzentration an einem Punkt im Gewässer in etwa der mittleren Konzentration im Profil entspricht. Diese Annahme kann an einzelnen Messstellen zutreffen, doch gibt es diesbezüglich große messstellenspezifische Unterschiede. In Österreich beträgt die Abweichung der sondennahen Schwebstoffkonzentration zur mittleren Schwebstoffkonzentration im Profil nur bei ca. 20 % der Messstellen weniger als 10 %. Bei ca. der Hälfte der Messstellen werden die mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Profil um 25-50 % und bei ca. 10 % der Messstellen um 75-100 % unterschätzt. Die mittlere Konzentration im Profil kann mehr als das doppelte der sondennahen Konzentration betragen (Lalk et al., 2014).

Ad 10) ISO 748 (2008) regelt die Vorgangsweise zur Bestimmung der Messunsicherheit für die Durchflussbestimmung in offenen Gerinnen mittels Geschwindigkeitsmessgeräten.

Gemäß ÖNORM B 2401 (2006) sollte die Anzahl der Messlotrechten bei Gerinnen, die eine Breite von 10 m überschreiten, jedenfalls 12-15 Lotrechte nicht unterschreiten, da bei einer reduzierten Anzahl der Messlotrechten die Messunsicherheit beträchtlich steigt. Bei einer normgerechten Durchflussmessung z.B. mittels Messflügel an der Stange oder an der Messseilbahn sollte die Genauigkeitsklasse 1 (Messunsicherheit +/- 1 bis +/- 5 %), bei einer normgerechten Durchflussmessung nach dem Laufzeitverfahren oder mittels Dopplerprinzip die Genauigkeitsklasse 1 oder 2 (Messunsicherheit +/- 3 bis +/- 8 %) erreicht werden können.

6.2 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

In Navratil et al. (2011) sind die Unsicherheiten von Schwebstoffkonzentrationen und Schwebstofffrachten an einer Schwebstoffmessstelle im alpinen Raum [2 Beobachtungsjahre (Oktober 2007 bis Dezember 2009), Einzugsgebiet 35 km²] mit zum Leitfaden vergleichbaren Methoden erhoben worden. Die Unsicherheiten aus 1, 2, 4, 8 und 9 wurden (an der betreffenden Messstelle) als vernachlässigbar erachtet. Die Unsicherheiten der Punkte 3, und 5, 6, 7 und 10 wurden berücksichtigt und die Fehlerfortpflanzung mittels Monte Carlo Simulation berechnet. Demnach betragen die Unsicherheiten der Schwebstoffkonzentration an dieser Messstelle weniger als 10 % (Vertrauensbereich 95 % und Varianz ca. 70 %). Die jährliche spezifische Schwebstofffracht wurde mit 360 +/-100 t km⁻²year⁻¹ (mit einer Unsicherheit des Durchflusses von 20 %) ermittelt. Die Unsicherheiten der Schwebstofffrachten auf einer Skala von Hochwasserereignissen betragen ca. 9-10 % zusätzlich zu den Unsicherheiten der Durchflüsse.

Die Unsicherheiten aus der Probenentnahme (analysiert mit automatischer Beprobung) sind als dominant einzustufen. Weitere große Unsicherheiten können bei der nicht adäquaten Aufzeichnung (Datenlücken) oder fehlender Beprobung von Hochwasserereignissen, die einen signifikanten Anteil an der Jahresfracht haben, entstehen [war in Navratil et al. (2011) nicht relevant]. Bei 28 Messstellen in Österreich steuerten die maximalen täglichen Frachten im Zeitraum 2009-2011 durchschnittlich 37 % zur Monatsfracht und 15 % zur Jahresfracht bei. Der höchste Beitrag einer Tagesfracht zu einer Jahresfracht wurde mit 50 % an der Mess-

stelle Lechaschau/Lech im Jahr 2011 ermittelt (Lalk et al., 2014). Während eines Ereignisses im Jahr 2010, verursacht durch ein Unwetter im Sölketal, wurden an der Messstelle Trautenfels/Enns in 3 Tagen rund 60 % der gesamten Schwebstoffjahresfracht transportiert (siehe Kapitel 5.6). Die sechstägige Ereignisfracht vom 3. bis 8. Juni 2013 in Hainburg/Donau beträgt ca. 5,6 Mio. t. Diese Ereignisfracht unterschreitet die bisher größten Jahresfrachten von 2009 und 2010 mit jeweils knapp 6 Mio. t nur geringfügig. Werden nur die beiden höchsten Tagesfrachten vom 4. und 5. Juni betrachtet, ergibt sich eine 2-Tagessumme von ca. 3 Mio. t, die in etwa den Jahresfrachten der hochwasserfreien bzw. -armen Jahre 2008 und 2011 entsprechen oder diese sogar leicht überschreiten (BMLFUW, 2014). Durch Vergleich der Frachten von Ober- und Unterliegerstationen sowie durch Berücksichtigen von Zusatzinformation über z.B. hydrologische Ereignisse mit Murenabgängen, Bauvorhaben oder Stauraumpülungen können diese Unsicherheiten an österreichischen Messstellen verringert werden.

Die zufälligen und systematischen Messunsicherheiten sind an österreichischen Messstellen vergleichbar (z.B. gleicher Typ von Trübungssonden, Datenabspeicherung, Messverfahren). Aber zusätzlich sind messstellenspezifische Unsicherheiten zu berücksichtigen, siehe Einflusskomponenten 3, 5, 7, 8 und 9. Die wichtigste messstellenspezifische Unsicherheit ist die Ermittlung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Profil. Diese kann mehr als das doppelte der sondennahen Konzentration betragen (Lalk et al., 2014). Daher wird dieser Parameter an österreichischen Basismessstellen erhoben.

In Österreich treten über das Profil gemittelte maximale Schwebstoffkonzentrationen (z.B. 216 g/l am 26. Juli 2013 in Lienz-Falkensteinsteig/Drau) meistens in alpinen Regionen im Sommer in Zusammenhang mit Unwettern, Gewittern, oder bei Murenabgängen auf, während maximale Transportraten (z.B. 19.918 kg/s am 5. Juni 2013 in Hainburg/Donau) generell eher bei Hochwasser oder Schmelzhochwasser vorkommen. Die höchste Jahresfracht mit 11,3 Mio t/a wurde in Hainburg (Straßenbrücke)/Donau im Jahr 2013 ermittelt und wesentlich durch das Hochwasser vom 30. Mai bis 6. Juni 2013 (BMLFUW, 2013) verursacht.

Die hohen Schwebstoffkonzentrationen, die in Zusammenhang mit Unwettern, Gewittern, oder bei Murenabgängen auftreten, sind nicht immer adäquat beprobt, da die Konzentrationsspitzen meist nur wenige Stunden andauern und häufig in der Nacht auftreten. Daher sind diese mit der Sonde aufgezeichnete Schwebstoffkonzentrationen ohne Probenentnahme während des Ereignisses wie z.B. die 216 g/l am 26. Juli 2013 in Lienz-Falkensteinsteig/Drau als mit höherer Messunsicherheit behaftet. Häufigere Probenentnahmen insbesondere bei hohen Schwebstoffkonzentrationen werden durch den Einsatz von automatischen Proben-sammlern ermöglicht. Bei dem Hochwasserereignis im Juni 2013 an der Donau wurden nicht nur mehrere sondennahe Proben gewonnen, sondern auch die Verteilung der Schwebstoffkonzentration über das Querprofil ermittelt. Daher sind die Ergebnisse dieser Ereignis- und Jahresfrachten mit einer guten Genauigkeit einzustufen. Um die Unsicherheiten der Schwebstoffkonzentrationen und –frachten an allen Messstellen in Österreich mit Vertrauensbereich und Varianzen angeben zu können, ist noch Forschungsbedarf gegeben.

VERZEICHNISSE

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.
- Agrawal, Y.C., McCave, I.N., Riley, J.B. (1991): Laser diffraction size analysis, in: Syvitski, J.P.M. (Hrsg.) Principles, methods and applications of particle size analysis, Cambridge University Press, New York, 119-128.
- AquaVision BV (2007) ViSea Plume Detection Toolbox – Manual; Version 1.xx vom 3.6.2007.
- Asselman, N. (1999): Suspended sediment dynamics in a large drainage basin: the River Rhine, Hydrol. Process. 13, 1437-1450 (1999).
- BfG-Bundesanstalt für Gewässerkunde (2003): Bedeutung der Nebenflüsse für den Feststoffhaushalt der Elbe, Abschlussbericht Bd. 1, Koblenz, April 2003.
- Bianchi, G.G., Hall, I.R., McCave, I.N., Joseph, L. (1999): Measurement of the sortable silt current speed proxy using the Sedigraph 5100 and Coulter Multisizer IIe: precision and accuracy, Sedimentology 46, 1001-1014.
- Bittner, G. (2008): Vergleich von Trübungssonden bei der Schwebstoffmessung unter definierten Laborbedingungen, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien
- BMLFUW (2010): Hydrographisches Jahrbuch von Österreich 2008. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 116. Band, Wien.
- BMLFUW (2014): Hochwasser Juni 2013 – die Hydrographische Analyse, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW (2015): Hydrographisches Jahrbuch 2013, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Bogen, J. (2005): Persönliche Mitteilung, Oslo 06/2005.
- Bundesgesetz über die Erhebung des Wasserkreislaufes und der Wassergüte (Gewässerkunde) – Hydrographiegesetz, BGBl. Nr. 58/1979, Wien
- Cepuder, P., Kammerer, G., Klik, A. (2009): Applied Soil Physics – Study Material, Vorlesungsunterlagen Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Cohn, T. (1995): Recent advances in statistical methods for the estimation of sediment and nutrient transport in rivers; U.S. National Report to IUGG, 1991-1994; Rev. Geophys. Vol. 33 Suppl., pp. 1117-1123.
- 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.
- DVWK (1999): Schriften Nr. 128/1999; Methoden zur Erkundung, Untersuchung, und Bewertung von Sedimentablagerungen und Schwebstoffen in Gewässern; Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- 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.
- 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, Applications of Hydraulics, Chapter C2.

- Ferguson, R.I. (1986): River loads underestimated by rating curves; *Water Resources Research*, 22: 74-76.
- Freese, F. (1962): *Elementary Forest Sampling*; US Forest Service, Agriculture Handbook No. 232, Dez. 1962 (Reprinted by the O.S.U. Book Stores Inc., Corvallis, Oregon, 1995).
- Gattermayr, A. (2005): Schwebstoffmessung und Extrapolation der punktuell gemessenen Schwebstoffwerte auf den gesamten Flussquerschnitt, Diplomarbeit, Management Center Innsbruck, Innsbruck.
- Goossens, D. (2008): Techniques to measure grain-size distributions of loamy sediments: a comparative study of ten instruments for wet analysis, *Sedimentology* 55, 65-96.
- Grasso, D. (2003): Charge de sédiments en suspension, gwa 12/2003, 84. Jahrgang S. 898-905.
- Grasso, D. A.; Jakob A. ; Spreafico M. (2007): Abschätzung der Schwebstofffrachten mittels zweier Methoden, *Wasser Energie Luft* – 99. Jahrgang, Heft 3, Baden.
- 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.
- Habersack, H. M.; Schneider, J.; Bogner, K.; Brauner, M.; Markart, G.; Kohl, B.; Badura, H.; Fenicia, F.; Gameraith, 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.; 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.
- Haimann, M. (2007): Schwebstoffmonitoring an der Sulm und an der Enns, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Haimann, M.; Liedermann, M.; Lalk, P.; Habersack, H. (2014): An integrated suspended sediment transport monitoring and analysis concept, *International Journal of Sediment Research*, Vo. 29, No. 2 2014, pp. 135-148.
- Hauer, H. (2007): Schwebstoffmessung an der Messstelle Neumarkt/Raab, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Horowitz, A. (2003): An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations, *Hydrol. Process.* 17, 3387-3409 (2003).
- ISO/TS 3716 (2006): *Hydrometry – Functional requirements and characteristics of suspended-sediment samplers*.
- ISO 4363 (2002): *Measurement of liquid flow in open channels – Methods for measurement of characteristics of suspended sediment*, ISO, Genf.
- Kerschbaumsteiner, W.; Haimann, M.; Lalk P., Habersack, H., (2009): Optimierung der Schwebstoffmessung mittels ADCP, *WasserWirtschaft*, Ausgabe Nr. 2009-02, 63-69.
- Kerschbaumsteiner, W. (2009): Schwebstoffmonitoring an österreichischen Fließgewässern unter Anwendung moderner Messtechnik, Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien Band 71, Verlag Gutmann-Peterson.
- Kirchlechner, P.; Niedermühlbichler, H. (2004): persönliche Mitteilung, Wien.
- Koch, R.; Smillie, G. (1986): Bias in Hydrologic Prediction Using Log-Transformed Regression Models; *Water Resources Bulletin*, Volume 22, Number 5, October 1986, pp. 717-723.
- Kohl, B. (2013): Labor-Analyse von Schwebstoffproben - Methodik und Fehlerquellen der Korngrößenbestimmung, Präsentation, 3. Feststoffarbeitsgruppensitzung, 28. Jänner 2013 (unveröffentlicht), Innsbruck.
- Kresser, W. (1964): Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstoffführung der Gewässer, *Österreichische Wasserwirtschaft*, Jahrgang 16, Heft ½, Springer Verlag, 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.
- Lalk, P.; Haimann, M.; Habersack, H. (2014): Monitoring, Analyse und Interpretation des Schwebstofftransportes an österreichischen Flüssen, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 66:306-315 DOI 10.1007/s00506-014-0175-x.
- Lalk, P.; Haimann, M.; Habersack, H. (2015): Application of a New Monitoring Strategy and Analysis Concept of Suspended Sediments in Austrian Rivers, in: Heininger, P.; and Cullmann, J. (eds.) Sediment Matters, Springer International Publishing AG Switzerland 2015, DOI 10.1007/978-3-319-14696-6_10.
- Maniak, U. (2005): 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.
- Navratil, O.; Esteves, M.; Legout, C.; Gratiot, N.; Nemery, J.; Willmore, S.; Grangeon, T. (2011): Global uncertainty analysis of suspended sediment monitoring using turbidimeter in a small mountainous river catchment, Journal of Hydrology 398 (2011) 246-259.
- Newcombe, 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 (2015): 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 B 4412-1 (1974): Bestimmung der Korngrößenverteilung, Norm, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM EN ISO 7027 (2000): Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der Trübung, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM L 1061-1 und 2 (2002): Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens, Teil 1: Grobboden, Teil 2: Feinboden, Norm, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ÖNORM M 6274 Teil 2 (1985): Wasseruntersuchung – Bestimmung der Massenkonzentration an abfiltrierbaren Stoffen und ihres Glührückstandes, Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- Phillips, J.M., Walling, D.E. (1998): Calibration of a Par-Tec 200 laser back-scatter probe for in-situ sizing of fluvial suspended sediment, Hydrological Processes 12, 221-231.
- Phillips, J.; Webb, B.; Walling, D.; Leeks, G. (1999): Estimating the suspended sediment loads of rivers in the LOIS study area using infrequent samples, Hydrol. Process. 13, 1035-1050 (1999).
- Porterfield, G. (1972): Computation of fluvial-sediment discharge, Techniques of Water-Resources Investigations, United States Geological Survey, Chapter C3 Book 3, 66p.
- Sachs, L. (1999): Angewandte Statistik, Neunte, überarbeitete Auflage, Springer 1999.
- 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.
- Thomas, R. (1985): Measuring Suspended Sediment in Small Mountain Streams; US Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, General Technical Report PSW-83, 1985.
- Thomas, R.; Lewis, J. (1993): A comparison of selection at list time and time stratified sampling for estimating suspended sediment loads, Water Resources Research, 29, pp. 1247-1256.
- Thomas, R.; Lewis, J. (1995): An evaluation of flow-stratified sampling for estimating suspended sediment loads; Journal of Hydrology 170 (1995), pp. 25-45.
- Wagner B. (2006): Schwebstoffmonitoring an den Pegelstellen Bruck und Golling an der Salzach, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Walling D. (1977): Limitations of the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers; IAHS Publ., 122 (1977), pp.34-48.
- Walling, D.; Webb, B. (1985): Estimating the Discharge of Contaminants to Coastal Waters by Rivers: Some Cautionary Comments, Marine Pollution Bulletin, vol. 16, pp. 488-492, 1985.
- Walling, D.; Webb, B. (1988): The reliability of rating curve estimates of suspended sediment yield: some further comments, IAHS Publ. 174, 337-350.
- Webb, B.; Phillips, J.; Walling, D.; Littlewood, I.; Watts, C.; Leeks, G. (1997): Load estimation methodologies for British rivers and their relevance to the LOIS RACS(R) programme, The Science of the Total Environment 194/195 (1997), 379-389.

RECHTLICHE GRUNDLAGEN

- BMLFUW (2008): Schwebstoffe im Fließgewässer – Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Erhebung des Wasserkreislaufes in Österreich (Wasserkreislaufferhebungsverordnung – WKEV), BGBl. II Nr. 478/2006.
- Wasserrahmenrichtlinie der EU vom 23. Oktober 2000 (EU-WRRL).
- Wasserrechtsnovelle vom 29. August 2003, § 59 c.
- Wasserrechtsgesetz 1959 idF BGBl. I Nr. 82/2003.

LINKS

- www.beckmancoulter.com
- <http://ehyd.gv.at>
- www.micrometrics.com
- www.particle.dk

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Variabilität der Schwebstoffkonzentration in Raum und Zeit (verändert nach BfG, 2003).....	13
Abbildung 2: Trübungssonde an Probenentnahmegesetz (links) bzw. an Gewichtsstück des Seilflügels (rechts) (Fotos: Stimpfl).....	16
Abbildung 3: Schienenkonstruktion für Solitax ts-line Hainburg/Donau (Fotos: viadonau).....	21
Abbildung 4: Schienenkonstruktion für Solitax ts-line in Tirol (Fotos: HD Tirol).....	21
Abbildung 5: links: Klappkonstruktion für Solitax ts-line; Dt. Brodersdorf/Leitha (Foto: Krammer) Mitte und rechts: Einbau an Brückenpfeilern mit Schienensystem zur einfachen Zugänglichkeit zu Wartungszwecken und bei Hochwasser; Projektmessstelle an der Drau (Fotos Schabus).....	21
Abbildung 6: Innenausstattung Pegelhaus Arthur-Haidl-Promenade Innsbruck/Inn (Fotos: HD Tirol).....	22
Abbildung 7: Biofouling an Sonden (Foto links: Wakolbinger, Foto rechts: Kerschbaumsteiner).....	23
Abbildung 8: Konstruktive Maßnahme zur Verhinderung von Biofouling (Fotos: Kerschbaumsteiner).....	24
Abbildung 9: Entnahme mittels Stange (Fotos: HD Tirol).....	26
Abbildung 10: Entnahme mittels Seil (Fotos Mathis).....	27
Abbildung 11: Vielpunktentnahme (Fotos links Schatzl, rechts Pfurtscheller).....	28
Abbildung 12: Darstellung einer Vielpunktentnahme in fünf Lotrechten und vier Tiefenstufen.....	29
Abbildung 13: Darstellung einer Integrationsentnahme nach der „Equal-Width-Increment“ Methode.....	31
Abbildung 14: Darstellung einer Integrationsentnahme nach der „Equal-Discharge-Increment“ Methode.....	34
Abbildung 15: Bestimmung der Stationierung der Messlotrechten mittels Durchflusssummenkurve am Beispiel Mureck/Mur.....	35
Abbildung 16: Filtriergerät mit Zubehör und Vakuumpumpe im Hintergrund (Foto links: Stimpfl, 2006); Vakuum Filtrationsanlage der VHP (Foto rechts: Kerschbaumsteiner).....	39
Abbildung 17: Beispiel für eine Sondenaufzeichnung (rot) mit Ausreißern an der Messstelle Mureck/Mur gemeinsam mit dem Durchfluss dargestellt (blau).....	45
Abbildung 18: Beispiel für eine Sondenaufzeichnung bei auftretendem Biofouling an der Messstelle Feldbach/Raab; schwarz: Durchfluss; rot: Sondenaufzeichnung, blau: Kalibrierproben (Stimpfl, 2006).....	45
Abbildung 19: Beispiel für irrealen Sondenwerte aufgrund des Trockenfallens der Sonde (grüne Bereiche) an der Messstelle Vent/Rofenache; schwarz: Wasserstand; rot: Sondenaufzeichnung.....	46
Abbildung 20: 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).....	47
Abbildung 21: Sondenkennlinie (Zusammenhang: Sondenaufzeichnung – Kalibrierproben) an der Schwebstoffmessstelle Gisingen/III.....	47
Abbildung 22: 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.....	48
Abbildung 23: a) Vergleich der Ermittlung der sondennahe Schwebstoffkonzentration durch Sondenbeiwert (grün) und Sondenkennlinie (blau), Sondenaufzeichnung (schwarz), Kalibrierproben (rot); b) gemessene (schwarz) und berechnete (rot) mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil in Lavamünd/Drau 2012.....	49
Abbildung 24: Schwebstoff-, Fließgeschwindigkeits- und Transportverteilungen im Querprofil an der Messstelle Bruck/Salzach (Wagner, 2006).....	50
Abbildung 25: Konventionelles Auswerteverfahren für Vielpunktentnahmen (verändert nach DVWK, 1986).....	50

Abbildung 26: Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil mittels ADCP-Auswertung und Konzentrationen der Schwebstoffproben (Dreiecke) am Pegel Admont/Enns.....	52
Abbildung 27: Querprofilkennlinie (Zusammenhang: sondennahe – mittlere Schwebstoffkonzentration) an der Messstelle Dellach/Drau	53
Abbildung 28: Schwebstofftransport im Jahr 2010 (schwarz) und im Jahr 2011 (rot) an der Messstelle Landeck-Bruggern/Sanna; in Abbildung abgeschnitten (Detail): am 12.7.2010 Spitze bei 9.323 kg/s (22:30)	53
Abbildung 29: Monatliche Schwebstofffrachten und monatliche spezifische Schwebstofffracht im Jahr 2010 und 2011 an der Schwebstoffmessstelle Trautenfels/Enns.....	54
Abbildung 30: Summenkurven der Schwebstofffrachten an der Schwebstoffmessstelle Trautenfels/Enns für die Jahre 2010 und 2011.....	55
Abbildung 31: Probennehmer an der Stange und mit Einlaufrohr (Foto links:Hauer, 2007; Foto rechts: Kremser, 2007).....	75
Abbildung 32: Foto links: Probenentnahme mittels Probenflasche am Seil (Foto links: Wagner, 2006); Foto Mitte und rechts: Sammler des Bundesamt für Umwelt, Schweiz (Amt der Vorarlberger Landeregierung).....	75
Abbildung 33: Probenentnahme links mittels Eimer und rechts mittels Nielsen-Sammler (Foto links: Gattermayr, 2005; Foto rechts: Stimpfl, 2006).....	76
Abbildung 34: US P-61A1 Suspended-Sediment-Sampler (Foto: Seitz), US P-63 Suspended-Sediment-Sampler (Foto: Haimann).....	77
Abbildung 35: SIGMA 900 (Fotos: Mathis)	78
Abbildung 36: Sonde Solitax ts-line in Schutzrohr und mit Wischer (Foto: Hauer, 2007).....	80
Abbildung 37: links: Spectro::lyser™ der Firma s::can, rechts: Messpfad des Spectro::lyzers (Fotos: Bittner, 2008)	81
Abbildung 38: links: Geräteträger „Trimaran“ des ADCP-Gerätes „Workhorse Rio Grande ZedHed“ (Foto: Haimann, 2007); rechts: ADCP-Gerät „Stream Pro“ der Firma RD Instruments (Foto: Haimann).....	82
Abbildung 39: Formblatt für Messprotokoll zur Entnahme sondennaher Proben während der Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahme.....	84
Abbildung 40: Formblatt für Messprotokoll zur Vielpunkt- bzw. Integrationsentnahme	85
Abbildung 41: Formblatt für Messprotokoll zur Entnahme von Kalibrierproben.....	86
Abbildung 42: Auszug Messprotokoll Kalibrierproben für das Jahr 2010 an der Messstelle Innsbruck/Inn.....	89
Abbildung 43: Systemskizze zur Stationierung der Lotrechten	90
Abbildung 44: Protokoll der Vielpunktentnahme vom 19.07.2007 in Innsbruck/Inn	91
Abbildung 45: Protokoll der Integrationsentnahme vom 19.07.2007 in Innsbruck/Inn	92
Abbildung 46: Protokoll der sondennahen Probenentnahmen vom 19.07.2007 in Innsbruck/Inn	93
Abbildung 47: Durchfluss (schwarz), originale Sondaufzeichnung (rot) und Kalibrierproben (blau) an der Schwebstoffmessstelle Innsbruck/Inn 2010	95
Abbildung 48: Beispiel für eine Fehlaufzeichnung der Sondaufzeichnung (rot) durch Sondenreinigung an der Schwebstoffmessstelle Innsbruck/Inn; schwarz: Durchfluss, blau: Kalibrierproben	95
Abbildung 49: Beispiel für einen unplausiblen Wert einer Kalibrierprobe (blau); schwarz: Durchfluss, rot: Sondaufzeichnung, Einsatzbild: Zusammenhang zwischen Sondaufzeichnung und Kalibrierproben; unplausible Wert eingekreist und grau dargestellt	96
Abbildung 50: Kalibrierproben (schwarz), Ganglinie des Sondenbeiwertes (blau) und der sondennahen Schwebstoffkonzentration (rot) mittels Sondenbeiwert berechnet.....	96
Abbildung 51: Sondenkennlinie (Zusammenhang: Sondaufzeichnung – Kalibrierproben).....	97
Abbildung 52: Kalibrierproben (schwarz), Sondaufzeichnung (rot), sondennahe Schwebstoffkonzentration mittels Sondenbeiwert (blau) und Sondenkennlinie (grün) berechnet.....	98

Abbildung 53: Detailansicht vom 30.03.2010 bis 28.06.2010 an der Messstelle Innsbruck/Inn von Kalibrierproben (schwarz), Sondenaufzeichnung (rot), sondennahe Schwebstoffkonzentration mittels Sondenbeiwert (blau) und Sondenkennlinie (grün) berechnet an der Messstelle Innsbruck/Inn	98
Abbildung 54: Durchfluss (schwarz), Sondenaufzeichnung (rot) und Kalibrierproben (blau) während des Messzeitraums.....	99
Abbildung 55: Rechnerische Auswertung der Vielpunktmethode	101
Abbildung 56: Rechnerische Auswertung der Integrationsmethode	102
Abbildung 57: Aus ADCP-Messung und Probenentnahmen (Dreiecke) ermittelte Schwebstoffverteilung im Querprofil.....	103
Abbildung 58: Querprofilkennlinie an der Messstelle Innsbruck/Inn	104
Abbildung 59: Gegenüberstellung sondennahe Schwebstoffkonzentration (rot) und mittlere Schwebstoffkonzentration (blau) sowie Durchfluss (schwarz) an der Messstelle Innsbruck/Inn	105
Abbildung 60: Ganglinie des Schwebstofftransportes für das Jahr 2010 an der Messstelle Innsbruck/Inn	105
Abbildung 61: Tabellarische und graphische Darstellung der Schwebstofffracht an der Messstelle Innsbruck/Inn für das Jahr 2010	106
Abbildung 62: Siebgerät zur Nasssiebung (Foto: Kohl, 2013).....	107
Abbildung 63: links: Pipette nach Köhn (ÖNORM L 1061-2, 2002), rechts: Aräometer (ÖNORM B 4412-1, 1974)	109
Abbildung 64: Messprinzip des Sedigraph (www.micrometrics.com).....	110
Abbildung 65: Messprinzip Beckmann Multisizer (www.beckmancoulter.com)	110
Abbildung 66: Prinzip der Laserpartikelzählung (www.particle.dk)	111

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Messstrategie für Basismessstellen in Österreich im Überblick.....	18
Tabelle 2: Vergleich der Methoden zur Bestimmung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen im Querprofil	37
Tabelle 3: Methoden der Schwebstofffrachtbestimmung auf Basis von direkten Konzentrationsbestimmungen	57
Tabelle 4: Richtwerte für Messunsicherheiten bei Vielpunktmessungen nach ISO 4363 (2002)	62
Tabelle 5: Vergleich der Entnahmegерäte für die direkte Probenentnahme	79
Tabelle 6: Einstellungen bei Solitax ts-line bzw. hs-line	81
Tabelle 7: Vergleich von Rio Grande und Stream Pro	83
Tabelle 8: Laborauswertung der Schwebstoffproben.....	94
Tabelle 9: Umrechnung der Schwebstoffkonzentrationen aus der Vielpunktmethode auf Konzentrationen zu Beginn der Probenentnahme	100
Tabelle 10: Umrechnung der Schwebstoffkonzentrationen aus der Integrationsentnahme auf Konzentrationen zu Beginn der Probenentnahme	102
Tabelle 11: Gegenüberstellung des Schwebstofftransportes und der mittleren Schwebstoffkonzentration	103
Tabelle 12: Umrechnung der Schwebstoffkonzentrationen aus den Kalibrierproben auf Konzentrationen zu Beginn der Messung.....	104
Tabelle 13: Überblick der Korngrößenanalyseverfahren nach Ö Norm L 1061-1 und -2 (Cepuder et al., 2009)	108

ABKÜRZUNGS- UND SYMBOLVERZEICHNIS

ADCP ²		Acoustic Doppler Current Profiler
b	[m]	benetzte Breite
EDI		„Equal-Discharge-Increment“ – „Identische Durchflüsse“ Methode
EWI		„Equal-Width-Increment“ – „Identische Breiten“ Methode
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
h	[m]	Höhe über Sohle
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)
m _g	[mg]	Masse Gesamtprobe
η	[kg/(m·s)]	dynamische Viskosität des Fluids
Q	[m ³ /s]	Durchfluss
Q _s	[kg/s]	Schwebstofftransport, Schwebstoffführung
q _{si}	[g/(m·s)]	Schwebstofftrieb
ρ _s	[g/l]	Feststoffdichte
ρ _w	[g/l]	Dichte des Reinwassers
r	[μm]	Radius des sinkenden Partikels
s _o	[mg/l], [g/m ³]	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	[s]	Zeit
TRB	z.B. [FNU], [FTU]	Trübung [Formazine Nephelometric Units, Formazine Turbidity Unit]
TS	[mg]	Trockensubstanz
t _w	[m], [cm]	Wassertiefe (in der Lotrechten)
v	[m/s]	Fließgeschwindigkeit
v _m	[m/s]	mittlere Fließgeschwindigkeit
v _{mL}	[m/s]	mittlere Fließgeschwindigkeit in einer Lotrechten
v _p	[m/s]	Sedimentationsgeschwindigkeit
v _s	[m/s]	Absenk- und Hubgeschwindigkeit
V _{s,M}	[kg], [t]	Schwebstofffracht
V _p	[l]	Volumen der Wasserprobe
W	[cm]	Wasserstand

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 Leitfaden auch in diesem Sinne verwendet.

GLOSSAR

Nr	Begriff	Zeichen	Einheit	Erklärung
1	Biofouling			Aufwuchs eines Biofilms an der Optik einer Messsonde, der eine Messwertverfälschung verursacht
2	Erosion			Vorgang des Abtragens (Ablösens) fester Stoffe durch die mechanische Einwirkung von Wasser, Eis, Schnee oder Wind, Temperaturänderung und Vegetation (ÖNORM B 2400, 2015)
3	Feststoffe			Gesamtheit von Geschiebe (5), Schwebstoffen (10) und Schwimmstoffen (19)
4	Fouling			Anlagerung eines anorganischen oder organischen Belags an der Optik einer Messsonde, die eine Messwertverfälschung verursacht
5	Geschiebe			Vom fließenden Wasser auf oder nahe der Gewässersohle gleitend, rollend oder springend fortbewegte Gesteinsteile
6	Integrationsmethode			Methode zur Ermittlung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil (Kapitel 4.4.2.2) Aufteilung des Durchflussquerschnittes in mehrere Lotrechte und Gewinnung von tiefenintegrierten Proben (25) durch gleichmäßiges Absenken vom Wasserspiegel zur Gewässersohle und Anheben mit einem geeigneten Entnahmegerät
7	Isokinetik			Gleichheit der Einströmgeschwindigkeit in eine Entnahmevorrichtung mit der umgebenden Strömungsgeschwindigkeit bei der Probenentnahme
8	Momentanprobenentnahme (verzögerungsfreie Probenentnahme)			Entnahme einer Schwebstoffprobe (15) ohne Verzögerung (innerhalb weniger Sekunden)
9	Querprofilkennlinie			Empirischer Zusammenhang zwischen der Konzentration der Sondenkalibrierproben (22) und der mittleren Konzentration im Querprofil (14)
10	Schwebstoffe			Im Wasser durch Turbulenz in Schwebelage gehaltene feste Stoffe
11	Schwebstofffracht	V_S $V_{s,M}$	m^3 t, kg	Über einen anzugebenden Zeitabschnitt (z.B. 1 Jahr) integrierter Schwebstofftransport (17) (ÖNORM B 2400, 2015)
12	spezifische Schwebstofffracht, (Schwebstoffabtrag)		kg/km^2 t/km^2	Quotient aus Schwebstofffracht (11) und der Fläche des zugehörigen Einzugsgebietes (ÖNORM B 2400, 2015)
13	Schwebstoffkonzentration (Schwebstoffgehalt)	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, 2015)
14	mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil	s_m	mg/l	Über das Durchflussprofil geschwindigkeitsgewichtet gemittelte Schwebstoffkonzentration (13)
15	Schwebstoffprobe (Wasserprobe)			Wasserprobe für die Bestimmung der Konzentration, der Korngrößenverteilung und/oder der Zusammensetzung der im Wasser enthaltenen Schwebstoffe

16	punktintegrierende (zeitintegrierende) Schwebstoffprobenentnahme			Entnahme einer Schwebstoffprobe (15), die an einem bestimmten Punkt im Gewässer während einer bestimmten Zeitspanne kontinuierlich erfolgt
17	Schwebstofftransport; (Schwebstofffluss)	Q_s	kg/s	Quotient aus der durch einen Durchflussquerschnitt beförderten Schwebstoffmasse, gewogen in trockenem Zustand, und der Dauer der betrachteten Zeit (ÖNORM B 2400, 2015)
18	Schwebstofftrieb	q_{si}	g/(m·s)	Schwebstofftransport (17) auf 1m Flussbreite bezogen
19	Schwimmstoffe			Jene festen Stoffe, die auf der Wasseroberfläche und im Wasser schwimmen, ausgenommen Eis (ÖNORM B 2400, 2015)
20	Sedimentation			Vorgang der Ablagerung der durch ein oberirdisches Gewässer oder durch oberirdisch flächenhaft abfließendes Wasser transportierten Feststoffe (3)
21	Sondenaufzeichnung	s_s	z.B. FTU, mg/l	Von einer Trübungssonde aufgezeichnetes Messsignal
22	Sondenkalibrierprobe (Kalibrierprobe)	s_k	mg/l	Zur Kalibrierung einer Sondenaufzeichnung (21) möglichst sondennah entnommene Schwebstoffprobe (15) (mittels Momentan- (8) oder punktintegrierter Probenentnahme (16))
23	Sondenkennlinie			Empirischer Zusammenhang zwischen der Sondenaufzeichnung (21) und der Schwebstoffkonzentration der Sondenkalibrierproben (22)
24	Sondenbeiwert	k_s		Quotient aus der Schwebstoffkonzentration der Sondenkalibrierprobe (s_k) (22) und der zeitgleichen Sondenaufzeichnung (s_s) (21)
25	Tiefen-Integrationsprobenentnahme			Entnahme einer Schwebstoffprobe (15), die während möglichst gleichmäßigen Absenkens vom Wasserspiegel zur Gewässersohle und wieder Anhebens bis zum Wasserspiegel mit einem geeigneten Entnahmegesetz erfolgt ANMERKUNG: Alternativ kann die Probe mit ventilgesteuerten Entnahmegesetzen entweder beim Absenk- oder beim Hubvorgang gewonnen werden.
26	Trübung	TRB	[FAU] [FNU] [FTU]	Verringerung der Durchsichtigkeit einer Flüssigkeit, verursacht durch die Gegenwart ungelöster Substanzen (ÖNORM EN ISO 7027, 2000)
27	Vielpunktmethode			Methode zur Ermittlung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil (Kapitel 4.4.2.1) Einteilung des Durchflussquerschnittes analog zur Durchflussmessung in mehrere Lotrechte und Gewinnung von Schwebstoffproben (15) mit einem punktintegrierenden Entnahmegesetz in verschiedenen vorher festgelegten Tiefen Möglichst gleichzeitige Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten in den Entnahmepunkten

ANHANG A: GERÄTE ZUR ERFASSUNG DER SCHWEBSTOFFKONZENTRATION

A.1 GERÄTE FÜR DIE DIREKTE PROBENENTNAHME

A.1.1 PROBENFLASCHEN

Je nach Ausstattung der Probenflaschen ergeben sich unterschiedliche Einsatzbereiche für die direkte Probenentnahme. Bei Verwendung einer Teleskopstange eignet sich der Sammler zur Entnahme von Kalibrierproben vom Ufer aus. Die Flasche wird von einer Plattform (Ufer, Steg, Brücke, Boot) aus in die gewünschte Position gebracht und befüllt (Abbildung 31 und Abbildung 32). Wird der Flascheneinlauf durch ein Einlaufrohr (siehe Abbildung 31 rechts und Abbildung 32 Mitte) verjüngt, erfolgt die Probenentnahme zeitlich integrierend. Zur Entnahme von Schwebstoffproben von der Brücke oder vom Steg aus wird die Probenflasche am Seil befestigt (Abbildung 32).



Abbildung 31: Probennehmer an der Stange und mit Einlaufrohr (Foto links: Hauer, 2007; Foto rechts: Kremser, 2007)



Abbildung 32: Foto links: Probenentnahme mittels Probenflasche am Seil (Foto links: Wagner, 2006); Foto Mitte und rechts: Sammler des Bundesamts für Umwelt, Schweiz (Amt der Vorarlberger Landeregierung)

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 33). Eimer werden hauptsächlich zur Gewinnung von Großproben für Korngrößenanalysen eingesetzt.

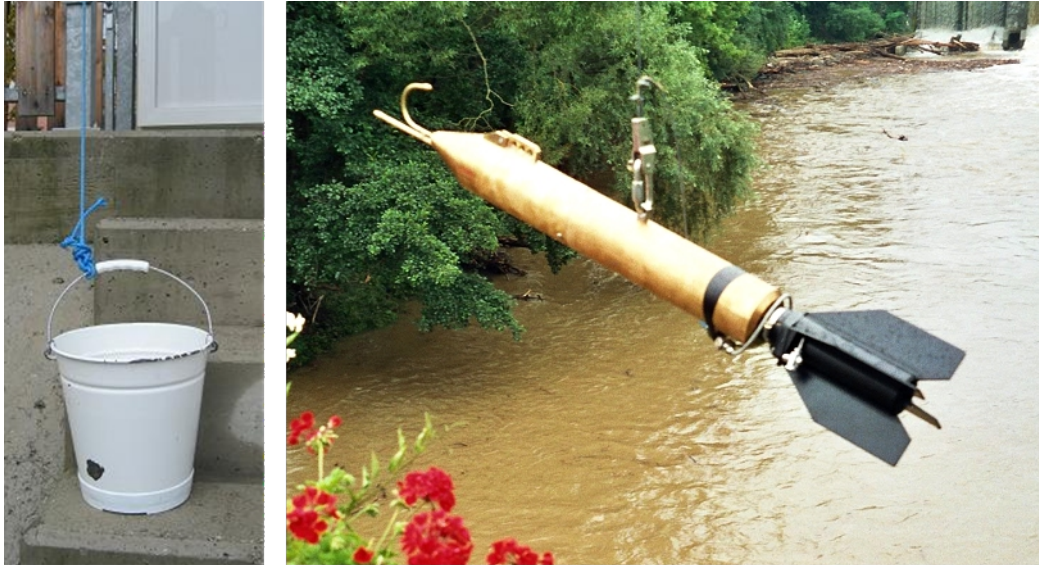


Abbildung 33: Probenentnahme links mittels Eimer und rechts mittels Nielsen-Sammler
(Foto links: Gattermayr, 2005; Foto rechts: Stimpfl, 2006)

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 33). 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 US P-61A1 BZW. US P-63

Diese Geräte sind dem Nielsen-Sammler ähnlich, besitzen jedoch zusätzlich eine Ventilsteuerung, die ein kontrolliertes Einströmen von Wasser in das Probengefäß ermöglicht. Damit ist es möglich, diese Geräte sowohl als Integrations-sammler als auch für die Probenentnahme bei Vielpunktentnahmen einzusetzen (Abbildung 34). Auch hier muss die Fülldauer vor der Messung durch Probieren ermittelt werden, um eine Aufkonzentration der Probe zu vermeiden. Der US P-61A1 und der US P-63 sind international anerkannte Geräte und stellen das Referenzgerät gemäß ISO 4363 dar. Der US P-63 unterscheidet sich vom US P-61A1 durch die Größe (Länge 71 cm bei US P-61 A1 bzw. 88 cm bei US P-63) und das Gewicht (48 kg bei US P-61 A1 bzw. 91 kg bei US P-63) und kann so auch bei größeren Fließgeschwindigkeiten (Einsatzbereich US P-61A bis 3,05 m/s und US P-63 bis 4,57 m/s) eingesetzt werden.



Abbildung 34: US P-61A1 Suspended-Sediment-Sampler (Foto: Seitz), US P-63 Suspended-Sediment-Sampler (Foto: Haimann)

A.1.5 PUMPENTNAHME

Grundsätzlich ist es möglich, die sondennahen Proben mittels Pumpprobennehmern (Abbildung 35) automatisiert zu gewinnen. Die Geräte enthalten einen Satz von Probeflaschen, die von verschiedenen Parametern abhängig befüllt werden können. Bei Geräten zur Pumpentnahme sollte darauf geachtet werden, dass es während der Probenentnahme zu keinen Absetzvorgängen und damit zu keiner Aufkonzentration kommt, wie es bei einigen Probennehmern der Fall ist.

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

Einsatzbereich:

- Entnahme von Kalibrierproben

- bei Kraftwerken
- Gewinnung von zusätzlichen Proben im Hochwasserfall



Abbildung 35: SIGMA 900 (Fotos: Mathis)

A.1.6 VERGLEICH DER MESSGERÄTE FÜR DIE DIREKTE PROBENENTNAHME

Zur Veranschaulichung der Vor- und Nachteile der einzelnen Entnahmegeräte erfolgt in Tabelle 5 eine Gegenüberstellung in Bezug auf die bedeutendsten Parameter.

TABELLE 5: VERGLEICH DER ENTNAHMEGERÄTE FÜR DIE DIREKTE PROBENENTNAHME

Vergleich der Entnahmegерäte für die Probenentnahme						
Parameter/Entnahmegерät	Probenflaschen	Eimer	Nielsen	US-P61/US-P63	Pumpsammler	
Anschaffungskosten	Gering	gering	gering/mittel	mittel	je nach Typ	
Zeitbedarf für Probenentnahme	gering	gering	mittel	groß	gering	
Zeitbedarf für Wartung	gering	gering	mittel	mittel	hoch	
Handhabung	manuell	manuell	manuell/Seilkran	Seilkran	automatisch/manuell	
Umfüllen	nicht erforderlich	erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	
Eintauchtiefe	nur oberflächennah	nur oberflächennah	beschränkt	unbeschränkt	je nach Typ	
Probenmenge	1 Liter	5-10 Liter	max 1 Liter	max 1 Liter	je nach Typ	
Einsatz bei hoher Fließgeschwindigkeit	ja	schwierig	beschränkt	ja	ja	
Beginn der Befüllung	mit Eintauchen	mit Eintauchen	mit Eintauchen	steuerbar	steuerbar	
Entnahme isokinetisch	nein	nein	annähernd	ja	ja/nein	
Integrierende Befüllung möglich	mehr oder weniger	nein	ja	ja	ja	

A.2 GERÄTE FÜR DIE INDIREKTE ERFASSUNG DER SCHWEBSTOFFKONZENTRATION

Die nachfolgend angeführten Geräte sind Beispiele für die in Österreich zur Erfassung des Schwebstoffes in Fließgewässern verwendeten Geräte, für welche bereits Erfahrungen (Stand 2015) vorliegen (siehe Kapitel 3.4.2). Darüber hinaus wurden weitere Trübungssonden getestet (z.B. Bittner, 2008).

A.2.1 SOLITAX TS-LINE BZW. SOLITAX HS-LINE

An vielen Messstellen des Basismessnetzes werden derzeit die Trübungssonden Solitax (ts-line in Abbildung 36 bzw. hs-line) von Hach-Lange eingesetzt. Diese Sonden arbeiten 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 und 0,001 bis 50 g TS/l (ts-line) bzw. 0,001 bis 500 g TS/l (hs-line). 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 36: Sonde Solitax ts-line in Schutzrohr und mit Wischer (Foto: Hauer, 2007)

Bei der Verwendung von Solitax Sonden sollten die Einstellungen nach den Empfehlungen in Tabelle 6 gewählt werden.

TABELLE 6: EINSTELLUNGEN BEI SOLITAX TS-LINE BZW. HS-LINE

<u>Einstellungen</u>	<u>Wahlmöglichkeiten</u>	<u>Empfehlung</u>
Parameter	TRB, TS	TS
Messeinheit	TRB (FNU, EBC, TE/F, NTU) TS (mg/l, g/l, ppm, %)	mg/l
Reinig. Intervall	1 min, 5 min, 15 min, 30 min, 1 h, 4 h, 12 h, 1 Tag, 3 Tage, 7 Tage	4 h
Ansprechzeit	0 – 300 s	60 s
Loggerintervall (Sonde)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15 min	15 min
Datenübertragung	analog/digital	digital

A.2.2 SPECTRO::LYSER™

Der spectro::lyser™ der Firma s::can (Abbildung 37) 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 200–750 nm erfasst werden. Um unterschiedlichste Anwendungsfälle abzudecken, wird der spectro::lyser™ mit Messweglängen von 1 mm bis 100 mm 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 37: links: Spectro::lyser™ der Firma s::can, rechts: Messpfad des Spectro::lyser™ (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 38). 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 messstellenspezifisch sowohl bei Hoch- als auch bei Niedrigwasser eingesetzt werden. Bei Verwendung eines Trimarans als Geräteträger ist die Einsetzbarkeit bei einer Geschwindigkeit von 4 m/s (Herstellerangabe), erfah-

rungsgemäß 3 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 38: links: Geräteträger „Trimaran“ des ADCP-Gerätes „Workhorse Rio Grande ZedHed“ (Foto: Haimann, 2007); rechts: ADCP-Gerät „Stream Pro“ der Firma RD Instruments (Foto: Haimann)

A.2.4 STREAMPRO

Das StreamPro ADCP der Firma RD Instruments (Abbildung 38) arbeitet nach dem Breitband-Doppler-Prinzip. 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.

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 6 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 eine Gegenüberstellung der wesentlichen Parameter in Tabelle 7.

TABELLE 7: VERGLEICH VON RIO GRANDE UND STREAM PRO

		Rio Grande 1200 kHz (600 kHz)	Stream Pro (mit Erweiterun- gen)
Breite des Gewässers	[m]	>100	40 (200)
max. Messtiefe	[m]	0,6 – 26 (0,7 – 100)	0,3 – 2 (6)
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

PROTOKOLL

SCHWEBSTOFFMESSSTELLE

Pegel: _____

Jahr: _____

Pegelnummer: _____

Datum	Uhrzeit [SOZ/MEZ]	Probennummer	Sondenaufzeichnung []	Wasserstand [cm]	Bemerkungen (Wetter, Farbe des Gewässers, ...)

laufende Protokollzahl: _____

Beobachter: _____

Abbildung 41: Formblatt für Messprotokoll zur Entnahme von Kalibrierproben

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 9.

$$V_P = \frac{1000 \cdot m_g - m_T}{1000 \cdot \rho_w} + \frac{m_T}{1000 \cdot \rho_s} \quad (9)$$

$$s_0 = \frac{m_T}{V_P} \quad (10)$$

Dabei bedeuten:

m_g ... Masse der gesamten Wasserprobe [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 gesamten Wasserprobe [l]

s_0 ... Schwebstoffkonzentration [mg/l]

Die Berechnung soll anhand des folgenden Beispiels erläutert werden:

Gegeben ist:

$$m_g = 1020 \text{ g}$$

$$m_T = 8333 \text{ mg}$$

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

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

Das Probenvolumen errechnet sich nach Gleichung 9 zu:

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

Die Schwebstoffkonzentration errechnet sich nach Gleichung 10 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 sollte ab einer Schwebstoffkonzentration von über 8000 mg/l bei der gravimetrischen Volumenbestimmung die Feststoffdichte berücksichtigt werden.

B) Direkte Volumenbestimmung

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

Die Bestimmung der Schwebstoffkonzentration erfolgt nach Gleichung 10.

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 11 herangezogen werden. Da dieses Verfahren ein ungenaueres Ergebnis liefert als die gravimetrische Konzentrationsbestimmung (gemäß Gleichung 9 und 10), sollte es nicht für weitere Auswertungen herangezogen werden.

$$s_0 = \frac{1000 \cdot \rho_s (m_g - \rho_w \cdot V_P)}{V_P \cdot (\rho_s - \rho_w)} \quad (11)$$

Dabei bedeuten:

- m_g ... Masse der gesamten Wasserprobe [g]
- V_P ... Volumen der gesamten Wasserprobe [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:

Gegeben: $m_g = 1020$ g
 $V_P = 1,015$ l
 $\rho_s = 2500$ g/l
 $\rho_w = 1000$ g/l

Die Schwebstoffkonzentration errechnet sich nach Gleichung 11 zu:

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

C.2 BEISPIEL AUSWERTUNG DER SCHWEBSTOFFDATEN

Die Auswertung der Schwebstoffdaten wird im Folgenden anhand von Daten der Messstelle Innsbruck/Inn erklärt.

C.2.1 MESSPROTOKOLL KALIBRIERPROBEN

In Abbildung 42 wird das Messprotokoll der Kalibrierproben vom ersten Halbjahr 2010 dargestellt.

PROTOKOLL SCHWEBSTOFFMESSSTELLE Pegel: <u>Innsbruck/Inn (neu)</u> _____ Jahr: <u>2010</u> _____ Pegelnummer: <u>201525</u> _____					
Datum	Uhrzeit [SOZ/MEZ]	Probennummer	Sondenaufzeichnung [mg/l]	Wasserstand [cm]	Bemerkungen (Wetter, Farbe des Gewässers, ...)
13.01.10	12:55	ININ-13-01-10/1	15,8	226,0	grünlich, trocken
20.01.10	13:00	ININ-20-01-10/1	8,2	225,0	grünlich, trocken
28.01.10	13:50	ININ-28-01-10/1	7,3	219,0	graulich, trocken
03.02.10	10:20	ININ-03-02-10/1	12,4	243,0	grünlich, bewölkt
11.02.10	10:38	ININ-11-02-10/1	12,8	235,0	grün-grau, Schnee
18.02.10	12:50	ININ-18-02-10/1	11,2	233,0	klar-grün, trocken
25.02.10	12:25	ININ-25-02-10/1	9,7	225,0	klar-grün, trocken
03.03.10	08:08	ININ-03-03-10/1	11,9	235,0	grün-grau, bewölkt
15.03.10	09:48	ININ-15-03-10/1	8,8	221,0	günlich-klar, bewölkt
24.03.10	13:28	ININ-24-03-10/1	46,9	238,0	grünlich, trocken
01.04.10	06:38	ININ-01-04-10/1	104,0	241,0	grau-grün, bewölkt
07.04.10	06:55	ININ-07-04-10/1	44,9	228,0	klar-grün, trocken
14.04.10	07:53	ININ-14-04-10/1	22,3	223,0	klar-grün, Regen
22.04.10	13:55	ININ-22-04-10/1	34,4	235,0	grünlich, trocken
29.04.10	09:10	ININ-29-04-10/1	156,0	292,0	militärgrün, trocken
06.05.10	07:55	ININ-06-05-10/1	151,0	328,0	grau, bewölkt
11.05.10	07:35	ININ-11-05-10/1	65,9	296,9	grünlich, trocken
25.05.10	07:20	ININ-25-05-10/1	49,1	297,3	grünlich, trocken
27.05.10	07:08	ININ-27-05-10/1	321,0	363,0	braun, Regen
01.06.10	09:57	ININ-01-06-10/1	93,2	344,0	grün-grau, Regen
07.06.10	16:25	ININ-07-06-10/1	553,0	419,0	braun, trocken
08.06.10	12:25	ININ-08-06-10/1	574,0	429,0	braun, trocken
09.06.10	07:13	ININ-09-06-10/1	478,0	435,0	grau, trocken
11.06.10	07:26	ININ-11-06-10/1	1020,0	492,6	grau, trocken
17.06.10	09:08	ININ-17-06-10/1	370,0	413,0	grün-grau, trocken

laufende Protokollzahl: 11

Beobachter: N.N.

Abbildung 42: Auszug Messprotokoll Kalibrierproben für das Jahr 2010 an der Messstelle Innsbruck/Inn

C.2.2 ERMITTLUNG DER RÄUMLICHEN VERTEILUNG DER SCHWEBSTOFFKONZENTRATION IM PROFIL

Zur Ermittlung der Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil werden sowohl Vielpunktmethode, Integrationsmethoden als auch ADCP-Messungen in Kombination mit Probenentnahmen durchgeführt. Die erfolgte Stationierung der Lotrechten ist aus Abbildung 43 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 43 grün dargestellt). In diesem Beispiel werden die tiefenintegrierten Proben nur beim Hochfahren von der Gewässersohle zur Gewässeroberfläche gewonnen. Gleichzeitig werden sondennahe 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.

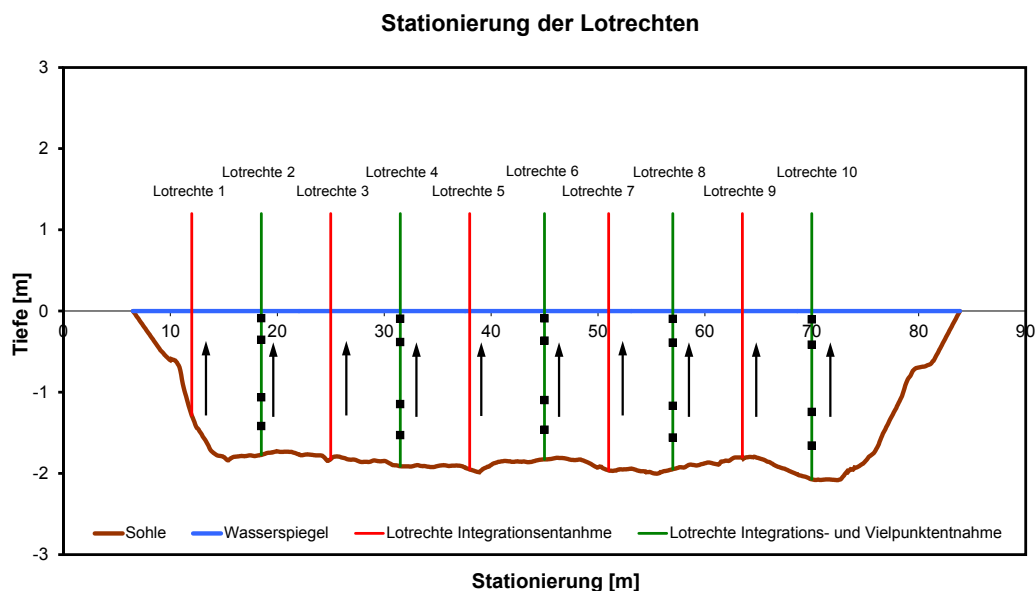


Abbildung 43: Systemskizze zur Stationierung der Lotrechten

Abbildung 44, Abbildung 45, Abbildung 46 und Tabelle 8 enthalten die Messprotokolle der Schwebstoffentnahmen sowie die Ergebnisse der gravimetrischen Auswertung der Proben im Labor.

Schwebstoff Vielpunkt-Integrationsentnahme - Protokoll											
Messstelle: Innsbruck / Inn (neu)						Datum: 19.07.2007					
Entnahmemethode:		<input checked="" type="checkbox"/> VPE	<input type="checkbox"/> EDI	<input type="checkbox"/> EWI mit Q-Messung			<input type="checkbox"/> EWI ohne Q-Messung				
Entnahmegerat: USP-61						Wasserstände am Pegel: 336cm bis 331cm					
Trübesonde: Hach - Lange						Beginn der Entnahme:			Uhrzeit: 08:24 [MEZ]		
Wassertemperatur:		Beginn: 11,2 °C		Ende: °C		Ende der Entnahme:			Uhrzeit: 10:20 [MEZ]		
Messflügel - Nr. ADCP						Bemerkung: wolkenlos, LT=25°C					
Messtrupp: Pfu, Holl, Spindl, Kerschb, Hai, Gatt, HD Strik											
Nr der Meßlot-rechten	Wasser-stand	Abstand der Querprofil-Stationierung vom Nullpunkt	Wasser-tiefe	Entnahme-tiefe	Entnahme-dauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Anzeige Trübungssonde	Geschwindigkeit		Bemerkung
									U	v	
	W	b	t _w				Zeitpunkt der Geräteaus-lösung	s _s			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[s]		[MEZ]	[mg/l]		[m/s]	
10	336,0	70,0	2,14	0,11	25,0	SUS-ININ-19-07-07/6	08:24	854,0		ADCP	
	335,0			0,43	25,0	SUS-ININ-19-07-07/7	08:30	839,0		ADCP	
	335,0			1,28	25,0	SUS-ININ-19-07-07/8	08:36	831,0		ADCP	
8	334,0	57,0	2,04	1,71	25,0	SUS-ININ-19-07-07/10	08:49	816,0		ADCP	
	333,0			0,40	25,0	SUS-ININ-19-07-07/13	09:04	795,0		ADCP	
	332,0			1,21	25,0	SUS-ININ-19-07-07/14	09:09	808,0		ADCP	
6	331,0	45,0	1,75	1,62	25,0	SUS-ININ-19-07-07/16	09:19	799,0		ADCP	
	331,0			0,35	25,0	SUS-ININ-19-07-07/19	09:31	779,0		ADCP	
	331,0			1,05	25,0	SUS-ININ-19-07-07/20	09:35	770,0		ADCP	
4	331,0	31,5	1,92	1,40	25,0	SUS-ININ-19-07-07/22	09:44	766,0		ADCP	
	331,0			0,38	25,0	SUS-ININ-19-07-07/25	09:54	757,0		ADCP	
	331,0			1,15	25,0	SUS-ININ-19-07-07/26	09:57	758,0		ADCP	
2	332,0	18,5	1,65	1,54	25,0	SUS-ININ-19-07-07/28	10:03	739,0		ADCP	
	332,0			0,08	25,0	SUS-ININ-19-07-07/30	10:08	738,0		ADCP	
	332,0			0,33	25,0	SUS-ININ-19-07-07/31	10:11	736,0		ADCP	
	332,0			0,99	25,0	SUS-ININ-19-07-07/32	10:13	722,0		ADCP	
	332,0			1,32	25,0	SUS-ININ-19-07-07/34	10:17	711,0		ADCP	

Abbildung 44: Protokoll der Vielpunktentnahme vom 19.07.2007 in Innsbruck/Inn

Schwebstoff sondennahe Entnahme - Protokoll							
Messstelle: Innsbruck/ Inn				Datum: 19.07.2007			
Entnahmegerat: <input type="checkbox"/> am Seil <input checked="" type="checkbox"/> an der Stange <input type="checkbox"/> mit Einlaufrohr				Wasserstände am Pegel: 336cm bis 331cm			
Trübesonde: Hach - Lange				Beginn der Entnahme:		Uhrzeit: 08:24 [MEZ]	
Wassertemperatur:		Beginn: 11,2 °C Ende: °C		Ende der Entnahme:		Uhrzeit: 10:20 [MEZ]	
Messtrupp: Pfu, Höll, Spindl, Kerschb, Hai, Gatt, HD-Steiermark				Bemerkung:			
Wasserstand	Entnahmetiefe	ungefähre Entnahmedauer	Proben - Flasche - Nummer	Zeitpunkt	Anzeige Trübungssonde	Farbe des Gewässers	Bemerkung
W				Zeitpunkt der Probenentnahme	S _s		
[cm]	[m]	[s]		[] -MEZ	[mg/l]		
334,5	0,2	5	SUS-ININ-19-07-07/1	08:43	827,0	grau-braun	Doppelprobe
334,5	0,2	5	SUS-ININ-19-07-07/1a	08:43	827,0	grau-braun	Doppelprobe
332,0	0,2	5	SUS-ININ-19-07-07/2	09:14	787,0	grau-braun	Doppelprobe
332,0	0,2	5	SUS-ININ-19-07-07/2a	09:14	787,0	grau-braun	Doppelprobe
331,0	0,2	5	SUS-ININ-19-07-07/3	09:39	766,0	grau-braun	Doppelprobe
331,0	0,2	5	SUS-ININ-19-07-07/3a	09:39	766,0	grau-braun	Doppelprobe
331,0	0,2	5	SUS-ININ-19-07-07/4	10:00	745,0	grau-braun	Doppelprobe
331,0	0,2	5	SUS-ININ-19-07-07/4a	10:00	745,0	grau-braun	Doppelprobe
332,0	0,2	5	SUS-ININ-19-07-07/5	10:15	723,0	grau-braun	Doppelprobe
332,0	0,2	5	SUS-ININ-19-07-07/5a	10:15	723,0	grau-braun	Doppelprobe

Abbildung 46: Protokoll der sondennahen Probenentnahmen vom 19.07.2007 in Innsbruck/Inn

TABELLE 8: LABORAUSWERTUNG DER SCHWEBSTOFFPROBEN

Probenidentifikation	Datum der Probenentnahme	Uhrzeit der Probenentnahme	Schwebstoffkonzentration Labor
		[MEZ]	[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-19-07-07/35	19.07.2007	10:20	720

C.2.3 PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG DER SONDENWERTE UND KALIBRIERPROBEN

Für die Plausibilitätsprüfung wird die Sondenaufzeichnung zusammen mit dem Durchfluss und den Kalibrierproben dargestellt (Abbildung 47), wobei sowohl die Sondenaufzeichnung als auch die Kalibrierproben untersucht werden (Vergleich Kapitel 5.1). Fehlerhafte Sondenaufzeichnungen und unplausible Kalibrierproben sind zu korrigieren bzw. bei der Auswertung nicht zu berücksichtigen. In Abbildung 48 und Abbildung 49 sind sowohl ein Beispiel für einen Sondenausreißer als auch für einen unplausiblen Wert der Kalibrierproben dargestellt. Der in Abbildung 48 dargestellte Sondenwert wurde als Fehlauflagezeichnung der Sondenaufzeichnung durch Sondenreinigung identifiziert, da er auffällig von den Werten davor und danach abweicht. Ebenso wurde eine während des Ereignisses im Juli 2010 entnommene Probe als unplausibel be-

funden, da sie im Verhältnis zur Sondenaufzeichnung deutlich niedriger liegt als die übrigen Proben, die davor und danach während des Ereignisses entnommen wurden (Abbildung 49).

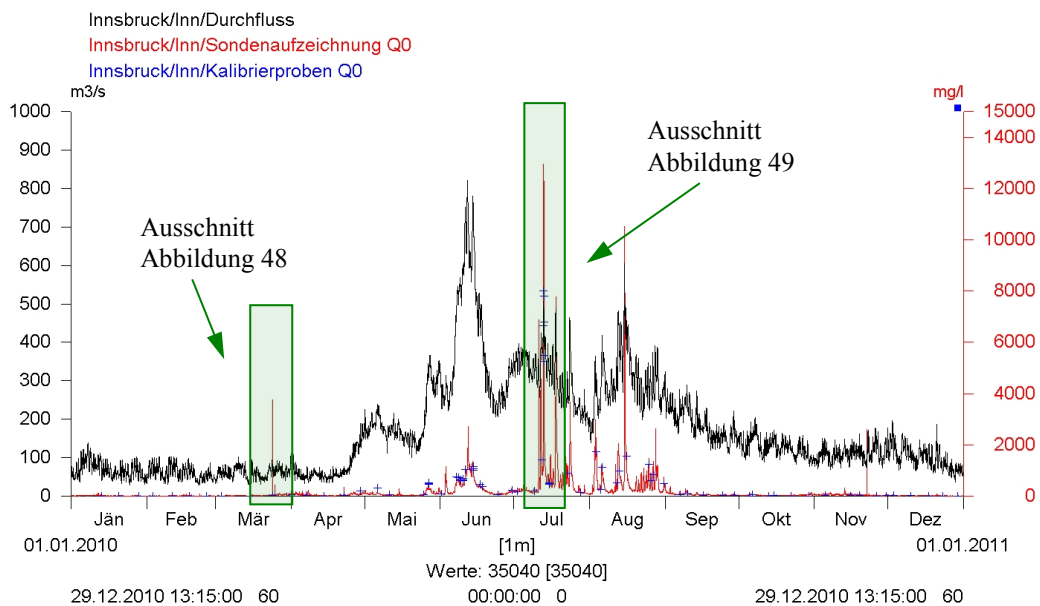


Abbildung 47: Durchfluss (schwarz), originale Sondenaufzeichnung (rot) und Kalibrierproben (blau) an der Schwebstoffmessstelle Innsbruck/Inn 2010

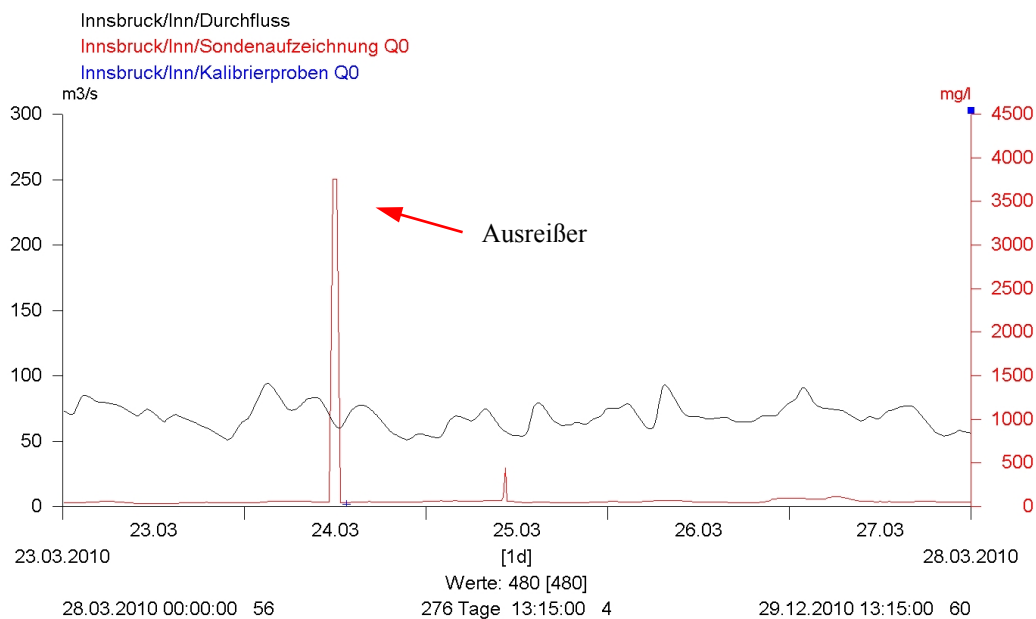


Abbildung 48: Beispiel für eine Fehlaufzeichnung der Sondenaufzeichnung (rot) durch Sondenreinigung an der Schwebstoffmessstelle Innsbruck/Inn; schwarz: Durchfluss, blau: Kalibrierproben

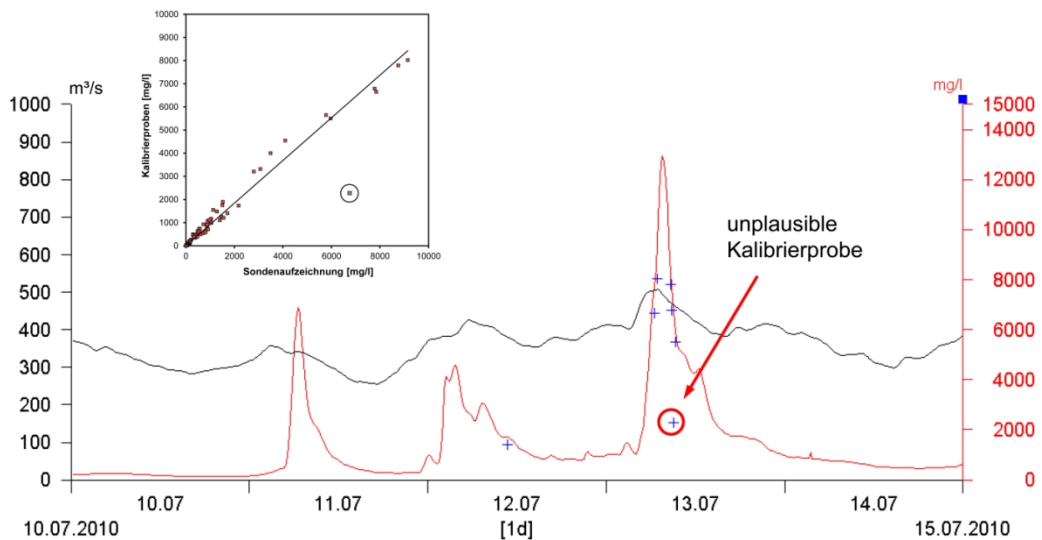


Abbildung 49: Beispiel für einen unplausiblen Wert einer Kalibrierprobe (blau); schwarz: Durchfluss, rot: Sondaufzeichnung, Einsatzbild: Zusammenhang zwischen Sondaufzeichnung und Kalibrierproben; unplausible Wert eingekreist und grau dargestellt

C.2.4 BERECHNUNG DER SONDENNAHEN SCHWEBSTOFFKONZENTRATION

C.2.4.1 SONDENBEIWERTE

Die Sondenbeiwerte werden durch Division der Werte der Kalibrierproben durch den zugehörigen Wert der Sondaufzeichnung berechnet. Durch lineare Interpolation zwischen den Sondenbeiwerten wird eine Ganglinie des Sondenbeiwertes generiert. Durch Multiplikation dieser Ganglinie mit jener der Sondaufzeichnung wird eine Ganglinie der sondennahen Schwebstoffkonzentration ermittelt (Abbildung 50). Bei der Anwendung des Sondenbeiwertes wird die Sondaufzeichnung durch die Messwerte der Kalibrierung gelegt.

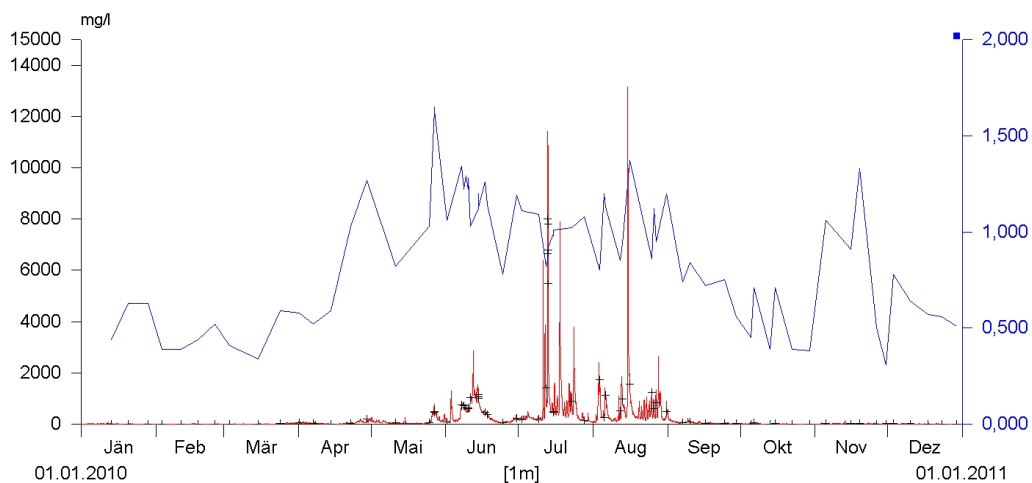


Abbildung 50: Kalibrierproben (schwarz), Ganglinie des Sondenbeiwertes (blau) und der sondennahen Schwebstoffkonzentration (rot) mittels Sondenbeiwert berechnet

C.2.4.2 SONDENKENNLINIE

Für die Berechnung der sondennahen Schwebstoffkonzentration mittels Regression oder anderer statistischer Auswertemethoden werden Sondenaufzeichnung und Kalibrierproben gegeneinander aufgetragen (Abbildung 51). Im vorliegenden Beispiel wurde für die Sondenkennlinie der Ansatz der linearen Regression gewählt.

Nach Eliminieren von unplausiblen Kalibrierprobenwerten ergibt sich mit einem Korrelationskoeffizient von 0,986 ein recht guter Zusammenhang zwischen Sondenaufzeichnung und Kalibrierproben (Abbildung 51). Die daraus resultierende Gleichung 12

$$s_k = 0,926 \cdot s_s \quad (12)$$

wurde zur Umrechnung der Sondenaufzeichnung in sondennaher Schwebstoffkonzentration herangezogen.

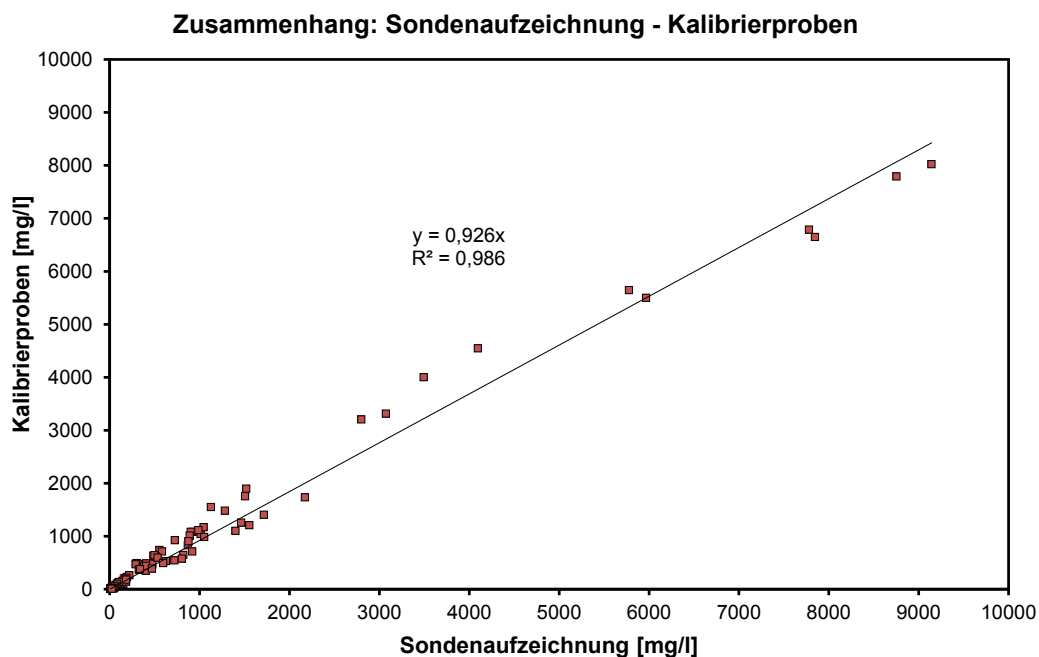


Abbildung 51: Sondenkennlinie (Zusammenhang: Sondenaufzeichnung – Kalibrierproben)

C.2.4.3 VERGLEICH DER BEIDEN METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER SONDENNAHEN SCHWEBSTOFFKONZENTRATION

Abbildung 52 zeigt eine Gegenüberstellung der von Ausreißern bereinigten Sondenaufzeichnung (rot) sowie Kalibrierproben (schwarz) und der mittels Sondenbeiwert bzw. Sondenkennlinie berechneten Ganglinien der sondennahen Schwebstoffkonzentration für das Jahr 2010. In Abbildung 53 ist der Zeitraum vom 30.03.2010 bis zum 28.06.2010 hervorgehoben.

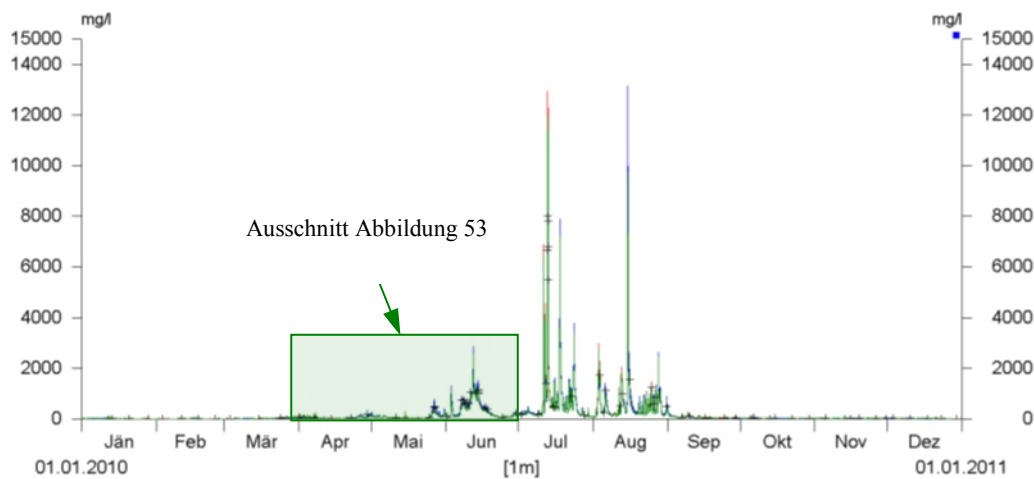


Abbildung 52: Kalibrierproben (schwarz), Sondaufzeichnung (rot), sondennahe Schwebstoffkonzentration mittels Sondenbeiwert (blau) und Sondenkennlinie (grün) berechnet

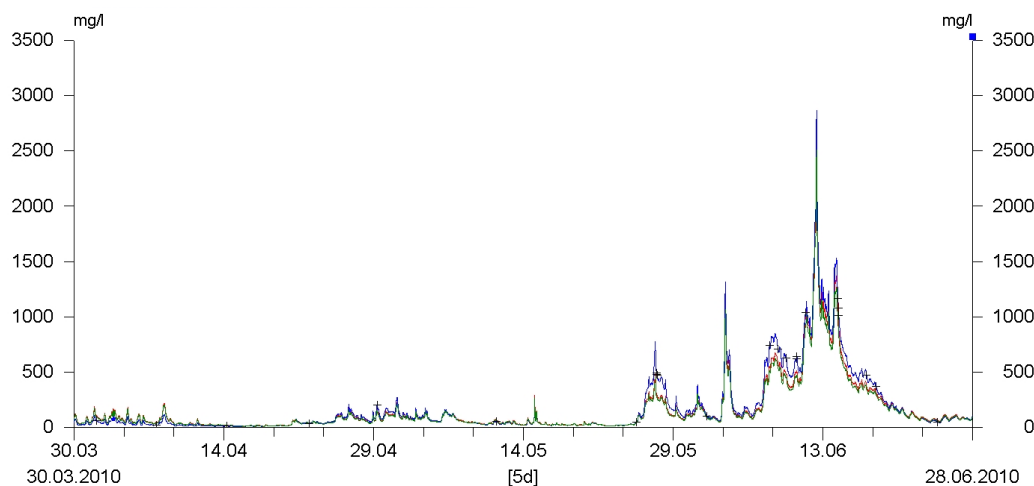


Abbildung 53: Detailsicht vom 30.03.2010 bis 28.06.2010 an der Messstelle Innsbruck/Inn von Kalibrierproben (schwarz), Sondaufzeichnung (rot), sondennahe Schwebstoffkonzentration mittels Sondenbeiwert (blau) und Sondenkennlinie (grün) berechnet an der Messstelle Innsbruck/Inn

In Abbildung 52 und Abbildung 53 wird verdeutlicht, dass durch die Umrechnung mittels Sondenkennlinie die sondennahe Schwebstoffkonzentration eine Verschiebung der Sondaufzeichnung um den errechneten Faktor 0,926 erfährt, wobei die neu errechnete Ganglinie in diesem Beispiel immer unter der Sondaufzeichnung liegt. Durch die Anwendung des Sondenbeiwertes liegt in diesem Beispiel die sondennahe Schwebstoffkonzentration (blau), abhängig von den Kalibrierproben, sowohl über (Abbildung 53: 30.03.2010 bis 20.04.2010) als auch unter (Abbildung 53: 20.04.2010 bis 28.06.2010) der Sondaufzeichnung.

Zur weiteren Berechnung des Schwebstofftransportes und der -fracht soll die plausible Berechnungsmethode, oder kann auch abschnittsweise eine Kombination der beiden Methoden, herangezogen werden. Am Beispiel Innsbruck/Inn wird für das Jahr 2010 die über den Sondenbeiwert ermittelte sondennahe Schwebstoffkonzentration verwendet, da im gesamten Jahr eine ausreichende Anzahl an Kalibrierproben in einem entsprechenden Entnahmeintervall zur Verfügung standen und dadurch der sich ändernde Zusammenhang zwischen Sondaufzeichnung und Kalibrierproben (z.B. bei Schneeschmelze, Unwetterereignisse, etc.) berücksichtigt werden kann.

C.2.5 BERECHNUNG DES SCHWEBSTOFFTRANSPORTES UND DER MITTLEREN SCHWEBSTOFFKONZENTRATION

C.2.5.1 VIELPUNKTMETHODE

In Abbildung 54 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 zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit und des Durchflusses durchgeführt wurden. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung 13.

$$s_0(t_0) = \frac{s_0(t_i) \cdot s_s(t_0)}{s_s(t_i)} \quad (13)$$

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)

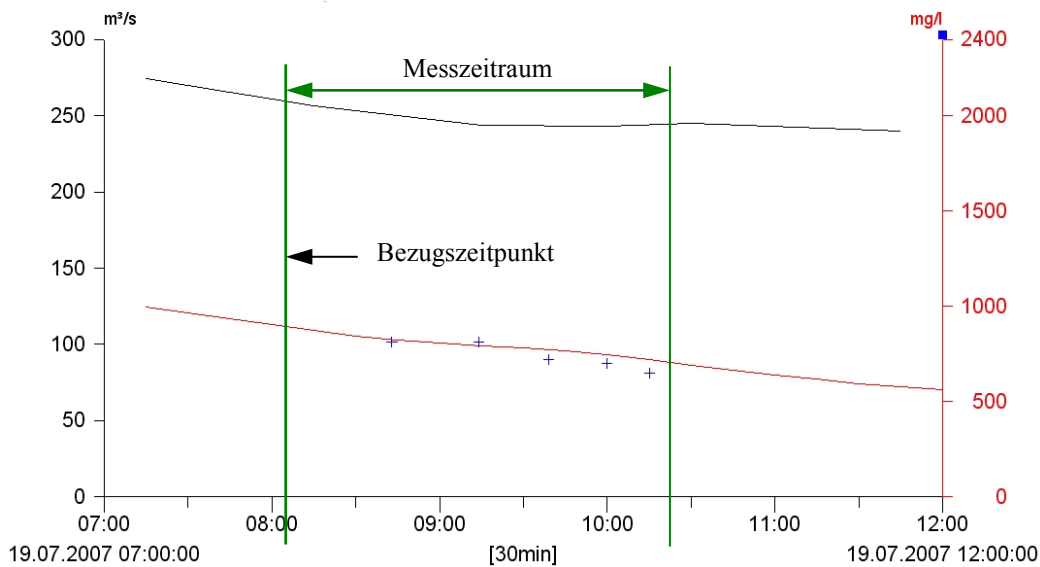


Abbildung 54: Durchfluss (schwarz), Sondenaufzeichnung (rot) und Kalibrierproben (blau) während des Messzeitraums

In Tabelle 9 sind die berechneten Schwebstoffkonzentrationen dargestellt, die nachfolgend für die rechnerische Auswertung der Vielpunktmethode herangezogen wurden (Abbildung 55).

TABELLE 9: UMRECHNUNG DER SCHWEBSTOFFKONZENTRATIONEN AUS DER VIELPUNKT-METHODE 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	780	780
SUS-ININ-19-07-07/7	08:30	839	750	763
SUS-ININ-19-07-07/8	08:36	831	790	812
SUS-ININ-19-07-07/10	08:49	816	1800	1884
SUS-ININ-19-07-07/12	09:00	802	740	788
SUS-ININ-19-07-07/13	09:04	795	740	795
SUS-ININ-19-07-07/14	09:09	808	730	666
SUS-ININ-19-07-07/16	09:19	799	830	887
SUS-ININ-19-07-07/18	09:28	774	730	805
SUS-ININ-19-07-07/19	09:31	779	780	855
SUS-ININ-19-07-07/20	09:35	770	840	932
SUS-ININ-19-07-07/22	09:44	766	1700	1895
SUS-ININ-19-07-07/24	09:51	759	730	821
SUS-ININ-19-07-07/25	09:54	757	830	936
SUS-ININ-19-07-07/26	09:57	758	1600	1803
SUS-ININ-19-07-07/28	10:03	739	1300	1502
SUS-ININ-19-07-07/30	10:08	738	680	787
SUS-ININ-19-07-07/31	10:11	736	690	801
SUS-ININ-19-07-07/32	10:13	722	870	1029
SUS-ININ-19-07-07/34	10:17	711	1200	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 (Abbildung 55, 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 (Abbildung 55, 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.

Auswertung Schwebstofftransport Vielpunktentnahme									
Lotrechte	Abstand v. Nullpkt	Wassertiefe	Entnahme-tiefe	s ₀	v	s ₀ * v		S-Trieb q _s	S-Teilflüsse
	b	t _w				s ₀ * v			Q _{sF} =[q _{s(i+1)} + q _{s(i)}]*(b _{i+1} - b _i)/ 2
	[m]	[m]	[m]	[g/m ³]	[m/s]	[g/m ³ *s]	[g/m ³ *s]	[g/m ³ *s]	
Ufer li:	9,5								19135
L2	18,5	2,14	0,11	780	2,20	1712	188	4252	50395
			0,43	763	2,20	1679	543		
			1,28	812	1,55	1255	1247		
			1,71	1884	1,65	3109	938		
							1337		
L4	31,5	2,04	0,10	788	2,49	1958	196	3501	56816
			0,40	795	2,79	2218	626		
			1,21	666	2,04	1355	1447		
			1,62	887	1,72	1526	591		
							641		
L6	45,0	1,75	0,09	805	2,70	2169	195	4916	56864
			0,35	855	2,70	2304	582		
			1,05	932	2,41	2246	1593		
			1,40	1895	2,17	4103	1111		
							1436		
L8	57,0	1,92	0,10	821	2,43	1991	199	4561	51311
			0,38	936	2,47	2307	602		
			1,15	1083	2,04	2204	1737		
			1,54	1502	1,85	2771	970		
							1053		
L10	70,0	1,65	0,08	787	2,29	1798	144	3333	26332
			0,33	801	2,39	1910	464		
			0,99	1029	1,85	1899	1257		
			1,32	1441	1,62	2334	698		
							770		
Ufer re:	85,8								

Schwebstofftransport: 260853 g/s 261 kg/s

Abbildung 55: Rechnerische Auswertung der Vielpunktentnahme

Für den Zeitpunkt der Messung ergibt sich ein Schwebstofftransport im Querprofil von 260,85 kg/s. Die mittlere Schwebstoffkonzentration wird nach Gleichung 14 berechnet. Nachdem der Zeitpunkt der Durchflussmessung für die Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil relevant ist, muss gegebenenfalls bei Durchflussänderungen während der Messung eine Korrektur durchgeführt werden.

$$s_m = \frac{Q_s}{Q} = \frac{261 \text{ kg/s}}{259 \text{ m}^3/\text{s}} \cdot 1000 = 1007 \text{ mg/l} \quad (14)$$

C.2.5.2 INTEGRATIONSMETHODE

Die Integrationsentnahme wurde nach der EWI-Methode mit Durchflussmessung (mittels ADCP) durchgeführt. Vor der Auswertung der Integrationsmethode müssen die gemessenen Schwebstoffkonzentrationen auf den Beginn der Probenentnahme berechnet werden (Tabelle 10). 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 gewonnenen 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 10: 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	270	279
SUS-ININ-19-07-07/11	08:55	814	730	766
SUS-ININ-19-07-07/15	09:14	787	800	868
SUS-ININ-19-07-07/17	09:24	794	1000	1076
SUS-ININ-19-07-07/23	09:48	770	870	965
SUS-ININ-19-07-07/27	10:00	745	940	1078
SUS-ININ-19-07-07/29	10:06	732	1000	1167
SUS-ININ-19-07-07/33	10:14	723	970	1146
SUS-ININ-19-07-07/35	10:20	703	720	875

Für die rechnerische Auswertung (Abbildung 56) wird im ersten Schritt der Schwebstofftrieb aus dem Produkt aus Schwebstoffkonzentration und mittlerer Fließgeschwindigkeit der Lotrechte berechnet (Abbildung 56, Spalte 5). Um den Schwebstofftrieb je Lotrechte zu erhalten, wird dieses Produkt mit der Wassertiefe der jeweiligen Lotrechte multipliziert (Abbildung 56, 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 (Abbildung 56, Spalte 8). Der Schwebstofftransport ergibt sich zu 227,81 kg/s.

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	$Q_s = [(q_{si+1} + q_{si}) / 2] \cdot (b_{i+1} - b_i)$
	[m]	[g/m ³]	[m/s]	[g/m ³ s]	[g/m ³ s]	[m]	[g/s]
Ufer1					0	9,5	771
L1	1,30	847	0,56	474	617	12,0	13419
L2	1,65	1210	1,76	2129	3512	18,5	26288
L3	1,85	1130	2,19	2474	4576	25,0	28872
L4	1,92	1044	2,15	2244	4308	31,5	27097
L5	1,90	934	2,27	2121	4030	38,0	58693
L7	2,00	1042	2,40	2500	5000	51,0	26411
L8	2,02	841	2,24	1883	3804	57,0	22675
L9	1,86	742	2,30	1706	3173	63,5	14182
L10	2,12	270	2,08	562	1191	70,0	9406
Ufer2					0	85,8	

Schwebstofftransport:
227814 g/s
228 kg/s

Abbildung 56: Rechnerische Auswertung der Integrationsmethode

Durch Division des Schwebstofftransportes durch den Durchfluss errechnet sich die mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil s_m (Gleichung 15). Nachdem der Zeitpunkt der Durchflussmessung für die Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil relevant ist, muss gegebenenfalls bei Durchflussänderungen während der Messung eine Korrektur durchgeführt werden.

$$s_m = \frac{Q_s}{Q} = \frac{228 \text{ kg/s}}{259 \text{ m}^3/\text{s}} \cdot 1000 = 879 \text{ mg/l} \quad (15)$$

C.2.4.3 ADCP-MESSUNG PLUS KALIBRIERPROBEN

Für die Auswertung der ADCP-Messungen wurden alle während der Vielpunktentnahme gewonnenen Proben herangezogen und mit den rückgestreuten Echointensitäten korreliert. Dafür müssen die Entnahmelot-rechten den jeweiligen Ensembles (Gesamtheit der Tiefenzellen einer Lotrechten) der ADCP-Messung zugeordnet werden. Mit dem Programm ViSea Plume Detection Toolbox (Aquavision, 2007) erhält man die in Abbildung 57 dargestellte Verteilung der Schwebstoffkonzentrationen.

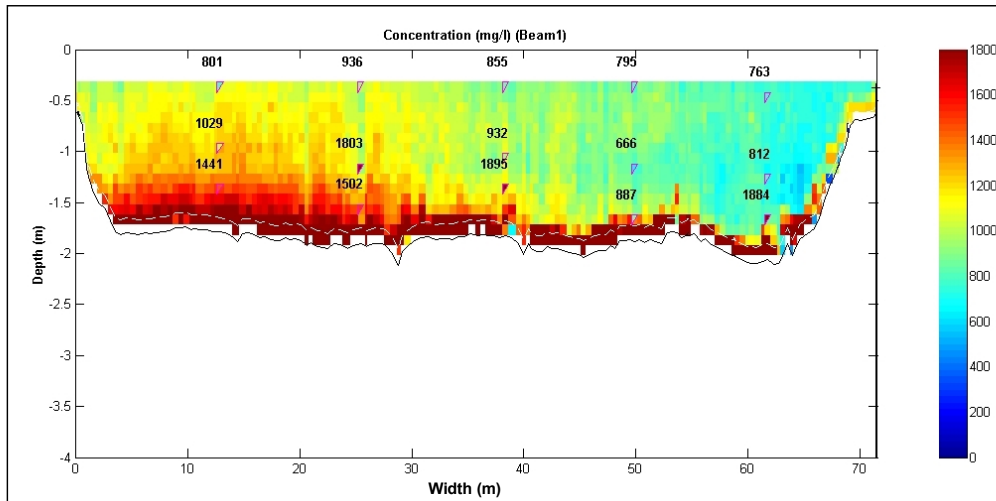


Abbildung 57: Aus ADCP-Messung und Probenentnahmen (Dreiecke) ermittelte Schwebstoffverteilung im Querprofil

Die mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil errechnet sich nach Gleichung 16.

$$s_m = \frac{Q_s}{Q} = \frac{282 \text{ kg/s}}{259 \text{ m}^3/\text{s}} \cdot 1000 = 1090 \text{ mg/l} \quad (16)$$

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.

C.2.5.4 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 11). Die Ergebnisse aus der Integrationsmethode liegen um mehr als 10 % unter jenen der Vielpunktmethode. Der über die ADCP-Messung ermittelte Schwebstofftransport ist um rund 10 % höher als jener aus der Vielpunktmethode.

TABELLE 11: GEGENÜBERSTELLUNG DES SCHWEBSTOFFTRANSPORTES UND DER MITTLEREN SCHWEBSTOFFKONZENTRATION

Datum	Zeit - Beginn [MEZ]	Zeit - Ende [MEZ]	Verfahren	$Q_{\text{Mittelwert}}$ [m ³ /s]	Q_s [kg/s]	s_m [mg/l]
19.07.2007	8:24	10:20	Vielpunkt	259	261	1007
19.07.2007	8:24	10:20	Integration	259	228	879
19.07.2007	8:24	10:20	ADCP	259	282	1090

C.2.6 BERECHNUNG DER KONTINUIERLICHEN MITTLEREN SCHWEBSTOFFKONZENTRATION

Die Schwebstoffkonzentrationen der Kalibrierproben wurden ebenfalls mittels Gleichung 13 auf Werte zu Beginn der Messung rückgerechnet (Trendbereinigung) und anschließend das arithmetische Mittel gebildet (Tabelle 12).

TABELLE 12: UMRECHNUNG DER SCHWEBSTOFFKONZENTRATIONEN AUS DEN KALIBRIERPROBEN AUF KONZENTRATIONEN ZU BEGINN DER MESSUNG

Probenflaschennummer	Zeitpunkt der Geräteauslösung	Sonde	Proben	Korr. der Proben auf Beginn Messung
	[MEZ]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
SUS-ININ-19-07-07/1	08:43	827	710	836
SUS-ININ-19-07-07/1a	08:43	827	700	723
SUS-ININ-19-07-07/2	09:14	787	810	879
SUS-ININ-19-07-07/2a	09:14	787	810	879
SUS-ININ-19-07-07/3	09:39	766	720	803
SUS-ININ-19-07-07/3a	09:39	766	778	867
SUS-ININ-19-07-07/4	10:00	745	700	802
SUS-ININ-19-07-07/4a	10:00	745	709	813
SUS-ININ-19-07-07/5	10:15	723	650	768
SUS-ININ-19-07-07/5a	10:15	723	745	880
Mittelwert				825

Für die weitere Berechnung wird nur die mittels Vielpunktprobe bestimmte mittlere Schwebstoffkonzentration herangezogen. Diese wird den weiteren Messungen, die in den Jahren 2007 bis 2012 durchgeführt wurden gegenübergestellt. Durch Auftragen der sondennahe und mittleren Schwebstoffkonzentrationen aus den Messungen ergibt sich eine Beziehung (Querprofilkennlinie), die in Abbildung 58 dargestellt ist.

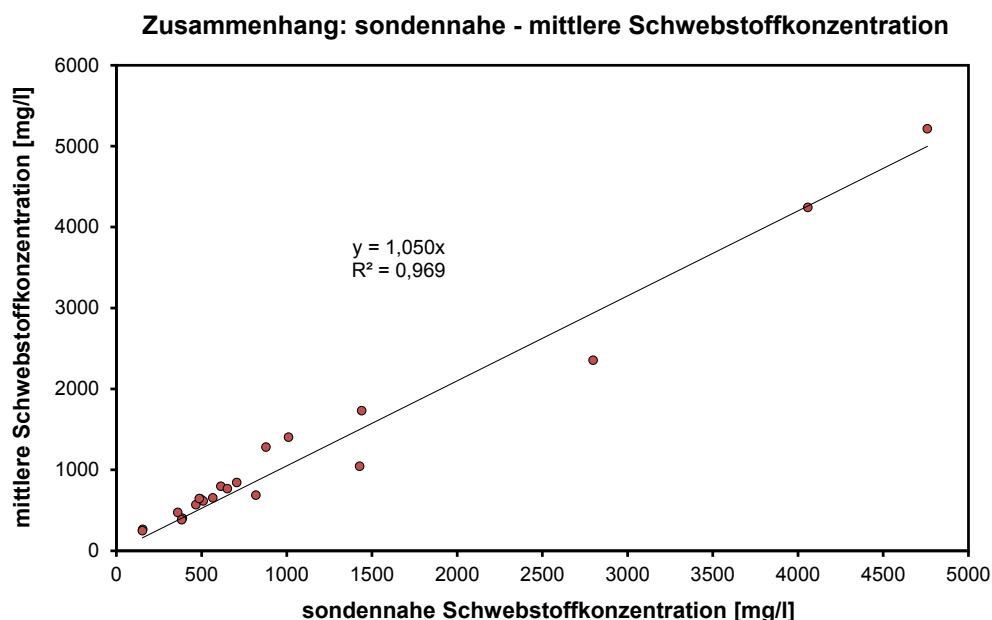


Abbildung 58: Querprofilkennlinie an der Messstelle Innsbruck/Inn

Durch Anwendung der Querprofilkennlinie wird die Ganglinie der sondennahen Schwebstoffkonzentration (Abbildung 58) in die mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil berechnet. Die beiden Konzentrationsganglinien sind in Abbildung 59 gemeinsam mit dem Durchfluss dargestellt.

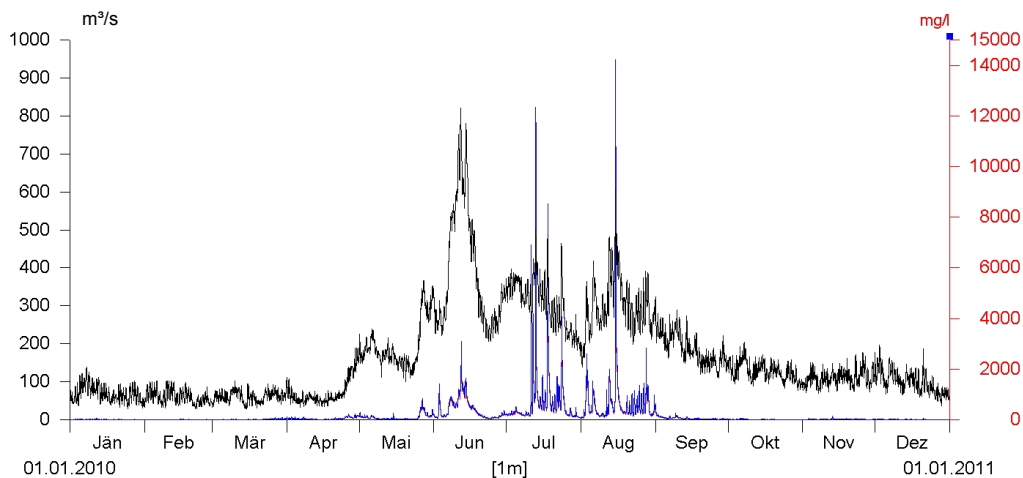


Abbildung 59: Gegenüberstellung sondennahe Schwebstoffkonzentration (rot) und mittlere Schwebstoffkonzentration (blau) sowie Durchfluss (schwarz) an der Messstelle Innsbruck/Inn

C.2.7 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 60).

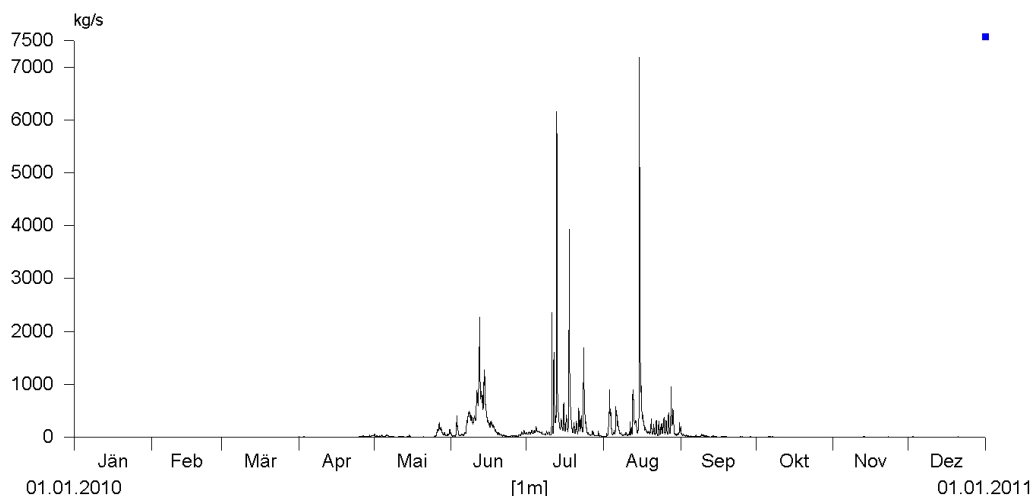


Abbildung 60: Ganglinie des Schwebstofftransportes für das Jahr 2010 an der Messstelle Innsbruck/Inn

C.2.8 BERECHNUNG DER SCHWEBSTOFFFRACHT

Für die Berechnung der Schwebstofffracht [kg] wird der Schwebstofftransport für den jeweiligen Zeitraum aufsummiert. Eine Umrechnung in die Einheit Tonnen [t] wird aus Gründen der besseren Darstellung durchgeführt. Um einen Vergleich der Messstellen zu ermöglichen, wird auch die spezifische Schwebstofffracht (Schwebstofffracht [t]/Einzugsgebiet [km²]) berechnet (Abbildung 61).

Schwebstofffracht 2010

Jänner	2.100 t
Februar	900 t
März	2.900 t
April	12.100 t
Mai	67.800 t
Juni	579.800 t
Juli	658.500 t
August	631.400 t
September	34.000 t
Oktober	5.100 t
November	6.000 t
Dezember	3.400 t
Jahr 2010	2.004.000 t

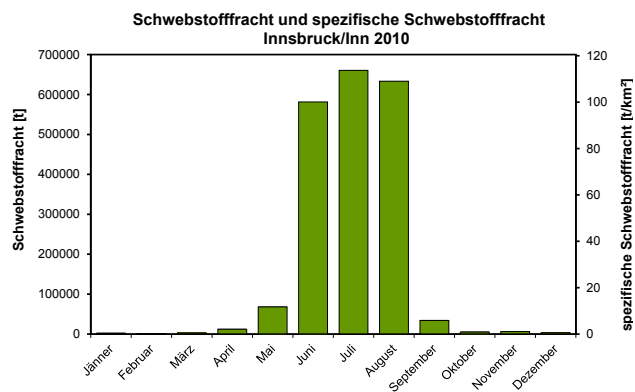


Abbildung 61: Tabellarische und graphische Darstellung der Schwebstofffracht an der Messstelle Innsbruck/Inn für das Jahr 2010

ANHANG D: METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER KORNGRÖSSENVERTEILUNG

D.1 SIEBUNG

Bei der Siebung werden die Proben mithilfe von Prüfsieben in Korngrößengruppen getrennt (Abbildung 62). Die Korngrößen (Korndurchmesser) werden nach den Lochweiten der Quadratlochsiebe bzw. der Maschenweiten der Siebgewebe benannt, durch die sie zuletzt gefallen sind. Die Feianteile werden durch Nasssiebung abgetrennt und nach dem Trocknen gewogen.

Ein Sieben bis zu einer Maschenweite von 20 μm ist grundsätzlich möglich. Bis zu welcher Korngröße tatsächlich gesiebt wird, ist häufig auch von der weiteren Auswertemethode (siehe Kapitel D.2 bis D.4) abhängig.



Abbildung 62: Siebgerät zur Nasssiebung (Foto: Kohl, 2013)

D.2 SEDIMENTATION

Die Sedimentation ist das Absinken von Körnern in einer Flüssigkeit. Verschieden große Körner sinken in Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, was zur Trennung der Korngrößen führt. Der Zusammenhang zwischen Korngröße, Dichte und Sinkgeschwindigkeit wird durch das Stokes'sche Gesetz von der Sinkgeschwindigkeit äquivalenter Kugeln beschrieben (Gleichung 17).

$$v_p = \frac{2r^2 g (\rho_s - \rho_w)}{9\eta} \quad (17)$$

Dabei bedeutet:

- v_p Sedimentationsgeschwindigkeit
- r Radius des sinkenden Partikels
- g Erdbeschleunigung
- ρ_s Dichte des Partikels
- ρ_w Dichte des Fluids
- η dynamische Viskosität des Fluids

D.2.1 PIPETTE

Das Pipettenverfahren wird in der L-Norm „Physikalische Bodenuntersuchungen – Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens“ (2002) beschrieben. Diese Norm besteht aus zwei Teilen und gliedern sich wie folgt in

- Teil 1: Grobboden (ÖNORM L 1061-1, 2002) und
- Teil 2: Feinboden (ÖNORM L 1061-2, 2002),

wobei hier lediglich auf die Korngrößenanalysen des Teil 2 eingegangen (*Tabelle 13*).

TABELLE 13: ÜBERBLICK DER KORNGRÖßENANALYSEVERFAHREN NACH Ö NORM L 1061-1 UND -2 (CEPUDE ET AL., 2009)

Korngrößenklasse	Fraktion	Verfahren
$d \geq 2 \text{ mm}$	Grobboden	Trockensiebung Grobboden
$2 \text{ mm} > d \geq 0,063 \text{ mm}$	Sand	Nasssiebung Feinboden
$0,063 \text{ mm} > d$	Schluff und Ton	Pipettenverfahren

Nach Vorbereitung der Probe (event. Zerstörung des Humus im Boden und Dispergierung) wird die Probe einer Nasssiebung unterzogen. Der Siebdurchlauf wird verlustfrei in einen 1000 ml Zylinder geleert und mit Wasser aufgefüllt. Nach einer Homogenisierung der Suspension durch z.B. Schütteln oder Rühren wird die Zeitmessung gestartet. Nach der errechneten Fallzeiten (Umformung der Gleichung 17) wird eine Pipette (z.B. Pipette nach Köhn, Abbildung 63) entsprechend weit (zumeist 100 mm) in die Suspension eingetaucht und die Suspension entnommen. Das entnommene Volumen wird in eine Schale gefüllt, bei 105° C bis zur Massenkonstanz getrocknet und nach dem Abkühlen gewogen.

D.2.2 ARÄOMETER

Zur Ermittlung der Massenanteile der Korngrößen sind neben dem Pipettverfahren Köhn (siehe Kapitel D.2.1) auch das Aräometer-Verfahren gebräuchlich, das in ÖNORM B 4412-1 (1974) beschrieben ist. Diese Norm gilt im Erd-, Wasser- und Verkehrsbau als Grundlage für die Benennung und Klassifizierung von Böden.

Bei diesem Verfahren wird die Dichte der Suspension mit einem Aräometer (Abbildung 63) in festgelegten Zeitabständen gemessen. Aus der Eintauchtiefen des Aräometers bzw. der Suspensionsdichte und der Zeit kann unter Kenntnis der Temperatur des Fluids und der Korndichte der Korndurchmesser der kleinsten derjenigen Körner, die im Augenblick der Ablesung aus der Suspension oberhalb des Schwerpunktes des Aräometers bereits abgesunken waren, bestimmt werden. Erst nach dem Versuch werden die Trockenmasse der Probe und die Massenanteile der jeweiligen Korngrößenklasse ermittelt.

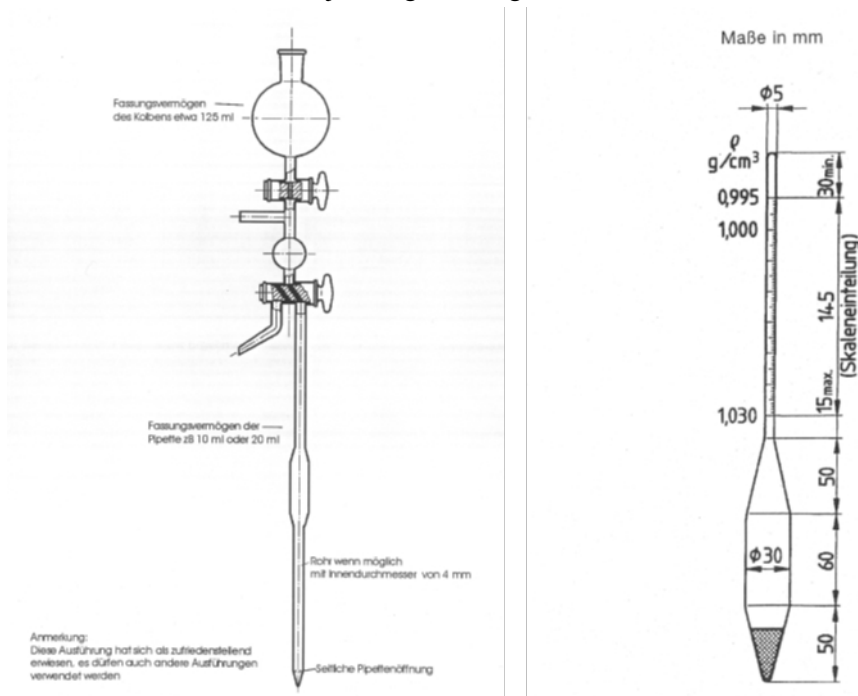


Abbildung 63: links: Pipette nach Köhn (ÖNORM L 1061-2, 2002), rechts: Aräometer (ÖNORM B 4412-1, 1974)

D.2.3 OPTISCHE SEDIMENTATION (RÖNTGENBEUGUNG)

Das Prinzip der Röntgenbeugung unter Anwendung des Stokes'schen Gesetzes wird vom Gerät Sedigraph (Abbildung 64) zur Bestimmung der Korngrößenverteilung eingesetzt. Dabei wird eine homogenisierte und dispergierte Probe in eine Zelle gepumpt, in der die Probenflüssigkeit in Ruhe gelagert wird und die Partikel beginnen sich abzusetzen. Die Probe wird mit horizontalen Röntgenstrahlen abgetastet. Durch die Absorption der Strahlung durch die Partikel wird am Detektor eine geringere Röntgenstrahlung aufgezeichnet als ausgesendet wurde. Über einen Vergleich der Intensität des durchdringenden Strahls mit einer klaren Referenzlösung wird die Konzentration bestimmt. Die Intensität der Röntgenstrahlung in der jeweiligen Ebene des horizontalen Strahls wird kontinuierlich gemessen und über die Kornparameter in die Massen der einzelnen Fraktionen umgerechnet. Unter der Annahme, dass die größeren Partikel schneller sinken als die kleineren, wird die Intensität des Röntgenstrahls durch die größeren Partikel mehr und durch die kleineren Partikel weniger abgeschwächt. Die Sinkgeschwindigkeit wird über die Distanz der Röntgenstrahlebene zum höchsten Punkt der Probenzelle und dem Zeitpunkt der relativen Massenermittlung (durch den Strahl) bestimmt. Der enorme Vorteil gegenüber der Pipettierung liegt in der Untersuchungszeitverkürzung, die dadurch erreicht wird, dass die Messung der Strahlenintensität in verschiedene Höhen der Zelle durchgeführt werden kann (Bianchi et al., 1999).

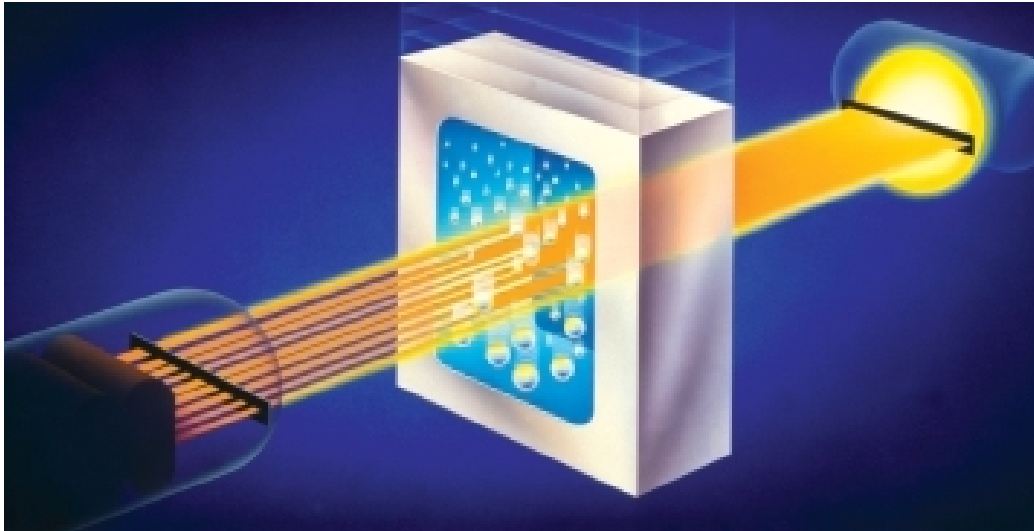
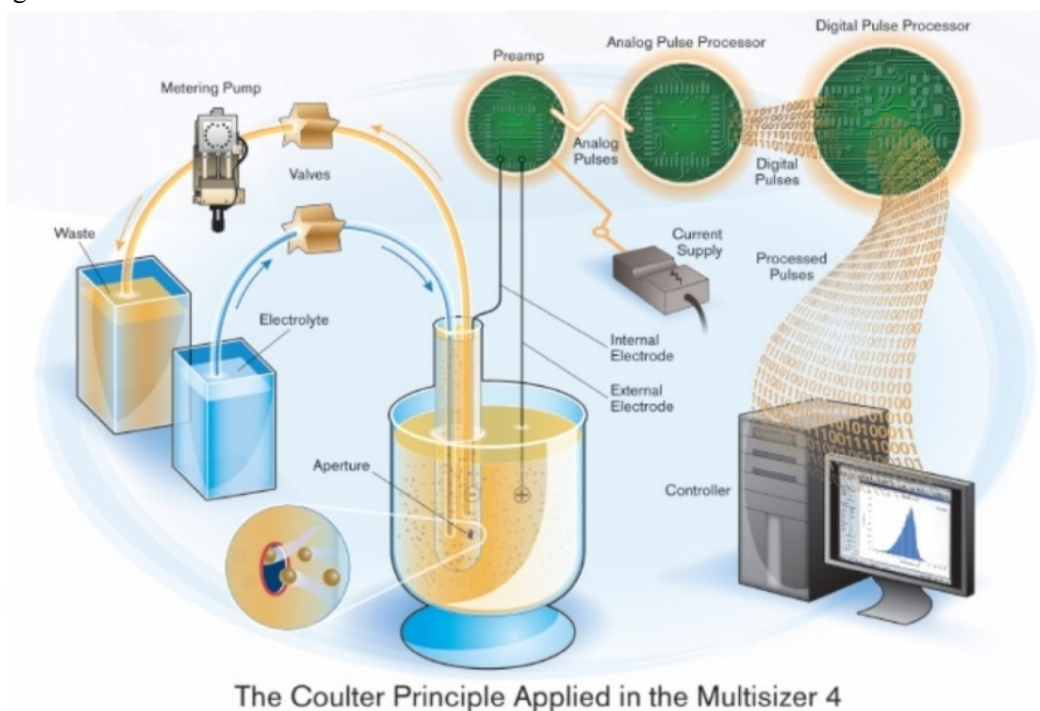


Abbildung 64: Messprinzip des Sedigraph (www.micrometrics.com)

D.3 COULTER COUNTER

Dieses Gerät zählt Ausschläge bei der Messung des elektrischen Widerstandes. Die Partikel müssen sich dazu in einer elektrolytischen Flüssigkeit befinden. Vom Probenbehälter werden die Partikel mittels Vakuumpumpe durch eine Düse (die Messöffnung) in einen anderen Behälter gesaugt. Die Düse entspricht der Öffnung, an der kontinuierlich der elektrische Widerstand gemessen wird. Beim Durchgang eines Partikels durch die Messöffnung verändert sich dort der elektrische Widerstand (in Form eines Ausschlages) der elektrolytischen Lösung. Der Ausschlag ist proportional zum Volumen zu sehen (Abbildung 65). Der Zusammenhang zwischen Ausschlag und äquivalenten sphärischen Volumen muss durch Kalibrierungsmessungen erhoben werden (Goossens, 2008). Die Umrechnung von Volumenverteilungen in Massenverteilungen erfolgt über die Sedimentdichte.



The Coulter Principle Applied in the Multisizer 4

Abbildung 65: Messprinzip Beckmann Multisizer (www.beckmancoulter.com)

D.4 LASERBEUGUNG

Partikel, die von einem Laserstrahl getroffen werden, beugen Licht in verschiedenen Winkeln, die umgekehrt proportional zu ihrer Größe sind, d.h. große Partikel beugen die Wellen in kleinen Winkeln und kleine Partikel in großen Winkeln. Die Beugung wird auf Detektoren in der Brennebene als Streulichtmuster abgebildet (Abbildung 66). An den Detektoren wird über die Verteilung der Streulichtmuster und den Beugungswinkeln die Korngröße (meist als Volumenanteil) eruiert (Goossens, 2008).

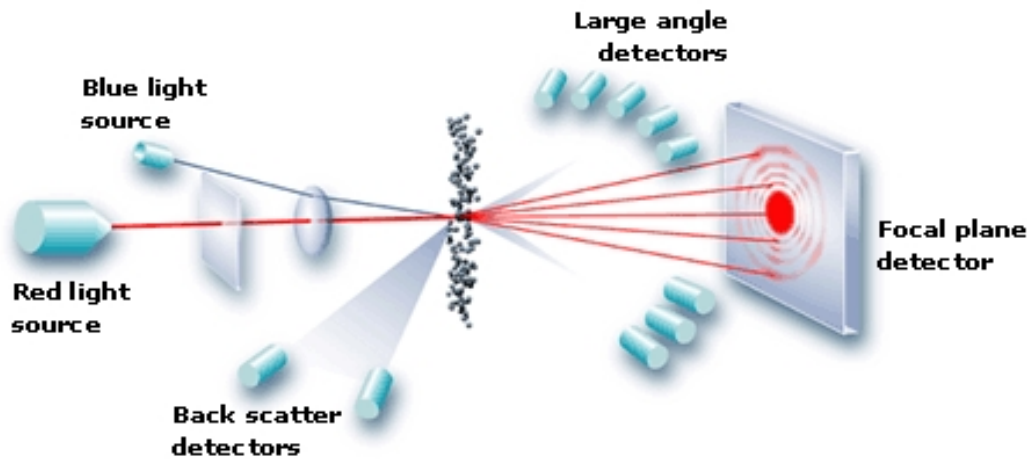


Abbildung 66: Prinzip der Laserpartikelzählung (www.particle.dk)

Neben der Korngrößenbestimmung durch Beugung gibt es auch die Möglichkeit, diese über die Reflexion zu erfassen. Ein Vergleich zwischen den beiden Methoden bestätigt der Beugungsmessung eine höhere Genauigkeit, insbesondere bei heterogenen Naturproben (Phillips et al., 1998). Ein großer Vorteil der Methode liegt in der Möglichkeit sie direkt vor Ort bei der Entnahme von Naturproben ohne Aufbereitung anzuwenden zu können (Agrawal et al., 1991).



**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH**

bmlfuw.gv.at

FÜR EIN LEBENSWERTES ÖSTERREICH.

UNSER ZIEL ist ein lebenswertes Österreich in einem starken Europa: mit reiner Luft, sauberem Wasser, einer vielfältigen Natur sowie sicheren, qualitativ hochwertigen und leistbaren Lebensmitteln. Dafür schaffen wir die bestmöglichen Voraussetzungen.

WIR ARBEITEN für sichere Lebensgrundlagen, eine nachhaltige Lebensart und verlässlichen Lebensschutz.



**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWERTES
ÖSTERREICH**