
ENDBERICHT
JULI 2004

Analyse des Hochwassers vom August 2002 (FLOODRISK)

WP: Donau

WP-Leader: MR DI Dr. Leo GRILL

TP1: SCHWEBSTOFFBILANZIERUNG IN DEN FREIEN FLIESSSTRECKEN

Projektleitung: Ao.Univ.Prof.DI Dr. H. Habersack

Projektbearbeitung: DI W. Kerschbaumsteiner
Dr. H. Habersack

Auftragnehmer



Institut für Wasserwirtschaft,
Hydrologie und Konstruktiven
Wasserbau

Department Wasser -
Atmosphäre - Umwelt

Universität für Bodenkultur
Wien

Auftraggeber

umweltbundesamt[®]

Umweltbundesamt GmbH



Bundesministerium für
Verkehr, Innovation
und Technologie

I. INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN	6
2	METHODIK	6
2.1	Schwebstoffbilanzierung	6
2.1.1	Analyse der Schwebstofffrachten	6
2.2	Erarbeitung von Möglichkeiten zur Verbesserung der Messmethodik	7
2.2.1	Erfassung der Schwebstoffkonzentration im Hochwasserfall	7
2.2.2	Erfassung der Vorlandablagerungen im Hochwasserfall	8
2.2.3	Zusammenfassung von Forschungsergebnissen zu akustischen und optischen Messinstrumenten und Vorschläge zur Verbesserung der Messmethodik und Verdichtung des Messnetzes	8
2.2.4	Durchführung eines Laborversuches mit dem Argus Surface Meter IV (ASM)	8
3	ERGEBNISSE	12
3.1	Schwebstoffbilanzierung für die freien Fließstrecken	12
3.1.1	Schwebstoffbilanzierung für die österreichischen Abschnitt der Donau	12
3.1.2	Bilanz für die Wachau	16
3.1.3	Bilanz für die Untere Donau	17
3.2	Erarbeitung von Möglichkeiten zur Verbesserung der Messmethodik	19
3.2.1	Erfassung der Schwebstoffkonzentrationen im Hochwasserfall inkl. Probennahme	19
3.2.2	Zusammenfassung von Forschungsergebnissen zu akustischen und optischen Messinstrumenten sowie Vorschläge zur Verbesserung der Messmethodik und Verdichtung des Messnetzes	29
3.2.3	Laserlichtbeugung	34
3.2.4	Laserreflexion	34
3.2.5	Akustische Methode	34
3.2.6	Differenzielle Druckmethode	35
3.3	Durchführung eines Laborversuches mit dem Sedimentationsmesser Argus Surface Meter IV (ASM).	35
3.3.1	Untersuchungsergebnisse zum Sedimentationsmessinstrument ASM IV	35
3.3.2	Untersuchungsergebnisse zum ASM	36
3.4	Methoden zur Erfassung der Vorlandablagerungen im Hochwasserfall	42
3.4.1	Erfassung von Ablagerungen mittels Airborne Laserscanning	42
3.4.2	Erfassung von Ablagerungen mittels Flächenkartierungen	45

3.4.3	Erfassung von Ablagerungsmächtigkeiten mittels „Schlammpegel“	45
4	LESSONS LEARNED	46
4.1	Erkenntnisse aus dem Hochwasser vom August 2002	46
4.2	Bestehende Defizite	46
4.3	Zukünftiger Handlungsbedarf	47
4.3.1	Planungsmethodik und Maßnahmen	47
4.3.2	Monitoring	47
4.3.3	Verbesserung des Prozessverständnisses	49
5	QUELLENVERZEICHNIS	50
6	ANHANG	53

II. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Versuchsanordnung zur Prüfung des ASM IV (Instrument in Bildmitte)	10
Abbildung 2: Gleichungssystem zur Schwebstoffbilanzierung an der österreichischen Donau	14
Abbildung 3: Zusammenstellung der Eingangsgrößen für die Schwebstoffbilanzierung der Donau	15
Abbildung 4: Querprofil des Pegel Kienstock (km 2015,21) auf Basis der Sohlgrundaufnahmen 06/02 und 09/02 (Datenquelle: WSD, 2003)	17
Abbildung 5: Schwebstoffmessstellen an der Donau im August 2002 (Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas Österreichs, 2003)	19
Abbildung 6: Schwebstofffrachten an den Messstellen (Regelentnahmen) für das Hochwasser vom August 2002 (Datenquelle WSD, 2003)	20
Abbildung 7: Anteil unterschiedlicher Schwebstoffquellen an den Bilanzierungspunkten (Quelle: TP 2 des WP Donau)	21
Abbildung 8: Vergleich Sondermessprogramm mit regulärem Messprogramm in Aschach für das Hochwasser 08/2002 (Datenquelle: WSD, 2003)	22
Abbildung 9: Vergleich Sondermessprogramm Jochenstein mit den Regelentnahmen in Engelhartzell für das Hochwasser 08/2002 (Datenquelle: WSD, 2003)	22
Abbildung 10: Vergleich Sondermessprogramm Jochenstein mit den Regelentnahmen in Engelhartzell für das Hochwasser 08/2002 unter Entfernung eines Extremwertes (Datenquelle: WSD, 2003)	23
Abbildung 11: Verhältnis zwischen mittlerem Schwebstoffgehalt über den Querschnitt und Schwebstoffgehalt am Ufer in Bezug zum Durchfluss (Datenquelle: WSD 1996)	24

Abbildung 12: Verhältnis zwischen mittlerem Schwebstoffgehalt über den Querschnitt und Schwebstoffgehalt am Ufer in Bezug zum mittleren Schwebstoffgehalt (Datenquelle: WSD 1996)	24
Abbildung 13: Vergleich identischer Schwebstoffproben bei sofortiger Auswertung bzw. nach 3 Wochen (Datenquelle WSD, 1996).	25
Abbildung 14: Empirischer Zusammenhang zwischen Schwebstoffkonzentration und Durchflussmenge bei der manuellen Regelentnahme in Aschach während des Hochwassers 2002.	28
Abbildung 15: Gemessene und simulierte Schwebstoffkonzentrationen samt Durchflusssganglinien für die Messstelle Aschach im August 2002 (Datengrundlage: WSD, 2002)	29
Abbildung 16: Vergleich von Konzentrationsmessungen durch Entnahme mit Trübungsmessung (Datengrundlage: AHP, 2004)	31
Abbildung 17: Paarweiser Vergleich von Messergebnissen aus Trübungssonde und Automatenentnahmen am Kraftwerk Ybbs für den Zeitraum Jänner 2004 (Datengrundlage: AHP, 2004)	32
Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Schwebstoffkonzentrationen (Automatenentnahme) und Durchflussmenge für die Messperiode Jän. 2004 am KW Ybbs-Persenbeug (Datenquelle: AHP, 2004)	32
Abbildung 19: Hysteresis der Schwebstoffkonzentration am Kraftwerk Ybbs für Jänner 2004 (Datengrundlage: AHP, 2004)	33
Abbildung 20: Abbildung und Prinzipskizze vom ARGUS Surface Meter (© ARGUS 20.05.03)	36
Abbildung 21: Ausgabegraphik der ASMA-Software für Versuch 1	37
Abbildung 22: Vergleich der Mittelwerte der Sensoren mit den Konzentrationen im Behälter für Versuch 1	37
Abbildung 23: Ausgabegraphik der ASMA-Software für Versuch 2	38
Abbildung 24: Vergleich der Mittelwerte der Sensoren mit den Konzentrationen im Behälter für Versuch 2	38
Abbildung 25: Ausgabegraphik der ASMA-Software für Versuch 5	39
Abbildung 26: Vergleich der Mittelwerte der Sensoren mit den Konzentrationen im Behälter für Versuch 5	39
Abbildung 27: Ausgabegraphik der ASMA-Software für Versuch 6	40
Abbildung 28: Vergleich der Mittelwerte der Sensoren mit den Konzentrationen im Behälter für Versuch 6	40
Abbildung 29: Aufzeichnung der Sedimentation durch das ASM IV unter Laborbedingungen	41
Abbildung 30: Vergleich der instrumentell ermittelten Sedimenthöhen mit den Kontrollmessungen	41
Abbildung 31: Ausschnitt aus der Differenzenkarte der Laserscanaufnahmen 2003 – 1999 (Datengrundlage: WSD, 2004)	44
Abbildung 32: Ausschnitt aus der Differenzenkarte der Laserscanaufnahmen 2003 – 1999 (Datengrundlage: WSD, 2004)	44

III. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zusammenstellung der technische Daten des ASM-IV	9
Tabelle 2: Versuchsanordnungen zum ASM-IV	11
Tabelle 3 Auflistung der Bilanzierungsgrößen der Donau	12

1 EINLEITUNG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN

Zur Erfassung des Schwebstofftransportes an der Donau betreiben die Wasserstraßendirektion sowie die Austrian Hydro Power AG (AHP) seit Jahrzehnten mehrere Probenahmestellen für Schwebstoffe verteilt über den österreichischen Flussabschnitt. Die Messungen werden einerseits als manuelle Einpunktmessungen zur Bestimmung des Schwebstoffgehaltes ausgeführt. Andererseits werden an den Kraftwerken jeweils Ein-Liter-Proben seit wenigen Jahren durch Entnahmeautomaten im Unterwasser des Trennpfeilers zwischen Wehranlage und Turbinenhaus gewonnen (Kölbl, 2004).

Es ist Ziel dieser Untersuchungen, den Schwebstoffhaushalt samt den abgelaufenen Prozessen für die Donau während des Hochwassers vom August 2002 in den freien Fließstrecken zu beschreiben. Dazu gehört eine Ursache-Wirkungsanalyse für die im Rahmen der Schwebstoffverlagerung auftretenden Prozesse, die Darstellung der zur Verfügung stehenden und im Rahmen dieses Projektes erhobenen Daten sowie das Aufzeigen von Defiziten bezüglich der Datengrundlage und des Prozessverständnisses. Des Weiteren werden die bestehenden Monitoring- und Analysemethoden dokumentiert, evaluiert und etwaige Defizite samt Verbesserungsvorschlägen erarbeitet.

In einer Zusammenschau sind die erzielten Ergebnisse so aufbereitet, dass damit die „Lessons learned“ abgeleitet werden können, die wiederum eine Grundlage für Entscheidungen in der Zukunft bilden.

2 METHODIK

2.1 Schwebstoffbilanzierung

Um Bilanzen aufstellen zu können, müssen entweder der Ausgangszustand und Endzustand oder sämtliche Ein- und Austräge in das System innerhalb eines bestimmten Zeithorizontes bekannt sein.

Da die unterschiedlichen Eingangsparameter mit variierenden Genauigkeitsgraden erhoben oder gar nur abgeschätzt werden können, wird die jeweilige Erhebungsmethode kurz beschrieben bzw. auf das jeweilig betroffene Teilprojekt verwiesen.

2.1.1 Analyse der Schwebstofffrachten

Auf Basis einer Zusammenstellung der Messergebnisse wird eine Übersicht der beim Hochwasser 2002 ermittelten Schwebstofffrachten gegeben.

In enger Kooperation mit dem Teilprojekt zwei des Workpackages Donau wird auf Basis von verschiedenen Gleichungssystemen, die den theoretischen Hintergrund für die Schwebstoffbilanzierung an definierten Stellen des österreichischen Donauabschnittes

bilden, ein Vergleich der Messergebnisse mit den anderen sich aus der Zusammenstellung ergebenden Parametern vorgenommen. Die gesamtheitlichen Betrachtungen erhärten nachvollziehbare Hinweise auf Fehlmessungen. Hierfür wurden Gründe hierfür ermittelt und Wege und Methoden einer eventuell nachträglichen Korrektur aufgezeigt. Des Weiteren wird ein paarweiser Vergleich zwischen den Ergebnissen der Sondermessprogramme und den entsprechenden Regelentnahmen vorgenommen. Dies betrifft die Messungen in Aschach sowie Jochenstein und Engelhartzell.

Eine vergleichende Zusammenstellung der Entnahme- und Analysetechnik für die einzelnen Schwebstoffmessstellen erleichtert die Interpretation und Analyse der Messergebnisse. Eine detaillierte Zusammenstellung der Schwebstoffmessstellen erfolgt im Anhang dieses Berichtes.

Einen wichtigen Parameter zur Bestimmung der Schwebstofffrachten stellen die Veränderungen der Stromsohle in den Stauräumen und freien Fließstrecken dar. Damit lassen sich Netto – Sedimentausträge und Netto – Einträge mit Einschränkungen abschätzen. Diese Einschränkungen bestehen darin, dass hier die gesamte Systemveränderung, also auch das Geschiebe in die Betrachtung integriert ist. Um nun die Trennung zwischen Schwebstoff- und Geschiebetransport herbeizuführen, können die gemessenen Schwebstofffrachten sowie repräsentative Kornverteilungskurven (schwebfähige Feinanteile) der Donausohle zur Abschätzung der entsprechenden Größenordnungen herangezogen werden. Auch durch die variable Ausdehnung der Echolotungen, die sich durch verschiedene Wasserstände sowie durch unzureichende Erfassung der Uferbereiche ergeben, folgen Schwierigkeiten bei der Bilanzierung.

Um diese Veränderung in den Vorländern quantifizieren zu können, müssten jeweils Geländemodelle, die durch terrestrische Aufnahmen, photogrammetrische Auswertungen oder Laserscanaufnahmen vor und nach dem Hochwasser erstellt werden, mit Echolotungen, die möglichst zur Zeit des Laserscanfluges gemessen wurden, verbunden werden, um so ein vollständiges Bild für den Zustand vor dem Hochwasser zu erhalten.

Anhand von Kartierungen und Angaben zu Ablagerungen in den Vorländern, die grundsätzlich möglichst flächendeckend vorliegen sollten, wurde versucht, Kubaturen, die auch als Eingangsgrößen für die Bilanz im Flussschlauch dienen, abzuschätzen. Hierzu fanden einerseits Laserscanaufnahmen vor und nach dem Ereignis Verwendung, andererseits auch Kartierungen, die von Hand auf topographischen Karten erstellt wurden.

2.2 Erarbeitung von Möglichkeiten zur Verbesserung der Messmethodik

2.2.1 Erfassung der Schwebstoffkonzentration im Hochwasserfall

Als Grundlage wurde die derzeitige Praxis der Probenentnahme an der Donau im Hochwasserfall (Sondermessprogramm und Routinemessungen) anhand der Messvorschriften, der Beschreibung des Entnahmeverfahrens sowie der Schöpfgeräte und –

stellen dokumentiert. Eine kurze Beschreibung der Laboranalytik ergänzte die Analyse des Ist-Zustandes. Grundlage für eine Evaluierung der EntnahmeprozEDUREN bildeten vergleichende Betrachtungen von Messergebnissen verschiedener Entnahmetechniken (z.B. Entnahmeautomat vs. Probengewinnung von Hand). Abschließend wurden Vorschläge zur eventuell notwendigen Verbesserung des Messkonzeptes bezüglich Entnahmetechnik (Automatisierung), Entnahmestellen (Repräsentativität) sowie zur Messnetzdichte zusammengestellt.

2.2.2 Erfassung der Vorlandablagerungen im Hochwasserfall

Hier wurden einzelne Methoden wie Airborne-Laserscan, terrestrische Aufnahme, Lattenpegel kurz beschrieben und auf ihre Eignung hin zum Zwecke der Dokumentation der Ablagerungen untersucht sowie etwaige Verbesserungsvorschläge erarbeitet.

Airborne-Laserscanning bietet die Möglichkeit, hochpräzise Geländemodelle durch eine Laserabtastung der Geländeoberfläche vom Flugzeug aus herzustellen. Auf diese Weise können große Landflächen in kurzer Zeit erfasst werden. Erfolgen derartige Aufnahmen vor und nach einem Hochwasserereignis, können morphodynamische Veränderungen in den Vorländern, die das Ausmaß der Erfassungsgenauigkeit von etwa +/- 15 cm (Schmid, 2004) übersteigen, quantitativ und qualitativ dokumentiert werden. Geometrieänderungen unterhalb des Wasserspiegels können mit diesem System nicht erfasst werden und erfordern somit ergänzende Messungen mittels geeigneten Messsystemen (z.B. Echolotung).

2.2.3 Zusammenfassung von Forschungsergebnissen zu akustischen und optischen Messinstrumenten und Vorschläge zur Verbesserung der Messmethodik und Verdichtung des Messnetzes

Anhand von Zitaten aus der Literatur und eigenen Forschungsergebnissen wurde eine Übersicht zu alternativen Messmethoden samt Vorschlägen zur verbesserten Erfassung von Schwebstoffkonzentrationen an Flüssen gegeben.

2.2.4 Durchführung eines Laborversuches mit dem Argus Surface Meter IV (ASM)

Im Rahmen eines Laborversuches wurde die Funktionsweise und Messgenauigkeit des ASM IV unter kontrollierten Bedingungen geprüft. Das Messinstrument arbeitet auf optischer Basis mit einer großen Anzahl an Sensoren, die in einer Reihe angeordnet sind und damit neben der zeitlichen auch eine räumliche Auflösung der Messungen bietet (Tabelle 1).

Das Messinstrument wurde primär für Messungen am Boden von bewegten Gewässern (Küste, Flüsse) entwickelt (ARGUS, 2004). Aufgezeichnet werden die vom Gerät ausgesendeten Lichtwellen im Infrarotbereich, die von im Wasser transportierten Schwebstoffen (Mehrphasengemisch) reflektiert werden.

Das Instrument arbeitet mit Infrarot-Streulicht Sensoren, die im Abstand von 1 cm, also 100 Stück/m, auf einem zylindrischen Edelstahlstab montiert und in eine glasklare Kunstharzschicht eingegossen sind.

Jeder der Sensoren besteht aus einem Infrarotemitter und einer Fotodiode, die die Intensität des reflektierten Lichtes registriert. Das von jeder optischen Einheit untersuchte Wasservolumen beträgt ca. 0,5 cm³ und befindet sich in einer Entfernung von 5 bis 10 mm vor dem Sensor.

Optische Filter verhindern eine Beeinträchtigung der Messergebnisse mit anderen Lichtquellen. Neben den optischen Signalen zeichnet das Gerät auch den Umgebungsdruck sowie die Temperatur des Gehäuses auf. Die Energieversorgung der Sensoren sowie der Recheneinheit sowie des Datenspeichers wird von 2 Stück 9V-Batterien bewerkstelligt. Die Betriebszeit ist von der Anzahl der Messungen pro Zeiteinheit abhängig.

Die Kommunikation und das Auslesen der Messdaten erfolgt über eine Infrarot-Schnittstelle mittels einer speziell für das Instrument erstellten Auswerte und Kalbriersoftware.

Tabelle 1: Zusammenstellung der technische Daten des ASM-IV

Messmethode	optisch
Sensoren	Infrarot-Streulicht-Fotometer
Abstand der Sensoren	10 mm
Anzahl der Sensoren	100 Stk. / m
Standardlänge des Instrumentes	2,4 m (Typ N)
Durchmesser der Sensoreinheit	32 mm
Durchmesser der Speichereinheit	60 mm
Länge der Messeinheit	1,44 m (144 Sensoren)
Messintervall	variabel
Probenintensität	1 bis 255 Proben pro s
Speicherkapazität	8 MB
Energieversorgung	2 Stk. Alkaline 9 V Blockbatterien
Speicherversorgung	CR 1220 Lithium 3 V Batterie
Gewicht	13 kg
zulässige Umgebungstemperatur:	-15° bis + 45° C
Maximale Installationstiefe:	40 m Wassertiefe

Anhand von Laborversuchen (kontrollierte Bedingungen) wurde geprüft, ob das Messinstrument imstande ist, bekannte Schwebstoffkonzentrationen sowie Sedimentationen für unterschiedliche Materialien zu reproduzieren.

Ein zylindrisches Gefäß wurde mit 400 l Wasser gefüllt und in definierten Zeitabständen (5 Minuten) die Schwebstoffkonzentration erhöht. Mittels Tauchpumpen und manuellem Rühren wurden Turbulenzen im Bottich erzeugt, die die Feststoffe in Schwebelage hielten (Abbildung 1). Während die Pumpen über den gesamten Zeitraum der Aufkonzentration in Betrieb sind, erfolgte der manuelle Rührvorgang nur jeweils in den ersten drei Minuten nach der Schwebstoffzugabe, sodass sich anschließend ein zweiminütiges Intervall lediglich mit Pumpbetrieb ergab. Standardmäßig wurde eine Konzentrationsreihe bei der Aufkonzentration eingehalten, damit die Vergleichbarkeit der Versuche gewährleistet blieb.



Abbildung 1: Versuchsanordnung zur Prüfung des ASM IV (Instrument in Bildmitte)

An Schwebstoffen wurden das Kaolin S 100 und OS 11 der Fa. Kamig, Schwertberg, sowie Schwebstoff aus der Donau eingesetzt. Das in Säcken gelieferte Kaolin wies einen Wassergehalt von $< 1\%$ auf, welcher damit im Rahmen des Versuches als vernachlässigbar angesehen wurde. Die Schwebstoffe aus der Donau wurden aus einem Altarm im Bereich der ehemaligen Werft Kornneuburg gewonnen, bei 105°C getrocknet und auf eine Korngröße von $0,2\text{ mm}$ abgesiebt.

Das Instrument wurde vom Hersteller für Kaolinsuspensionen kalibriert. Es standen somit 2 Kalibrierfiles ($0\text{-}1\text{g/l}$ bzw. $0\text{-}10\text{g/l}$ Kaolin S100) zur Verfügung.

Fragestellungen, die durch folgende Versuchsanordnungen geklärt werden sollten, sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Versuchsanordnungen zum ASM-IV

Versuchsnummer	Verwendeter Schwebstoff	Verwendetes Kalibrierfile		Konzentrationsbereich [g/l]
		Kaolin S100 0-1 [g/l]	Kaolin S100 0-10 [g/l]	
1	Kaolin S100	X		0 – 1 [g/l]
2	Kaolin S100		X	0 – 10 [g/l]
3	Kaolin OS11	X		0 – 1 [g/l]
4	Kaolin OS11		X	0 – 10 [g/l]
5	Donau-Schwebstoff	X		0 – 1 [g/l]
6	Donau-Schwebstoff		X	0 – 10 [g/l]

Neben den Versuchen zur Schwebstoffkonzentration wurde noch durch die Zugabe von Sand mit einer Körnung von 0 bis 6 mm eine Anlandung im Bereich des Gerätes simuliert. Dieser Versuch (Nr. 7) prüfte, ob das Messinstrument derartige Veränderungen in einer Flusssohle zu registrieren vermag. Nach der jeweiligen Sandzugabe im Behälter wurde die Ablagerungstiefe mittels Zollstab gemessen und anschließend mit den entsprechenden Messergebnissen verglichen.

3 ERGEBNISSE

3.1 Schwebstoffbilanzierung für die freien Fließstrecken

3.1.1 Schwebstoffbilanzierung für den österreichischen Abschnitt der Donau

Im Rahmen der Schwebstoffbilanz wurden die einflussnehmenden Parameter zu einem Gleichungssystem so zusammengestellt, dass die jeweiligen Ergebnisse mit den Resultaten für die Schwebstoffmessstellen vergleichbar wurden. Die Parameter samt den Messungen wurden in der Tabelle 3 in Zusammenarbeit mit dem TP 2 organisiert. Unter Eintrag wird die Mobilisierung von Sedimenten in Stauräumen und die Schwebstofffracht von Zubringern verstanden. Der Begriff Austrag umfasst die „Entfernung“ von Schwebstoffen aus der fließenden Suspension durch Ablagerung in den Vorländern oder die Deposition in Stauräumen.

Tabelle 3 Auflistung der Bilanzierungsgrößen der Donau

Bilanzgröße	Zeichen vgl. Abbildung 3	Eintrag [Mio. t]	Austrag [Mio. t]	Laufende Summe	Differenz zu den Messergebnissen [Mio. t] * Messergebnis
Donau-Jochenstein	I_D/I_{Asch}	--	--	3.15	0.05 (3.2)*
Zwischeneinzugsgebiet Aschach	Z_{Asch}	0.05	--	3.20	--
Abtrag Stauraum Aschach	$B_{Asch-ab}$	8.59	--	11.79	--
Anlandung Stauraum Aschach	$B_{Asch-an}$	--	0.49	11.30	--
Messstelle KW Aschach (Regelentnahme d. WSV)	M_{Asch}	--	--	11.30	0.2 (11.5)*
Ablagerungen Eferdinger Becken	V_{Efer}	--	0.59	10.71	--
Zwischeneinzugsgebiet Ottensheim	Z_{Ott}	0.10	--	10.81	
Abtrag Stauraum Ottensheim	B_{Ott-ab}	0.53		11.34	
Anlandung Stauraum Ottensheim	Z_{Ott-an}	--	5.00	6.34	
Messstelle Linz	M_{Linz}	--	--	6.34	1.54 (4.8)*
Zubringer Traun	Z_T	0.05	--	6.39	
Abtrag Stauraum Abwinden	B_{AbA-ab}	1.33	--	7.72	
Anlandung Stauraum Abwinden	B_{AbA-an}	--	0.79	6.93	
Messstelle KW Abwinden	M_{AbA}			6.93	0.47 (7.4)*

Ablagerung UW Abwinden	V _{UW} AbA		1.26	5.67	
Zubringer Aist, Naarn, Gusen	Z _N	0.14	--	5.81	
Zubringer Enns	Z _E	0.9	--	6.71	
Ablagerungen Bereich Überströmstrecke	V _{ÜStstr}	--	0.67	6.04	
Abtrag Stauraum Wallsee	B _{Wall-ab}	1.26	--	7.30	
Anlandung Stauraum Wallsee	B _{Wall-an}	--	0.72	6.58	
Messstelle KW Wallsee	M _{Wall}	--	--	6.58	0.22 (6.8)*
Ablagerungen Machland-Nord	V _{MachN}	--	2.04	4.54	
Ablagerungen Machland-Süd	V _{MachS}	--	1.14	3.40	
Abtrag Stauraum Ybbs	B _{Ybbs-ab}	1.99	--	5.39	
Anlandung Stauraum Ybbs	B _{Ybbs-an}	--	0.98	4.41	
Zubringer Ybbs, Erlauf	Z _{YE}	0.10	--	4.51	
Abtrag Stauraum Melk	B _{Melk-ab}	1.57	--	6.08	
Anlandung Stauraum Melk	B _{Melk-an}	--	0.54	5.54	
Ablagerung Wachau	V _{Wach}	--	0.50	5.04	
Messstelle Krems	M _{Krems}			5.04	0.26 (5.3)*
Abtrag Stauraum Altenwörth	B _{Aw-ab}	0.94	--	5.98	
Anlandung Stauraum Altenwörth	B _{Aw-an}	--	0.47	5.51	
Ablagerungen Vorland Altenwörth	V _{Aw}	--	0.10	5.41	
Messstelle KW Altenwörth	M _{Aw}			5.41	3.29 (8.7)*
Zubringer Kamp, Krems, Traisen, Gr. Tulln	Z _{KT}	0.30	--	5.71	
Ablagerungen Tullnerfeld	V _{TN}		0.89	4.82	
Abtrag Stauraum Greifenstein	B _{GS-ab}	3.24	--	8.06	
Anlandung Stauraum Greifenstein	B _{GS-an}	--	0.75	7.31	
Abtrag Stauraum Freudenau	B _{Fr-an}	1.05		8.36	
Anlandung Stauraum Freudenau	B _{Fr-ab}	--	0.78	7.58	
Messstelle KW Freudenau	M _{Fr}			7.58	4.32 (11.9)*
Schwechat, Fische	Z _{SF}	0.01	--	7.59	
Ablagerungen Untere Donau	V _{UD}		0.80	6.79	
Messstelle Bad Deutsch-Altenburg	M _{BDA}			6.79	0.49 (6.3)*

Kraftwerk Aschach – WSV

$$M_{\text{Asch}} = I_D / I_{\text{Asch}} + B_{\text{Asch}} + Z_{\text{Asch}}$$

Messstelle Linz

$$M_{\text{Linz}} = M_{\text{Asch}}^* + V_{\text{Efer}} + B_{\text{Ott}} + Z_{\text{Ott}}$$

Kraftwerk Abwinden-Asten

$$M_{\text{Aba}} = M_{\text{Linz}}^* + Z_T + B_{\text{AbA}}$$

Kraftwerk Wallsee-Mitterkirchen

$$M_{\text{Wall}} = M_{\text{Aba}}^* + Z_N + Z_E + V_{\text{UW AbA}} + V_{\text{ÜStstr}} + B_{\text{Wall}}$$

Messstelle WSV- Krems

$$M_{\text{Krems}} = M_{\text{Wall}}^* + V_{\text{MachN}} + V_{\text{MachS}} + B_{\text{Ybbs}} + Z_{\text{YE}} + B_{\text{Melk}} + V_{\text{Wach}}$$

Kraftwerk Altenwörth

$$M_{\text{Aw}} = M_{\text{Krems}}^* + B_{\text{Aw}} + V_{\text{Aw}}$$

Kraftwerk Freudenau

$$M_{\text{Fr}} = M_{\text{Aw}}^* + Z_{\text{KT}} + V_{\text{TN}} + B_{\text{Aw}} + B_{\text{Fr}}$$

Messstelle Bad Deutsch-Altenburg

$$M_{\text{BDA}} = M_{\text{Fr}}^* + Z_{\text{SF}} + V_{\text{UD}}$$

* Zur Bilanzierung werden die laufenden Summen und nicht die Ergebnisse der Schwebstoffmessung herangezogen

Abbildung 2: Gleichungssystem zur Schwebstoffbilanzierung an der österreichischen Donau

Zuflüsse und Zwischeneinzugsgebiete

I_D/I_{Asch}	Input in österreichische Donau
Z_{Asch}	Aschach-Zwischeneinzugsgebiet
Z_{Ott}	Ottensheim-Zwischeneinzugsgebiet
Z_T	Traun
Z_N	Gusen, Aist, Naarn
Z_E	Enns
Z_{YE}	Ybbs, Erlauf
Z_{KT}	Kamp, Krems, Traisen, Gr. Tulln
Z_{SF}	Schwechat, Fischa

Stauräume (Nettoveränderungen: Anlandung – Abtrag)

B_{Asch}	Stauraum Aschach
B_{Ott}	Stauraum Ottensheim-Wilhering
B_{AbA}	Stauraum Abwinden-Asten
B_{Wall}	Stauraum Wallsee-Mitterkirchen
B_{Ybbs}	Stauraum Ybbs-Persenbeug
B_{Melk}	Stauraum Melk
B_{Aw}	Stauraum Altenwörth
B_{Gs}	Stauraum Greifenstein
B_{Fr}	Stauraum Freudenau

Ablagerungsbereiche

V_{Efer}	Ablagerungsbereich Eferdinger Becken
$V_{UW\ AbA}$	Ablagerung Unterwasser Abwinden
$V_{ÜStstr}$	Ablagerung Überströmstrecke Wallsee
V_{MachN}	Ablagerungsbereich Machland-Nord
V_{MachS}	Ablagerungsbereich Machland-Süd
V_{Wach}	Ablagerung Wachau
V_{TN}	Ablagerungsbereich Tullnerfeld-Nord
V_{UD}	Ablagerungsbereich Untere Donau
V_{Aw}	Ablagerung Altenwörth Vorland

Schwebstoffmessstellen und Querschnitte der Bilanzierung

M_J	Messstelle Jochenstein
M_E	Messstelle Engelhartzell
M_{Asch}	Messstelle KW Aschach / WSD Aschach
M_{Linz}	Messstelle Linz
M_{Aba}	Messstelle KW Abwinden-Asten
M_{Wall}	Messstelle KW Wallsee- Mitterkirchen
M_{Krems}	Messstelle WSV Krems
M_{Aw}	Messstelle KW Altenwörth
M_{Fr}	Messstelle KW Freudenau
M_{BDA}	Messstelle Bad D. Altenburg

Abbildung 3: Zusammenstellung der Eingangsgrößen für die Schwebstoffbilanzierung der Donau

3.1.2 Bilanz für die Wachau

Aufgrund der fehlenden Schwebstoffmessungen bei den Kraftwerken Ybbs und Melk während des Hochwasserereignisses vom August 2002 muss die gesamte Fließstrecke zwischen dem Kraftwerk Wallsee-Mitterkirchen und der Messstelle der WSV-Krems in die Betrachtungen für die Wachau miteinbezogen werden. Eine Zusammenstellung der maßgebenden Größen erfolgt in Tabelle 3.

Die laufende Summe im Querschnitt des Kraftwerkes Wallsee ergibt sich aus einer vorangegangenen Bilanzierung des flussaufwärts liegenden Donauabschnittes. Hierbei ergibt sich eine Frachtdifferenz zwischen Bilanz und Messung von -0,22 Mio. t. Auch der Vergleich in Krems zwischen der Bilanz und den Messungen weist ebenfalls eine Differenz von - 0,26 Mio. t aus.

Mangels flächiger Ablagerungskartierungen bzw. einer ausreichend genauen Laserscanbefliegung unmittelbar vor und nach dem Hochwasserereignis stehen lediglich Aufnahmen von Schwebstoffablagerungen auf öffentlichen Flächen einzelner Wachaugemeinden zur Verfügung. Erosionen wurden nicht dokumentiert und können daher nicht als Eingangsgröße in die Bilanzierung eingehen. Siebanalysen von Sohlenmaterial der Donau in den freien Fließstrecken haben gezeigt, dass der Anteil an schwebfähigen Korngrößen nur wenige Prozent beträgt und bei den umgelagerten Kubaturen vom Sohlmaterial im Vergleich zur Schwebstoffgesamtfracht eine vernachlässigbare Größe darstellt.

Anhand topografischer Karten und der Anschlaglinien vom Hochwasser 2002 (AHP, 2003) wurde für jede Wachaugemeinde die überflutete Landfläche ermittelt und mit der jeweils mittleren Ablagerungsmächtigkeiten (Gemeindeangaben) multipliziert, um die Ablagerungskubaturen zu ermitteln. Aus dieser Abschätzung ergäbe sich eine theoretische Gesamtablagerung von 2-3 Mio. t, die grundsätzlich in der Schwebstoffbilanzierung zu berücksichtigen wäre. Einschränkend muss jedoch festgestellt werden, dass es in der Wachau gängige Praxis ist, abgelagerten Schlamm mit Rückgang des Wasserspiegels so gut wie möglich mittels schwerem Gerät und dem Einsatz von Wasser wieder in den Fluss zu befördern bzw. zu spülen. Es ist daher der noch während des Ereignisses zurückbeförderte Anteil an den Ablagerungen bei der Frachtberechnung des Ereignisses entsprechend zu berücksichtigen. Mangels genauerer Daten (es gab keine mit dem Machland vergleichbaren Schätzkommissionen) wird als plausibler Schätzwert von einem entgültig abgelagerten Schlammvolumen von etwa 0,4 Mio. m³ (0,5 Mio. t) ausgegangen, was einer mittleren Ablagerungstiefe von etwa 0,035 m entspricht. Im Vergleich dazu wurden im Machland im Mittel etwa 0,1 m Schlamm abgelagert.

Überdies wurde anhand des Querprofils beim Pegel Kienstock (km 2015,21) die Schwebstofffracht im Vorland abgeschätzt (Abbildung 4). Der Anteil der überschlägig ermittelten Abflussfracht im Vorland im Vergleich zur Gesamtfracht des Ereignisses betrug etwa 0,7 % für den Bereich Kienstock. Bei Übertragung dieses Verhältnisses auf die kumulierte Schwebstofffracht ergab sich eine potenziell mögliche Ablagerungsmenge von

etwa 60.000 to. Dieser Wert erschien im Vergleich zu den Angaben der Wachaugemeinden sehr gering zu sein, erklärte sich jedoch aus dem kompakten Profil in Kienstock und der damit verbundenen relativ geringen Überflutungsdauer des Vorlandes. In anderen Abschnitten der Wachau existieren wesentlich breitere Vorländer, die sich hydraulisch unterschiedlich verhalten. Es sind dort auch andere Bedingungen für die Schwebstoffablagerungen zu erwarten. Aussagen dazu setzen jedoch eine detaillierte Betrachtung anhand von hydraulischen Simulationen voraus.

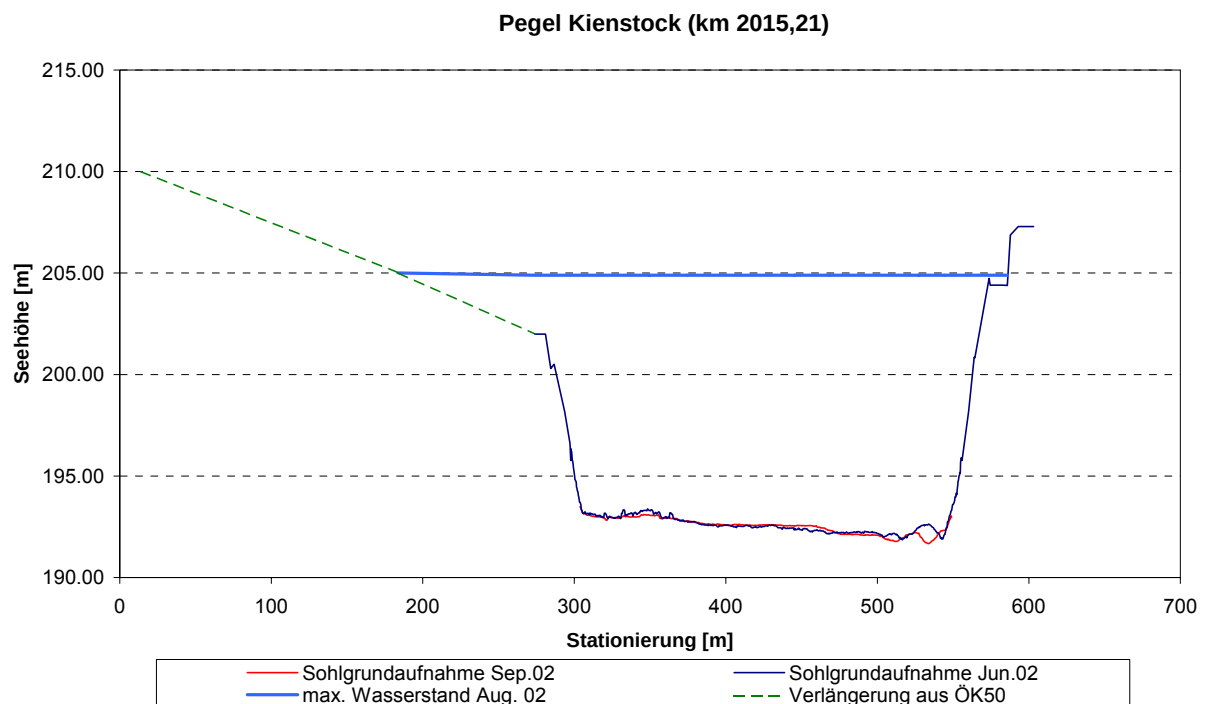


Abbildung 4: Querprofil des Pegels Kienstock (km 2015,21) auf Basis der Sohlgrundaufnahmen 06/02 und 09/02 (Datenquelle: WSD, 2003)

3.1.3 Bilanz für die Untere Donau

Die Bilanzierung der Schwebstoffe für die Untere Donau ist anhand der derzeit verfügbaren Datenbasis mit relativ großen Unsicherheiten behaftet, zumal für die freie Fließstrecke zwischen dem Kraftwerk Freudenu und der Staatsgrenze keine flächigen Ablagerungskartierungen zur Verfügung stehen. Da terrestrische Aufnahmen in den Vorländern aus Kostengründen ausfielen, war vorgesehen, anhand von Laserscanaufnahmen aus den Jahren 1999 und 2003, die für den Bereich Donau km 1981 bis km 1991 erstellt wurden, Ablagerungskubaturen mittels einer Differenzenkarte für den gegenständlichen Abschnitt abzuschätzen. Die Auswertungen der Unterlagen bzw. die Erhebung der Entstehungsgeschichte der beiden Laserscanflüge ergab, dass derartige Aussagen aus den beiden Laserscanaufnahmen aufgrund von zahlreichen Schwierigkeiten, die im Kapitel Messtechnik behandelt werden, nur qualitativ möglich sind.

Die Differenz zwischen der errechneten Frachtbilanz für den Gesamtquerschnitt beim Kraftwerk Freudenu und den Messergebnissen beträgt etwa 4,3 Mio. t und signalisiert damit einen weiteren Unsicherheitsfaktor. Frachtberechnungen für die Zuflüsse Schwechat und Fischa stehen ebenfalls nicht zur Verfügung. Hier wurde eine Abschätzung anhand eines Vergleiches der Einzugsgebietsgrößen mit Flüssen, für die eine dokumentierte Schwebstofffracht zur Verfügung steht, vorgenommen.

Die Überflutungsfläche beim Hochwasser 2002 beträgt ca. 6900 ha. Daraus ergäbe sich bei einer Ablagerungsmenge von 2 Mio. t und einer Lagerungsdichte von 1,2 t/m³ eine mittlere Sedimentationsmächtigkeit von 3,5 cm.

An der Donaubrücke Hainburg wurden bei den Hochwässern im März und August 2002 eine respektive zwei Flügelmessungen durchgeführt (vgl. TP 4 des WP Donau). Anhand dieser Messungen wurde die Aufteilung des Durchflusses auf den Flussschlauch und die Vorländer vorgenommen und damit die Feststofffracht, die im Vorland im Bereich von Hainburg transportiert wurde, ermittelt. Dies geschah unter der vorläufigen Annahme, dass die Schwebstoffkonzentrationen denen der Messstelle Bad Deutsch-Altenburg entsprechen und über den gesamten Fließquerschnitt gleich verteilt sind. Die Vorlandfracht ergab sich mit etwa 540.000 t und entspricht 8,6% (Anteil des Vorlandes an der Gesamtdurchflussfracht) von den gemessenen 6,3 Mio. t in Bad Deutsch-Altenburg. Es wurde nun angenommen, dass im Bereich unterhalb des Kraftwerkes Freudenu die Aufteilung der Durchflüsse und damit die Schwebstofffrachten in gleicher Weise (8,6 % im Vorland) erfolgt ist. Bei einer gemessenen Gesamtfracht von 11,9 Mio. t errechnet sich eine Vorlandfracht an Schwebstoffen von ca. 1,0 Mio. t. Aus dieser Bilanzierung kann vorläufig geschlossen werden, dass etwa 460.000 t in den Vorländern der unteren Donau abgelagert wurden. Die Konzentrationsdaten wurden sowohl in Freudenu als auch in Bad Deutsch-Altenburg in Flussmitte ermittelt. Die gemessenen Geschwindigkeiten in den Vorländern betrugen 0,5 m/s, während im Flussschlauch bei den Hochwässern etwa 2,5 m/s ermittelt wurden (TP 4 des Workpackage Donau). Nach Kresser (1964) entsprechen den mittleren Fließgeschwindigkeiten Grenzkorndurchmesser von 0,07 mm in den Vorländern und 1,8 mm im Flussschlauch. Dies lässt den Schluss zu, dass auf der Fließstrecke zwischen Freudenu und Hainburg die Schwebstoffkonzentration in den Vorländern wesentlich stärker abnahm als im Flussschlauch selbst. Im Bereich flussabwärts von Freudenu wurde von einer guten Durchmischung der Neuen Donau mit dem Durchfluss durch das Kraftwerk ausgegangen, die sich auch in Richtung der Vorländer ausdehnte und damit hohe Schwebstoffkonzentrationen in der Au verursachten. Es wurde daher angenommen, dass die Ablagerungen beträchtlich höher als die ursprünglich errechneten waren und somit im Bereich von 600.000 – 900.000 t liegen dürften.

Alternativ zur Konzentrationsmessung wurde versucht, die Differenzenkarte aus den beiden Laserscanaufnahmen 2003 und 1999 (Abbildung 31 und Abbildung 32) auszuwerten. Hier wurden ufernahe Bereiche, die von der Vegetation weniger beeinflusst sind, abgegrenzt, negative Differenzen, die Abtrag quantifizieren gefiltert und entfernt. Anhand der mittleren Differenz und der Fläche ließ sich eine Ablagerungsmenge von etwa 290.000 t ableiten. Da

die betrachtete Fläche lediglich etwa 1/3 des Abschnittes der Unteren Donau umfasste, muss von einer Ablagerungsmenge von etwa 800.000 t gerechnet werden.

Es war somit eine gewisse Übereinstimmung der beiden unterschiedlichen Zugänge zu erzielen.

3.2 Erarbeitung von Möglichkeiten zur Verbesserung der Messmethodik

3.2.1 Erfassung der Schwebstoffkonzentrationen im Hochwasserfall inkl. Probennahme

Basis der Untersuchungen bildet die tabellarische Zusammenstellung der Schwebstoffmessstellen an der Donau mit ihren unterschiedlichen Entnahmemethoden im Anhang. Die Zusammenstellung der gemessenen Schwebstoffkonzentrationen in Form von errechneten Schwebstofffrachten erfolgt in Abbildung 6

Abbildung 5 stellt die geographischen Positionen der Schwebstoffmessstellen im österreichischen Abschnitt der Donau dar.

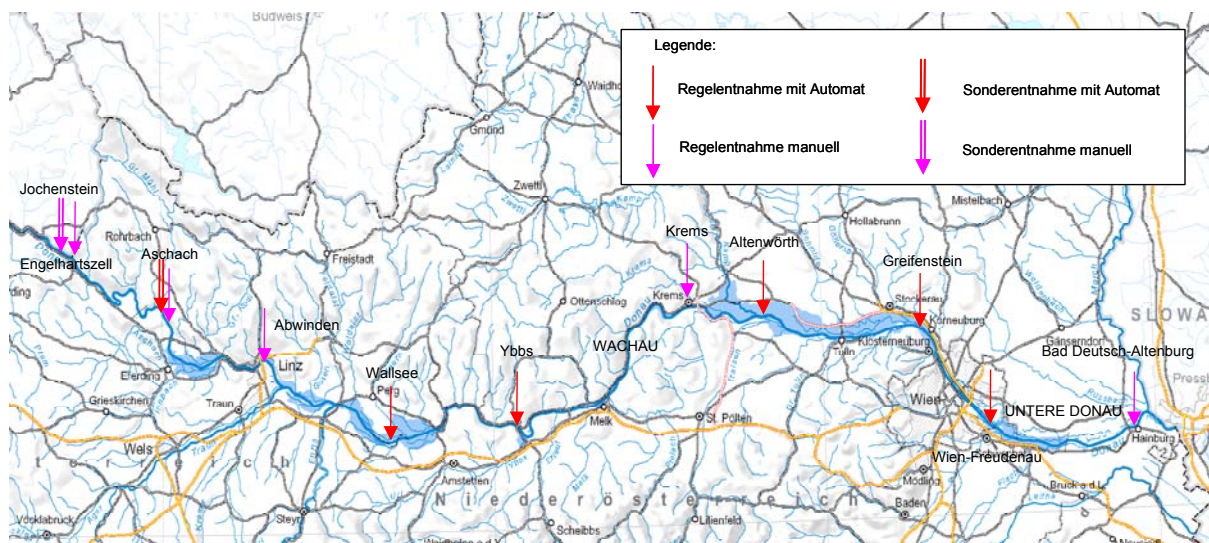


Abbildung 5: Schwebstoffmessstellen an der Donau im August 2002 (Kartengrundlage: Hydrologischer Atlas Österreichs, 2003)

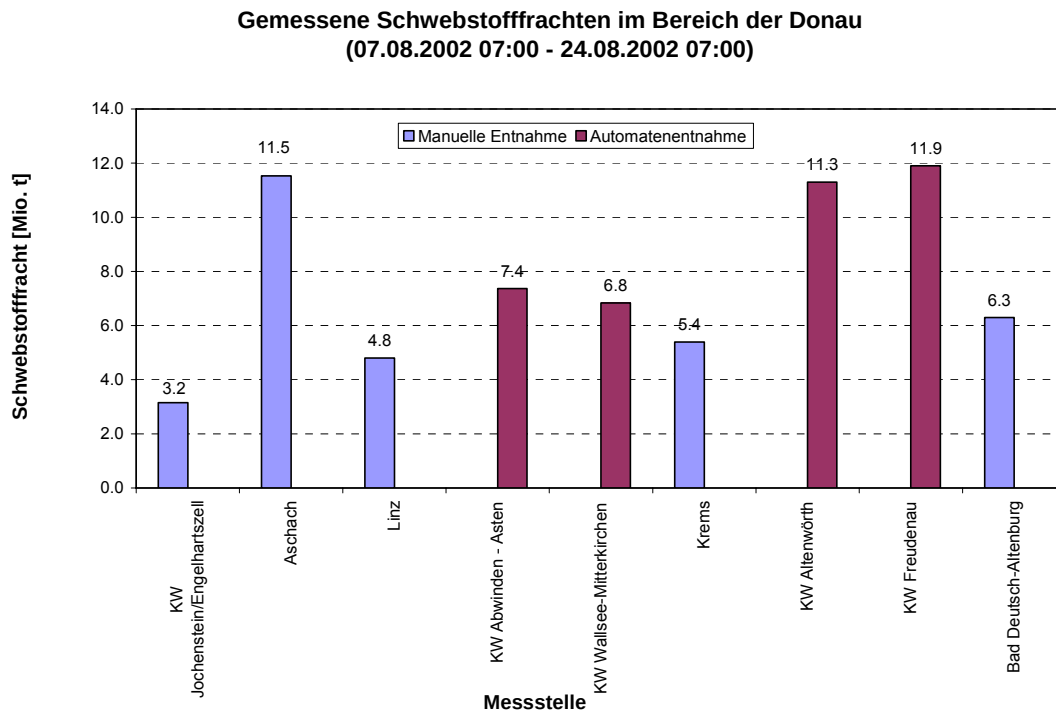


Abbildung 6: Schwebstofffrachten an den Messstellen (Regelentnahmen) für das Hochwasser vom August 2002 (Datenquelle WSD, 2003)

In Aschach und Jochenstein bestehen neben den regulären Messprogrammen noch Regelungen zur intensivierten Erfassung von Schwebstoffkonzentrationen im Hochwasserfall. Diese sind unter dem Begriff „Sondermessprogramm“ bekannt und sehen Probenentnahmen (Einpunktmessungen) im zweistündigen Rhythmus vor, während die regulären Messstellen im Hochwasserfall 4 mal täglich beprobt werden.

Die Zusammenstellung der abschnittsweisen Anteile der einzelnen Schwebstoffquellen an der Gesamtfracht gibt die Abbildung 7 wieder. Hieraus lassen sich die erforderlichen Genauigkeiten für die jeweilige Parameterermittlung ableiten. Diese hängt einerseits von der Bedeutung der jeweiligen Schwebstoffquelle für den betrachteten Bilanzierungsquerschnitt aber auch von den generell erforderlichen Aussagegenauigkeiten ab.

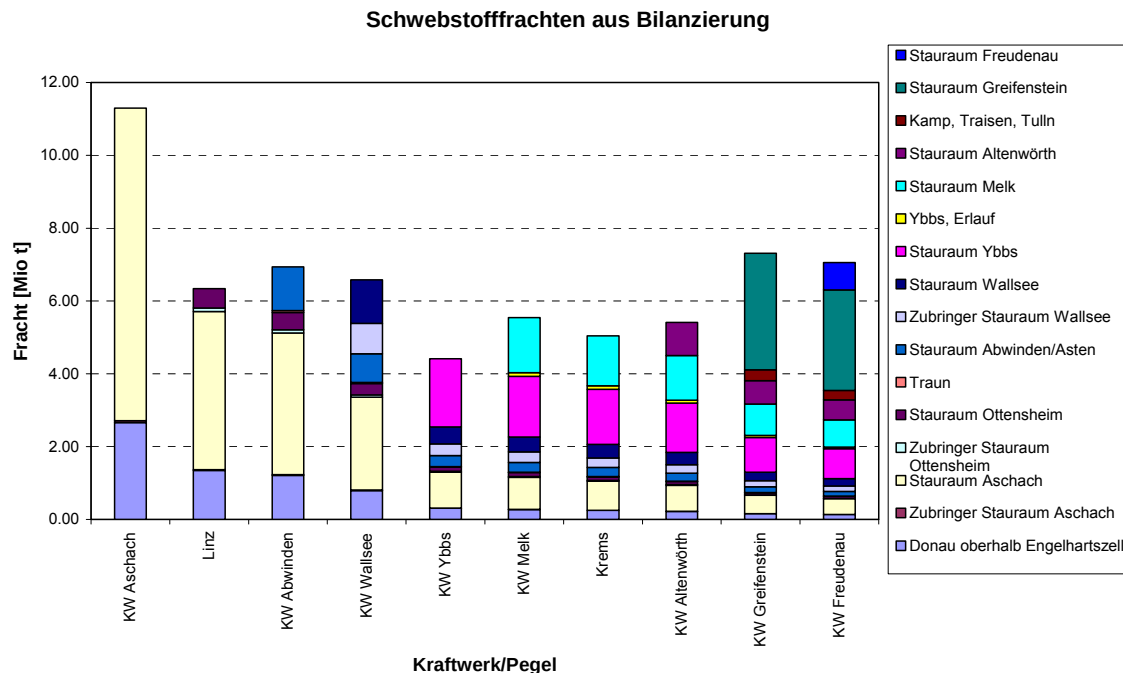


Abbildung 7: Anteil unterschiedlicher Schwebstoffquellen an den Bilanzierungspunkten (Quelle: TP 2 des WP Donau)

Ein Vergleich der Schwebstoffkonzentrationen zeitgleich entnommener Proben im Rahmen der regulären Messungen bei der WSV Aschach und dem Sondermessprogramm beim Kraftwerk Aschach ergab, dass sich die Automatenentnahme beim Kraftwerk (km 2162,67) systematisch von der Flaschenentnahme durch die WSV in Aschach (km 2161,27) unterscheidet. Abbildung 8 zeigt diesen Umstand sehr deutlich. Die Automatenentnahmen aus dem Gehäuse der Eigenbedarfsturbine im Rahmen des Sondermessprogrammes dürften die Messergebnisse in bedeutender Weise beeinflusst haben. Im Februar 2004 wurde die Entnahmestelle an den Trennpfeiler zwischen Wehranlage und Turbinenhaus verlegt. Erste Ergebnisse, die Rückschlüsse auf die Wirkung der veränderten Entnahmestelle zulassen, liegen derzeit noch nicht vor. Abbildung 9 zeigt den paarweisen Vergleich zwischen den Sonderentnahmen in Jochenstein und den Regelentnahmen in Engelhartzell. Hier konnten vergleichbare Ergebnisse erzielt werden, wenn ein Extremwert nicht in die Betrachtungen miteinbezogen wurde (Abbildung 10).

**Paarweiser Vergleich Aschach: Sonderentnahmen (Automat) mit manuellen
Regelentnahmen im August 2002**

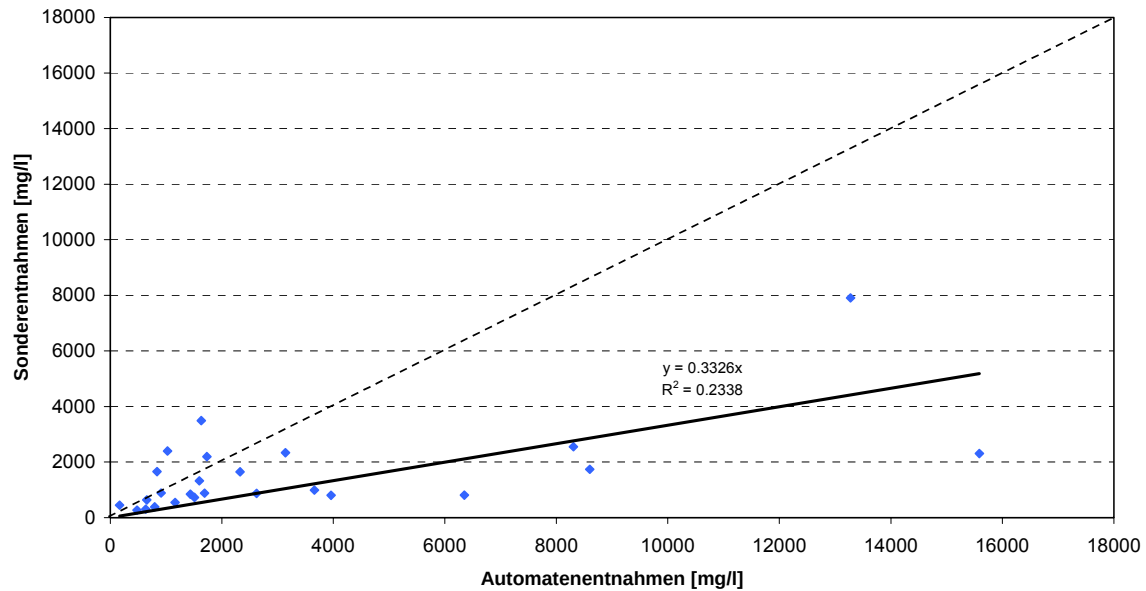


Abbildung 8: Vergleich Sondermessprogramm mit regulärem Messprogramm in Aschach für das Hochwasser 08/2002 (Datenquelle: WSD, 2003)

Paarweiser Vergleich Jochenstein - Engelhartzell für Aug. 2002

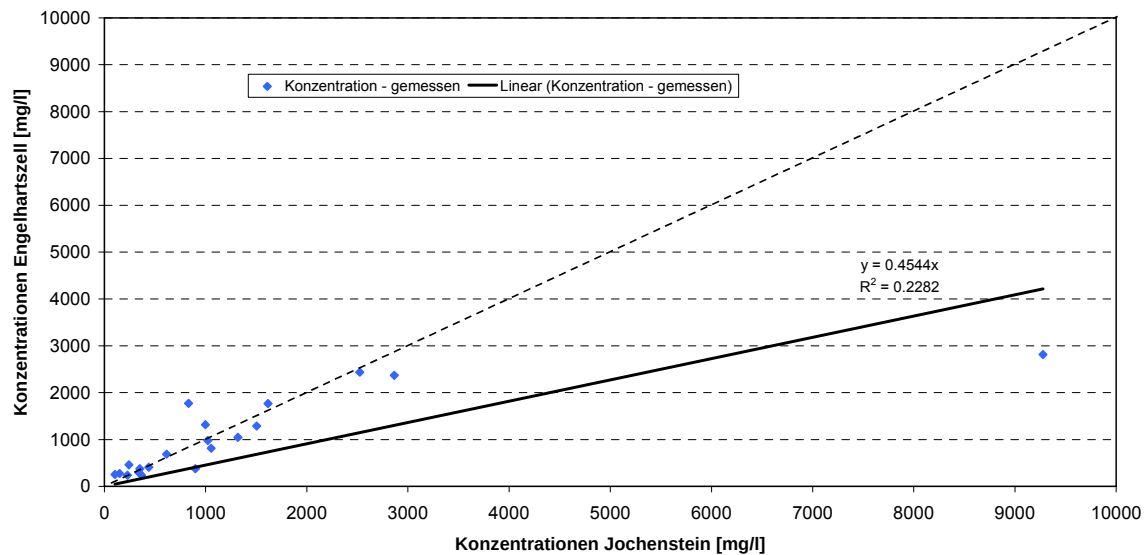


Abbildung 9: Vergleich Sondermessprogramm Jochenstein mit den Regelentnahmen in Engelhartzell für das Hochwasser 08/2002 (Datenquelle: WSD, 2003)

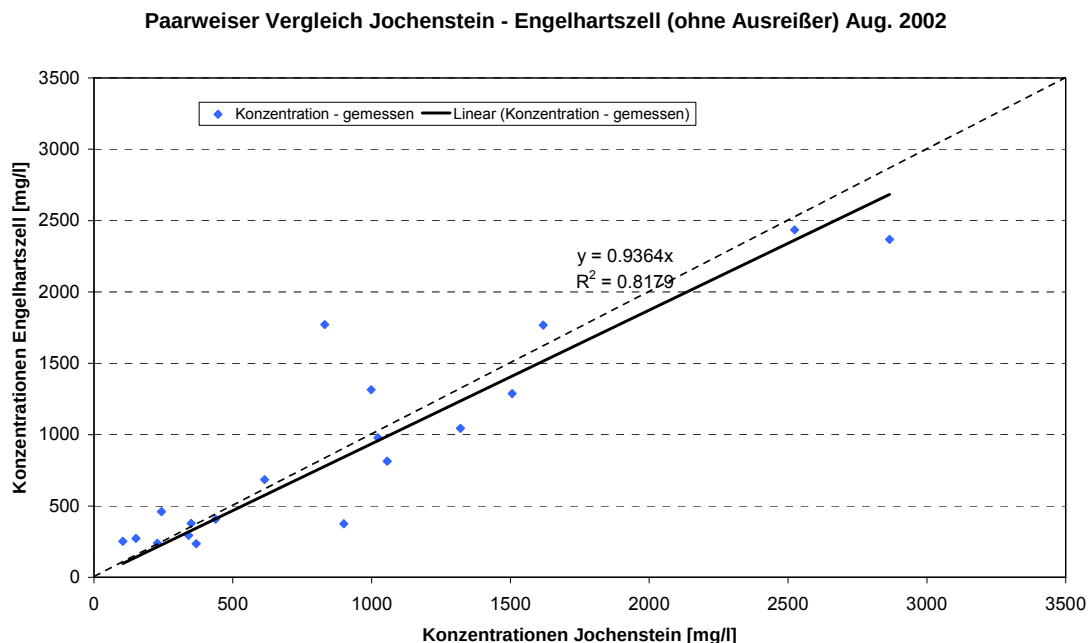


Abbildung 10: Vergleich Sondermessprogramm Jochenstein mit den Regelentnahmen in Engelhartzell für das Hochwasser 08/2002 unter Entfernung eines Extremwertes (Datenquelle: WSD, 2003)

Wie in den Abbildung 5 und Abbildung 6 zu sehen ist, werden die Probenentnahmen an Kraftwerken automatisch durchgeführt. An den übrigen Messstellen werden manuelle Uferentnahmen vorgenommen, wobei in Bad Deutsch-Altenburg die manuellen Entnahmen in Flussmitte von der Straßenbrücke Hainburg aus durchgeführt werden.

Repräsentativität von Uferentnahmen

In den Jahren 1991 bis 1996 wurden von der WSV-Mitte auf der Höhe des Dienststellengebäudes, wo im Rahmen der Regelentnahmen rechtsufrig die Proben gewonnen werden, eine größere Anzahl von Vollprofilmessungen durchgeführt. Dabei wurden von einem Messschiff aus in Abständen von 20 m über den gesamten Querschnitt in einer Tiefe von etwa 0,5 m jeweils Wasserproben entnommen und mit den gleichzeitig durchgeführten Uferentnahmen verglichen. Die Abbildungen 10 und 11 zeigen, dass offensichtlich eine systematische Unterschätzung der Schwebstoffkonzentrationen durch Uferentnahmen entsteht. Die linearen Trends, die jedoch ein nur sehr geringes Bestimmtheitsmaß aufweisen, zeigen beinahe keine Abhängigkeit der Repräsentativität der Uferentnahmen von der Durchflussmenge sowie von der Schwebstoffkonzentration im Fluss.

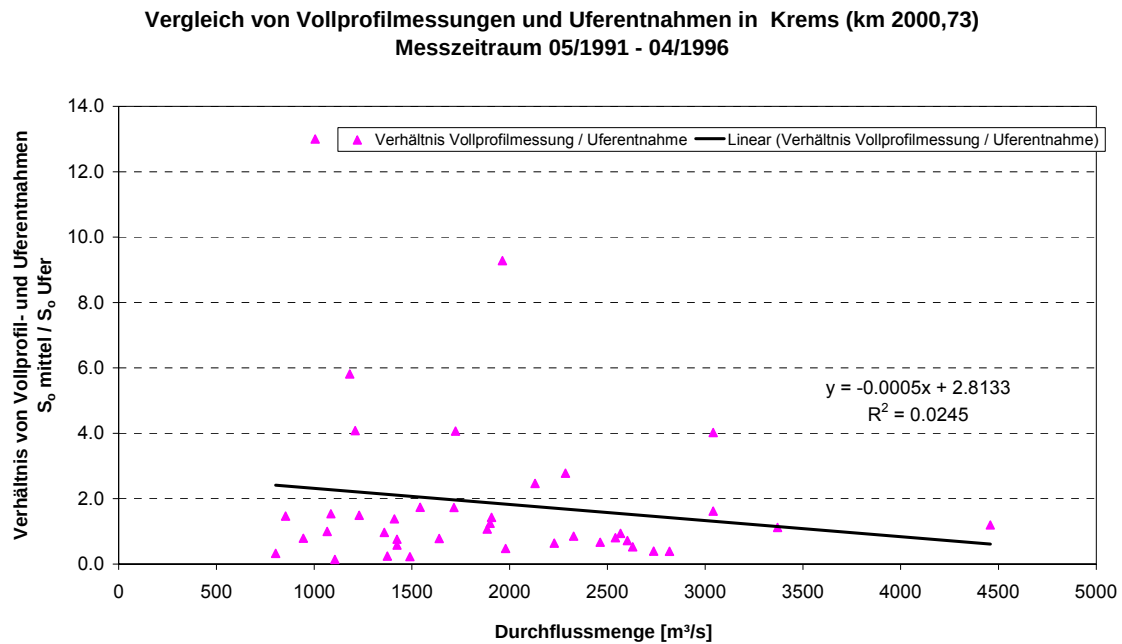


Abbildung 11: Verhältnis zwischen mittlerem Schwebstoffgehalt über den Querschnitt und Schwebstoffgehalt am Ufer in Bezug zum Durchfluss (Datenquelle: WSD 1996)

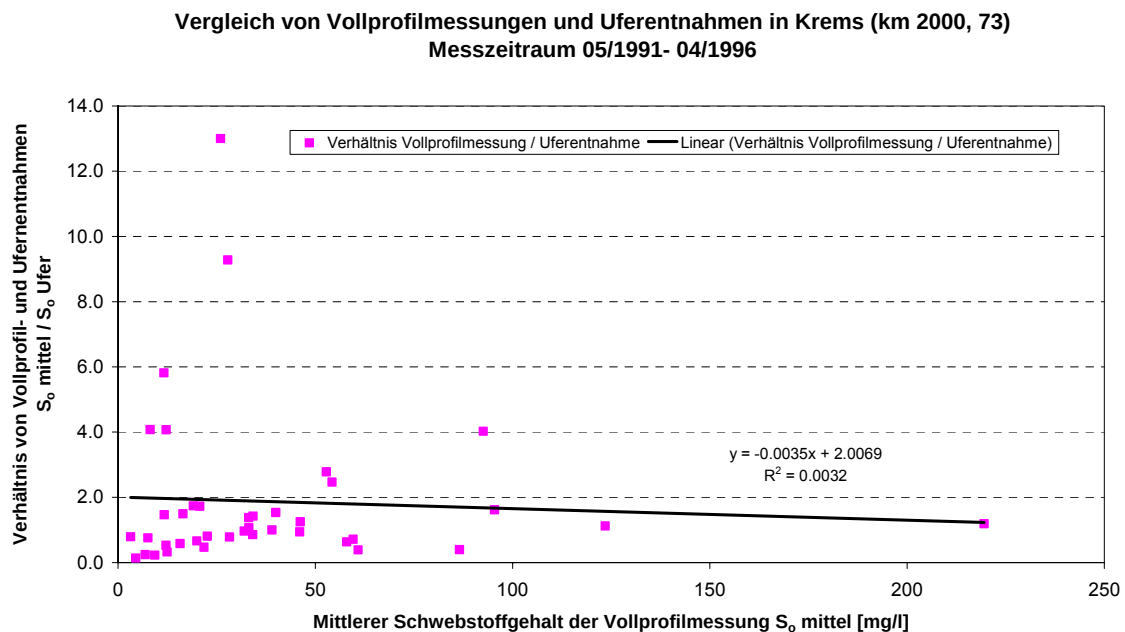


Abbildung 12: Verhältnis zwischen mittlerem Schwebstoffgehalt über den Querschnitt und Schwebstoffgehalt am Ufer in Bezug zum mittleren Schwebstoffgehalt (Datenquelle: WSD 1996)

Laboranalyse der Schwebstoffproben

In einem klimatisiertem Laborraum werden die Filter getrocknet, gewogen und anschließend die Filtration der 1l Probenmengen vorgenommen. Die Messkolben werden mehrmals mit filtriertem Wasser gespült und anschließend bei 110°C 3 Stunden lang getrocknet, im Exikator abgekühlt und gewogen. Die Differenz zwischen den beiden bezüglichen Trockengewichten ergibt den Schwebstoffgehalt der Probe in mg/l, so fern die Probenmenge genau 1 Liter betragen hat. Ansonsten müssen entsprechende Korrekturen vorgenommen werden (WSD, 2000). Eine im Mai 1996 und Juli 1997 von der WSD durchgeführte Vergleichsuntersuchung von Schwebstoffproben, sofort nach der Entnahme bzw. nach 3-wöchiger Probenstandzeit, ergab eine 1,2 bis 3 fache Erhöhung der Schwebstoffkonzentration. Dazu muss vermerkt werden, dass die später analysierten Proben in keiner Weise geschützt und während dieser Standzeit dem Sonnenlicht ausgesetzt waren. Wie in Abbildung 13 ersichtlich ist, verursacht eine verzögerte Auswertung bei unsachgemäßer Lagerung beträchtliche Unterschiede in den Messergebnissen. Es wird deshalb in der Messanweisung darauf hingewiesen, dass die Proben kühl und lichtgeschützt zu lagern und möglichst umgehend nach der Entnahme zu filtrieren sind. Es wäre zu prüfen, ob nicht eine Filtration unmittelbar nach der Probenentnahme und ein anschließender Versand in das Labor den Einfluss der Probenlagerung verringern könnte. Im Rahmen des Regelmessprogramms, das am Grenzkraftwerk Jochenstein durchgeführt wird, werden nach Filtration von 5 l Proben die Filterpapiere im feuchten Zustand zur Analyse nach Koblenz versandt.

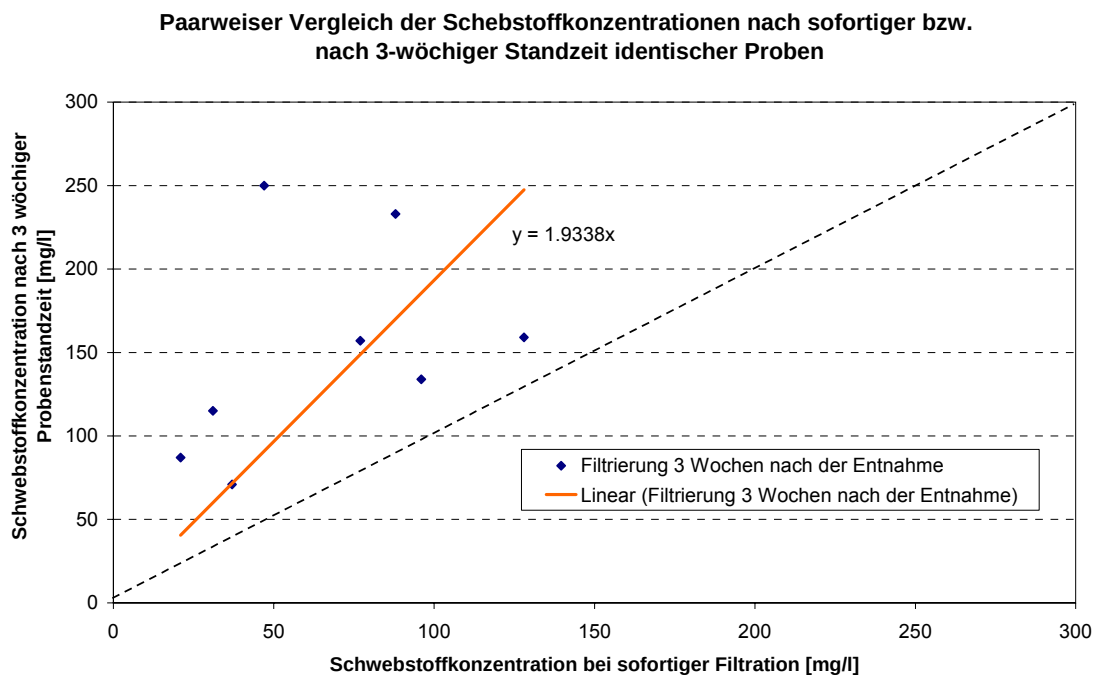


Abbildung 13: Vergleich identischer Schwebstoffproben bei sofortiger Auswertung bzw. nach 3 Wochen (Datenquelle WSD, 1996).

Rechnerische Auswertung der Konzentrationsmessungen

Um Schwebstofffrachten bestimmen zu können, müssen Schwebstoffkonzentrationen und entsprechend zugehörige Durchflussmengen bekannt sein. Die Güte der Frachtbestimmung hängt einerseits von der Repräsentativität der entnommenen Proben sowohl in räumlicher und zeitlicher Hinsicht ab, als auch von der Genauigkeit der Probenanalyse und der Durchflussbestimmung (BfG, 2003).

Zur Ermittlung der Feststofffrachten auf Basis der diskontinuierlichen Messergebnisse können folgende methodische Ansätze zur Anwendung kommen (BfG, 2003):

1. Ableitung der Fracht auf Basis von tatsächlich gemessenen Konzentrationswerten (Methoden 1 – 5)
2. Generierung von fehlenden Werten auf der Grundlage von vereinzelt Messergebnissen durch Interpolation oder die Zusammenstellung von Zeitreihen, die durch abgeleitete Algorithmen aus anderen, annähernd kontinuierlich gemessenen Größen synthetisiert werden (Methoden 6-7).

Methode 1

Dieser Berechnungsmodus geht davon aus, dass die Schwebstoffkonzentration über das Jahr hinweg keinen besonderen Schwankungen unterworfen ist und zur Berechnung lediglich das Produkt aus der mittleren Schwebstoffkonzentration und der Jahresabflussfracht gebildet werden muss.

Methode 2

Die gemessenen Schwebstoffkonzentrationen werden mit den zugehörigen Abflusswerten gewichtet und über den Betrachtungszeitraum integriert. Der Betrachtungszeitraum ist in n Abschnitte (t_i) konstanter Länge geteilt.

Methode 3

Verbesserung der Methode 2 durch Einführung eines Korrekturbeiwertes, der die Abflussperioden, die durch die Anordnung der Messperioden proportional zum Abfluss unterrepräsentiert sind, berücksichtigt.

Methode 4

Fehlende Konzentrationsmessungen werden durch lineare Interpolation zwischen den realen Messergebnissen eingeschaltet.

Methode 5

Modellierung fehlender Feststoffkonzentrationswerte mittels Regressionsanalyse von gemessenen Wertepaaren. Hier können unterschiedliche Modelle und Parameter zum Einsatz kommen. Früher wurde versucht, Schwebstoffkonzentrationen im Fließgewässer mit der Durchflussmenge durch die Aufstellung von linearen oder exponentiellen (linearisierten) Regressionsgleichungen zu korrelieren (Cohn, 1995). Des Weiteren wurden Eingangsdaten stratifiziert (Abflussklassen, Jahreszeiten, etc.) ausgewertet, um die jeweiligen Gesamtvarianzen reduzieren und das Bestimmtheitsmaß damit verbessern zu können.

Neuere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass z.B. die Trübe im Gegensatz zum Durchfluss wesentlich besser geeignet ist als Ersatzvariable für die Schwebstoffkonzentration herangezogen zu werden (Lewis, 1996). Die Kopplung von quasi permanenter Aufzeichnung der Trübung mit einer trübungsabhängigen Steuerung der Probenentnahme für die Laboranalyse ermöglicht die Beprobung von höheren Durchflussmengen mit hoher Frequenz, die für die Schwebstofffrachten besonders bedeutsam sind. Damit ist es möglich, die mit höchster Variabilität versehenen Zeiträume mit der größten Probendichte auszustatten.

Methode 6

Aufstellung von linearen oder exponentiellen Regressionsbeziehungen zwischen Schwebstofftransport und Durchflussmenge. Werden derartige Zusammenhänge gebildet, können anhand von Abflussdauerlinien bzw. von Abflusszeitreihen Schwebstofffrachten problemlos ermittelt werden.

Methode 7

Aus langjährigen Zeitreihen von Schwebstofffrachten wird mittels Regressionsanalyse ein Trend errechnet. Anhand der Quotienten von langjährigen Monatsmitteln der Schwebstofffrachten und des langjährigen Schwebstoffmittelwertes können saisonale Faktoren abgeleitet werden, die durch die Multiplikation mit den Werten des berechneten Trends die Ableitung von saisonalen Zyklen zulassen.

In den letzten Jahren wurden statistische Verfahren entwickelt, um die Anzahl von Proben für Abschätzungen von Schwebstofffrachten mit akzeptabler Genauigkeit zu reduzieren. Hierzu wurden in erster Linie Verfahren, die die Schätzungen anhand von Schlüsselkurven vornehmen, aber auch Probenahmeverfahren, die auf statistischen Untersuchungen basieren, vorgestellt (Cohn, 1995).

Dies wurde versuchsweise für die Konzentrationsmessungen in Aschach durchgeführt. Abbildung 14 gibt den empirischen Zusammenhang zwischen den Durchflüssen und den gemessenen Schwebstoffkonzentrationen wieder.

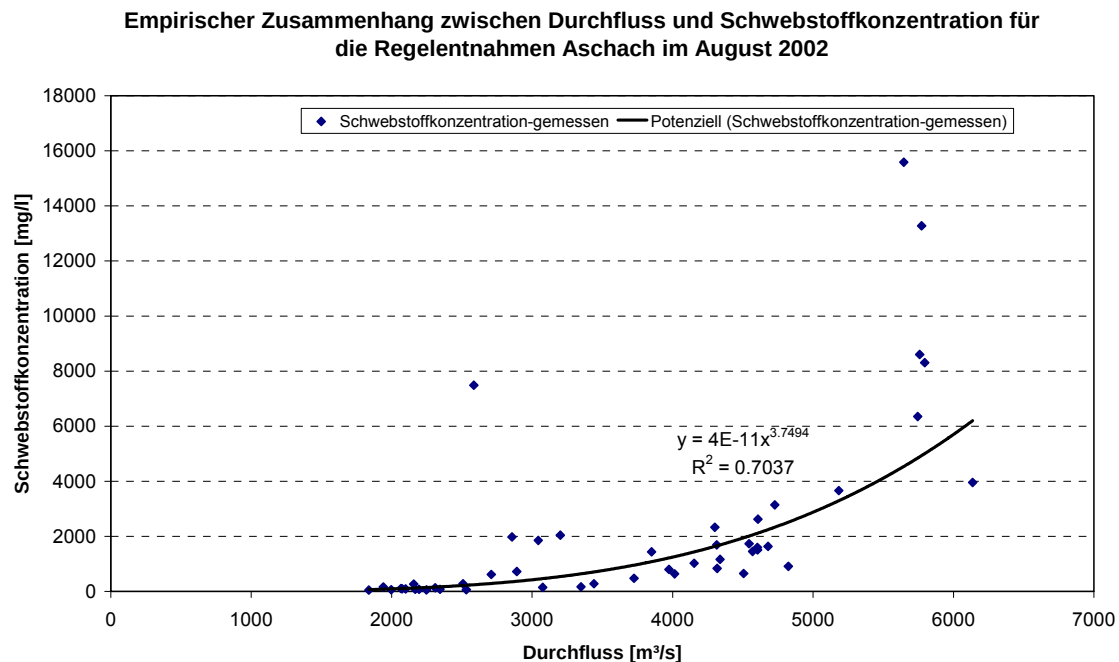


Abbildung 14: Empirischer Zusammenhang zwischen Schwebstoffkonzentration und Durchflussmenge bei der manuellen Regelentnahme in Aschach während des Hochwassers 2002.

Die Schätzung der stündlichen Schwebstoffkonzentrationen mittels des in Abbildung 14 angeführten Zusammenhanges ergab eine Schwebstofffracht für den Zeitraum von 07.08.2002 07:00 bis 24.08.2002 07:00 von 7,9 Mio. t, während sich anhand des derzeit in Verwendung befindlichen Ermittlungsverfahren eine Fracht von 11,5 Mio. t errechnet. Derzeit findet im Prinzip die Methode 4 zur Ermittlung der Schwebstofffrachten Anwendung, wobei jeweils die mittleren repräsentativen Schwebstoffkonzentrationen durch ein arithmetisches Mittel aus den Messwerten unmittelbar vor und nach dem Interpolationszeitraum ermittelt werden und anschließend ein Produkt mit dem arithmetischen Mittel der Durchflussmengen der entsprechenden Entnahmezeitpunkte gebildet wird. Zur Berechnung der Einzelfrachten folgt eine Integration über den Zeitraum zwischen den Entnahmezeitpunkten. Nach Berechnung aller Einzelfrachten erfolgt eine Aufsummierung zur Gesamtfracht des Ereignisses.

$$V_{S,M} = 1000^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_{oi} + S_{oi+1}}{2} \cdot \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \cdot \Delta t \right)$$

$V_{S,M}$... Schwebstofffracht [t]

n ... Betrachtungszeitraum

S_{oi} ... Schwebstoffgehalt zum Zeitpunkt i [g/m³]

Q_i ... Durchflussmenge zum Zeitpunkt i [m³/s]

Δt ... Zeitraum zwischen den Entnahmen [s]

Durch die Ausgleichung der gemessenen Konzentrationsspitzen in der Regression ergibt sich eine Reduktion der gesamten Schwebstofffracht. Ein Vergleich der beiden Flächen unter den bezüglichen Kurven (Abbildung 15) macht diesen Unterschied besonders deutlich.

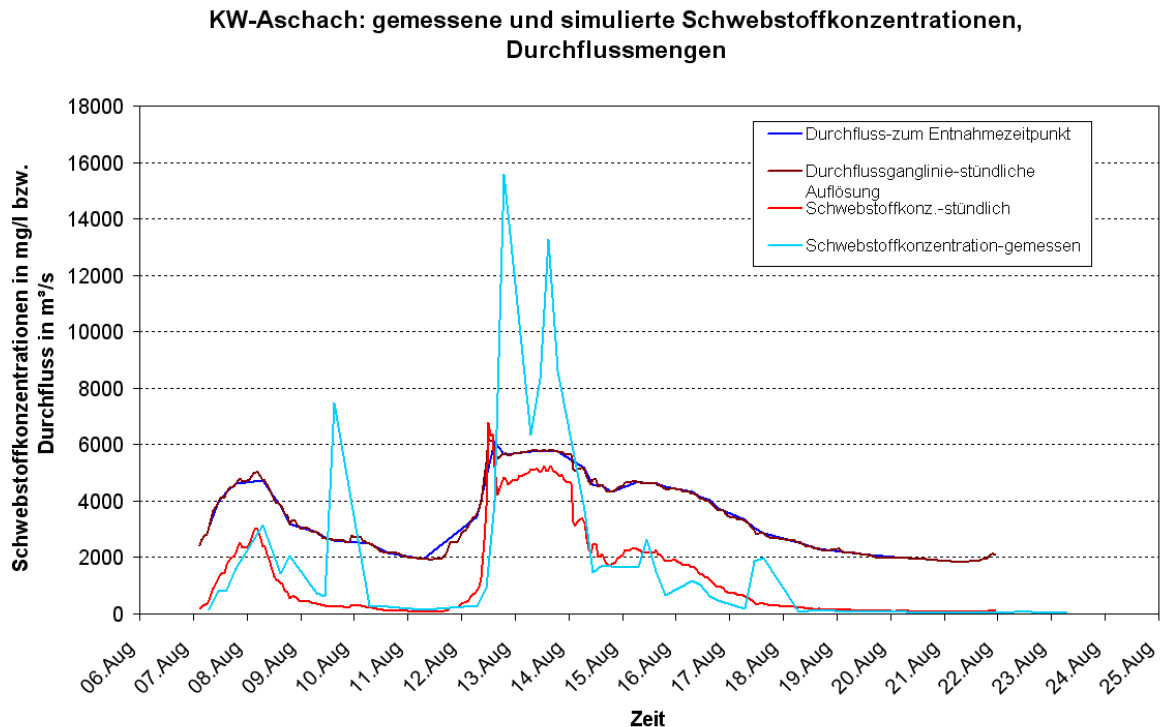


Abbildung 15: Gemessene und simulierte Schwebstoffkonzentrationen samt Durchflussganglinien für die Messstelle Aschach im August 2002 (Datengrundlage: WSD, 2002)

3.2.2 Zusammenfassung von Forschungsergebnissen zu akustischen und optischen Messinstrumenten sowie Vorschläge zur Verbesserung der Messmethodik und Verdichtung des Messnetzes

Eine taxative Aufzählung verbunden mit einer kurzen Beschreibung des Messprinzips der diversen Methoden bildet die Grundlage für die vergleichende Beurteilung der unterschiedlichen Verfahren. Betrachtet werden optische, akustische und laserbasierte Verfahren. Die differenzielle Druckmethode findet ebenfalls in die Untersuchungen Eingang.

Optische Bestimmung der Sedimentkonzentration

Das optische Verfahren arbeitet indirekt über die Messung der Trübung im Wasser, die in erster Linie von der Schwebstoffkonzentration abhängig ist. Die optische Trübungsmessung kann prinzipiell durch eine sogenannte Streulichtmessung (Optical Backscatter) erfolgen, die Licht entweder im sichtbaren oder im infraroten Bereich in das Wasser-Schwebstoffgemisch aussendet und dort von den Feststoffpartikeln teilweise reflektiert wird. Nach Registrierung des rückgestreuten Anteils der ausgesandten Strahlung an im Messinstrument integrierten Fotodioden kann je nach Signalstärke ein Trübungswert (Nephelometric turbidity units – NTU) ausgegeben werden.

Die Durchlichtmessung (Optical Transmission) führt ebenfalls mittels infrarotem oder sichtbarem Licht einen Vergleich der Lichtintensitäten zwischen emittiertem und von den Fotodioden empfangenen Lichtwellen durch, wobei die Fotodioden und Emitter räumlich getrennt angeordnet sind und daher den Lichtdurchgang bzw. die Abnahme der Lichtintensität infolge der Trübung des durchstrahlten Wasser – Schwebstoffgemisches messen.

Der Einsatz einer Trübungssonde, die auf Basis einer Streulichtmessung arbeitet, zeigte an der Ill, dass Korngrößenunterschiede beim transportierten Schwebstoff einen bedeutenden Einfluss auf die Messergebnisse ausüben. Es konnte jedenfalls beobachtet werden, dass mit Abnahme der Korngrößen die Trübungswerte überproportional zu den aus Proben gewonnenen Schwebstoffkonzentrationen ansteigen und daher die Genauigkeiten der optischen Konzentrationsmessung beeinträchtigen (Sillaber, 2004).

Am Kraftwerk Ybbs-Persenbeug (AHP AG) wurde im Zuge der Errichtung des Schwebstoffentnahmeautomaten eine Trübungssonde (Solitax der Fa. Lange) in das Rohrsystem integriert. Die Sonde führt in Zeitabständen von 15 Minuten stichprobenartig Trübungsmessungen vom ständig durch das Leitungssystem gepumpten Wasser-Schwebstoffgemisches aus dem Unterwasser des Kraftwerkes durch. Die Messwerte werden als Schwebstoffkonzentrationen in mg/l ausgegeben und stehen dann in dieser Weise für weitere Auswertungen zur Verfügung. Vergleichsmessungen anhand der Automatenentnahmen haben eine relativ gute Übereinstimmung ergeben (Abbildung 16 und Abbildung 17).

Die Messdaten der AHP am Kraftwerk Ybbs (Abbildung 17 und Abbildung 18) bestätigen die Aussagen von Lewis (1996), dass die Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Trübungsmessung und gemessenen Schwebstoffkonzentration wesentlich straffer sind als die der Schwebstoffkonzentrationen und der Durchflüsse. Der lineare Zusammenhang zwischen Automatenentnahme und Trübung weist ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,59$ auf, während die Beziehung zwischen Automatenentnahme und Durchfluss lediglich ein $R^2 = 0,19$ ergibt.

Beachtenswert ist der Effekt der Hysteresis, der sich bei der Analyse der Messwerte der Trübungssonde gezeigt hat (Abbildung 19). Dies bedeutet, dass sich für zwei identische Durchflussmengen in Abhängigkeit von der anlaufenden und der ablaufenden Hochwasserwelle unterschiedliche Schwebstoffkonzentrationen ergeben. Die Hysteresis verläuft entgegen dem Uhrzeigersinn, sodass die Werte des ansteigenden Wellenastes systematisch unter denen der absteigenden Hochwasserwelle liegen. Bors (2001) hat in seiner Analyse der Schwebstoffganglinie in Aschach für die Jahre 1997 bis 2000 ähnliche Phänomene beobachtet. Unter natürlichen Bedingungen wäre eine Hysteresis im Uhrzeigersinn zu erwarten. Die starke anthropogene Überprägung des Gewässers durch das Vorhandensein eines Stauraumes mit einer gesteuerten Wehranlage dürfte eine entscheidende Rolle für derartige Veränderungen im System sein. Eine Erklärung für diesen Ganglinienverlauf dürfte die Lockerung von konsolidiertem Sedimentmaterial in den Stauräumen während der anlaufenden Welle sein (beeinflusst durch die Wehröffnung). Nach

erfolgter Destabilisierung können große Mengen an Schwebstoffen abtransportiert werden. Es kann jedenfalls daraus geschlossen werden, dass beim Versuch, die Schwebstoffkonzentrationen mittels empirischen Zusammenhängen zu erfassen, die angesprochene Hysterese bei der Modellbildung in geeigneter Weise zu berücksichtigen wäre.

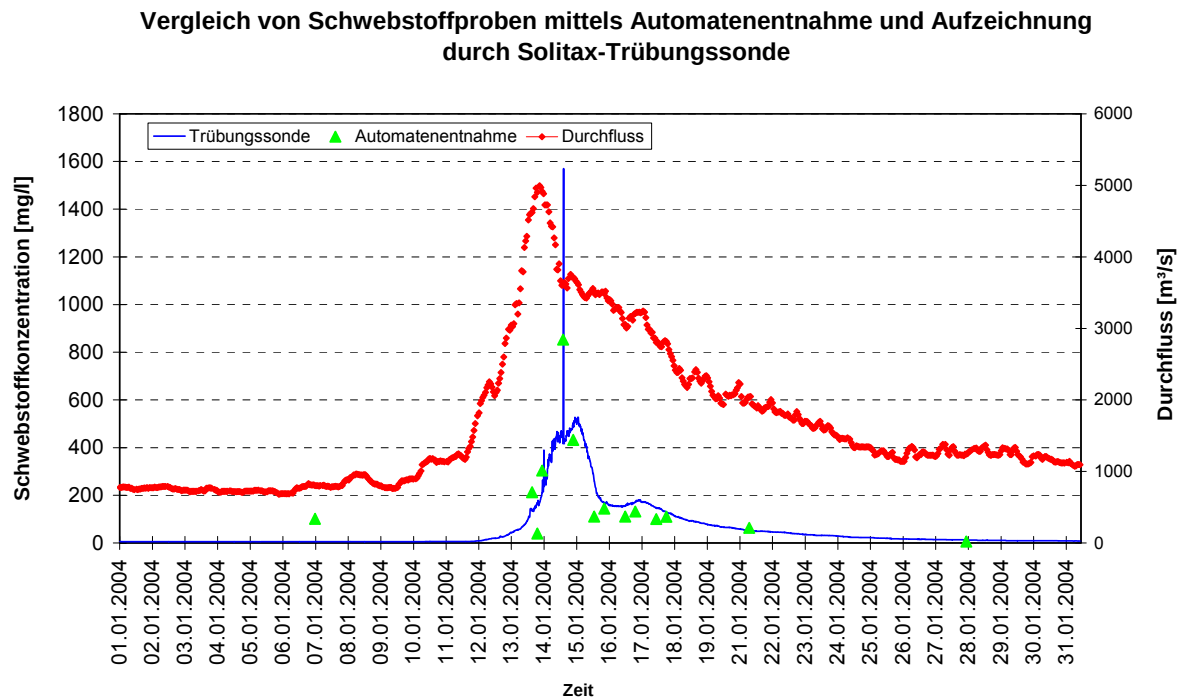


Abbildung 16: Vergleich von Konzentrationsmessungen durch Entnahme mit Trübungsmessung (Datengrundlage: AHP, 2004)

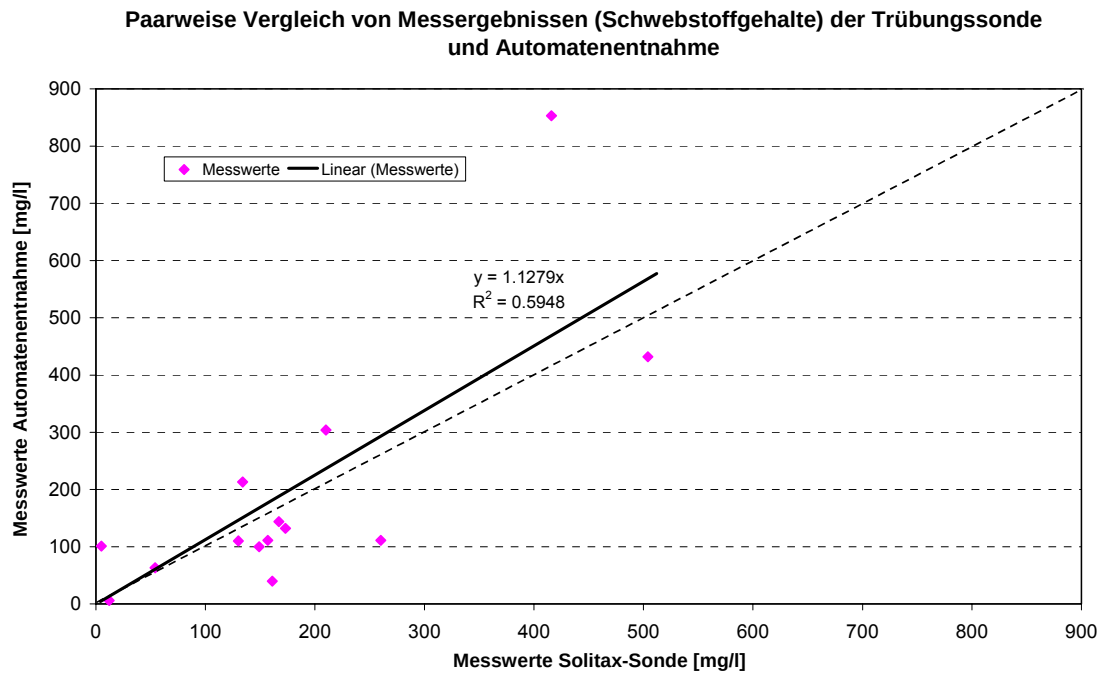


Abbildung 17: Paarweiser Vergleich von Messergebnissen aus Trübungssonde und Automatenentnahmen am Kraftwerk Ybbs für den Zeitraum Jänner 2004 (Datengrundlage: AHP, 2004)

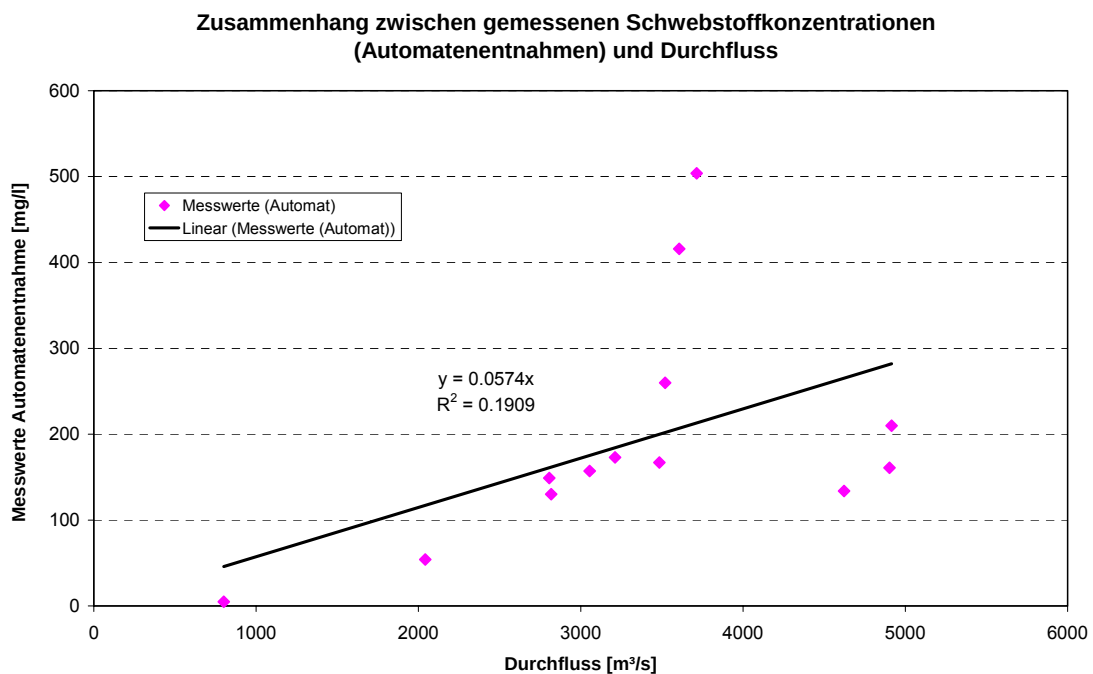


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Schwebstoffkonzentrationen (Automatenentnahme) und Durchflussmenge für die Messperiode Jän. 2004 am KW Ybbs-Persenbeug (Datenquelle: AHP, 2004)

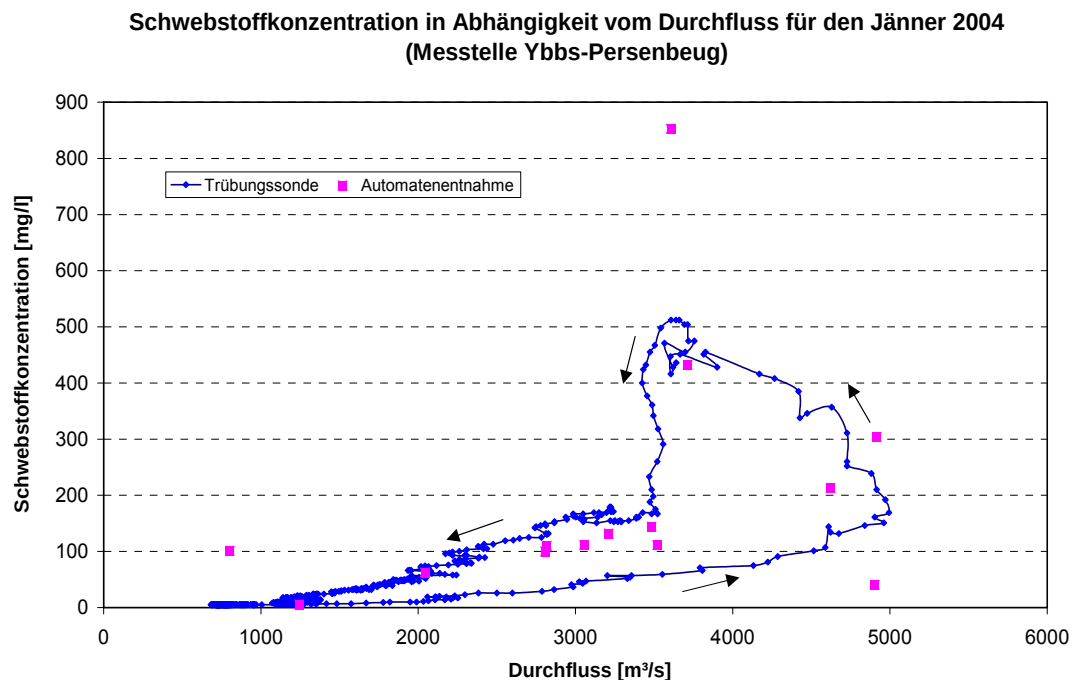


Abbildung 19: Hysterese der Schwebstoffkonzentration am Kraftwerk Ybbs für Jänner 2004 (Datengrundlage: AHP, 2004)

Vergleichbar den Erfahrungen an der Ill weist Lewis (2002) darauf hin, dass bei einer gegebenen Schwebstoffkonzentration die Trübung je nach Zusammensetzung der Schwebstoffe bis zu einem Faktor von 2-3 schwanken kann. Somit kann mit der Kalibrierung anhand eines Ereignisses nicht das Auslangen gefunden werden; es müssen daher zahlreiche Hochwasserereignisse zur Bestimmung der Beziehung zwischen Trübung und Schwebstoffgehalt herangezogen werden. Um eine möglichst gute Bestimmung der Schwebstoffkonzentrationen mittels Trübungssonden herbeiführen zu können, schlägt Lewis (2002) ein kombiniertes Verfahren vor, dass besonders auf die genaue Erfassung der Schwebstofftransportvorgänge bei Hochwässern, die eine hohe Variabilität aufweisen, abzielt, zumal solche Ereignisse oft einen sehr bedeutenden Anteil an der Jahresfracht einnehmen (Eads et al. 2002). Außerdem fanden Christensen et al. (2002) bei ihren Untersuchungen am Kansas River, dass die Schwebstoffkonzentrationen sehr gut mit den Trübungswerten korreliert waren während die Korrelation mit der Durchflussmenge weitaus ungünstiger ausfällt. Auf dieser Basis wurde das „Turbidity Threshold Sampling“ (TTS) (Lewis et al., 2001) entwickelt, das mit Hilfe von Real-Time Messungen von Trübung und Durchfluss sowie anhand festgelegter Grenzwerte gesteuert, die automatische Probennahme auslöst. Auf diese Weise kann in Perioden mit niedriger Variabilität der Schwebstoffkonzentrationen die Anzahl der Probenahmen gering gehalten werden, während für Hochwasserereignisse die Entnahmefrequenz entsprechend den Eingangsparametern entsprechend erhöht werden kann. Die Auswertung der Schwebstoffproben erlaubt die Herstellung einer Korrelation zwischen Schwebstoffkonzentrationen und Trübungswerten,

die anschließend zur Rekonstruktion einer Konzentrationsganglinie anhand der lückenlos vorhandenen Trübungswerte Verwendung finden kann.

3.2.3 Laserlichtbeugung

Die Laserlichtbeugung basiert auf dem Prinzip, dass ein Lichtstrahl, der auf ein Partikel trifft, entweder absorbiert oder rings um das Partikel gebeugt wird. Da die gestreuten Lichtwellen sich in unterschiedlichen Winkeln ausbreiten, können von ringförmigen, konzentrisch angeordneten lichtempfindlichen Sensoren die Beugungswinkel registriert und daraus Signale gebildet werden, die die Erstellung einer Kornverteilungskurve der Schwebstoffe ermöglichen. Durch die Aufsummierung der entsprechenden Anteile der Kornfraktionen kann der Schwebstoffgehalt bestimmt werden (Agrawal et al, 2002).

Erste Versuchsreihen mit einem derartigen Instrument (LISST-100-B der Sequoia Scientific, Inc.) am Colorado River in Arizona ergaben, dass das Instrument unter den dort vorzufindenden Verhältnissen geeignet ist, Schwebstoffkonzentrationen und Kornverteilungskurven zu bestimmen (Gray et al., 2003). Die Trübungssonde LISST-25 wurden zu Versuchszwecken im Jahre 2001 auch am Donaukanal eingesetzt. Probenentnahmen zu Vergleichszwecken zeigten jedoch eine weite Streuung der Messergebnisse (Arbeitsgruppe Schwebstoff, 2001).

3.2.4 Laserreflexion

Ein Laserstrahl wird auf einen sehr kleinen Punkt gebündelt ($< 2\mu\text{m}^2$). Dabei rotiert der Laser oftmals pro Sekunde in der Probe und trifft dabei auf Schwebstoffpartikel, die einen Teil des Strahles reflektieren. Aus der Reflektionszeit lässt sich die Partikelgröße ableiten. Vorteilhaft erscheint, dass die Messungen in weitem Korngrößenbereich (1-1000 μm) und in großen Konzentrationsbereich (0,010-50g/l) erfolgen können. Nach den Literaturangaben dürfte dieses Verfahren noch keine große Verbreitung gefunden haben (Wren, 2002).

3.2.5 Akustische Methode

Kurze Hochfrequenzsignale werden von einem Transducer ausgesandt. Ein Teil der ausgesandten Wellen werden von den Schwebstoffen reflektiert und von den Sensoren am Sender wieder registriert. Über die Stärke des reflektierten Signals ist es möglich, die Schwebstoffkonzentration zu ermitteln, wobei die Intensität eines Signals von der Korngröße, der Konzentration und der akustischen Frequenz beeinflusst wird. Dieser Umstand lässt bei gleichzeitiger Anwendung unterschiedlicher Frequenzbereiche die Untersuchung der Konzentrationen einerseits als auch der Korngrößen andererseits zu (Wren, 2002). Gartner (2002) weisen jedoch darauf hin, dass ausreichende Genauigkeiten zur Schwebstoffmessung mittels „Broad Band Acoustic Doppler Current Profiler“ (ADCP) nur unter begünstigten Bedingungen erreicht werden können. Auch an der Donau wurde versucht, Schwebstoffmessungen mit dieser Methode durchzuführen. Nach mehreren Untersuchungen stellten Gutknecht et al. (1998) fest, dass ADCP-Backscatterdaten sich als

gute Ergänzung zur räumlichen Interpretation und Darstellung von punktförmig bestimmten Schwebstoffdaten eignen, jedoch eine alleinige Verwendung der ACDP-Daten ohne der Auswertung von Schwebstoffproben nicht zulässig ist. Wren et al. (2003) kamen auf Basis ihrer Feld- und Laboruntersuchungen zum Schluss, dass mit einer akustischen Einfrequenz Messungen im Vergleich zu automatischen Probenentnahmen mittlere Konzentrationsunterschiede von +/- 50% zu erzielen waren.

Als Vorteil bei diesem Verfahren wird angesehen, dass eine Verschmutzung von optischen Einheiten bei diesem Verfahren im Vergleich zu den optischen Messinstrumenten nicht möglich ist (Gartner, 2002).

3.2.6 Differenzielle Druckmethode

Vergleichbar einem Druckluftpegel wird der Dichteunterschied anhand von zwei in unterschiedlichen Wassertiefen positionierten Ausperlrohren ermittelt und damit die mittlere Schwebstoffkonzentration errechnet. Zusätzlich sind Sensoren zur Kompensation des Luftdrucks und der Wassertemperatur erforderlich. Bisherige Versuche haben gezeigt, dass durch die Turbulenzen im Fließgewässer eine relativ große Unschärfe in den Daten resultiert, die eine Auswertung vorläufig noch erschwert. Gray et al. (2003) stellen fest, dass sich diese Technologie für die Messung bei höheren Schwebstoffkonzentrationen sowie bei entsprechender Optimierung zu einer preiswerten Messmethode entwickeln könnte.

Um eine Verbesserung der Messmethodik erreichen zu können, sollten die konventionellen Messverfahren mit den Methoden der Trübungsmessung verglichen werden. Zur Beurteilung der einzelnen Verfahren der Schwebstoffmessung sind die Faktoren der Qualitätssicherung von entscheidender Bedeutung. Diese umfassen die vergleichende Darstellung von Trübungs- und Konzentrationsprofilen, den Vergleich von Schwebstoffproben aus Voll- und Einzelpunktmessungen sowie den Abgleich der ermittelten Schwebstofffrachten aus den Trübungsmessungen mit den herkömmlichen Bestimmungsmethoden.

3.3 Durchführung eines Laborversuches mit dem Sedimentationsmesser Argus Surface Meter IV (ASM).

3.3.1 Untersuchungsergebnisse zum Sedimentationsmessinstrument ASM IV

Um Sedimentation und Schwebstoffkonzentrationen im Fließgewässer zu simulieren, wurden in einem Wasserbehälter, in dem das Messinstrument positioniert war, sukzessive Sedimente (Sand und Kies) zugegeben. Damit sollte die Fähigkeit des Instrumentes, Sedimentationsraten aufzuzeichnen, getestet werden. Die Ergebnisse waren ziemlich vielversprechend und gaben die Sedimentation um das Instrument mit der möglichen zeitlichen und räumlichen Auflösung wieder. Des Weiteren wurde versucht, unter kontrollierten Bedingungen, d.h. bei bekannten Konzentrationen im Versuchsbehälter, mit dem Messinstrument die entsprechenden Konzentrationswerte zu reproduzieren. Dabei zeigte sich, dass die Messungen mit Schwebstoffen, für die eine entsprechende Kalibrierung

des Gerätes vorgenommen wurde, gute Ergebnisse erzielt haben. Bei Verwendung von Schwebstoffen (Probenmaterial aus der Donau), die sich vom Kalibriermaterial (Kamig Kaolin S100) beträchtlich in Färbung und Korngrößenverteilung unterschieden, wiesen die Resultate wesentlich größere Abweichungen auf.

Damit ergibt sich die Notwendigkeit, das Messinstrument mit dem Material zu kalibrieren, mit dem beim Messen in der Natur zu rechnen ist. Sind derartige Rahmenbedingungen gewährleistet, bietet das Gerät die Möglichkeit, neben den Konzentrationsmessungen gleichzeitig noch Erosionen und Anlandungen am Gerätestandort zu registrieren.

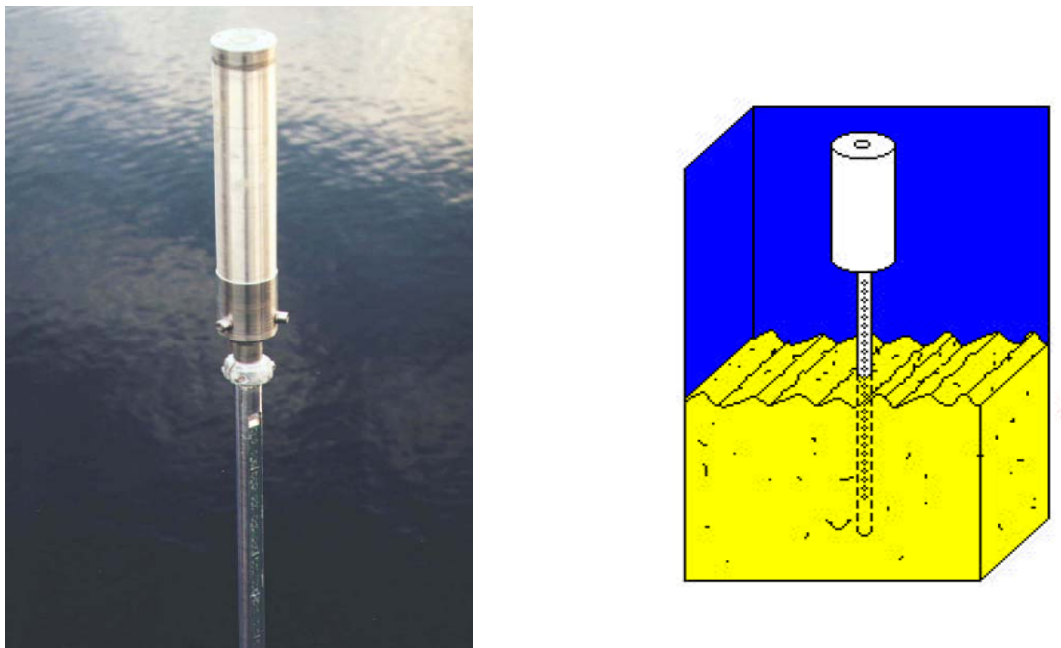


Abbildung 20: Abbildung und Prinzipskizze vom ARGUS Surface Meter (© ARGUS 20.05.03)

3.3.2 Untersuchungsergebnisse zum ASM

Es wurde versucht, unter kontrollierten Bedingungen, d.h. bei bekannten Konzentrationen im Versuchsbehälter, mit dem Messinstrument die entsprechenden Konzentrationswerte zu reproduzieren. Dabei zeigte sich, dass die Messungen mit Schwebstoffen, für die eine entsprechende Kalibrierung des Gerätes vorgenommen wurde, gute Ergebnisse erzielt haben (Abbildungen 21 - 24), während in Fällen, in denen die verwendeten Schwebstoffe (Probenmaterial aus der Donau) gegenüber den zur Kalibrierung genutzten Materialien (Kamig Kaolin S100) beträchtliche Unterschiede in Färbung und Korngrößenverteilung aufwiesen, die Resultate wesentlich größere Abweichungen aufzeigten (Abbildungen 25 - 28). Um abschließend Sedimentation und Schwebstoffkonzentrationen im Fließgewässer zu simulieren, wurden in einem Wasserbehälter, in dem das Messinstrument positioniert war, sukzessive Sedimente (Sand und Kies) zugegeben, um die Fähigkeit des Instrumentes,

Sedimentationsraten aufzuzeichnen, zu testen. Die Ergebnisse sind recht vielversprechend und gaben die Sedimentation um das Instrument mit der möglichen zeitlichen und räumlichen Auflösung wieder. Die Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigen die Messergebnisse.

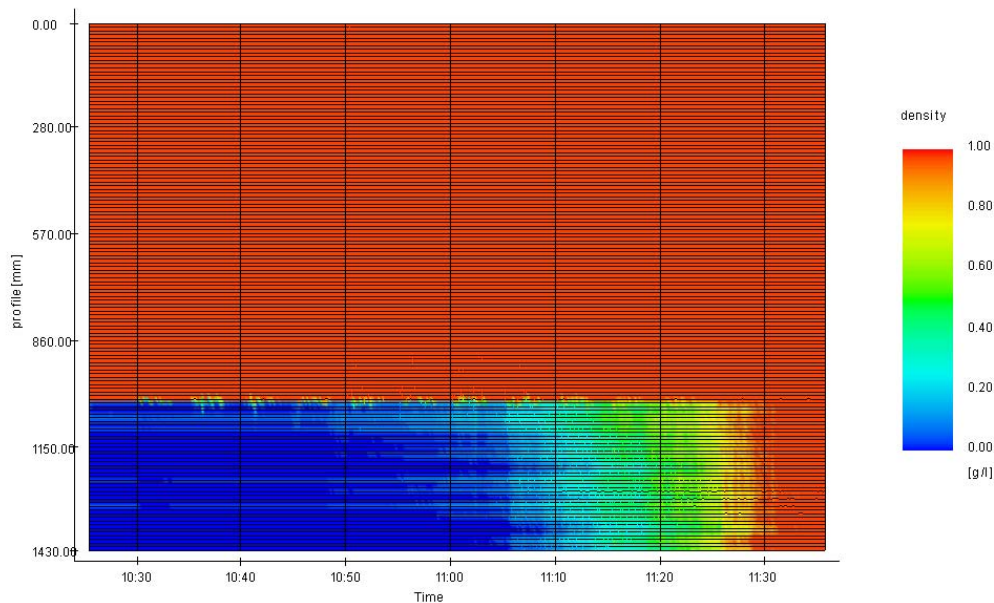


Abbildung 21: Ausgabegraphik der ASMA-Software für Versuch 1

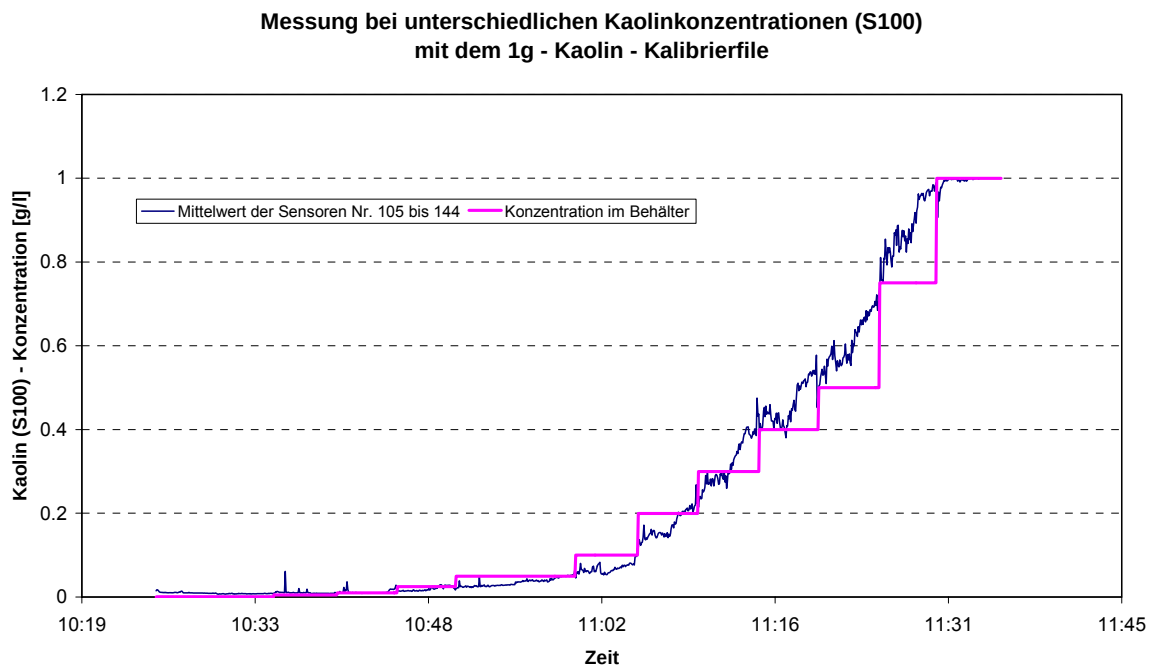


Abbildung 22: Vergleich der Mittelwerte der Sensoren mit den Konzentrationen im Behälter für Versuch 1

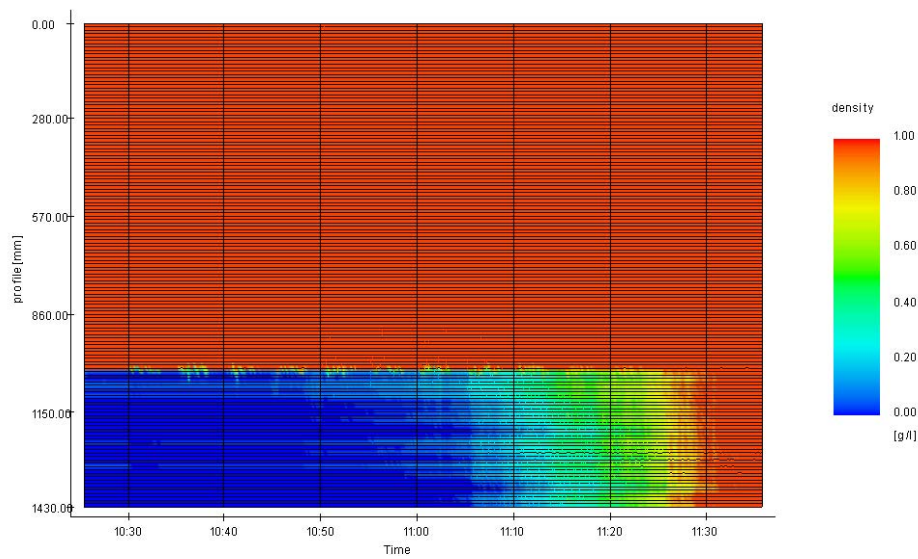


Abbildung 23: Ausgabegraphik der ASMA-Software für Versuch 2

**Messung bei unterschiedlichen Kaolinkonzentrationen (S100) mit dem
10g - Kaolin (S100) - Kalibrierfile**

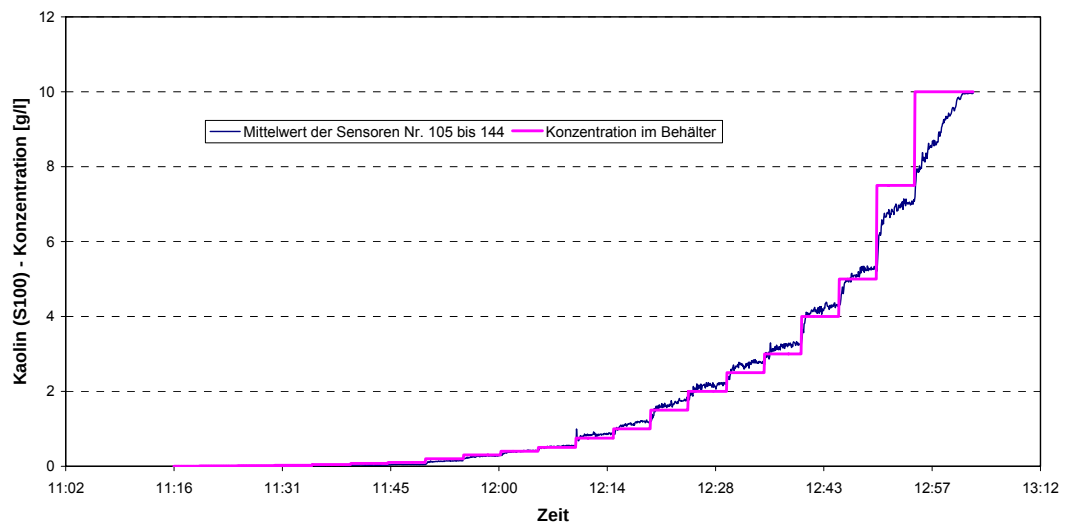


Abbildung 24: Vergleich der Mittelwerte der Sensoren mit den Konzentrationen im Behälter für Versuch 2

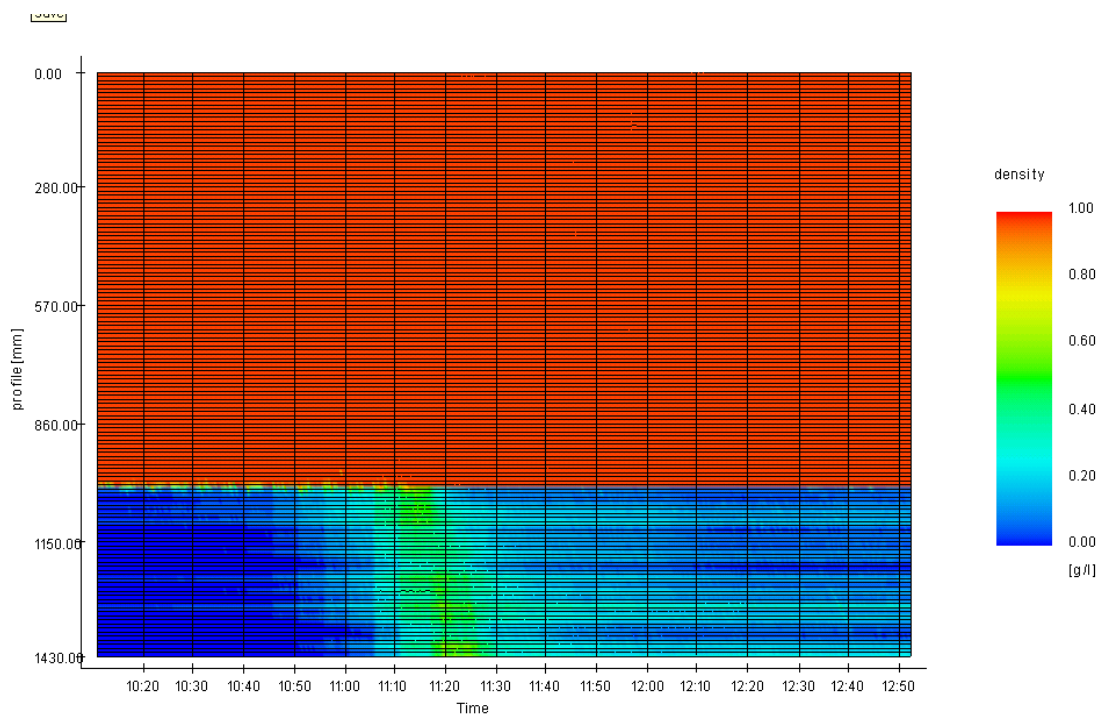


Abbildung 25: Ausgabegraphik der ASMA-Software für Versuch 5

Messung bei unterschiedlichen Konzentrationen von Donauschwebstoff mit dem 1g - Kaolin (S100) - Kalibrierfile

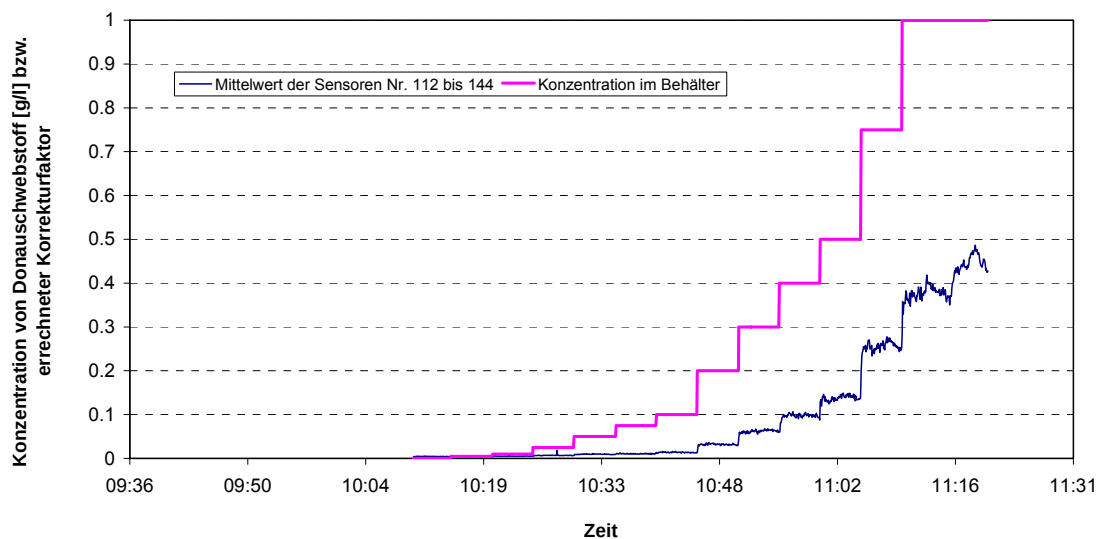


Abbildung 26: Vergleich der Mittelwerte der Sensoren mit den Konzentrationen im Behälter für Versuch 5

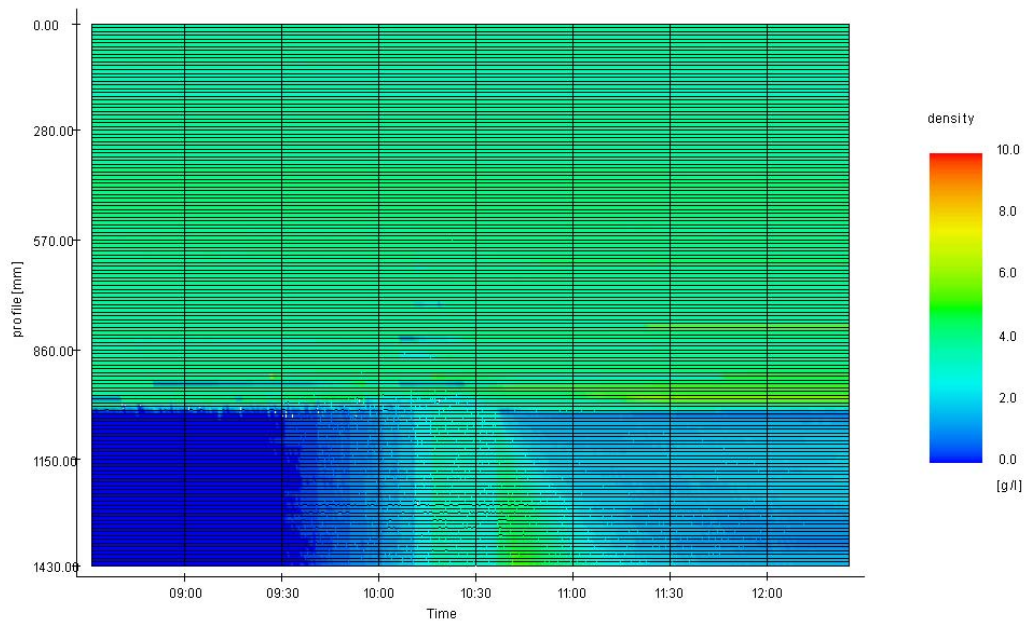


Abbildung 27: Ausgabegraphik der ASMA-Software für Versuch 6

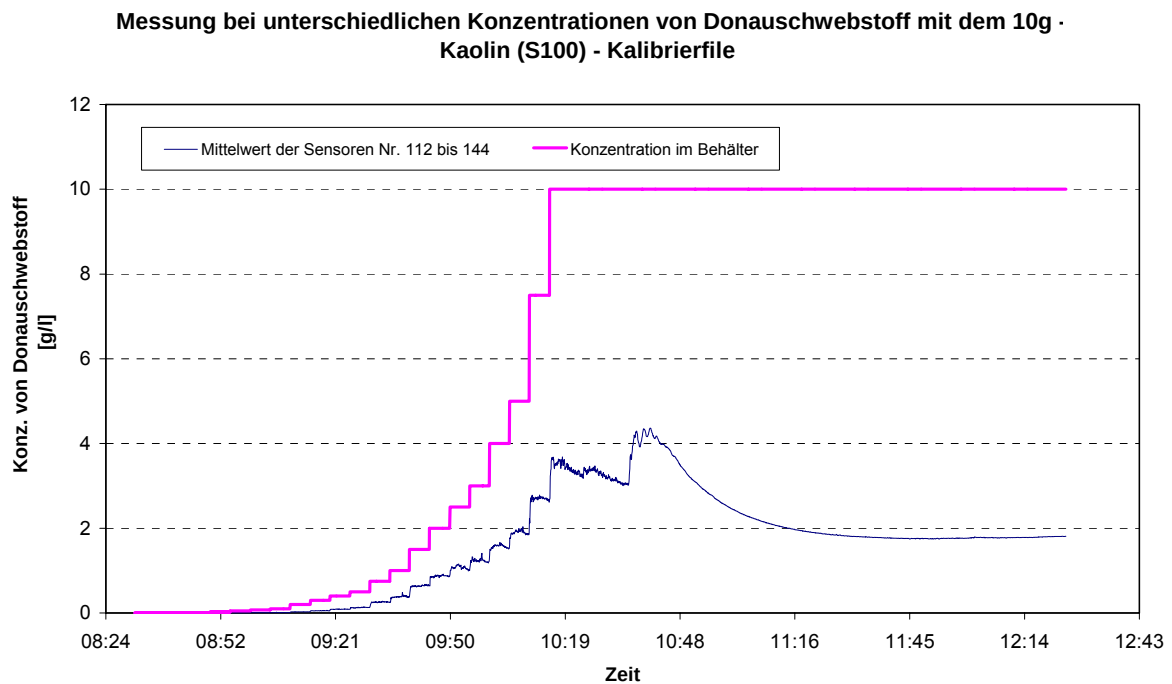


Abbildung 28: Vergleich der Mittelwerte der Sensoren mit den Konzentrationen im Behälter für Versuch 6

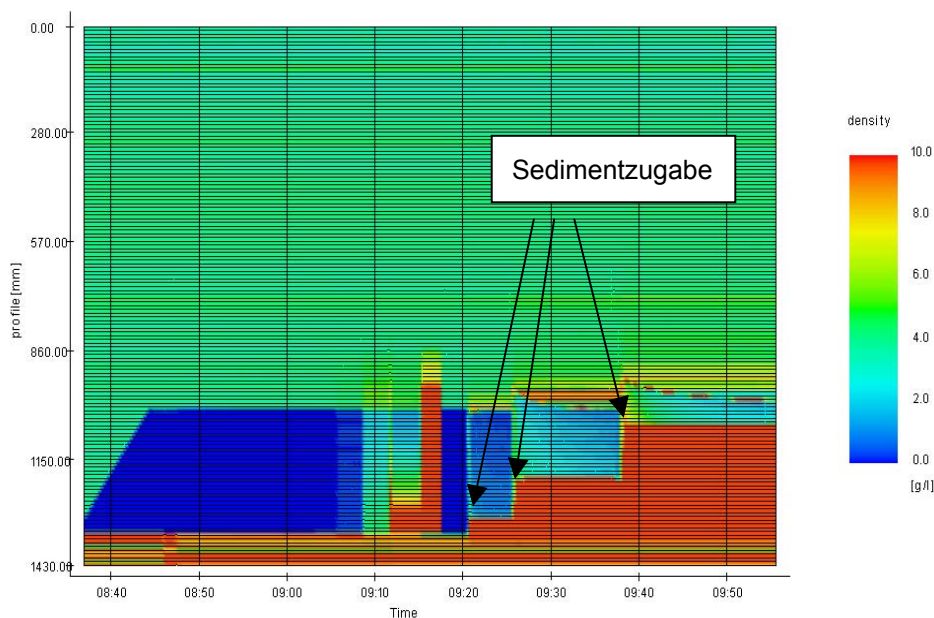


Abbildung 29: Aufzeichnung der Sedimentation durch das ASM IV unter Laborbedingungen

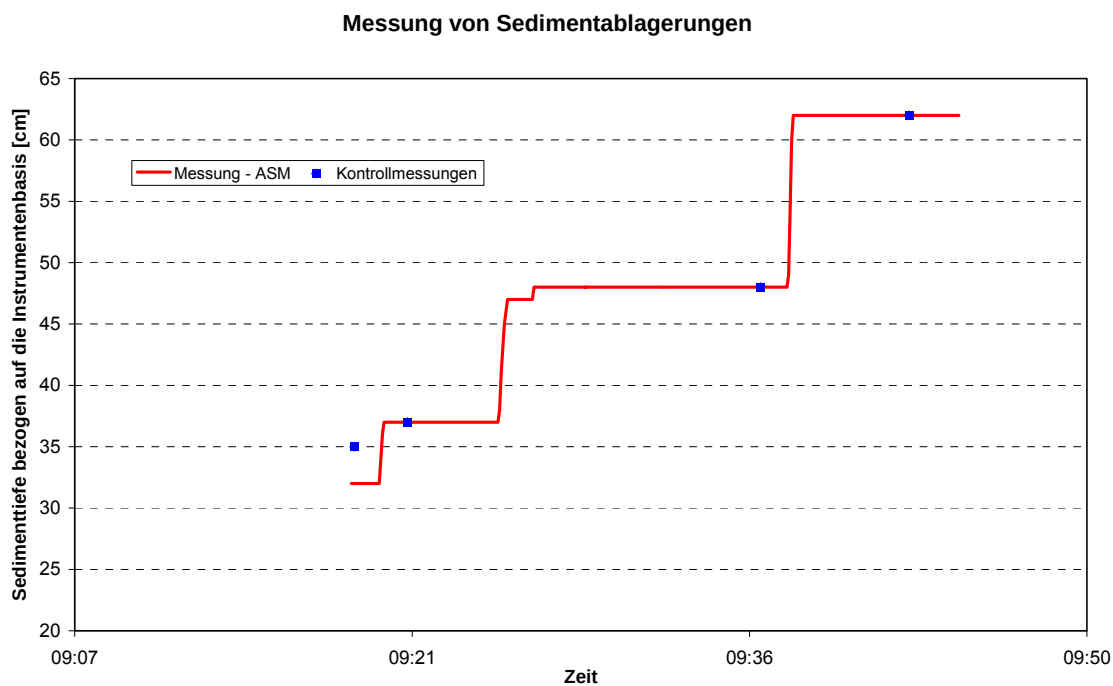


Abbildung 30: Vergleich der instrumentell ermittelten Sedimenthöhen mit den Kontrollmessungen

Damit ergibt sich die Notwendigkeit, das Messinstrument für einen erfolgreichen Einsatz mit dem Material zu kalibrieren, mit dem dann beim Einsatz in der Natur zu rechnen ist. Sind derartige Rahmenbedingungen gewährleistet, bietet das Gerät die Möglichkeit, neben zeitlich und räumlich aufgelösten Konzentrationsmessungen von Schwebstoffen gleichzeitig noch Erosionen und Anlandungen am Gerätestandort zu registrieren.

3.4 Methoden zur Erfassung der Vorlandablagerungen im Hochwasserfall

3.4.1 Erfassung von Ablagerungen mittels Airborne Laserscanning

Der im Flugzeug montierte Scanner wird, ähnlich einem konventionellen Bildflug, streifenweise über das zu kartierende Gelände bewegt, wobei der Scanner je nach Instrumententyp, Flughöhe und Fluggeschwindigkeit unterschiedliche Dichten an Messpunkten aufnehmen kann. Die Messpunktdichte variiert zwischen 0,1 – 10 Punkte pro m² (Wagner et al., 2003)

Grundsätzlich haben sich bislang zwei Typen von Sensoren etabliert. Die Schwingspiegeltechnologie ist in erster Linie für die Abdeckung von großen Flächen mit variabler Strahlenablenkung und damit für geringere Punktdichten konzipiert. Die beim gegenständlichen Bildflug eingesetzte Technologie verwendet einen Strahlenteiler mit festem Öffnungswinkel, das ein zeilenweises Abtasten des Geländes mit fixer Geometrie ermöglicht, während der Schwingspiegel ein wellenförmiges Aufnahmebild mit unterschiedlicher Punktdichte erzeugt (Stanek, 2003).

Selbstverständlich werden bei den Laserscan – Aufnahmen nicht nur Bodenpunkte, sondern auch Vegetationsstrukturen, Gebäude etc. aufgezeichnet, die im Zuge der nachfolgenden Filteroperationen entfernt werden können. Verschiedene Filterverfahren, wie die morphologische Filterung, die progressive TIN-Verdichtung, die robuste und hierarchische Filterung stehen zur Verfügung. In der zur Auswertung herangezogenen Software (SCOP++) wurde ist die hierarchisch robuste Filterung implementiert, die in einer statistischen Analyse jeden Punkt mit einer Fläche in Beziehung setzt, welche durch die benachbarten Punkte angenähert wird. Je näher sich der betreffende Punkt zur angenommenen Geländeoberfläche befindet, desto größer fällt seine Gewichtung für den nächsten Interpolationsschritt aus, sodass sukzessive eine Trennung von bodennahen und bodenfernen Punkten erfolgt und in der Folge die Abtrennung der Vegetation aus der Punktwolke ermöglicht (Pfeifer, 2003). Bei wasserbautechnischen Fragestellungen, wo im Regelfall die Bodenoberfläche mit ihren tiefsten Punkten die interessierende Größe darstellt, wird von vornherein den jeweils tiefsten Punkten ein größeres Gewicht zugewiesen, um aus dem ungefilterten „Digital Surface Model“ (DSM) das „Digital Terrain Model“ zu generieren. Werden durch den Filterprozess bei dichten Vegetationsdecken zu viele Messpunkte eliminiert, können diese durch Interpolation entsprechender Geländepunkte ersetzt werden. Die Höhengenaugkeit der Laserscanaufnahmen wird mit max. +/- 15 cm angegeben (Schmid, 2004). Pfeifer (2003) weist jedoch darauf hin, dass die Qualität des Geländemodells in bewaldeten Gebieten mit zunehmender Vegetationsdichte abnimmt, da

hier nur mehr eine relativ geringe Anzahl an Messpunkten den Boden erreicht. Studien, die den Einfluss der geringen Messpunktdichte infolge geschlossener Vegetationsdecken auf die Genauigkeit des Geländemodells quantifizieren, sind bis dato kaum vorhanden. Außerdem werden mit dem Laserscan Geländekanten nur eingeschränkt abgebildet (Pfeifer, 2003).

Werden nun zwei zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommene Laserscans zur Deckung gebracht, kann relativ einfach in einem GIS oder dem Softwarepaket SCOP++ ein Differenzenmodell errechnet werden, das die Netto-Differenz zwischen beiden Aufnahmezeitpunkten mit einer räumlichen Auflösung von 1 m x 1 m ausgibt.

Die genaue Betrachtung der zur Verfügung stehenden Differenzenkarte, die die Veränderungen der Oberflächenhöhen für den Zeitraum zwischen März/April 1999 und Dezember 2003 darstellen soll, ergab, dass qualitative Aussagen, vor allem in Ufernähe mit größeren Ablagerungsmächtigkeiten möglich sind. In bewaldeten Bereichen, und da besonders in den höheren Altersklassen wies die Differenzenkarte Materialabtrag in großem Umfang aus, der so nicht plausibel erscheint (Abbildung 32). Eine gemeinsame Besprechung mit den Bearbeitern der beiden Laserscans (Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, für den Flug 1999 und Vermessungsbüro DI Schmid für den Flug 2003) ergab im Wesentlichen, dass die Probleme auf den Scan 1999 zurückzuführen sind, zumal der Flug größtenteils im belaubten Zustand erfolgte und dadurch in Bereichen mit dichter Vegetation die Laserstrahlen nicht auf den Boden in ausreichender Anzahl vordringen konnten. In der folgenden Filterung wurden daher höher gelegene Vegetationspunkte als Bodenpunkte interpretiert und damit die Geländehöhen überschätzt. Der zweite Laserscan-Flug hingegen wurde im Dezember 2003 und damit im unbelaubten Zustand durchgeführt, wodurch die korrekte Abbildung der Bodenoberfläche möglich war und die Erklärung für einen großen Teil der entstandenen Differenzbeträge liefert. Zur vollständigen Bilanzierung der Kubaturen ist es notwendig, Wasserflächen gesondert zu behandeln, da das Messsystem nicht in der Lage ist, Gewässersohlen direkt abzubilden. Qualitative Aussagen zu den Ablagerungsmächtigkeiten in Uferbereichen sind jedoch möglich (vgl. Abbildung 31 und Abbildung 32). Besonders entlang der Ufer traten Auflandungen in der Größenordnung von 20 – x cm auf, die auf eine Dammuferflussbildung hinweisen (Abbildung 32).

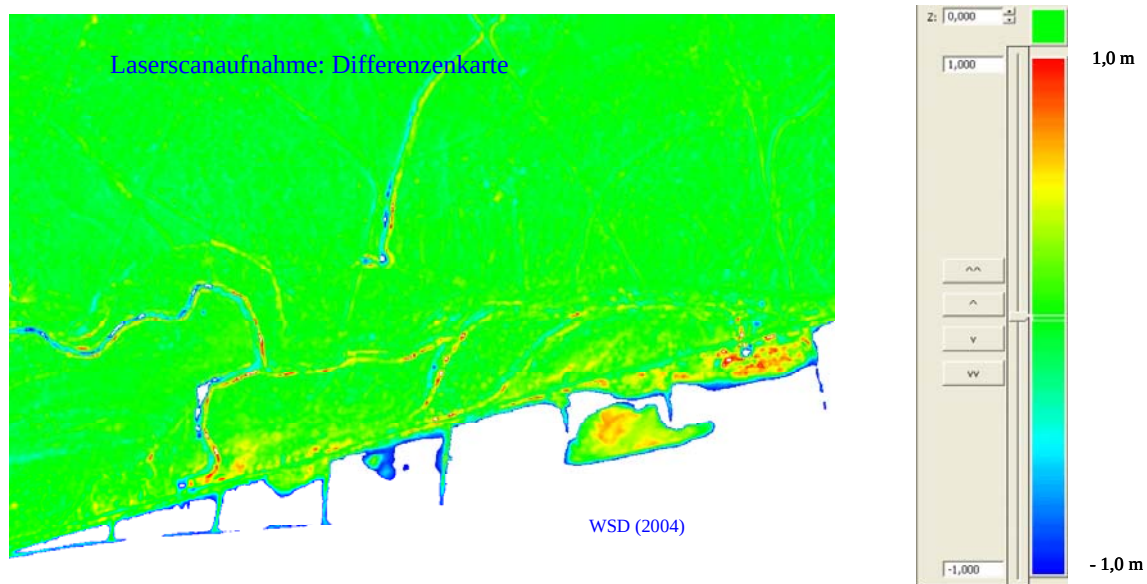


Abbildung 31: Ausschnitt aus der Differenzkarte der Laserscanaufnahmen 2003 – 1999 (Datengrundlage: WSD, 2004)

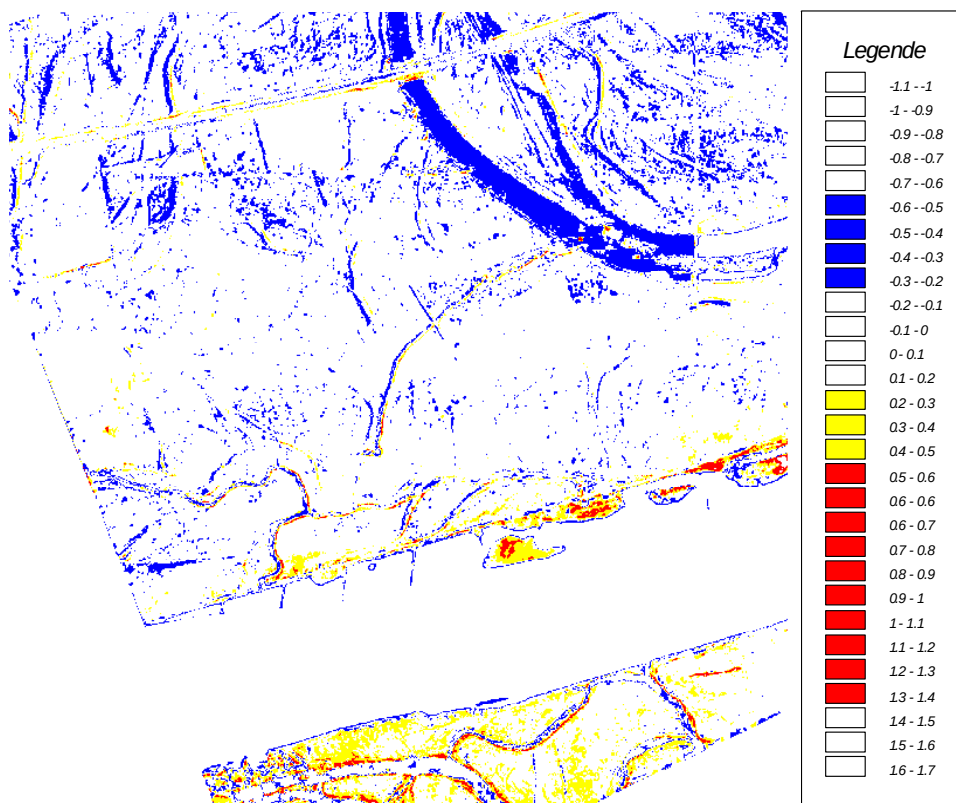


Abbildung 32: Ausschnitt aus der Differenzkarte der Laserscanaufnahmen 2003 – 1999 (Datengrundlage: WSD, 2004)

Da es mittels Airborne-Laserscan relativ rasch und preisgünstig ist, Geländemodelle mit hoher Punktdichte zu erstellen, wird voraussichtlich diese Technologie in der Zukunft noch vermehrt eingesetzt werden. Dabei ergeben sich aufgrund der bisherigen Erfahrungen einige

Hinweise, die bei folgenden Aufträgen Beachtung geschenkt werden sollte. Wichtig sind eine Kontrolle der inneren Genauigkeit, eine korrekte Georeferenzierung in Lage und Höhe, eine Befliegung außerhalb der Vegetationszeit und ergänzende Aufnahmen zur Abbildung der Gewässersohlen.

3.4.2 Erfassung von Ablagerungen mittels Flächenkartierungen

Die parzellenweise Erfassung von Ablagerungsmächtigkeiten erfordert bei den großen Überflutungsflächen großen personellen Einsatz im Gelände, zumal die Erhebungen oft von Kommissionen durchgeführt werden und auf einer Schätzung der maximalen Ablagerungstiefe für die jeweilige, beurteilte Fläche beruhen. Die Eigenschaft des Schlammes, durch Austrocknung sich stark zu verfestigen, bedingt die Notwendigkeit einer umgehenden Räumung in Siedlungsgebieten und Straßen, was die nachfolgende Kartierung zusätzlich erschwert. Des Weiteren verursacht die Auswertung und kartographische Darstellung der Erhebungsergebnisse zusätzlich relativ großen Aufwand. Ergänzend könnte eine stichprobenartige, aber flächendeckende Erfassung von Schlammstiefen durchgeführt werden.

3.4.3 Erfassung von Ablagerungsmächtigkeiten mittels „Schlammpegel“

Um nun die abgelagerten Schlammmächtigkeiten rasch, objektiv und unbürokratisch festhalten zu können, wurde in der Wachau begonnen, an Außenmauern von Gebäuden etc. einfache Lattenpegel in potenziellen Überflutungsräumen zu installieren, die dann im Hochwasserfall rasch, unmittelbar nach Rückgang des Hochwassers abgelesen und durch Fotos dokumentiert werden können. Um eine entsprechende Repräsentativität der Pegel zu gewährleisten, muss eine ausreichende Anzahl an Pegelstellen zur Verfügung stehen, die das Ablagerungsgeschehen bei unterschiedlichen Hochwasserereignissen im Überflutungsgebiet widerspiegeln. Hierbei sind besonders die lokal unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und Sohlschubspannungen, die entscheidend für den Feststofftransport sind, zu berücksichtigen. Bei der Auswahl der Pegelstellen können einerseits lokale Erfahrungen aus vergangenen Ereignissen und andererseits auch Simulationen Hilfestellungen bieten.

4 LESSONS LEARNED

4.1 Erkenntnisse aus dem Hochwasser vom August 2002

- Die Bilanzierung der Schwebstofffrachten für das Hochwasser vom August 2002 wurde unter besonderer Berücksichtigung der freien Fließstrecken durchgeführt und ist auf Basis der bestehenden Daten mit Einschränkungen möglich.
- Die angedachte Erfassung von Ablagerungskubaturen anhand von Laserscan-Aufnahmen aus den Jahren 1999 und 2003 im Bereich der Unteren Donau war aus technologischen Gründen nur qualitativ in Uferbereichen möglich.
- Ablagerungskartierungen in den Vorländern wurden mit unterschiedlichen Aufnahmemethoden und Intensitäten durchgeführt.
- Unterschiedliche Entnahmemethoden ergaben divergierende Ergebnisse bei der Schwebstoffmessung beim Kraftwerk Aschach
- Ablagerungen in den Vorländern haben auch eine weitere Verlandung der dort vorhandenen Augewässer bewirkt; der Schwebstoffhaushalt ist für die weitere Entwicklung des Nationalparks Donauauen von entscheidender Bedeutung (Sedimentation bzw. Erosion in den Vorländern, Bühnenfeldverlandung); dies steht auch in engem Zusammenhang mit der Sohleintiefung flussab von Wien (siehe auch TP Sohlmorphologie)
- Die Feinsedimentablagerungen in den Augebieten begünstigen Kolmationserscheinungen
- Die erforderliche Entfernung der Schwebstoffablagerungen im Nahbereich der Donau (Treppelwege, Straßen, öffentliche Plätze) erforderte beträchtliche finanzielle Aufwendungen (etwa € 200.000,-- für den Abschnitt Wallsee bis zur Marchmündung (WSD, 2002))

4.2 Bestehende Defizite

- Zahlreiche Unsicherheiten bei der Bilanzierung der Schwebstofffrachten entstehen durch die Verschiedenartigkeit der Eingangsparameter und deren Erhebungsgenauigkeiten (Zuflüsse, Stauraumveränderungen, Ablagerungen in den Vorländern, unterschiedliche Entnahmetechniken und -intervalle bei den Schwebstoffmessstellen).
- Konzentrationsmessungen werden nicht mit einheitlicher Entnahmetechnik und -frequenz durchgeführt.

- Die Messanlage zur Schwebstoffmessung in Ybbs ist ausgefallen, Messwerte von Greifenstein sind nicht plausibel.
- Die Repräsentativität der einzelnen Schwebstoffentnahmen ist nicht dokumentiert.
- Optische, akustische oder ähnliche Messmethoden zur quasi permanenten Bestimmung der Schwebstoffkonzentrationen wurden zum Zeitpunkt des Hochwassers an der Donau noch nicht eingesetzt.
- Volle Ausschöpfung der zur Verfügung stehenden Daten bei der Generierung von Schwebstoffganglinien.
- Ablagerungserhebungen in den Vorländern und in den Uferbereichen werden nicht systematisch und flächendeckend vorgenommen.
- Fehlende Schwebstoffmessungen bei den Kraftwerken Ottensheim und Melk
- Es fehlt die Einrichtung von quasi-permanenten Schwebstoffmessstellen von bedeutenden Zubringern
- Fehlende Morphodynamik im Aubereich des Nationalparks, dadurch mehr Deposition als Erosion

4.3 Zukünftiger Handlungsbedarf

4.3.1 Planungsmethodik und Maßnahmen

- Bei Berechnung der Wasserspiegellagen für Hochwasserereignisse sollten Simulationen zum Schwebstofftransport integriert werden, damit Ablagerungsmächtigkeiten prognostiziert werden können. Dies ist für den effizienten Einsatz und repräsentative Positionierung von Einrichtungen des Monitorings erforderlich.
- Verstärkung von Maßnahmen zur Gewässervernetzung mit dem Ziel der Erhöhung der Morphodynamik im Aubereich

4.3.2 Monitoring

- Genaue Erfassung der Schwebstoffkonzentrationen bei den Messstellen, um eine zeitlich aufgelöste Betrachtung der Kubaturänderungen vor allem in den Stauräumen zu ermöglichen.
- Definition von Genauigkeitserfordernissen, die an die Ergebnisse von Schwebstoffbilanzierungen gestellt werden

- Ableitung von Erfassungsgenauigkeiten für unterschiedliche Eingangsparameter samt der Erarbeitung eines Konzeptes für das dafür erforderliche Messnetz und seine Instrumentierung unter Berücksichtigung der Zuflüsse.
- Prüfung, ob durch Filtration der Proben bei den Entnahmestellen und Transport der Filter samt Rückstände in das Labor eine Reduktion des Einflusses der Probenstandzeit ermöglicht wird
- Intensivierung der laufenden Versuche zur Erfassung von Schwebstoffkonzentrationen mittels indirekter Messmethoden
- Steuerung der automatischen Probenentnahmen mittels indirekter Verfahren zur Schwebstoffmessung mit dem Ziel, einerseits die Zahl der Probenahmen auf die Zeiträume mit hoher Variabilität im Schwebstofftransport zu konzentrieren sowie anhand der gewonnenen Korrelationen zeitlich hoch aufgelöste Ganglinien für die Schwebstoffkonzentrationen generieren zu können, Ziel ist Kombination aus mehreren Messverfahren, inklusive Geschwindigkeitsmessungen.
- Überprüfung der Repräsentativität von Einzelmessungen anhand von Vollmessungen bzw. anhand von temporären, im Profil verteilt angeordneten und für das Gewässer kalibrierten Trübungssonden.
- Installation eines Messnetzes zur Erfassung von Schwebstoffablagerungen in den Vorländern, die schnell ablesbar und durch Fotografie eindeutig dokumentierbar sind („Schlammpegel“).
- Einrichtung eines permanenten Messnetzes zur Erfassung von Ablagerungen bzw. Erosionen im Bereich der Vorländer. Auflandungen in den Vorländern bewirken eine Reduktion des Durchflussquerschnittes und damit die Konzentration des Durchflusses im Flussschlauch mit den entsprechenden Konsequenzen auf die Sohleneintiefung in den freien Fließstrecken. Eine weitere Abkoppelung der Au vom Gewässer wäre damit verbunden.
- Erfassung von Anlandungen in ökologisch wertvollen Altarmen, um die abiotischen Veränderungen in den Lebensräumen dokumentieren zu können.
- Airborne Laser Scanning verspricht ein hervorragendes Werkzeug für das Monitoring im Vorland zu werden. Bei Scannertechnologie und Auswertungsmöglichkeiten sind derzeit ständig technische Verbesserungen zu erwarten. Es ist daher immer bei Beauftragungen auf den aktuellen Stand der Methode zu achten und auf eine Vergleichbarkeit mit älteren Aufnahmen Wert zu legen.
- Technische Verbesserung von Trübungssonden dahingehend, dass sowohl Trübungswerte (NTU etc.) als auch kalibrierte Schwebstoffkonzentrationen (z. B. mg/l) ausgegeben werden können.

4.3.3 *Verbesserung des Prozessverständnisses*

- Installation von Sedimentationsmessgeräten in der Flusssohle, um punktuell Sohlenveränderungen während des Hochwassers messen zu können. Es ist an den Einsatz im Bereich von Bühnenfeldern, im Vorland und in Randbereichen der Schifffahrtsrinne gedacht.
- Untersuchungen zur Messung und Beschreibung von inhomogenen Konzentrationen in Querprofilen bei Hochwasserereignissen.

5 QUELLENVERZEICHNIS

- Agrawal, Y.C., Potsmith, H.C. (2002): New Isokinetic Version of LISST Technology Target Needs of the Federal Subcommittee on Sedimentation; Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV.
- Arbeitsgruppe Schwebstoffmessung (2001): Bericht über die 7. Sitzung am 13. November 2001 in Linz, Hydrographischer Dienst in Österreich.
- ARGUS (2004): Produktinformation von zum ARGUS Surface Meter IV (ASM)
<http://www.argusnet.de>
- Austrian Hydro Power AG (AHP) (2003): Hochwasserbericht für die Donau-Hochwasserwellen vom 07.08.02 bis zum 09.08.02 und vom 12.08.02 bis zum 17.08.02.; Wien, am 30.1.03.
- Austrian Hydro Power AG (AHP) (2003): Anschlaglinie für das Donau-Hochwasser vom 07.08.02 bis zum 09.08.02 und vom 12.08.02 bis zum 17.08.02.
- Austrian Hydro Power AG (AHP) (2004): Messdaten zu Schwebstoffkonzentrationen (Automatenentnahmen, Trübungssonde) am KW Ybbs-Persenbeug für Jänner 2004
- Bundesamt für Gewässerkunde [BfG] (2003): Bedeutung der Nebenflüsse für den Feststoffhaushalt der Elbe, Endbericht Band 1 und 2, Laufzeit: 01.01. 1999 - 31.05.2002; FKZ 0339600/1; <http://elise.bafg.de/servlet/is/4506/>
- Bors W., (2001): Analyse der Schwebstoffführung der Donau in den Jahren 1997 - 2000
- Bors W., (2002): Bericht über die Schwebstoffführung der Donau während des Hochwasserereignisses im Sommer 2002.
- Christensen, V. G., Rasmussen, P.P., Ziegler, A.C. (2002): Comparison of Estimated Sediment Loads using Continuous Turbidity Measurements and Regression Analysis; Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV.
- 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
- DVWK (1986): Schwebstoffmessungen. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft 125/1986, DK 556.535.6 Schwebstoff, DK 556.08 (083). Messrichtlinie. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Eads, R., Lewis, J. (2002): Continuous Turbidity Monitoring in streams of Northwestern California; Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV.
- Gartner, J.W. (2002): Estimation of Suspended Solids concentrations based on Acoustic Backscatter Intensity: Theoretical Background; Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV.
- Gray, J.R., Patino, E., Rasmussen, P.P., Larsen, M.C., Melis, T.S., Topping, D.J., Runner, M.S., Alamo, C.F. (2003): Evaluation of Sediment-Surrogate Technologies for Computation of Suspended-Sediment Transport; Submitted to the International Yellow River Forum on river Basin Management 2/10/2003

- Gutknecht, D., Blaschke, A., Schmalfuß, R., Sengschmitt, D., Steiner, K.H., Reichel, K.G., Feregyhazy, H., Herndl, G., Battin, T., Dreher, J. (1998): Kolmationsprozesse am Beispiel des Stauraumes Freudenau, Schriftenreihe der Forschung im Verbund, Band 44, Dezember 1998.
- Kölbl, C. (2004): persönliche Auskunft, Wien 2004
- Kresser, W. (1964): Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstoffführung der Gewässer. ÖWW, 16. Jg., H 1/2, S. 6-11.
- Lange (2003): Produktinformation zur Trübungssonde Solitax; <http://www.hach-lange.de>
- Lewis, J. (2002): Estimation of Suspended Sediment flux in stream using continuous Turbidity and Flow data coupled with Laboratory Concentrations; Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV.
- Lewis, J., Eads, R. (2001): Turbidity Threshold Sampling for Suspended Sediment Load Estimation; Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference, March 25 to 29, 2001, Reno, Nevada.
- Lewis, J. (1996): Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation; Water resources research, Vol. 32, No. 7, pp. 2299-2310; July 1996.
- Pfeifer, N. (2003): Oberflächenmodelle aus Laserdaten; Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, Heft 4/2003, S. 223 - S. 235
- Schmid, P. (2004): Produktinformation des Vermessungsbüros Schmid, www.geoserve.co.at
- Sillaber, M. (2004): Optimierung der Schwebstoffmessung an der Ill in Vorarlberg; Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, BOKU Wien, 2004
- Stanek, H. (2003): Einsatz von Laserscannern zur Erstellung von präzisen Geländemodellen als Grundlage für hydraulische Abflussberechnungen und Simulationen; in Deutscher Hydrographentag in Wien
- Wagner W., Ullrich A., Briese, C. (2003): Der Laserstrahl und seine Interaktion mit der Erdoberfläche, Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, Heft 4/2003, S. 223 - S. 235
- Wren, D.G., Barkdoll, B.D., Kuhnle, R.A., Derrow, R.W. (2000): Field Techniques for Suspended-Sediment Measurement". Journal of Hydraulic Engineering. 126 (2): 97 – 104.
- Wren, D.G., Kuhnle, A. (2002): Surrogate Techniques for Suspended-Sediment Measurement, Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV.
- Wren, D.G., Vadakapurapu, S., Chambers, J., Kuhnle, R., Barkdoll, B. (2003): Progress in Acoustic Suspended-Sediment Measurement Research; Resolution Newsletter/Issue 9.1.: Real World Application Note.
- WSD – Wasserstraßendirektion (1996): Untersuchung zum Einfluss der Lagerungsdauer auf die Schwebstoffproben ; Wasserstraßendirektion, Abteilung 5 – Hydrographie (1996), unveröffentlicht.
- WSD – Wasserstraßendirektion (2000): Schwebstoffbestimmung – Richtlinien für den Laborbetrieb; Wasserstraßendirektion, Abteilung 5 – Hydrographie (2000)

WSD – Wasserstrassendirektion (2002): Fließgeschwindigkeitsmessungen an Straßenbrücke Hainburg, durchgeführt von Donauconsult GmbH im Auftrag der WSD, 2002.

WSD – Wasserstraßendirektion (2003): Informeller Bericht zum HW August 2002 – Korrigierte Werte sowie Sohlgrundaufnahmen.

WSD – Wasserstraßendirektion (2004): DHM Hainburg/Donau aus 3D-Laserscan (Bearbeitung: Dipl.-Ing. Peter Schmid, Ingenieurkonsulent für Vermessungswesen, Wien, 2004)

6 ANHANG

KW Jochenstein

Stromkilometer 2203,30

Regelentnahmen Entnahmestelle: im Unterwasser 200m unterhalb des Turbinenauslaufes am linken Ufer	Zuständiger	GKW GmbH - Ing. Maresch
	Entnahmemethode	manuell, 5l zur Filtration
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7\text{Uhr}}$ – KW Jochenstein [m^3/s]	
	< 2050 > 2050 (Beginn Wehrüberfall)	tägl. 7h, Ausnahme Sa, So, Feiertag tägl. 7h und 16h, 4h vor, während und 4 h nach HW-Scheitel
Sondermessprogramm Entnahmestelle: im Unterwasser des Kraftwerkes am Trennpfeiler zwischen Wehrfeld 6 und Turbinenhaus	Zuständiger	GKW GmbH - Ing. Maresch
	$Q > 3500 \text{ m}^3/\text{s}$	2 stündlich, 1l Probenflasche
	Entnahmemethode	manuell
Auswertung der Regelentnahmen	Zuständiger	GKW GmbH - Ing. Maresch
	Ausführender	WSA – Regensburg (Übergabe der gebrauchten Filterpapiere; Auswertung beim BfG Koblenz)
Auswertung der Sonderentnahmen	Zuständiger	GKW GmbH - Ing. Maresch
	Ausführender	WSV – Aschach (Durchführung: Labor der Donautechnik)

Pegel Engelhartzell		
Stromkilometer = 2200,66		
Regelentnahmen Entnahmestelle: km 2200,66 rechtsufrig	Zuständiger	WSV - Aschach
	Entnahmemethode	manuell, 1l zur Filtration
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7Uhr} - KW$ Jochenstein [m^3/s]	
	< 1099	Mo, Mi, Fr: 7h
	1100 - 1999	Tägl. 7h
	2000 - 2999	Tägl. 7h, 15h
Auswertung der Regelentnahmen	3000 – 3699	Tägl. 7h, 11h, 15h
	> 3700	Tägl. 7h, 11h, 15h, 19h
	Zuständiger	WSV - Aschach
	Ausführender	WSV – Aschach (Durchführung: Labor der Donautechnik)

WSV ASCHACH - KW ASCHACH**Stromkilometer 2161,27 bzw. 2162,67**

Regelentnahmen Entnahmestelle: km 2161,27 rechtsufrig	Zuständiger	WSV - Aschach
	Entnahmemethode	manuell, 1l zur Filtration
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7\text{Uhr}}$ – KW Aschach [m^3/s]	
	< 1099	Mo, Mi, Fr: 7h
	1100 - 1999	Tägl. 7h
Sondermessprogramm Entnahmestelle: Automatenentnahme aus dem Gehäuse der Eigenbedarfsmaschine des KW Aschach; ab Feb. 2004 Automatenentnahme aus dem Unterwasser am Pfeiler zwischen Wehrfeld und Turbinenhaus	2000 - 2999	Tägl. 7h, 15h
	3000 – 3699	Tägl. 7h, 11h, 15h
	> 3700	Tägl. 7h, 11h, 15h, 19h
	Zuständiger	AHP, KW - Aschach
	$Q > 3500 \text{ m}^3/\text{s}$	2 stündlich, 1l Probenflasche
Auswertung der Regelentnahmen	Entnahmemethode	Automatenentnahme
	Zuständiger	WSV - Aschach
Auswertung der Sonderentnahmen	Ausführender	WSV – Aschach (Durchführung: Labor der Donautechnik)
	Zuständiger	WSV - Aschach
Auswertung der Sonderentnahmen	Ausführender	WSV – Aschach (Durchführung: Labor der Donautechnik)

Pegel Linz		
Stromkilometer 2135,17		
Regelentnahmen Entnahmestelle: km 2135,17 Rechtsufrig an der Nibelungenbrücke	Zuständiger	Hydrographie Land OÖ
	Entnahmemethode	manuell, 1l zur Filtration
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7\text{Uhr}} - \text{KW}$ Ottensheim [m³/s]	
	< 1099	Mo, Mi, Fr: 7h
	1100 - 1999	Tägl. 7h
	2000 - 2999	Tägl. 7h, 15h
Auswertung der Regelentnahmen	3000 – 3699	Tägl. 7h, 11h, 15h
	> 3700	Tägl. 7h, 11h, 15h, 19h
	Zuständiger	WSV - Aschach
	Ausführender	WSV – Aschach (Durchführung: Labor der Donautechnik)

KW Abwinden - Asten		
Stromkilometer 2119,60		
Regelentnahmen Entnahmestelle: Automatenentnahme aus dem Unterwasser am Pfeiler zwischen Wehrfeld und Turbinenhaus	Zuständiger	AHP
	Entnahmemethode	Automat
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7\text{Uhr}}$ – KW Abwinden [m³/s]	
	< 1099	Mo, Mi, Fr: 7h
	1100 - 1999	Tägl. 7h
	2000 - 2999	Tägl. 7h, 15h
Auswertung der Regelentnahmen	3000 – 3699	Tägl. 7h, 11h, 15h
	> 3700	Tägl. 7h, 11h, 15h, 19h*
	Zuständiger	WSV - Aschach
	Ausführender	WSV – Aschach (Durchführung: Labor der Donautechnik)

* Beim Hochwasserereignis vom August 2002 wurden auch um 23 h und 03 h Schwebstoffproben entnommen

KW Wallsee-Mitterkirchen		
Stromkilometer 2095,62		
Regelentnahmen Entnahmestelle: Automatenentnahme aus dem Unterwasser am Pfeiler zwischen Wehrfeld und Turbinenhaus	Zuständiger	AHP
	Entnahmemethode	Automat
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7\text{Uhr}}$ – KW Wallsee [m³/s]	
	< 1349	Mo, Mi, Fr: 7h
	1350 - 2499	Tägl. 7h
	2500 - 3999	Tägl. 7h, 15h
	4000 – 5299	Tägl. 7h, 11h, 15h
	> 5300	Tägl. 7h, 11h, 15h, 19h *
Auswertung der Regelentnahmen	Zuständiger	AHP AG
	Ausführender	AHP Werkvertrag – Herr Lindner

* Beim Hochwasserereignis vom August 2002 wurden auch um 23 h und 03 h Schwebstoffproben entnommen

KW Ybbs - Persenbeug**Stromkilometer 2060,67**

Regelentnahmen Entnahmestelle: Automatenentnahme aus dem Unterwasser am Pfeiler zwischen Wehrfeld und Turbinenhaus	Zuständiger	AHP
	Entnahmemethode	Automat
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7\text{Uhr}}$ – KW Ybbs [m³/s]	
	< 1349	Mo, Mi, Fr: 7h
	1350 - 2499	Tägl. 7h
	2500 - 3999	Tägl. 7h, 15h
Auswertung der Regelentnahmen	4000 – 5299	Tägl. 7h, 11h, 15h
	> 5300	Tägl. 7h, 11h, 15h, 19h
	Zuständiger	AHP AG
	Ausführender	AHP Werkvertrag – Herr Lindner

WSV- Krems**Stromkilometer 2000,73**

Regelentnahmen Entnahmestelle: km 2000,773 linksufrig	Zuständiger		WSV - Krems
	Entnahmemethode		manuell, 1l zur Filtration
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von Q_{7Uhr} – KW Ybbs [m³/s]		
	Pegel Kienstock [cm]	Pegel Kienstock [m³/s]	
	<250	<1349	Mo, Mi, Fr: 7h
	251-395	1350 - 2499	Tägl. 7h
	396-550	2500 - 3999	Tägl.7h, 15h
	551-664	4000 - 5299	Tägl.7h, 11h, 15h
	>665	>5300	Tägl.7h, 11h, 15h, 19h
	Zuständiger		WSV - Krems
Auswertung der Regelentnahmen	Ausführender		WSV – Aschach (Durchführung: Labor der Donautechnik)

KW Altenwörth		
Stromkilometer = 1980,19		
Regelentnahmen Entnahmestelle: Automatenentnahme aus dem Unterwasser am Pfeiler zwischen Wehrfeld und Turbinenhaus	Zuständiger	AHP
	Entnahmemethode	Automat
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7\text{Uhr}}$ – KW Altenwörth [m³/s]	
	< 1349	Mo, Mi, Fr: 7h
	1350 - 2499	Tägl. 7h
	2500 - 3999	Tägl. 7h, 15h
	4000 – 5299	Tägl. 7h, 11h, 15h
	> 5300	Tägl. 7h, 11h, 15h, 19h
Auswertung der Regelentnahmen	Zuständiger	WSV - Krems
	Ausführender	WSV – Aschach (Durchführung: Labor der Donautechnik)

KW Greifenstein		
Stromkilometer 1949,23		
Regelentnahmen Entnahmestelle: Automatenentnahme aus dem Unterwasser am Pfeiler zwischen Wehrfeld und Turbinenhaus	Zuständiger	AHP
	Entnahmemethode	Automat
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7\text{Uhr}}$ –	
	KW Greifenstein [m^3/s]	
	< 1349	Mo, Mi, Fr: 7h
	1350 - 2499	Tägl. 7h
Auswertung der Regelentnahmen	2500 - 3999	Tägl. 7h, 15h
	4000 – 5299	Tägl. 7h, 11h, 15h
	> 5300	Tägl. 7h, 11h, 15h, 19h
	Zuständiger	WSV - Krems
	Ausführender	WSV – Aschach (Durchführung: Labor der Donautechnik)

KW Freudenau		
Stromkilometer 1921,05		
Regelentnahmen Entnahmestelle: Automatenentnahme aus dem Unterwasser am Pfeiler zwischen Wehrfeld und Turbinenhaus	Zuständiger	AHP
	Entnahmemethode	Automat
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7\text{Uhr}}$ –	
	KW Freudenau [m^3/s]	
	< 1349	Mo, Mi, Fr: 7h
	1350 - 2499	Tägl. 7h
	2500 - 3999	Tägl. 7h, 15h
	4000 – 5299	Tägl. 7h, 11h, 15h
	> 5300	Tägl. 7h, 11h, 15h, 19h
Auswertung der Regelentnahmen	Zuständiger	WSV - BDA
	Ausführender	WSV – BDA

Pegel Bad Deutsch-Altenburg		
Stromkilometer 1886,86		
Regelentnahmen Entnahmestelle: Strommitte von der Donaubrücke Hainburg aus	Zuständiger	WSV BDA
	Entnahmemethode	manuell
	Entnahmehäufigkeit in Abhängigkeit von $Q_{7\text{Uhr}}$ – Pegel BDA [cm]	
	< 160	Mo, Mi, Fr: 7h
	161 - 300	Tägl. 7h
	301 - 450	Tägl. 7h, 15h
Auswertung der Regelentnahmen	451 - 540	Tägl. 7h, 11h, 15h
	> 540	Tägl. 7h, 11h, 15h, 19h
	Zuständiger	WSV - BDA
	Ausführender	WSV – BDA