

Schwebstoffmonitoring an der Enns in Steyr

**Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und
konstruktiven Wasserbau**

**Department für Wasser - Atmosphäre - Umwelt
Universität für Bodenkultur Wien**

Vorstand: O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. H. P. Nachtnebel

**Betreuer: Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. H. M. Habersack
Dipl.-Ing. W. Kerschbaumsteiner**

Markus Altenhofer



Wien, 2007

Danksagung

Einleitend möchte ich mich bei A.o. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Helmut Habersack und Dipl. Ing. Willibald Kerschbaumsteiner für die stets sehr hilfreiche Unterstützung und Betreuung sowie der Durchsicht der Diplomarbeit bedanken. Mein besonderer Dank gilt ebenfalls den Mitarbeitern des Hydrographischen Dienstes OÖ, allen voran Herrn HR Dipl. Ing. Gerald Lindner und Herrn Ing. Christian Wakolbinger, die durch ihre tatkräftige Unterstützung bei den Messarbeiten vor Ort wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Weiters möchte ich mich beim Labor des Gewässerschutzes des Landes OÖ und dem Institut für Angewandte Geologie an der Universität für Bodenkultur Wien für die Durchführung der Probenanalyse bedanken.

Meinen Eltern, Geschwistern und meiner Christina möchte ich auf diesem Weg den allerherzlichsten Dank aussprechen. Ohne Ihre Unterstützung wäre das Studium und letztlich auch diese Diplomarbeit nicht zustande gekommen.

Auf keinen Fall unerwähnt dürfen an dieser Stelle meine Studienkolleginnen und -kollegen bleiben. Sie sind verantwortlich für eine gemeinsame wunderschöne Zeit an der Universität und werden Freunde fürs Leben bleiben.

Abstract

The data and results of this and other thesis are intended to be used for the development of a guideline for the monitoring of suspended sediments in Austria.

For the purpose of this study water samples were taken at the gauging station in Steyr (Upper Austria), which has been equipped with an optical turbidity sensor. During the whole year several single point samples had been taken close to the sensor in order to calibrate the turbidity data.

The selected point sampling was performed with different samplers according to a depth-integration or point-integration method. These measurements were used to calculate the mean content of suspended sediment in the cross section. Based on the suspended sediment concentrations obtained next to the optical sensor and in the center of the cross section sensor- and cross section factors have been calculated, which were used to convert the turbidity data into suspended sediment concentrations. Further they have been used to calculate the suspended sediment loads of the river Enns for July until the end of the December 2005. This approach has the advantage, that the continuously recorded turbidity data can be used to calculate the suspended sediment load.

Kurzzusammenfassung

Die Daten und Ergebnisse der vorliegenden Arbeit dienen gemeinsam mit anderen Diplomarbeiten zur Erstellung eines Leitfadens für die Schwebstoffmessung beziehungsweise der Etablierung eines Schwebstoffbasismessnetzes in Österreich.

Im Zuge dieser Diplomarbeit konnte an der Messstelle Steyr-Ortskai an der Enns eine Trübungssonde installiert werden. Weiters wurden Schwebstoffproben nach verschiedenen, definierten Methoden entnommen, im Labor filtriert und gravimetrisch auf ihre Schwebstoffkonzentration untersucht. Zur Kalibrierung der Sondenaufzeichnung wurden in Sondennähe Referenzproben entnommen. Zur Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil kamen, verteilt über den gesamten Flussquerschnitt, verschiedene Probeschöpfer in Form von Vielpunkt- und Integrationsentnahmen zum Einsatz. Auf Basis dieser gewonnenen Erkenntnisse ließen sich Sonden- und Querprofilbeiwerte definieren, welche zur Umrechnung der Sondenaufzeichnung in mittlere Schwebstoffkonzentrationen herangezogen werden konnten. Aus der so korrigierten Ganglinie der Sondenaufzeichnung konnte die Schwebstofffracht für einen bestimmten Zeitraum errechnet werden. Der Vorteil dieser Anwendungsmöglichkeit besteht darin, dass durch die Kontinuität der Sondenaufzeichnung und eine geeignete Korrekturmethode ein lückenloser Rückschluss auf die Schwebstofffracht ermöglicht wird.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	ZIEL DER ARBEIT	3
2.1	Teilziele	4
3	DIE ENNS	6
3.1	Eine Kurzbeschreibung der Enns	6
3.2	Geologie	7
3.3	Böden	9
3.4	Klima	11
3.5	Hydrologie	13
3.6	Messstellenausstattung und –einrichtung	15
4	SCHWEBSTOFFE	17
4.1	Bedeutung der Schwebstoffe	17
4.2	Herkunft der Schwebstoffe	18
4.3	Schwebstoffbewegung in Gewässern	18
4.4	Schwebstoffmessung	21
5	METHODIK	23
5.1	Allgemeines	23
5.2	Indirekte Schwebstoffmessung	24
5.2.1	Trübungsmessung	24
5.3	Direkte Schwebstoffmessung	25
5.3.1	Einpunktentnahmen	25
5.3.2	Vielpunktentnahmen	26
5.3.3	Integrationsentnahmen	29
5.3.3.1	EWI–Methode (nach EDWARDS and GLYSSON, 1999)	30
5.3.3.2	EDI–Methode	33
5.4	Verwendete Entnahmegeräte	33

5.4.1	OTT-Sammler	33
5.4.2	US – P 61A1	35
5.5	Auswertung der direkten Messung	36
5.5.1	Gravimetrische Bestimmung der Schwebstoffkonzentration	36
5.6	Auswertung der Messergebnisse	39
5.6.1	Allgemeines	39
5.6.2	Berechnung des Schwebstofftransports	39
5.7	Anpassung der Trübungsganglinien und Frachtberechnungen	42
5.7.1	Ermittlung des Sondenbeiwertes und Korrektur der Sondenaufzeichnung	42
5.7.2	Ermittlung des Querprofilbeiwertes k_1	44
5.7.3	Frachtberechnung	45
5.7.4	Korngrößenanalyse	45
6	DATEN UND ERGEBNISSE	47
6.1	Schwebstoffkonzentrationen	47
6.1.1	Integrationsentnahme am 12. Juli 2005	49
6.1.2	Vielpunktentnahme am 18. Juli 2005	55
6.1.3	Integrationsentnahme am 28. Juli 2005	58
6.1.4	Vielpunkt- und Integrationsentnahme am 1.8.2005	62
6.1.5	Vielpunktmessung am 19.9.2005	66
6.2	Korrekturfaktoren	71
6.3	Korrigierte Ganglinie	72
6.4	Schwebstofffracht	75
7	DISKUSSION	77
7.1.1	Indirekte Schwebstoffmessung - Trübung	77
7.1.2	Direkte Schwebstoffmessung - Schwebstoffentnahmegerate	80
7.1.3	Messergebnisse	82
7.1.4	Methodik	83
7.1.5	Einfluss der Korngröße auf die Trübungsmessung	83
7.1.6	Defizite und zukünftiger Handlungsbedarf	84
7.1.7	Schwebstofftransport	85

7.1.8 Probenlagerung und -auswertung	85
8 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG	86
9 LITERATURVERZEICHNIS	89
10 ANHANG	93
10.1 Anhang 1 – Datenblätter	94
10.2 Anhang 2 – Berechnung des Schwebstofftransports	106
10.3 Anhang 3 – GIS - Auswertung	113

ABKÜRZUNGS- UND SYMBOLVERZEICHNIS

BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
C_m	mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil [mg/l]
C_r	Schwebstoffkonzentration der Referenzproben [mg/l]
C_s	Schwebstoffkonzentration der Sondenaufzeichnung [mg/l]
EDI-Methode	Equal Discharge Increment Method
EKW	Ennskraftwerke AG
EWI-Methode	Equal Width Increment Method
Fkm	Flusskilometer [km]
FNU	Trübungseinheit, Formazine Nephelometric Units
h	Gewässertiefe von der Sohle gemessen [m]
h_A	mittlere Abflusshöhe [mm]
HD	Hydrographischer Dienst
HQ ₁	einjähriges Hochwasser
HQ ₁₀	zehnjährliches Hochwasser
HQ ₃₀	dreißigjähriges Hochwasser
HQ ₁₀₀	hundertjährliches Hochwasser
HZB	Hydrographisches Zentralbüro
IWHW	Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
K_1	Querprofilbeiwert
K_2	Sondenbeiwert
m ü. A	Meter über Adria (Höhenbezugsniveau für Österreich)
MQ	Mittelwasser
M_q	mittlere Abflussspende [l/s.km ²]
NTU	Trübungseinheit, Nephelometric Turbidity Units
Q	Durchfluss [m ³ /s]
v	Fließgeschwindigkeit [m/s]
v_m	mittlere Fließgeschwindigkeit in der Messlotrechten [m/s]
v_s	Absenk- bzw. Hubgeschwindigkeit [m/s]

FORMELVERZEICHNIS

Formel 1:	Froudezahl	19
Formel 2:	Grenzkorndurchmesser	20
Formel 3:	Schwebstoffzahl	20
Formel 4:	Vertikale Schwebstoffverteilung	20
Formel 5:	Massenkonzentration von abfiltrierbaren Stoffen	37
Formel 6:	Schwebstofftransport	40
Formel 7:	Sondenbeiwert	43
Formel 8:	Querprofilbeiwert	44
Formel 9:	Lineare Beziehung C_r/C_s	73
Formel 10:	Lineare Beziehung k_1/Q	73

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 3.1:	Einzugsgebiet der Enns; Quelle: HAÖ 2005	6
Abb. 3.2:	Geologische Karte des Einzugsgebietes der Enns; Quelle: HAÖ 20059	
Abb. 3.3:	Bodenübersichtskarte; Quelle: HAÖ 2005	10
Abb. 3.4:	Jahresmittel der Lufttemperatur in °C; Quelle: HAÖ 2005	11
Abb. 3.5:	Mittlerer jährlicher Niederschlag in mm aus Modellrechnung mit unkorrigierten Daten; Quelle: HAÖ 2005	12
Abb. 3.6:	Mittlere potentielle Jahresverdunstung in mm/a; Quelle: HAÖ 2005	12
Abb. 3.7:	Abflussschwankungen am Pegel Steyr-Ortskai; Quelle: HD Oberösterreich	13
Abb. 3.8:	MQ und HQ der Pegelstelle Steyr-Ortskai/Enns; Quelle: Hydrographisches Jahrbuch 2002	14
Abb. 3.9:	Situierung von Messstelle und Pegelhaus	15
Abb. 3.10:	Metallattenpegel Pegel Steyr-Ortskai; rechtes Bild: Schreibstreifenzeichnung mit DFÜ, Quelle: WAGNER, 2006	16
Abb. 3.11:	Eingebaute Sonde solitax ts-line; mittleres Bild: Schwebstoffprobeflaschen; rechtes Bild: Datalogger SC 1000	16

Abb. 4.1: Ermittlung des Grenzkorndurchmessers d_{gr} für die Gail bei Rattendorf in Österreich; Quelle: KRESSER, 1964	19
Abb. 4.2: Idealisierte Verteilung von Fließgeschwindigkeit v und Schwebstoffgehalt C_s in einer Vertikalen (y); Quelle: DVWK 125, 1986	21
Abb. 5.1: Prinzip der Feststoffmessung nach dem Duo – Streulichtverfahren; Quelle: HACH LANGE Produkt-Programm 2004/2005	24
Abb. 5.2: Flaschenprobenentnahmegesetz des HD OÖ	26
Abb. 5.3: Messanordnung bei der Vielpunktentnahme	27
Abb. 5.4: Fließgeschwindigkeitsmessung mit Messflügel	29
Abb. 5.5: Auswertung mit dem Messprogramm BIBER des HD OÖ	29
Abb. 5.6: Schematische Darstellung der Durchführung einer Integrationsentnahme, Quelle: SILLABER, 2004	30
Abb. 5.7: EWI-Methode; Quelle: Edwards & Glysson, 1999	32
Abb. 5.8: OTT-Sammler auf Messeilbahn mit Steuerpult; Quelle: DVWK 125, 1986	34
Abb. 5.9: OTT-Sammler im Einsatz; Foto: Gattermayr, 2004	34
Abb. 5.10: US - P61A1 Sampler	35
Abb. 5.11: US – P 61A1 Sampler (in geöffnetem Zustand) mit eingesetzter Probeflasche	36
Abb. 5.12: Aluminiumschale mit Filter nach Filtration	38
Abb. 5.13: Vakuumpumpe Aquastop, Fa. Van der Heijden; rechtes Bild: Vakuumfiltrationsanlage, Fa. Labin; Labor des Gewässerschutz des Landes OÖ	39
Abb. 5.14: Konventionelles Auswerteverfahren für Vielpunktmessungen (verändert nach DVWK 125, 1986)	41
Abb. 6.2: Probeflasche, auf Flügelkörper montiert	50
Abb. 6.3: Verlauf von Wasserstand und Schwebstoffkonzentration von punktuell über den Querschnitt entnommenen Proben	50
Abb. 6.4: Verlauf von Wasserstand und Schwebstoffkonzentration der Flaschenproben, entnommen durch den HD OÖ in Ufernähe des Messhauses	52

Abb. 6.5: 12. Juli 2005: Verlauf der 10min–Mittelwerte des Abflusses sowie der Schwebstoffkonzentration der Flaschenproben, entnommen durch den HD OÖ in Ufernähe des Messhauses	52
Abb. 6.6: Großprobenahme am 12.7.2005, Kanister auf Flügelkörper befestigt	53
Abb. 6.7: Bild a: Kornsummenkurve; Bild b: Korngrößenklassen der Großprobe vom 12.07.2005	54
Abb. 6.8: 18. Juli 2005: Verlauf der 10min–Mittelwerte des Abflusses sowie der Schwebstoffkonzentration der Flaschenproben, HD OÖ	55
Abb. 6.9: VP-Entnahme und Ennsprofil mit Entnahmepunkten und Schwebstoffkonzentrationen	57
Abb. 6.10: Ganglinien von Sondenaufzeichnung, Abfluss und Referenzprobe am 28. Juli 2005	59
Abb. 6.11: Schwebstoffkonzentrationen am 28. Juli 2005	60
Abb. 6.12: Ganglinien von Sondenaufzeichnung, Abfluss und Referenzproben sowie der Beziehung zwischen Trübungswerten und der Schwebstoffkonzentration	60
Abb. 6.13: Ganglinien von Sondenaufzeichnung, Wasserstand und Referenzproben sowie der Beziehung zwischen Trübungswerten und der Schwebstoffkonzentration	61
Abb. 6.14: Ganglinien von Sondenaufzeichnung, Abfluss und Referenzprobe sowie zeitliche Einordnung der Vielpunkt- und Integrationsentnahme	62
Abb. 6.15: Ennsprofil mit Schwebstoffkonzentrationen aus Vielpunkt- und Integrationsentnahmen sowie der mittleren Fließgeschwindigkeiten	64
Abb. 6.16: Ganglinie von Wasserstand und Vergleich der Referenzproben mit der Trübung am 1.8.2005	65
Abb. 6.17: Ganglinie von Wasserstand und Trübung am 19. September 2005	66
Abb. 6.18: Ennsprofil mit Schwebstoffkonzentrationen aus Vielpunktentnahme am 19.9.2005	67
Abb. 6.19: Bootsmessung am 19.9.2005	68
Abb. 6.20: Ennsprofil mit Schwebstoffkonzentrationen aus Bootsmessung am 19.09.2005	69
Abb. 6.21: Ganglinie von Wasserstand und Vergleich der Referenzproben mit der Trübung am 19.9.2005	70

Abb. 6.22: Zusammenhang von Sondenaufzeichnung und den zugehörigen Referenzproben (sondennahe Entnahme) für die Messstelle Steyr	71
Abb. 6.23: Querprofilbeiwert k_1 bezogen auf den Abfluss	72
Abb. 6.24: Oberes Bild: Korrigierte Ganglinie von 20.07.2005 bis 31.12.2005; Unteres Bild: Korrigierte Ganglinie vom August 2005	74
Abb. 6.25: Ganglinien von Schwebstofffracht und Abfluss vom 20. Juli 2005 bis 31. Dezember 2005	75
Abb. 6.26: Grafische Darstellung der Verteilung der Schwebstofffracht im Betrachtungszeitraum von August bis Dezember 2005	76
Abb. 7.1: Prinzipskizze Sondeneinbau	77
Abb. 7.2: Sondeneinbaukonstruktion, mittels Stahlprofilblech geschützt	78
Abb. 7.3: Altes Schutzrohr mit organischem Material; rechtes Bild: Neues Schutzrohr mit Senkschraubenbefestigung	78
Abb. 7.4: Gelenkig gelagerte Einbaukonstruktion zur Herausnahme zu Wartungszwecken	79

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Termine, angewandte Entnahmemethoden und Teilergebnisse des Schwebstoffmessprogrammes 2005 an der Messstelle Steyr/Enns	48
Tabelle 2: Hydraulische und geometrische Gerinnegrößen am 12.7.2005	49
Tabelle 3: Schwebstofftransport am 12.7.2005	54
Tabelle 4: Hydraulische und Geometrische Gerinnegrößen am 18.7.2005	56
Tabelle 5: Schwebstofftransport am 12.7.2005	57
Tabelle 6: Hydraulische und Geometrische Gerinnegrößen am 28.7.2005	58
Tabelle 7: Schwebstofftransport am 28.7.2005	61
Tabelle 8: Hydraulische und geometrische Gerinnegrößen am 1.8.2005	63
Tabelle 9: Schwebstofftransport aus Vielpunktmessung am 1.8.2005	65
Tabelle 10: Schwebstofftransport aus Integrationsmessung am 1.8.2005	65
Tabelle 11: Hydraulische und geometrische Gerinnegrößen am 19.9.2005	66
Tabelle 12: Schwebstofftransport am 19.9.2005	70
Tabelle 13: Übersicht der einzelnen Schwebstofffrachten pro Monat	76

1 EINLEITUNG

Das wissenschaftliche Forschungsgebiet, welches sich mit der schonenden Nutzung der Natur im weitesten Sinn und jener der Flusslandschaften im engeren Sinn befasst, motivierte mich für die Wahl dieses Studiums und im wesentlichen für das Aufgreifen der Thematik „Schwebstoffmonitoring“. Verschiedenste Disziplinen betreffende Kenntnisse eines naturnahen, aber auch anthropogen beeinflussten Geosystems, wie dies auch bei einem Fluss der Fall ist, sind von essentieller Bedeutung. Einen ersten Schritt zu dieser besseren Kenntnis bildet die konzeptionelle Erfassung eines Flusssystems, welche durch Naturmessungen realisiert werden kann. Um Naturmessungen vornehmen zu können, ist man oft mit bestimmten Schwierigkeiten konfrontiert, speziell dann, wenn diese in komplizierten Geosystemen, wie sie in Flusslandschaften repräsentiert sind, ausgeführt werden müssen. Feststoffe eines Gewässers, wie Geschiebe und vor allem Schwebstoffe, stellen als Messgrößen eines fluviatilen Systems eine besondere Herausforderung dar und sind dann von großer Bedeutung, wenn es gilt, Ablagerungs- und Erosionserscheinungen sowie das Schadstoffanlagerungsvermögen in Gewässern und ihre Auswirkungen auf die Wassergüte, Verlandungsproblematik in Stauräumen, ufernahe Trinkwassergewinnung und aquatische Lebensbedingungen zu beurteilen, um nur einige thematische Schwerpunkte zu nennen. Die Quantifizierung des Schwebstofftransports in einem Fließgewässer ist gerade deshalb sowohl im Hinblick auf morphologische als auch auf wasserwirtschaftliche Fragen von außerordentlicher Bedeutung (BARSCH et. al., 1994).

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung der in diesem Zusammenhang bewerkstelligten Untersuchungen im Zuge des Messprogramms 2005 mit dem Hydrographischen Dienst Oberösterreich an der Messstelle Steyr-Ortskai an der Enns.

Als Auftraggeber dieses Projekts fungierte das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Wasserhaushalt (Hydrographisches Zentralbüro).

Als Auftragnehmer trat das Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau am Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt an der Universität für Bodenkultur auf, welches auch die Gesamtprojektleitung sowie die Koordination innehatte.

Das Schwebstoffmonitoring dient der Erfassung des Schwebstofftransports. Die bisher nur durch erhöhten Mittelaufwand realisierbare Schwebstoffmessung mit direkten Probenahmen soll gänzlich oder teilweise durch den Betrieb einer Trübungssonde mit Speicherfunktion substituiert werden. Alle dafür in Betracht gezogenen Einstellungen und Varianten von Messung, Kalibrierung, Methodik und Berechnung bilden den inhaltlichen Kern dieser Arbeit.

2 ZIEL DER ARBEIT

Zur Etablierung eines Schwebstoffbasismessnetzes in Österreich wurde im Rahmen der Arbeitsgruppe „Schwebstoffmessung im Hydrographischen Dienst“ im Jahre 2004 der Beschluss zur Herausgabe eines Leitfadens zur Schwebstoffmessung in Österreich gefasst. Das „Fundament“ dieses Leitfadens bilden bereits durchgeführte Pilotuntersuchungen an verschiedenen, mit Trübungssonden ausgestatteten, Pegel- oder Abflussmessstellen. Zu diesem Zweck ließen sich mit Hilfe einer kontinuierlich aufgezeichneten Trübe und der zusätzlichen Entnahme von Schwebstoffproben, Rückschlüsse auf den Schwebstofftransport in den jeweiligen Fließgewässern ziehen.

In den vorangegangenen Jahren 2003 und 2004 konnten diese Pilotuntersuchungen ebenfalls im Rahmen von Diplomarbeiten bezüglich des Schwebstoffaufkommens an verschiedenen Flüssen angestellt werden. Darin waren die Messstellen

- Wels-Lichtenegg an der Traun in Oberösterreich (NADERER, 2005)
- Windpassing an der Traisen in Niederösterreich (KASESS, 2006),
- Gisingen an der Ill in Vorarlberg (SILLABER, 2004),
- Innsbruck am Inn in Tirol (GATTERMAYR, 2004)

involviert.

Das Schwebstoffmonitoring – Programm 2005 umfasste im gesamten Bundesgebiet die Messstellen

- Steyr-Ortskai an der Enns in Oberösterreich,
- Feldbach an der Raab und Mureck an der Mur in der Steiermark,
- Dellach an der Drau in Kärnten und
- Vent an der Rofener Ache, Tumpen an der Ötztaler Ache, Innsbruck am Inn sowie Lienz an der Isel bzw. Drau in Tirol.

Wie aus der vorhergehenden Aufzählung zu entnehmen ist, wurden im Land Oberösterreich hierfür die Messstellen Wels-Lichtenegg an der Traun und

Steyr-Ortskai an der Enns ausgewählt. Die Messstelle Wels-Lichtenegg ist seit dem Jahr 2003 mit einer Trübungssonde ausgestattet und im Rahmen der Diplomarbeit von NADERER (2005) bereits untersucht.

Zur Erfassung des Schwebstofftransports an der Abflussmessstelle Steyr wurde im Juli 2005 in Zusammenarbeit mit dem Hydrographischen Dienst Oberösterreich eine Trübungssonde (Solitax ts-line[®] der Fa. HACH LANGE) im Bereich der rechten Ufermauer ins Gewässer eingesetzt. Im Zuge der praktischen Durchführung dieser Arbeit fanden Schwebstoffentnahmen sowohl in Sondennähe als auch verteilt im Querprofil zu verschiedenen Zeitpunkten statt, um einerseits eine Anpassung der optisch aufgezeichneten Konzentrationsganglinie auf die gravimetrisch bestimmten Konzentrationen vornehmen als auch durch die verteilte Probenahme die Repräsentativität des ufernahen Entnahmepunktes sowie der Sondenposition feststellen zu können. (KERSCHBAUMSTEINER, 2005).

Das erklärte Ziel der Untersuchungen ist es, mit den Ergebnissen neben der gewünschten Erfassung des Schwebstofftransportes, auch die im Messbetrieb gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen betreffend der Entnahmegерäte, der Messstellenausstattung, der verschiedenen Probenahmestrategien und eine Sensitivitätsanalyse der Schwebstofffrachtberechnung für die Erstellung eines Leitfadens zur Schwebstoffmessung in Österreich verfügbar zu machen.

2.1 Teilziele

Als diesbezügliche Teilziele können

- die Datengewinnung für die Optimierung der Probenahmen im zukünftigen Routinebetrieb,
- die Darstellung von Geschwindigkeits-, Konzentrations- und Transportprofilen,
- das Erstellen eines Zusammenhanges zwischen Sondenaufzeichnungen und Schwebstoffkonzentrationen aus periodisch gezogenen Uferentnahmen als „Sondenbeiwert“,

- die Ableitung eines „Querprofilbeiwertes“ aus dem Verhältnis der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil zur Uferentnahme und schlussendlich
- die Kombination aller relevanten Messdaten zur Ableitung der Schwebstofffrachten für die beobachteten Zeiträume definiert werden.

3 DIE ENNS

3.1 Eine Kurzbeschreibung der Enns

Die Enns ist ein südlicher Nebenfluss der Donau. Sie entwässert ein Einzugsgebiet von 6090,7 km², welches in Abbildung 3.1 rot hervorgehoben ist und mündet bei der Stadt Enns rechtsufrig in die Donau (Fkm 2112). Unter jenen Flüssen, deren Quelle und Mündung in Österreich liegen, ist die Enns der längste. Das Einzugsgebiet wird im Norden durch Traun und Donau, im Osten durch die Wasserscheide zur Ybbs, Erlauf und Traisen, im Süden durch Mur und Mürz und im Westen zur Salzach abgegrenzt (Abbildung 3.1). Auf einer Länge von 254,15 km überwindet die Enns einen Höhenunterschied von 1497 m.

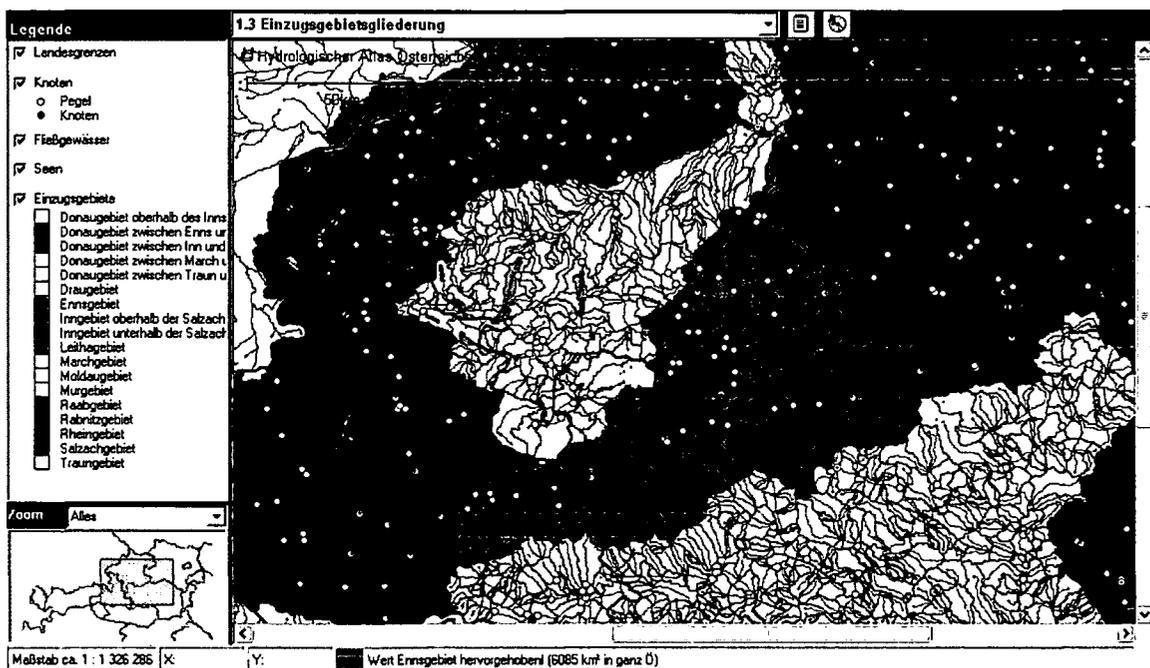


Abb. 3.1: Einzugsgebiet der Enns; Quelle: HAÖ 2005

Die Enns entspringt im Bundesland Salzburg in den Radstädter Tauern am Fuße des Mosermandls auf einer Höhe von 1735 m.ü.A. Nach 32 km Lauf erreicht sie die Landesgrenze der Steiermark bei Mandling (Fkm 222,25) und

nach weiteren 129 km Oberösterreich bei Altenmarkt (Fkm 93,2). Unterhalb der Stadt Steyr bildet sie seit mehr als tausend Jahren die Landesgrenze zu Niederösterreich (GIBELHAUSER, 1990).

Die wasserwirtschaftliche Nutzung der Enns ist durch die Ennskraftwerke AG in Oberösterreich und der Verbund - AHP AG in der Steiermark mit einer Gesamtengpassleistung von 546 MW sehr weit fortgeschritten. Insgesamt sind in der Steiermark drei Tagesspeicher und drei Laufkraftwerke und in Oberösterreich eine Kraftwerkskette der Ennskraftwerke AG, bestehend aus zehn Laufkraftwerken mit Schwellbetrieb im Einsatz (HAÖ, 2005).

3.2 Geologie

Aufgrund des stark unterschiedlichen Charakters der Tallandschaften, der Gefällsentwicklung, sowie der klimatischen und geologischen Rahmenbedingungen, lässt sich das Ennstal in folgende fünf Teilbereiche gliedern (LENGAUER, 1948; zitiert nach GIBELHAUSER, 1990):

- Das oberste Ennstal bis Oberndorf (Fkm 245,2 – 234,0):

In diesem Abschnitt hat die Enns Wildbachcharakter mit einem durchschnittlichen Gefälle von rund 1 %. Ihr Flusslauf ist Süd-Nord gerichtet und schneidet durch den Kalk und Quarzphyllit der unterostalpinen Decke der Radstädter Tauern.

- Das Längstal bis zum Gesäuseeingang (Fkm 234,0 – 133,0):

Das Gefälle bis Schladming beträgt 0,4 % und verringert sich bis zum Gesäuseeingang auf 0,1 %.

Dieser etwa 101 km lange, West-Ost gerichtete Abschnitt des Ennstales, erstreckt sich längs einer vorwiegend vertikalen Störung, die an der Grenze der oberostalpinen Decke zur zentralen Kristallinzone bzw. zu der vorhin erwähnten unterostalpinen Decke verläuft.

Zur oberostalpinen Decke im Norden der Enns gehören die nördlichen Kalkalpen mit Dachstein- und Wettersteinkalk, Ramsaudolomit,

Gosaukonglomerat und Werfener Schiefer sowie die Grauwackenzone mit ihren Schiefen und Kalken.

Zur kristallinen Zone im Süden der Enns zählen die Gneise, Glimmerschiefer, Quarzphyllite und Marmore der Niederen Tauern.

Der Talhintergrund selbst besteht aus Schiefen der Grauwackenzone und ist von teilweise sehr mächtigen Ablagerungen bedeckt, die neben Schichten tertiären und eiszeitlichen Ursprungs auch limnische Sedimente (Kiese, Sande, lehmige Schluffe) enthalten. Durch diese Sedimente bildeten sich Seeterrassen infolge eines Aufstaus der Enns an der ehemals bis zu 30 m hohen Gesäuseschwelle. Die Ablagerungen erreichen bei Wörschach eine Mächtigkeit bis zu 200 m.

- Das Gesäuse vom Eingang bis Hieflau (Fkm 133,0 – 117,0):

Dieser Abschnitt wird von der Enns mit einem Gefälle von etwa 0,8 % durchflossen. Sie tritt hier gänzlich, in die von steil abfallenden Zinnen und Stöcken des Kalksteins geprägte Zone der nördlichen Kalkalpen ein. Sie behält ihren West-Ost gerichteten Verlauf bis zur Einmündung des Erzbaches bei Hieflau bei, um dann in Süd-Nord Richtung zu verlaufen.

- Das enge Talstück von Hieflau bis Ternberg (Fkm 117,0 – 48,0):

Bei einem Gefälle von durchschnittlich 0,24 % durchfließt die Enns in diesem 69 km langen Abschnitt die Zone der nördlichen Kalkalpen (Kalk, Dolomit) und berührt den Gosaukonglomerat bei Großreifling mit der Salzamündung bei Fkm 108,02 und Großraming.

- Der Unterlauf der Enns von Ternberg bis zur Mündung (Fkm 48,0 – 0,0):

Im letzten Abschnitt, in dem das Gefälle ungefähr 0,16 % beträgt, verlässt die Enns das Engtal der Eisenwurzten und fließt nach dem Zusammenfluss mit der Steyr, dem bedeutendsten Zubringers bei Fkm 31,1, der Donau als Alpenvorlandfluß zu. Im Zuge dessen durchquert die Enns zuerst die Flysch- und Molassezone (Mergel und Tonschiefer mit Sandsteineinlagen) und darauf, etwa ab der Stadt Steyr, die aus Schotterdecken auf Schlier bestehende Traun-Enns-Platte, wobei die Schliersohle das Grundwasser zur Ager-Traun-Donau-Rinne hin ableitet. Hier angrenzend befindet sich auch das Einzugsgebiet der Steyr mit

einer Größe von 915,2 km², welches geologisch von den nördlichen Kalkalpen und im Besonderen von den Gosauschichten bei Windischgarsten beherrscht wird. In ihrem Unterlauf durchfließt die Steyr ebenfalls Flysch, Molasse und Schotterdecken des Alpenvorlandes.

Eine Übersicht, der im Einzugsgebiet der Enns vorkommenden geologischen Schichten ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

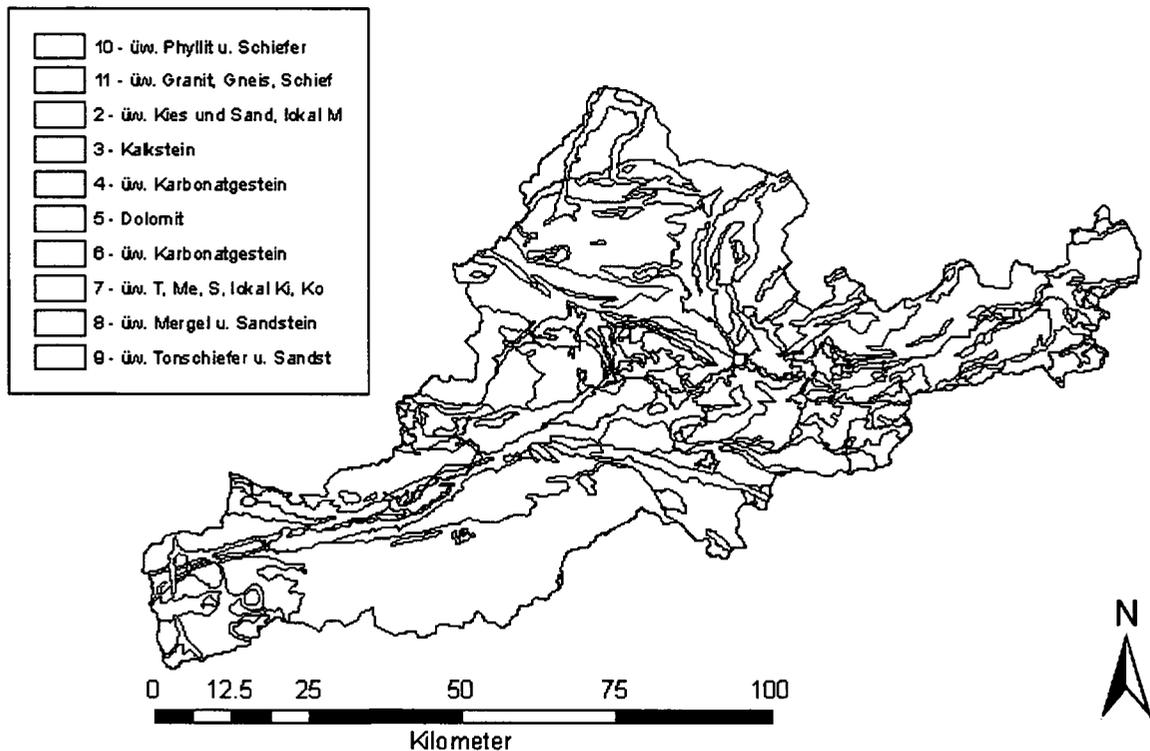


Abb. 3.2: Geologische Karte des Einzugsgebietes der Enns; Quelle: HAÖ 2005

3.3 Böden

Die Böden im Einzugsgebiet der Enns lassen sich gemäß der Bodenkarte nach Fink in die im folgenden Abschnitt und in Abbildung 3.4 angeführten Anteile gliedern (HAÖ, 2005):

In der Quellregion der Enns lässt die morphologische und klimatologische Situation, genauso wie der lithologische Wechsel von kalkfreien und kalkhaltigen Standorten, die für den Gebirgsraum so charakteristischen Böden entstehen. Prinzipiell kann hier, abhängig vom Karbonatgehalt, zwischen den beiden Subtypen Karbonathaltiger Grobmaterial - Rohboden und Karbonatfreier Grobmaterial - Rohboden unterschieden werden. In weiterer Folge kommt den

Rendzinen (Rendzina und Pararendzina) mehr Gewicht zu, welche als karbonathältige Böden mit einem flachgründigen, meist intensiv durchwurzelten A-Horizont, der unmittelbar dem C-Horizont aufliegt, beschrieben werden können. Karbonatfreie Braunerdeböden und ein Hochmoor bilden den Übergang von der Süd-Nord in die West-Ost Ausrichtung der Enns, wo im Bereich des gesamten Längstales karbonathältige Au- sowie Schwemmböden und Augleye anzutreffen sind. Neben vereinzelt vorkommenden Braunerden, Pseudogleyen und zum Teil karbonathältigen und –freien Varietäten stellen diese Böden mit den Rendzinen, welche im Wesentlichen im Alpenvorland von Hieflau bis Steyr vorkommen, den Hauptbestandteil der im Ennsgebiet vorliegenden Bodenarten dar.

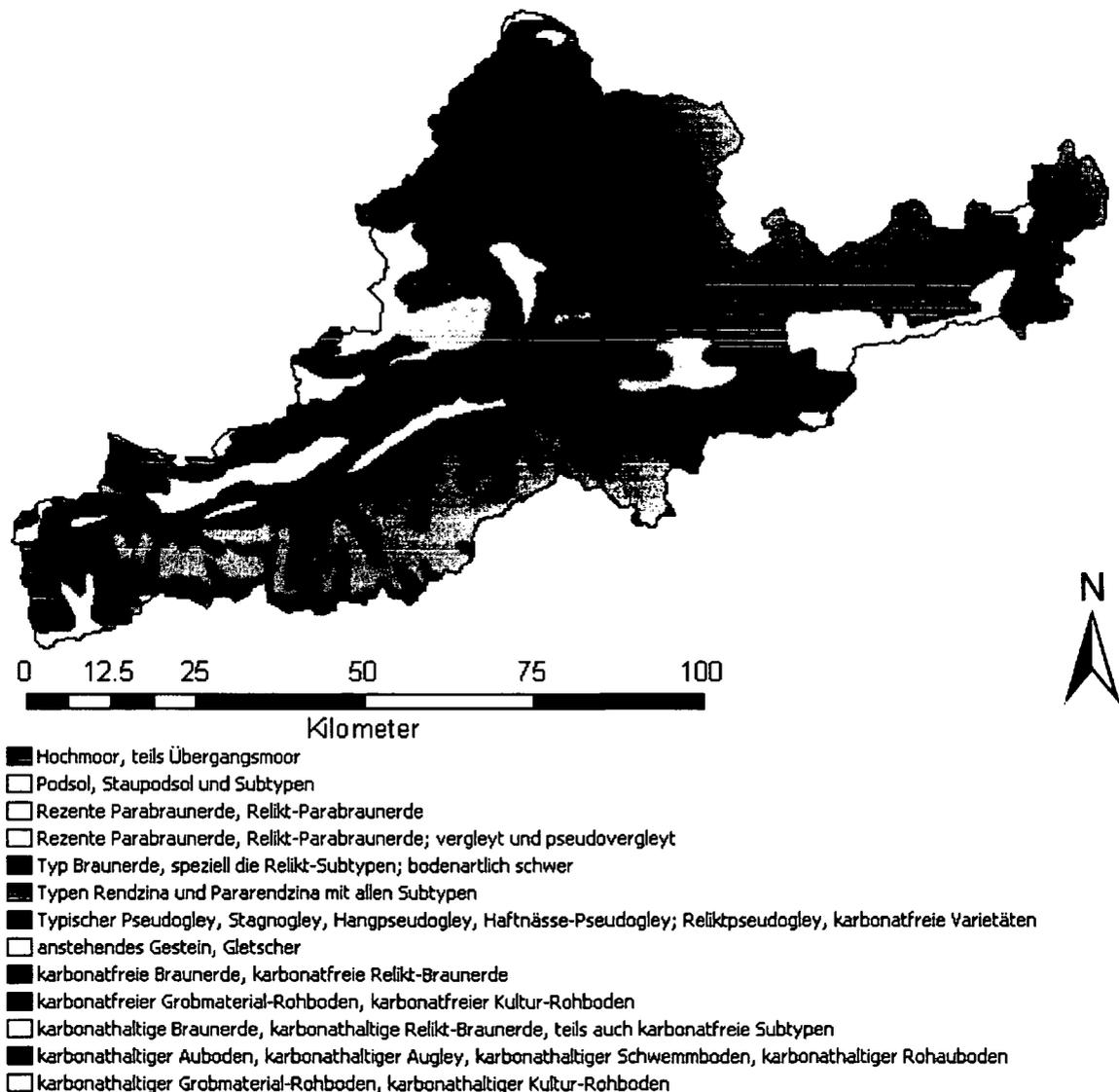


Abb. 3.3: Bodenübersichtskarte; Quelle: HAÖ 2005

3.4 Klima

Klimatisch gehört das Ennstal dem Alpenen Klimagebiet an. West- bis Nordwestströmungen, die ozeanische Feuchtigkeit heranbringen, sind der bestimmenden Klimafaktor. Die wenigen Tage mit östlichen Strömungen weisen hingegen kontinentalen Klimaeinfluss auf. Auf verhältnismäßig kleinem Raum treten häufig bedeutende Unterschiede auf und so weist jedes Seitental sein eigenes Kleinklima, mit meist recht unterschiedlichen Niederschlagsverhältnissen auf. Das Klima ist weitgehend von der Lufttemperatur und den Niederschlägen abhängig, wobei die Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck, die Windverhältnisse und die Bewölkung gleichermaßen eine wichtige Rolle spielen (SEEBACHER, 1979).

In den folgenden Abbildungen wird speziell auf das Einzugsgebiet der Enns im Hinblick auf das Jahresmittel der Lufttemperatur (Abbildung 3.4), die Jahresniederschlagshöhe (Abbildung 3.5) und die mittlere potentielle Jahresverdunstung (Abbildung 3.6) eingegangen.

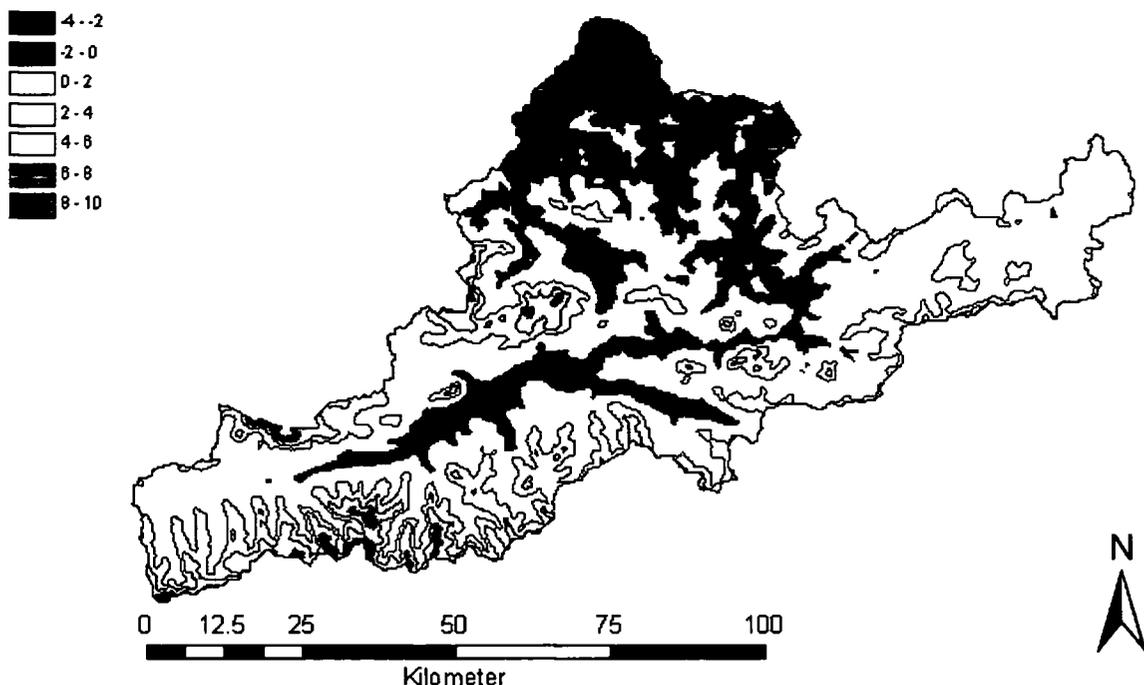


Abb. 3.4: Jahresmittel der Lufttemperatur in °C; Quelle: HAÖ 2005

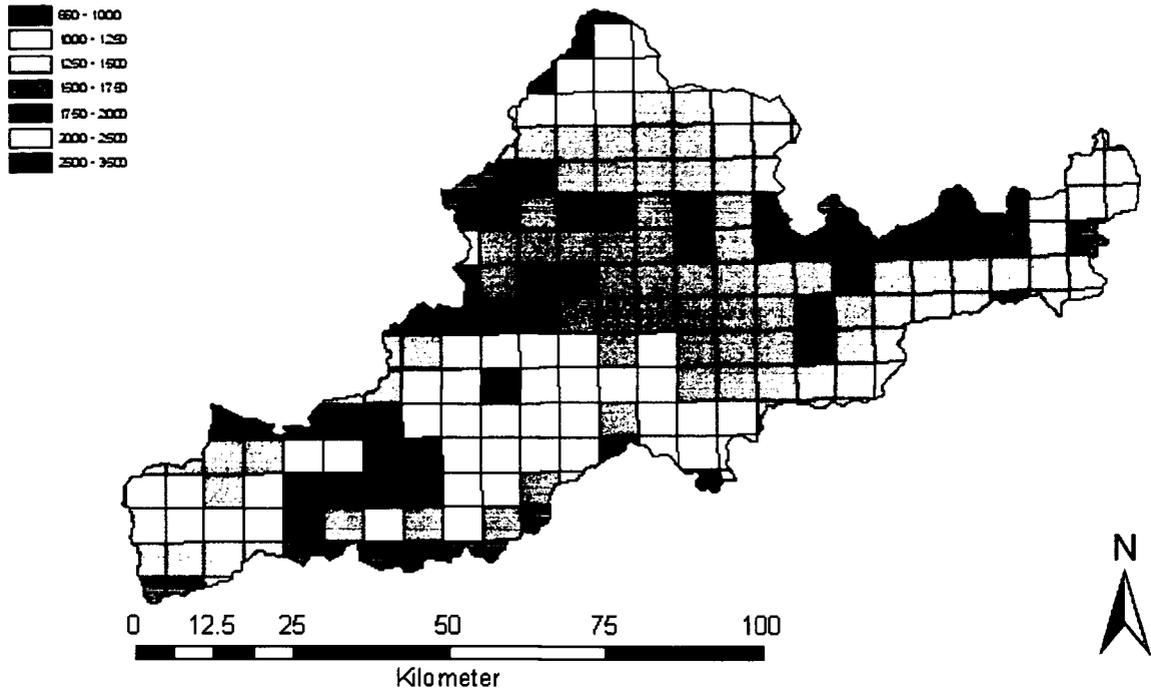


Abb. 3.5: Mittlerer jährlicher Niederschlag in mm aus Modellrechnung mit unkorrigierten Daten; Quelle: HAÖ 2005

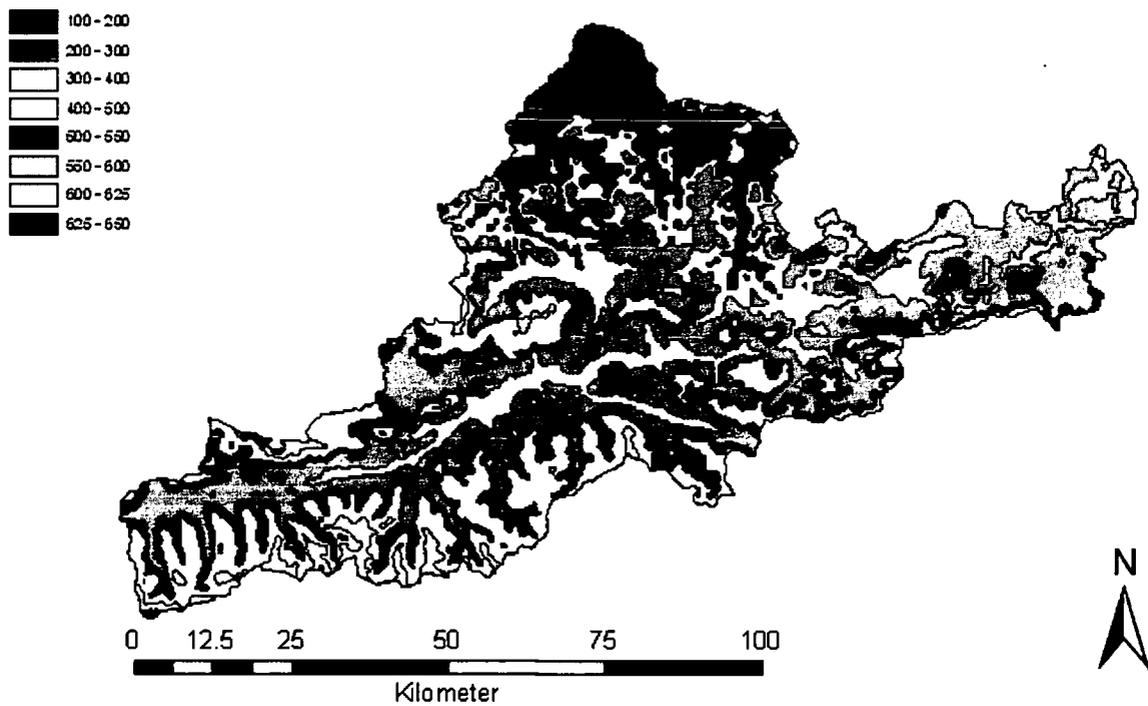


Abb. 3.6: Mittlere potentielle Jahresverdunstung in mm/a; Quelle: HAÖ 2005

3.5 Hydrologie

Als Datengrundlage für die Charakterisierung der hydrologischen Verhältnisse dienen die Aufzeichnungen des Pegels Steyr-Ortskai an der Enns, an welchem auch die gesamten Schwebstoffmessungen durchgeführt werden konnten. Die Distanz zwischen der Messstelle und der Mündung in die Donau beträgt 30,88 km, wobei diesem Gewässerabschnitt nach WIMMER & MOOG, 1994 die Flussordnungszahl 6 zugeordnet werden kann. Die Fläche des erfassten Einzugsgebiets beträgt 5915,4 km².

Das Abflussverhalten der Enns ist durch tagesrhythmische Abflussschwankungen, aufgrund der sich im Oberlauf befindlichen Laufkraftwerke, gekennzeichnet. Ein ansteigender Wasserstand ist im Regelfall tagsüber, etwa ab 6.00 Uhr, zu beobachten. In der Nacht sinkt der Wasserstand meist auf seinen täglichen Tiefpunkt (Abbildung 3.7).

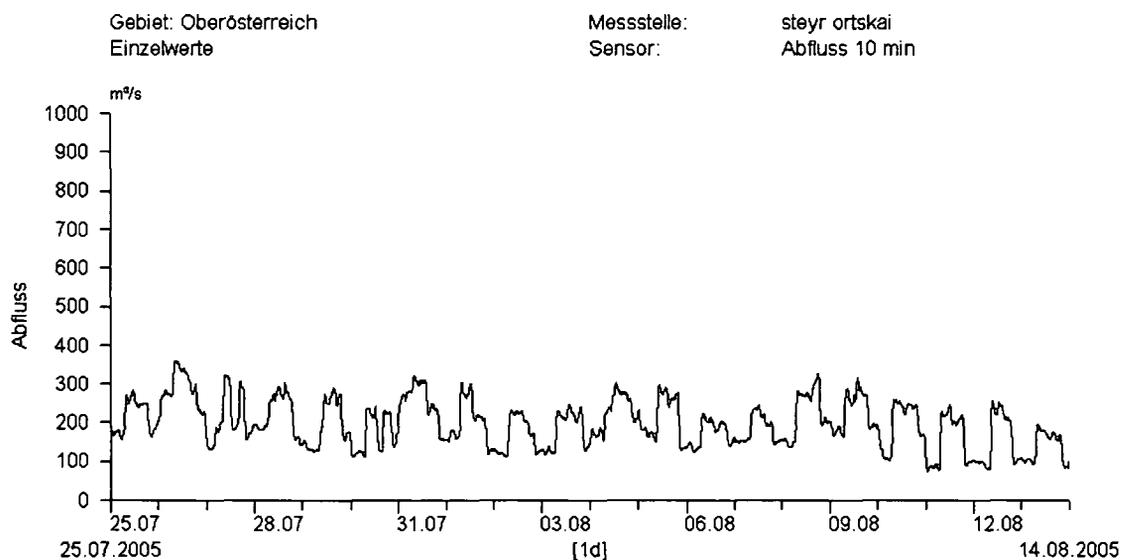


Abb. 3.7: Abflussschwankungen am Pegel Steyr-Ortskai; Quelle: HD Oberösterreich

Erste Aufzeichnungen datieren aus dem Jahr 1962. Der niedrigste beobachtete Wasserstand belief sich auf 24 cm und wurde in Steyr am 19. November 1991 registriert. Der bis dato höchste Wasserstand von 740 cm konnte am 12. August 2002 aufgezeichnet werden. Kritische Wasserstände in Steyr betragen

350 cm bei Ausuferung am Ennskai (rechtsufrig) beziehungsweise 400 cm bei Ausuferung am Ortskai (linksufrig).

Der mittlere Abfluss MQ (Reihe: 1966-2002) der Enns am Pegel Steyr-Ortskai beträgt 203 m³/s. Das entspricht einer mittleren Abflussspende M_q von 34,4 l/s*km² beziehungsweise einer mittleren Abflusshöhe h_A von 1085 mm. (HYDROGRAPHISCHES JAHRBUCH, 2002).

Das 1-jährliche Hochwasser HQ₁ wurde mit 1160 m³/s errechnet, das 10-jährliche Hochwasser HQ₁₀ mit 2100 m³/s, das 30-jährliche Hochwasser HQ₃₀ mit 2550 m³/s und das 100-jährliche HQ₁₀₀ mit 3050 m³/s (persönliche Mitteilung des Hydrographischen Dienstes OÖ).

Die mittleren und maximalen monatlichen Abflüsse MQ sowie HQ der Enns am Pegel Steyr-Ortskai sind in Abbildung 3.8 dargestellt.

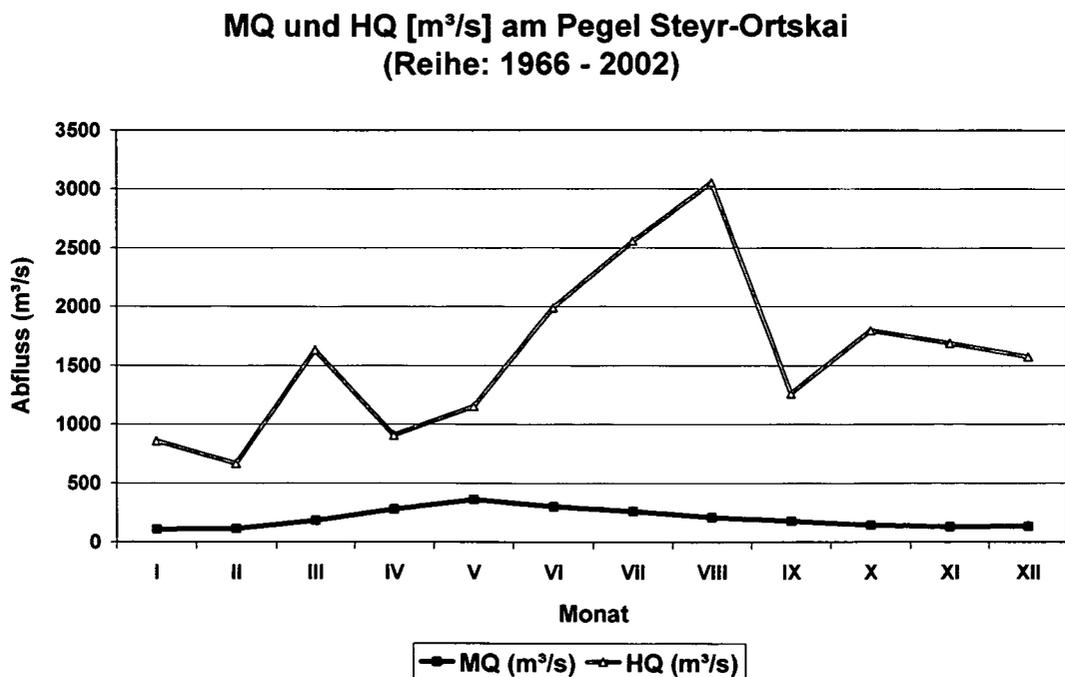


Abb. 3.8: MQ und HQ der Pegelstelle Steyr-Ortskai/Enns; Quelle: Hydrographisches Jahrbuch 2002

3.6 Messstellenausstattung und –einrichtung

Die Messstelle Steyr-Ortskai gliedert sich genau genommen in das eigentliche Pegelhaus am linken Ufer der Enns ungefähr 150 m nach der Mündung der Steyr und in das Messhaus, welches rechtsufrig etwa 800 m unterhalb der Steyr - Mündung situiert ist (Abbildung 3.9). Dies führt natürlich zu einigen Unsicherheiten bezüglich der Genauigkeit der Messungen.

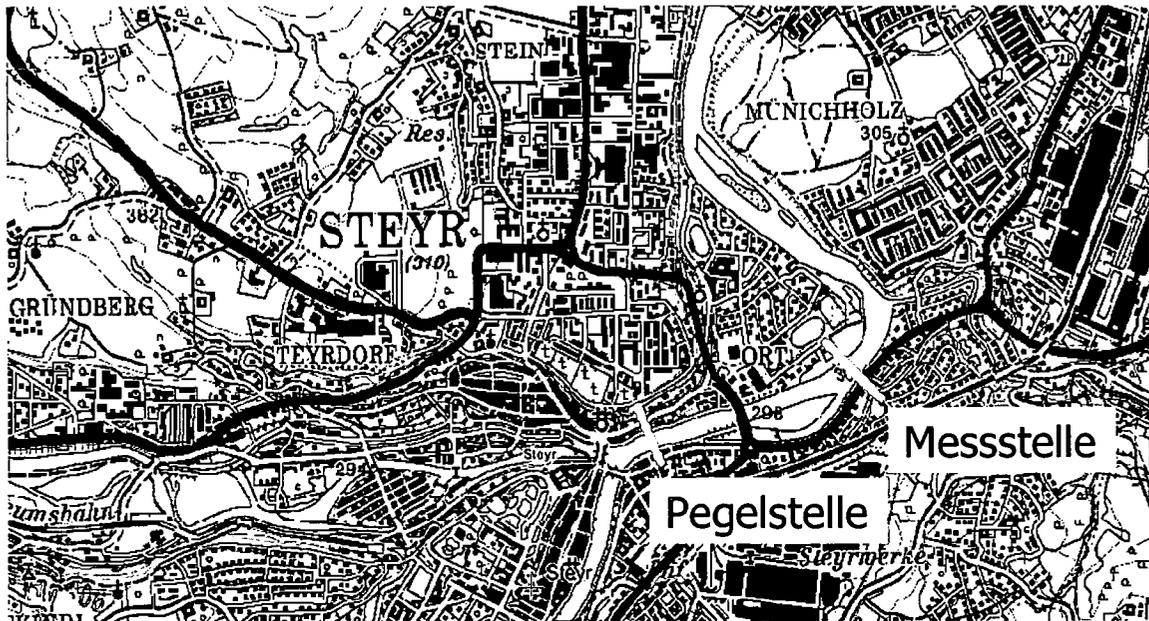


Abb. 3.9: Situierung von Messstelle und Pegelhaus

Das Pegelhaus ist ausgestattet mit:

- Wasserstandsdatensammler
- Schreibstreifenaufzeichnung mit DFÜ
- Metallattenpegel (beide in Abbildung 3.10)

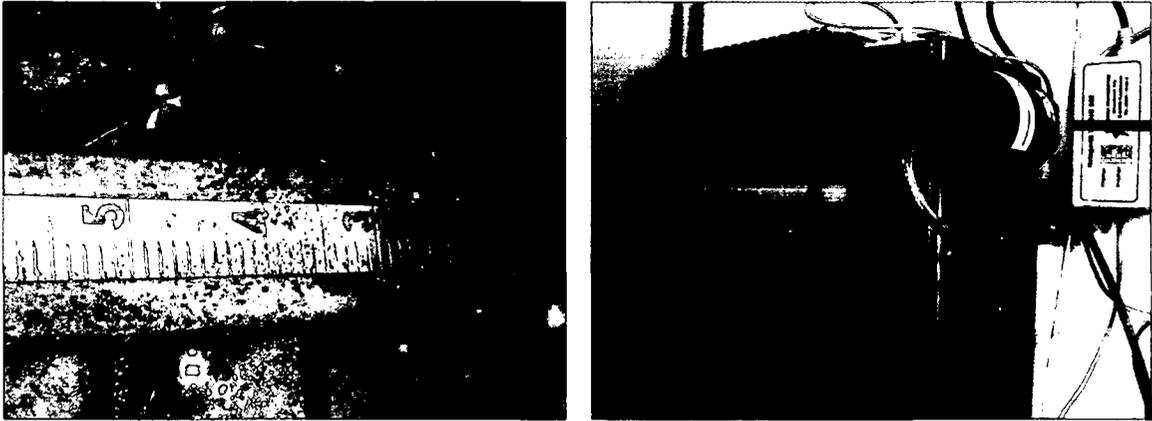


Abb. 3.10: Metalllattenpegel Pegel Steyr-Ortskai; rechtes Bild: Schreibstreifenzeichnung mit DFÜ, Quelle: WAGNER, 2006

Im Messhaus befindet sich:

- Seilkrananlage
- Sonde „Solitax ts-line“ der Firma HACH-LANGE mit Sondencontroller „SC 1000“ (Abbildung 3.11)
- Schwebstoffprobeflaschen mit Kühlschrank
- Flaschenprobenahmegerät

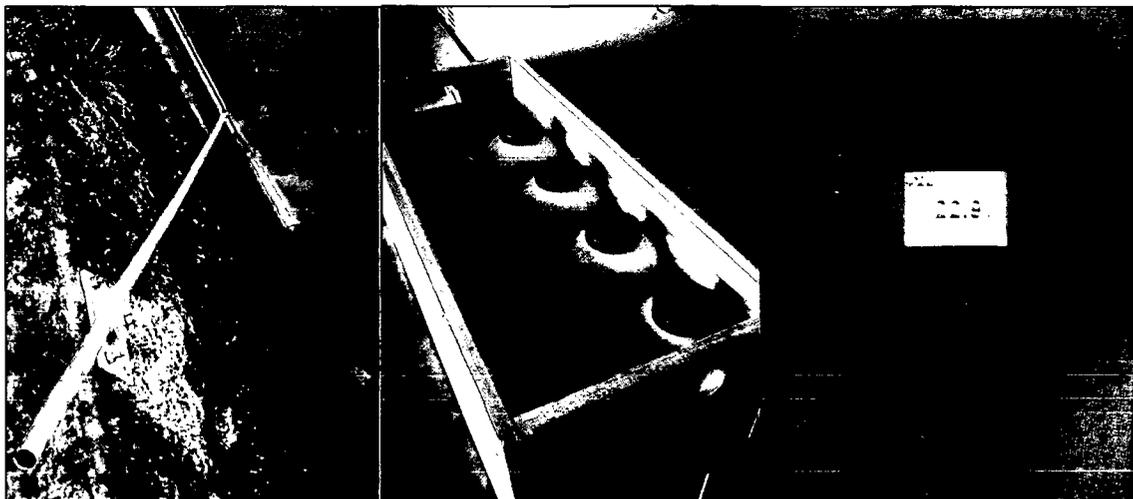


Abb. 3.11: Eingebaute Sonde solitax ts-line; mittleres Bild: Schwebstoffprobeflaschen; rechtes Bild: Datalogger SC 1000

4 SCHWEBSTOFFE

4.1 Bedeutung der Schwebstoffe

Der im letzten Jahrhundert im großen Maßstab einsetzende Wasserkraftausbau der geschiebeführenden Flüsse erforderte eine genauere Kenntnis der Schwebstofffrachten, um die Verlandungsprozesse in Stauhaltungen abschätzen zu können (MANGELSDORF & SCHEURMANN, 1980).

Dies gilt im Allgemeinen heute umso mehr für wasserwirtschaftliche und wasserbauliche Anforderungen wie sie die Beurteilung möglicher Ablagerungen oder Verlandungen in Gewässern sowie die Erfassung des Abtrags im Einzugsgebiet der Wasserläufe und Beurteilung des Weitertransports oder der Erosion abgelagerter Stoffe von Flusssohle und Vorland beim Durchgang von Hochwasserwellen, darstellen (DVWK 125, 1986). MANGELSDORF & SCHEURMANN messen der Beschaffenheit des Einzugsgebietes in Abhängigkeit von geologischer und klimatischer Situation im Hinblick auf das Auftreten von Gemischen aus organischen und mineralischen Schwebstoffen große Bedeutung bei. Darüber hinaus sind auch jahreszeitliche Einflüsse und das Abflussgeschehen nicht zu vernachlässigen (DVWK 125, 1986).

Schwebstoffe sind Ursache der natürlichen Selbstabdichtung und spielen auch bei der Gewinnung von uferfiltriertem Flusswasser bezüglich Ergiebigkeit und Qualität eine Rolle. Bei vielen Fragen der Wassergüte besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zum Feststofftransport, da die Erosion von der Landfläche eine wesentliche Stoffquelle ist bzw. den Träger der Verunreinigung durch den Eintrag von Phosphaten in die Gewässer darstellt. Schwebstoffe mit einem Durchmesser $< 63 \mu\text{m}$ sind wichtig zur Erfassung von Schwermetallen. Bezüglich der Schadstofffrachten durch absorbierte anorganische und organische Schadstoffe und weiters des Sauerstoffhaushaltes ist der Transport von Schwebstoff ebenfalls von besonderer Wichtigkeit (MANIAK, 2005).

4.2 Herkunft der Schwebstoffe

Die Herkunft der Schwebstoffe ist auf eine Vielzahl von Quellen zurückzuführen, die das Gewässer selbst, das Einzugsgebiet mit seinen Gegebenheiten sowie seine Nutzung betreffen. Im Einzelnen entstehen die Schwebstoffe eines Gewässers durch:

- Verwitterung, Geländeerodion infolge Niederschlag und Wind
- Erosion im Flussbett und auf Vorländern besonders bei hohen Abflüssen
- Remobilisierung bei Stauraumpülungen, Baggerungs- und Flussbauarbeiten
- Geschiebeabtrieb.

Entsprechend ihrer Herkunft können Schwebstoffe mineralischer, also anorganischer und organischer Natur sein (DVWK 125, 1986).

4.3 Schwebstoffbewegung in Gewässern

Nach ÖNORM B2400 wird die Gesamtheit von Geschiebe, Schwebstoffen und Schwimmstoffen als Feststoffe bezeichnet.

Als Geschiebe werden die vom fließenden Wasser auf oder nahe der Gewässersohle gleitend, rollend oder springend fortbewegten Gesteinsteile bezeichnet.

Schwebstoffe sind die im Wasser durch Turbulenz in mehr oder weniger gleichmäßiger Verteilung in Schwebelage gehaltenen festen Stoffe.

Schwimmstoffe sind jene festen Stoffe, ausgenommen Eis, die an der Wasseroberfläche schwimmen (ÖNORM B2400, 1986).

Darüber hinaus sind noch weitere gelöste Stoffe im Wasser enthalten.

DIN 4049 bestimmt das Geschiebe als ein Korngemisch, das sich aus Gesteinskomponenten verschiedener Herkunft, Korngröße und einer Dichte, welche zwischen 2500 und 2700 kg/m³ schwankt, zusammensetzt (DIN 4049, zitiert nach: HABERSACK, 2005).

Ein Korn kann demnach sowohl als Geschiebe als auch als Schwebstoff transportiert werden. Eine exakte Abgrenzung hierbei ist nicht möglich.

Wenn man also die Schwebstoffe aus methodischen Gründen gegen das Geschiebe abgrenzen will, so kann dies lediglich durch die Kennzeichnung des augenblicklichen Bewegungszustandes bewerkstelligt werden (MANGELSDORF & SCHEURMANN, 1980). Durch Messungen an mehreren österreichischen Flüssen wurde festgestellt, dass sich der Zusammenhang zwischen mittlerer Strömungsgeschwindigkeit v_m und dem Grenzdurchmesser d_{gr} durch eine konstante Froudezahl beschreiben lässt (KRESSER, 1964):

$$Fr = \frac{v_m^2}{g \cdot d_{gr}} = 360 \quad (\text{Formel 1})$$

Aus dieser Beziehung lässt sich ein Wert für d_{gr} ermitteln, was in Abbildung 4.1 zu erkennen ist.

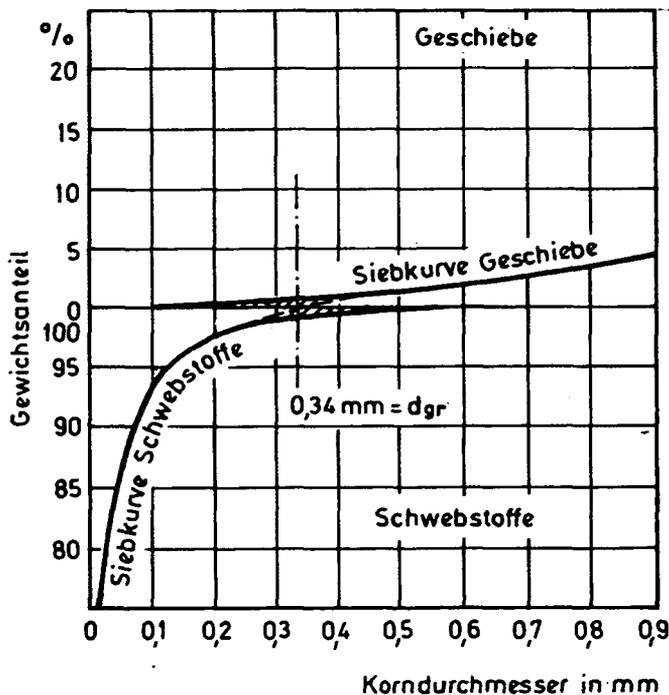


Abb. 4.1: Ermittlung des Grenzkorndurchmessers d_{gr} für die Gail bei Rattendorf in Österreich; Quelle: KRESSER, 1964

$$d_{gr} = \frac{v_m^2}{g \cdot 360} \quad (\text{Formel 2})$$

Zur Ermittlung der vertikalen Schwebstoffverteilung gibt es mehrere Theorien. Nach Rouse (1937) wird die Dispersion der Partikel als Diffusionsprozess betrachtet. Die Diffusionsgleichung wird unter Annahme eines über der Fließtiefe veränderlichen Diffusionskoeffizienten, einer logarithmischen Geschwindigkeitsverteilung für stationär gleichförmige Verhältnisse unter Einführung der turbulenten Schubspannung und der Annahme, dass sich die Feststoffpartikel in horizontaler Richtung bewegen, gelöst (DVWK 125, 1986).

Mit der Schwebstoffzahl

$$Z = \frac{v_s}{\kappa v_o^*} \quad (\text{Formel 3})$$

ergibt sich die Beziehung:

$$\frac{C_s(y)}{C_{sa}} = \left[\frac{h-y}{y} \frac{a}{h-a} \right]^2 \quad (\text{Formel 4})$$

Hierbei bedeuten:

- $C_s(y)$ = vertikale Schwebstoffverteilung in g/m^3
- C_{sa} = Schwebstoffgehalt im Abstand a von der Sohle in g/m^3
- h = Wassertiefe in m
- a = Abstand von der Sohle in m (Bezugshöhe)
- κ = von Kármán-Konstante (bei klarem Wasser = 0,4)
- v_o^* = $\sqrt{\frac{\tau_o}{\rho_w}}$ = Wandschubspannungsgeschwindigkeit in m/s
- τ_o = Wandschubspannung in N/m^2

HABERSACK (2005) definiert zusätzlich für eine erste Schätzung bzw. Abgrenzung, dass ein Korn < 1 mm mit hoher Wahrscheinlichkeit als Schwebstoff und ein Korn > 1 mm mit hoher Wahrscheinlichkeit als Geschiebe transportiert wird.

In der folgenden Abbildung 4.2 ist der Verlauf der Fließgeschwindigkeit und der Schwebstoffkonzentration mit zunehmender Wassertiefe illustriert.

Dabei ist zu erkennen, dass sich der Gehalt an Schwebstoffen in Sohlnähe erhöht, gleichzeitig der Betrag der Fließgeschwindigkeit zur Sohle hin kleiner wird, sich die beiden Parameter also der Theorie nach konträr zueinander verhalten.

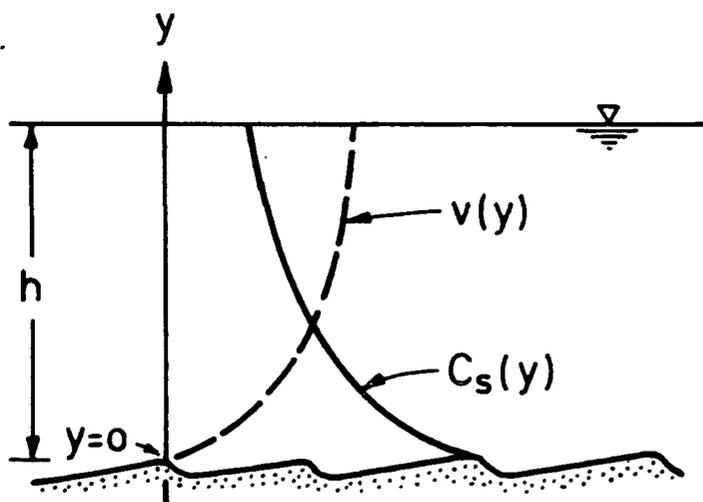


Abb. 4.2: Idealisierte Verteilung von Fließgeschwindigkeit v und Schwebstoffgehalt C_s in einer Vertikalen (y); Quelle: DVWK 125, 1986

4.4 Schwebstoffmessung

Das erklärte Ziel hierbei ist die Bestimmung der Schwebstoffkonzentration eines bestimmten Wasservolumens. Dies lässt sich durch verschiedene Ansätze realisieren. Bei der gebräuchlichsten Art der Schwebstoffmessung wird auf die direkte Probennahme aus dem Gewässer mit anschließender gravimetrischer Bestimmung des Filtrerrückstandes als zuverlässige Methode zurückgegriffen, bei welcher bereits zum Teil beträchtliche Datenmengen aufeinander folgender Jahresreihen als „historische“ Datenbasis vorliegen. Zur direkten Schwebstoffmessung kann eine Vielzahl von Entnahmegerten zum Einsatz

kommen. Verwendet werden in diesem Zusammenhang bei Einpunkt-, Vielpunkt- und/oder Integrationsmessungen der OTT-Sammler, der SEBA-Sampler, der US – P61A1 Sampler, der Tirol TORPEDO des HD Tirol sowie das Schwebstoffentnahmeggerät des IWHW. Darüber hinaus bieten sich zur einfachen Punktprobeentnahme ein 10 Liter fassender Schöpfeimer und das Handprobenentnahmeggerät an. Diese Aufzählung kann auf keinen Fall Anspruch auf Vollständigkeit erheben, sie stellt im Grunde genommen alle jene in Österreich im Rahmen des Messprogramms 2005 in Verwendung stehenden Entnahmeggeräte dar.

Einen Anhalt für die Größe des Schwebstoffgehaltes kann die Bestimmung der Trübung des Gewässers mit einem fotometrischen Gerät, welches über Lichtquelle und Fozelle verfügt, bringen. Die fotometrische Messung kann unterschieden werden in Adsorptions- und Streulichtmessung (DVWK 125, 1986). Sie sollte aufgrund der bisher gewonnenen Erfahrungen direkt im Gewässer erfolgen.

5 METHODIK

5.1 Allgemeines

Die Messung des Schwebstoffgehalts eines bestimmten Wasservolumens kann mit indirekten und direkten Methoden erfolgen. Zu den direkten Verfahren zählt die Messung durch Entnahme von Wasserproben. Die indirekten Verfahren umfassen die Messung durch Trübung sowie die Messung mittels radioaktiver Strahlung. Auf letztere wird nicht näher eingegangen, da sie im Rahmen dieser Diplomarbeit keine Verwendung fand.

Bei der Messdurchführung wurde auf die Verwendung indirekter Messmethoden zur quasi-permanenten Erfassung der Trübungsganglinie zurückgegriffen. Zur Validierung dieser gewonnenen Werte konnte auf Basis von gezielten Einpunktentnahmen, die hier als Referenzproben bezeichnet werden, eine Korrektur im post-processing stattfinden, da die Messergebnisse des angewendeten Streulichtverfahrens stark von den Korngrößenverteilungen der Schwebstoffe abhängen (SCHOELLHAMMER & WRIGHT, 2003; SILLABER, 2004) und eine Kompensation dieses Effektes derzeit noch nicht möglich ist. Nach Korrektur der Sondenaufzeichnungen ist eine weitere Anpassung des Ergebnisses erforderlich, die die Repräsentativität des Messpunktes im Verhältnis zum Schwebstofftransport im gesamten Querprofil berücksichtigt (DVWK 125, 1986). Aus dem Produkt von Durchfluss und Schwebstoffkonzentrationen können Transportganglinien erzeugt werden, die durch Integration über die Zeit die Bestimmung von Schwebstofffrachten für unterschiedliche Perioden zulassen.

Zur Überprüfung der Repräsentativität dieser Einpunktentnahmen wären insbesondere bei der Einrichtung der Messstelle bzw. im Rahmen von periodischen Kontrollmessungen die Schwebstoffverteilungen bei unterschiedlichen Durchflüssen zu erfassen. Diese Anforderung kann mittels Vielpunkt- und/oder Integrationsmessungen bei paralleler Aufzeichnung der aktuellen Trübung und der Entnahme von Uferproben erfüllt werden.

5.2 Indirekte Schwebstoffmessung

5.2.1 Trübungsmessung

Als Trübung bezeichnet man die optische Eigenschaft eines Wassers, eingestrahktes Licht zu streuen. Die Streuung entsteht durch ungelöste, fein disperse Stoffe und ist bestimmbar als Schwächung des Lichtflusses in der Probe (Durchlichtmessung) oder durch die Intensität des Streulichtes (REINEMANN et al. 1982; zitiert nach: BARSCH et al. 1994). Im Zuge dieser Arbeit wurde die Sonde Solitax ts-line® der Fa. HACH - LANGE zur Trübungsmessung herangezogen.

Das Messprinzip basiert auf einem kombinierten Infrarot-Absorptions-Streulicht-Verfahren, das geringste Trübungswerte nach DIN EN 27027 genauso präzise und kontinuierlich ermittelt wie hohe Schlammgehalte. Dabei wird das von den Trübungsteilchen seitlich gestreute Licht unter einem Winkel von 90° gemessen.

Der registrierende Sensor ist mit seinem Messfenster in Fließrichtung - ausgerichtet und für Reinigungs- und Wartungszwecke herausnehmbar installiert. Dieses Messprinzip erläutert die folgende Abbildung 5.1.

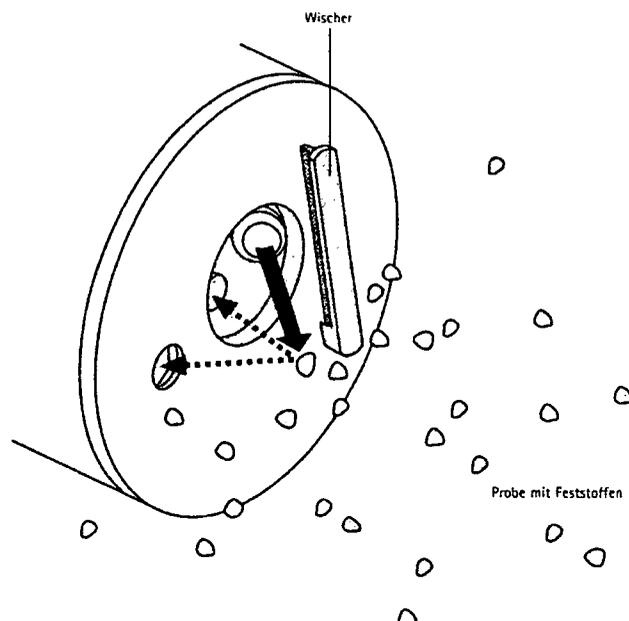


Abb. 5.1: Prinzip der Feststoffmessung nach dem Duo – Streulichtverfahren; Quelle: HACH LANGE Produkt-Programm 2004/2005

Die Sonde kann in einem Messbereich von 0,001 – 4000 FNU zur Erfassung der Trübung und umgelegt auf Feststoffe in einem Bereich von 0,001 bis 50 g/l zum Einsatz kommen. Sie wird als Einbausonde konzipiert und ist zur Reinigung mit einem Wischer ausgestattet, der für eine saubere Messoptik sorgt. In Abhängigkeit des „Sensorfoulings“ kann zwischen verschiedenen langen Wischerintervallen gewählt werden.

Die eigentliche Messung erfolgt grundsätzlich in Trübungseinheiten FNU bzw. NTU, wobei die zugehörige Anzeigeeinheit SC 1000® der Fa. HACH-LANGE jedoch auf die Ausgabe von Schwebstoffkonzentrationen in mg/l Trockensubstanz umgestellt werden kann. Die Messwerte werden im Anzeigegerät gespeichert und können entweder digital auf PC übertragen oder direkt über den Stromausgang an einen beliebigen Datenlogger gesendet werden, der dann eine Datenfernübertragung der Signale ermöglicht.

5.3 Direkte Schwebstoffmessung

5.3.1 Einpunktentnahmen

Die Einpunktentnahme stellt den Regelfall der bisherigen Schwebstoffentnahme dar. Bei der klassischen Einpunktmessung sollte die Entnahme möglichst in Gewässermitte, also im Stromstrich, von einer Brücke oder einem Boot erfolgen, andernfalls zumindest möglichst weit vom Ufer weg. Es ergeben sich nämlich, bedingt durch die Ufernähe, besonders bei kurzfristigen Wasserstandsschwankungen ungewöhnlich hohe Schwankungen der auftretenden Schwebstoffkonzentrationen, welche eine Verzerrung des Ergebnisses bewirken (DVWK 125, 1986).

Diese Form der Messung, bei der in größerem Abstand vom Ufer ein größeres Probevolumen erhalten wurde, fand im Sommer 2005 an der Messstelle Steyr nur einmal im Zuge einer Großprobennahme für die Bestimmung der Korngrößenverteilung statt. Die weitaus häufiger angewandte Form der Einpunktentnahme wird an der Messstelle Steyr durch die Flaschenprobe in Sondennähe durch den Pegelbeobachter gewonnen. In Abhängigkeit des jeweils vorherrschenden Wasserstands werden durch den HD Oberösterreich bis zu vier Mal täglich Flaschenproben gezogen. Das in Abbildung 5.2

ersichtliche Flaschenprobenentnahmegerät kann relativ einfach mit einer Kunststoffflasche bestückt und an einem Seil in den Fluss abgesenkt werden.



Abb. 5.2: Flaschenprobenentnahmegerät des HD OÖ

5.3.2 Vielpunktentnahmen

Mit Hilfe einer Messseilbahn, bei größeren Gewässern mittels Messboot oder von einer Brücke aus, können Vielpunktentnahmen durchgeführt werden. Sie dienen zur Erfassung der Schwebstoffverteilung im Fließquerschnitt, insbesondere zur Charakterisierung der Schwebstoffverteilung im Querprofil bei unterschiedlichen Durchflüssen und damit zur Kontrolle der Repräsentativität von Einpunkt- und Integrationsentnahmen. Grundsätzlich stehen für dieses Unterfangen mehrere Geräte zur Auswahl (siehe Kap. 5.4). Im Rahmen des Messprogramms wurde zu diesem Zweck hauptsächlich der OTT-Sammler benutzt.

Die bei der Vielpunktentnahme ermittelten Schwebstoffkonzentrationen sind bei der Mittelbildung in Abhängigkeit von den einzelnen Fließgeschwindigkeiten im Querprofil unterschiedlich stark zu gewichten. Daher sollten bei der Probenentnahme die Fließgeschwindigkeiten simultan gemessen werden. Durch die Verwendung des OTT Sammlers ist dies nicht möglich, es wurde anstatt dessen in der Regel die Geschwindigkeitsmessung unmittelbar vor der eigentlichen Vielpunktentnahme durchgeführt. Bei dieser Messsystematik

sollten möglichst stationäre Abflussbedingungen vorherrschen und weiters ist zwingend notwendig, in gleichen Punkten sowohl die Geschwindigkeiten als auch die Schwebstoffkonzentrationen zu bestimmen. Nach DVWK 125 (1986) wird wie in Abbildung 5.3 vorgegangen.

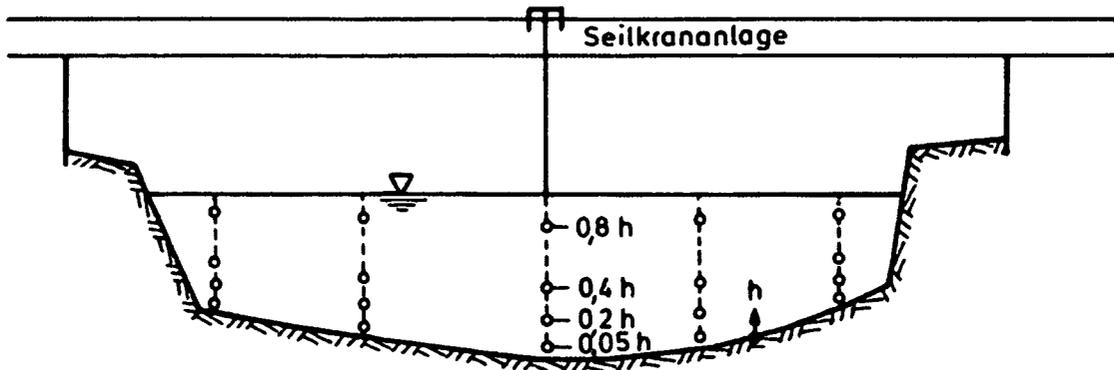


Abb. 5.3: Messanordnung bei der Vielpunktentnahme

In mehreren Messlotrechten wird analog dem Prinzip der Geschwindigkeitsmessung in jeweils vier Punkten eine Wasserprobe entnommen.

Der Abstand der Messlotrechten richtet sich grundsätzlich nach der Breite des Gewässers. Als Stationierungsnullpunkt, auf den jede der im folgenden Kapitel 6 durchgeführten Messungen referenziert wurde, diente die Aussenkante des Türstocks des Messhauses.

Bezüglich der Entnahmetiefen werden für größere Gewässer vom DVWK vier Tiefenstufen empfohlen:

0,8.h; 0,4.h; 0,2.h; 0,05.h, wobei h die Wassertiefe im Bereich der Messlotrechte darstellt und von der Sohle in Richtung Wasserspiegel gemessen wird (vgl. Abbildung 5.4).

Die Probenahme bei einer Tiefe von 0,05.h kann oft nur bei erhöhten Wasserständen ($\geq 4,00$ m) durchgeführt werden, da ein Abstand von der Sohle von 20 cm aus Sicherheitsgründen eingehalten werden sollte.

Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft sieht bei Vielpunktmessungen pro Messlotrechte zwei Fixpunkte vor. Einer befindet sich 25 cm über der Sohle

und der zweite 40 cm unter dem Wasserspiegel. Im Bereich dazwischen sollen Messpunkte mit konstantem Abstand, der $\geq 1,00$ m sein soll, eingeschaltet werden, wobei für jede Messlotrechte separat eine Maximalanzahl an Punkten pro Messlotrechte festgelegt wird (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 2000).

Nach ISO 4363 (2002) wird die Vielpunktmessung als Referenzpunktmessung mit sieben Punkten pro Messlotrechte definiert. Die Anzahl der Vertikalen ist von der gewünschten Genauigkeit abzuleiten, sie sollte aber bei einer benetzten Gewässerbreite bis 300 Meter nicht unter fünf, darüber hinaus nicht unter sieben Messlotrechten liegen.

Nicht vernachlässigt werden soll in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass, speziell bei breiteren Flüssen, die Vielpunktmessung mit simultaner oder zeitlich versetzter Fließgeschwindigkeitsmessung eine sehr zeitaufwendige ist, was vor allem auf die langen Fahrzeiten mit der Seilbahn zurückzuführen ist. In den Abbildungen 5.4 und 5.5 ist die am häufigsten angewandte Methode der Fließgeschwindigkeitsmessung illustriert. Der eigentliche Messflügel ist an einem Flügelkörper mit Grundtaster befestigt und sendet einen Impuls pro Umdrehung über eine Zeitdauer von 30 s (frei wählbar, jedoch wurden hauptsächlich 30 s verwendet) an das Zählgerät, welches wiederum über eine Parallelschnittstelle mit dem PC verbunden ist. Die zugehörige Software berechnet dann über eine vordefinierte Eichgleichung in Abhängigkeit des verwendeten Flügels die vorherrschende Geschwindigkeit, liefert das Geschwindigkeitsprofil einer Messlotrechte und ermittelt als Ergebnis den Abfluss in m^3/s des gesamten Querschnitts.



Abb. 5.4: Fließgeschwindigkeitsmessung mit Messflügel



Abb. 5.5: Auswertung mit dem Messprogramm BIBER des HD OÖ

5.3.3 Integrationsentnahmen

Dabei wird das Entnahmegesetz samt Probeflasche jeweils über eine Messlotrechte mit konstanter Geschwindigkeit von der Wasseroberfläche aus an die Sohle und wieder zurück an die Oberfläche geführt (Abbildung 5.6). Als Ergebnis erhält man für jede Messlotrechte nur eine einzige „Mischprobe“. Voraussetzung dafür ist die Verwendung eines weitgehend isokinetischen Probenschöpfers. „Isokinetisch“ bedeutet, dass die Einströmgeschwindigkeit bei

der Füllung der Umgebungsgeschwindigkeit entspricht. Das Verfahren bietet den Vorteil der schnelleren Durchführung, was vor allem bei sich rasch ändernden Abflüssen, wie dies bei stark anschwellendem oder stark fallendem Hochwasser vorkommt, von erheblicher Bedeutung sein kann. Gegebenenfalls ist die Integrationsentnahme hinsichtlich ihrer Genauigkeit durch Punktentnahmen zu überprüfen (DVWK 125, 1986). Laut NADERER (2005) ist es bei der Verwendung des OTT - Sammlers von Vorteil, das Gerät bis auf die Sohle abzusenken, erst dann das Einströmventil zu öffnen und mit konstanter Hubgeschwindigkeit an die Oberfläche zu fahren.

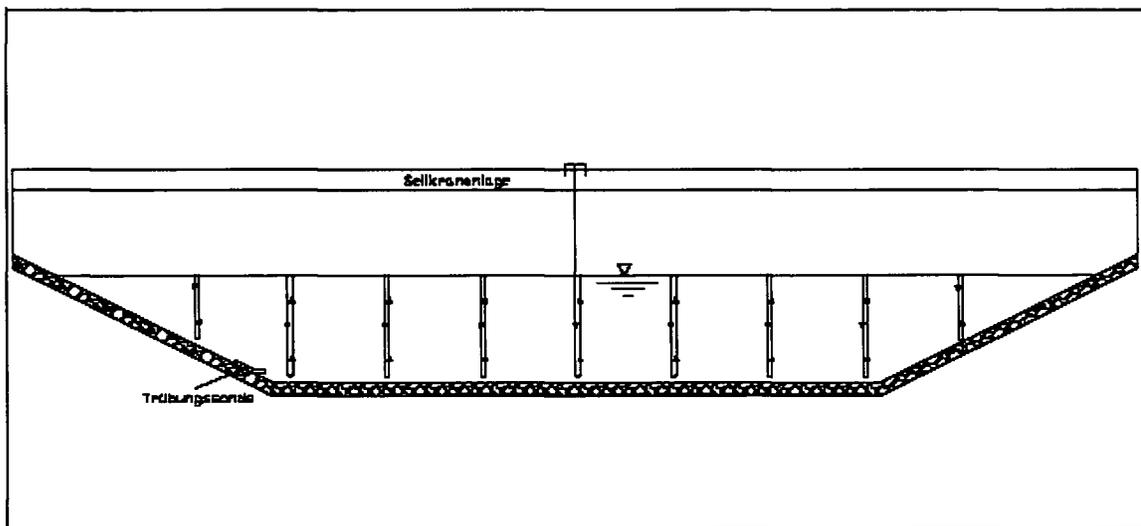


Abb. 5.6: Schematische Darstellung der Durchführung einer Integrationsentnahme, Quelle: SILLABER, 2004

Bei der Integrationsentnahme stehen 2 Methoden zur Auswahl:

5.3.3.1 EWI-Methode (nach EDWARDS and GLYSSON, 1999)

Bei der Durchführung einer integrativen Schwebstoffentnahme unter Verwendung der „Equal-Width-Increment Method“, also der „Identische Breiten Methode“, ist folgende Vorgangsweise, unter der Voraussetzung eines geeigneten, isokinetischen Probeschöpfers, zu wählen:

1. Es hat eine Einteilung der benetzten Breite des betreffenden Querprofils in mindestens 10 Abschnitte identischer Größe (Rundung der Breite zur einfacheren Teilung ist möglich) zu erfolgen.

2. Die Stationierung der Messlotrechten muss jeweils in den Mittelpunkten der vorher definierten Breitenabschnitte bestimmt werden.
3. Zur Bestimmung der zulässigen Absenkgeschwindigkeit des Sammlers in den Messlotrechten ist jene Lotrechte auszuwählen, deren Produkt aus mittlerer Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe am größten ist. An dieser Lotrechte ist die erforderliche Absenkgeschwindigkeit so zu wählen, dass einerseits eine Überfüllung der Probeflasche während des Füllvorganges gerade nicht stattfindet und andererseits die gewählte Geschwindigkeit der Bedingung $v_s < 0,4 * v_m$ genügt, wobei v_s die Absenk- und Hubgeschwindigkeit und v_m die mittlere Fließgeschwindigkeit in der betrachteten Vertikalen beschreibt. Sollten diese Bedingungen nicht erfüllbar sein, wäre ein anderer Durchmesser für die Eintrittsöffnung zu wählen.
4. Die gewählte Absenk- muss gleich der Hubgeschwindigkeit sein und muss für alle Messlotrechten beibehalten werden, wodurch sich, bedingt durch die isokinetische Entnahmekarakteristik des Samplers, unterschiedliche Probenmengen ergeben.
5. Aus den einzelnen Proben lässt sich dann die mittlere Schwebstoffkonzentration für die jeweilige Lotrechte im Labor ermitteln. Um die mittlere, mit dem jeweiligen Abfluss gewichtete, Schwebstoffkonzentration für das gesamte Querprofil zu bestimmen, werden gedanklich alle Proben des Querprofils „zusammengeschüttet“ und daraus die mittlere Schwebstoffkonzentration bestimmt. Diese sich aus der Geschwindigkeitsverteilung ergebende Gewichtung ist notwendig, um die Konzentrationen, die aufgrund der unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten, entsprechend verschieden zum Schwebstofftransport im gesamten Querprofil beitragen, korrekt repräsentieren zu können. Eine simple arithmetische Mittelung der Konzentrationen von den Messlotrechten würde der Geschwindigkeitsverteilung im Querprofil nicht ausreichend Rechnung tragen.

Abbildung 5.7 gibt ein Beispiel dieser Vorgangsweise recht anschaulich wieder.

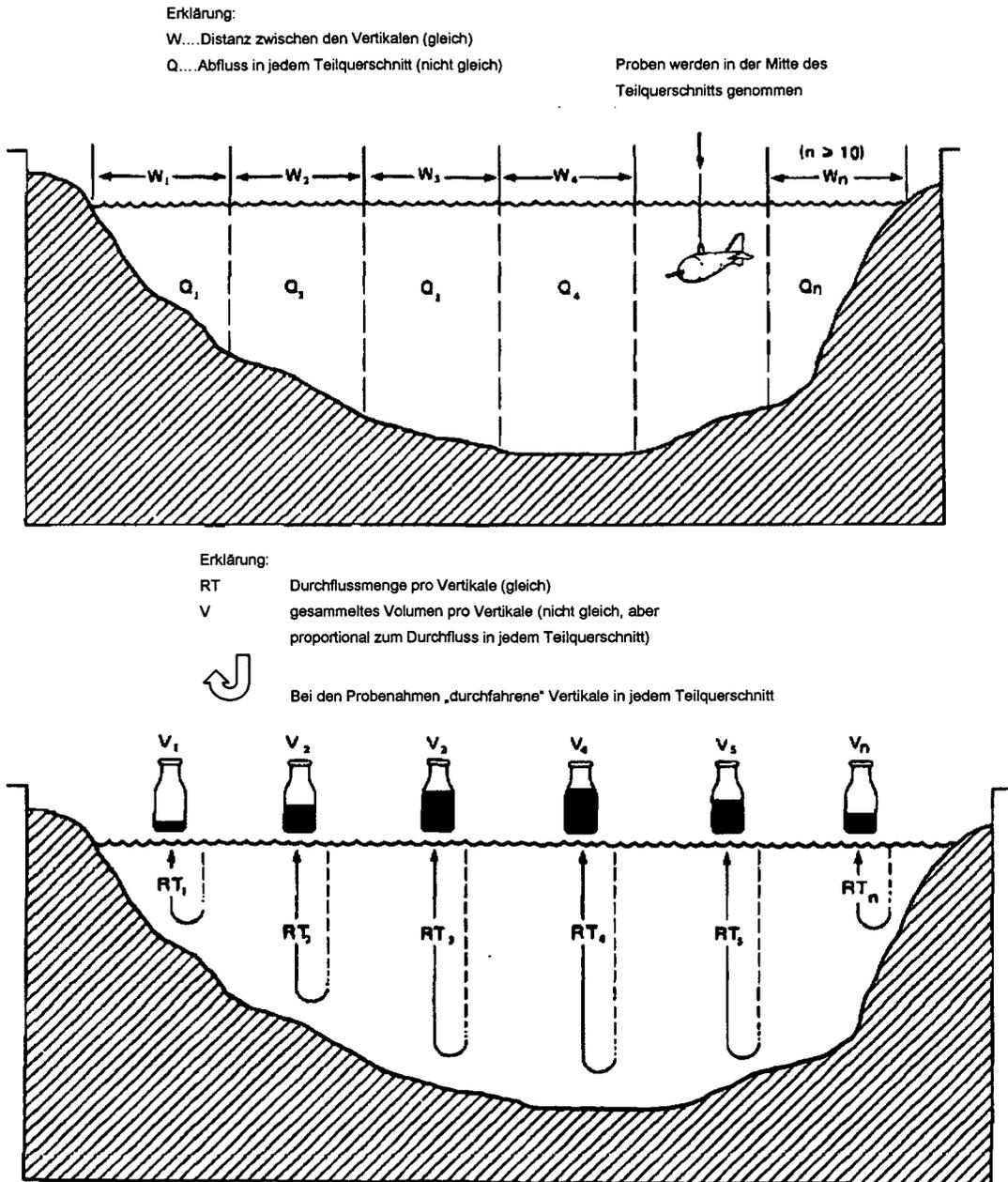


Abb. 5.7: EWl-Methode; Quelle: Edwards & Glysson, 1999

5.3.3.2 EDI-Methode

Dabei handelt es sich um die „Equal Discharge Increment – Method“, welche bei den hier angeführten Messungen keine Verwendung fand und deshalb in diesem Zusammenhang nicht näher beschrieben wird.

5.4 **Verwendete Entnahmegeräte**

5.4.1 **OTT-Sammler**

Mittels Seilkrananlage manipulierbar ist das auf den Abbildungen 5.8 und 5.9 dargestellte Schwebstoffentnahmegerät der Fa. OTT. In seinem Behälterkorb finden sechs Kunststoffflaschen mit je zwei Liter Volumen Platz (DVWK 125, 1986). Durch ein Einströmröhr an der Gerätespitze kann die Wasserprobe mit Hilfe des konischen Revolvers und einer Steuerung, die vom Ufer aus bedienbar ist, in eine beliebige Flasche geleitet werden. Es ist daher möglich mit einer Seilfahrt bis zu sechs Punktproben bei einer Vielpunktmessung oder bis zu sechs Lotrechten bei einer Integrationsmessung zu entnehmen. Der Zeitbedarf für eine Schwebstoffvollmessung ist vergleichsweise gering und deshalb als großer Vorteil gegenüber anderen Entnahmegeräten zu bezeichnen.

Der Umgang mit dem Messgerät erfordert einige Praxis, muss doch die optimale Fülldauer empirisch bestimmt werden. Es darf auf keinem Fall zu einer Überfüllung der Probeflasche und damit zu einer unbeabsichtigten Aufkonzentration durch Sedimentation von durchströmender Suspension kommen.

Weitere Nachteile:

- Es ist keine parallele Fließgeschwindigkeitsmessung möglich.
- Die isokinetische Probenahme ist nicht gewährleistet.
- Bei höheren Fließgeschwindigkeiten ($v > 3,5$ m/s) ist der Einsatz schwierig.
- Durch die großen Abmessungen und ein Gewicht von ca. 80 kg ergibt sich eine schwierige Manipulierbarkeit.
- Die Anschaffungskosten sind vergleichsweise relativ hoch.

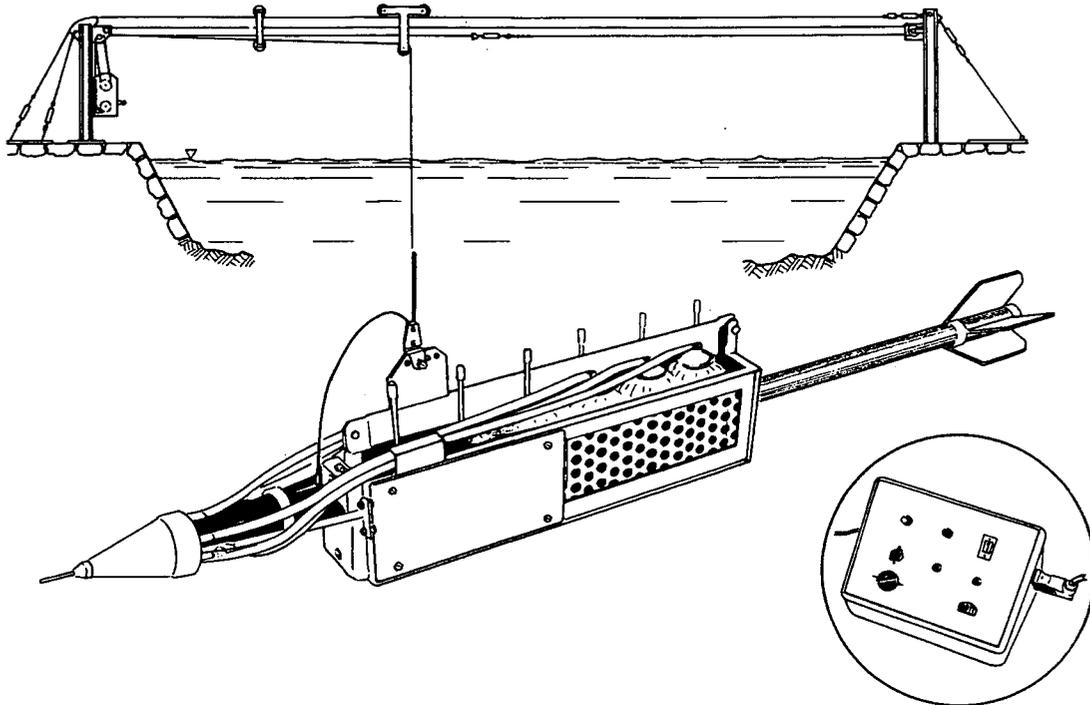


Abb. 5.8: OTT-Sammler auf Messseilbahn mit Steuerpult; Quelle: DVWK 125, 1986



Abb. 5.9: OTT-Sammler im Einsatz; Foto: Gattermayr, 2004

5.4.2 US – P 61A1

Dieses Entnahmegerät hat laut DAVIS & THE FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT (2005) isokinetische Entnahmeeigenschaften, welche sich günstig für den Einsatz bei integrativen Schwebstoffmessungen auswirken.

Bei einer äußeren Abmessung von 71 cm wiegt der Probesampller 48 kg (Abbildung 5.10). Er kann in einem Bereich von etwa 0,5 bis 3 m/s Fließgeschwindigkeit zur Verwendung kommen

In seinem Inneren kann eine Schwebstoffflasche mit einem Volumen von einem Liter eingesetzt werden, die ebenfalls über ein ferngesteuertes Einströmventil mit einem Durchmesser von 3/16" befüllt werden kann (DAVIS & THE FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT, 2005). Benutzerfreundlichkeit, Steuerung und eine schnelle Umrüstzeit (Abbildung 5.11) wirken sich äußerst vorteilhaft auf die Verwendung des US – P 61A1 Samplers aus. Lediglich der Umstand, dass immer nur eine Probe pro Seilfahrt gezogen werden kann, bildet einen negativen Aspekt. Bei kleineren Fließquerschnitten erweist sich der US – P 61A1 Samplers aber als vorteilhaft, nicht zuletzt auch deswegen, weil die entnommene Wasserprobe sofort in den originalen Laborbehälter gelangt und dadurch mögliche Fehler bei der Entleerung von vornherein vermieden werden.



Abb. 5.10: US - P61A1 Sampler



Abb. 5.11: US – P 61A1 Sampler (in geöffnetem Zustand) mit eingesetzter Probeflasche

5.5 Auswertung der direkten Messung

Die mit den bisher angeführten Messmethoden erhaltenen Proben sollten so bald wie möglich zur gravimetrischen Auswertung ins Labor gebracht werden. Aus logistischen, finanziellen und anderen Gründen ist dies aber oftmals nicht zu bewerkstelligen. In diesem Fall sollte an der Messstelle ein Kühlschrank vorhanden sein, in welchem die Proben eingelagert werden können und auch vor Sonneneinstrahlung geschützt sind. Andernfalls, wie eine im Mai 1996 und Juli 1997 durchgeführte Studie der WSD (Via Donau) zeigte, kann es zu einer 1,2 bis 3 fachen Erhöhung der Schwebstoffkonzentration durch Wachstum von organischem Material von Proben mit einer bis zu dreiwöchigen Standzeit im Vergleich zu solchen, die einer sofortigen Auswertung unterzogen wurden, kommen (WSD, 2000).

5.5.1 Gravimetrische Bestimmung der Schwebstoffkonzentration

Auf Basis von ÖNORM M 6274 bzw. DIN 38409 – T2 wird die Bestimmung von abfiltrierbaren Stoffen in Wässern durchgeführt.

Dieses Verfahren kommt zur Anwendung, um Aufschluss über den Gehalt an abfiltrierbaren, ungelösten Stoffen in Wässern zu erhalten. Unter abfiltrierbaren Stoffen versteht man Sink-, Schweb- und Schwimmstoffe organischer und anorganischer Zusammensetzung. Bei der gravimetrischen Bestimmung

werden die im Wasser enthaltenen ungelösten und unter bestimmten Bedingungen (Porengrösse $\leq 0,45 \mu\text{m}$) abfiltrierbaren Stoffe nach einem festgelegten Trocknungsprozess bei $105 \text{ }^\circ\text{C}$ ausgewogen. Die Durchführung der Wägung lässt sich folgendermaßen beschreiben:

- Zwecks besserem Handling der Filter werden diese in Aluminiumschälchen gegeben, numeriert und bei $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, was in der Regel in 2 bis 3 Stunden der Fall ist.
- Die Schale mit Filter im Exsikkator auf Raumtemperatur abkühlen lassen.
- Die Aluminiumschale mit Filter auf 1 mg wiegen (Masse b).
- Das Filter ins Filtriergerät einlegen und mit deionisiertem Wasser anfeuchten.
- Ein abgemessenes Volumen der gut geschüttelten Probe filtrieren. Dazu wird, um eine schnelle Durchführung zu gewährleisten, eine Vakuumfiltrationsanlage mit Vakuumpumpe verwendet (Abbildung 5.13).
- Den Filterkuchen mit etwas deionisiertem Wasser nachwaschen, sodass eine weitgehende Erfassung der gesamten Inhaltsstoffe erreicht werden kann.
- Anschließend den Filter in dasselbe Aluminiumschälchen geben und ohne Verschluss etwa zwei Stunden im Trockenschrank bei $105 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ bis zur Gewichtskonstanz trocknen.
- Erneut die Schale mit Filter im Exsikkator auf Raumtemperatur abkühlen lassen.
- Nach Öffnen des Exsikkators die Schale mit Inhalt abermals auf 1 mg genau wiegen (Masse a) (Abbildung 5.12).

Die Massenkonzentration an abfiltrierbaren Stoffen im Wasser ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$\beta = \frac{(a - b)f}{V} \quad (\text{Formel 5})$$

Hierbei gilt:

a Masse der Schale mit Filter und abfiltrierten Stoffen in g

b	Masse der Schale und Filter in g
f	1000 (Faktor zum Umrechnen von g auf mg)
V	Volumen der filtrierten Wasserprobe in Liter
β	Massenkonzentration an abfiltrierbaren Stoffen in mg/l

Im Zuge eines Ringversuchs, bei dem insgesamt zwölf Labors beteiligt waren, konnte festgestellt werden, dass die Filter auf Cellulosebasis mit einem Porendurchmesser von $0,45 \mu\text{m}$ trotz etwas unterschiedlicher Materialzusammensetzung untereinander relativ gut vergleichbar sind und daher als Referenzmethode empfohlen werden können (LALK, 2004).

Bei dieser Arbeit kam es zur Verwendung von Zelluloseacetatfiltern mit einer Porengrösse von $0,45 \mu\text{m}$ und einem Durchmesser von 47 mm.



Abb. 5.12: Aluminiumschale mit Filter nach Filtration

Die Filtration konnte zum Großteil im Labor des Gewässerschutzes des Landes Oberösterreich und im Labor des Instituts für Angewandte Geologie an der Universität für Bodenkultur durchgeführt werden.

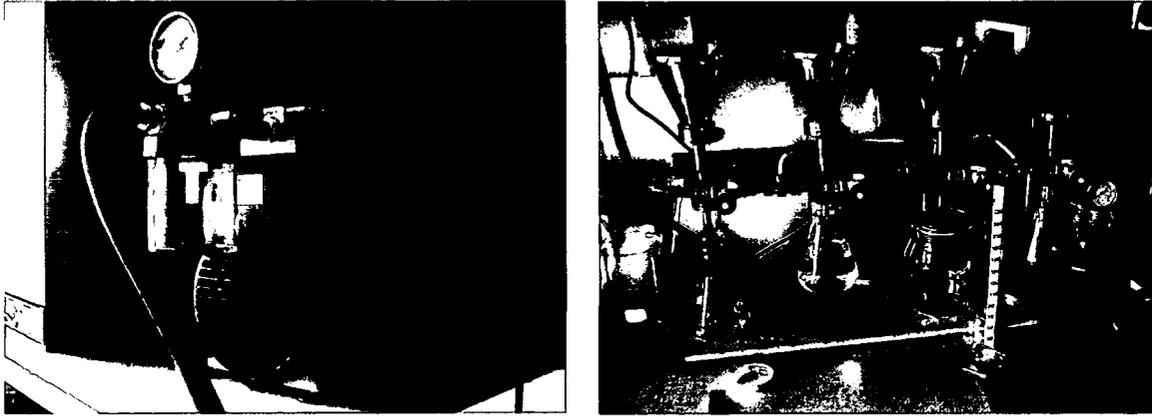


Abb. 5.13: Vakuumpumpe Aquastop, Fa. Van der Heijden; rechtes Bild: Vakuumfiltrationsanlage, Fa. Labin; Labor des Gewässerschutz des Landes OÖ

5.6 Auswertung der Messergebnisse

5.6.1 Allgemeines

Zur Beurteilung der räumlichen Repräsentativität der laufenden Uferentnahmen sowie der punktuellen Trübungsmessung werden Vielpunkt- und Integrationsentnahmen an definierten Lotrechten im Querprofil durchgeführt. Diese Vorgangsweise, insbesondere die Vielpunktentnahme, gibt Aufschlüsse über die räumliche Verteilung der Konzentrationen, die durch die Berücksichtigung der lokalen Geschwindigkeiten in den jeweiligen Entnahmepunkten die Berechnung der geschwindigkeitsgewichteten, mittleren Schwebstoffkonzentration (C_m) im Querprofil zulässt.

Die Bestimmung von C_m aus einer Vielpunkt- bzw. Integrationsmessung erfolgt durch die Quotientenbildung von Schwebstofftransport mit dem entsprechenden Durchfluss.

5.6.2 Berechnung des Schwebstofftransports

Nach DIN 4049, Teil 1, Ziffer 3.5.7 und 3.5.13 versteht man unter dem Schwebstofftransport (m_s) die Masse der in der Zeiteinheit durch den betrachteten Querschnitt treibenden Schwebstoffe. Er lässt sich aus dem Produkt von Schwebstoffkonzentration C_s in g/m^3 (mg/l) und Abfluss Q in m^3/s berechnen.

Bei der Auswertung einer Vielpunktmessung hat man die Möglichkeit diese grafisch oder rechnerisch vorzunehmen, wobei das Prinzip weitgehend demjenigen der Abflussmessung entspricht (DVWK 125, 1986).

Abweichend von dieser Richtlinie wird hier die Auswertung der Messlotrechte und des Querprofils nicht durch eine grafische Flächenauswertung vorgenommen, sondern rechnerisch durch Rechtecke und Trapeze angenähert (Abbildung 5.14). Im Detail wird dazu für jede Messlotrechte und jeden Messpunkt das Produkt aus Schwebstoffkonzentration C_s und Fließgeschwindigkeit v gebildet. Der Inhalt der Flächen, welche über Trapeze ermittelt werden, den diese Punkte bilden, ergibt den Schwebstofftrieb, also den Schwebstoffdurchgang je Lotrechte auf 1 m Querschnittsbreite in $g/(m*s)$ (DVWK 125, 1986). Die zum Wasserspiegel und zur Sohle hin begrenzenden Teilflächen, also vom obersten Punkt bis zum Wasserspiegel und vom untersten Punkt bis zur Sohle, werden als Rechtecke angenähert. Der Schwebstofftransport Q_S für das gesamte Querprofil wird durch Summierung der Produkte $[m_{s(i)}]$ aus Schwebstofftrieb $[f_{C_s(i)}]$ und Breite $[b_{(i+1)}-b_{(i)}]$ errechnet, wobei an den Querprofilrändern der Schwebstofftrieb mit Null belegt wird.

Zusammenfassend ergibt dies für den Schwebstofftransport:

$$Q_S = \sum_{i=1}^n m_{s(i)} = \sum_{i=1}^n \frac{(f_{C_s(i+1)} + f_{C_s(i)})}{2} (b_{(i+1)} - b_{(i)}) \quad (\text{Formel 6})$$

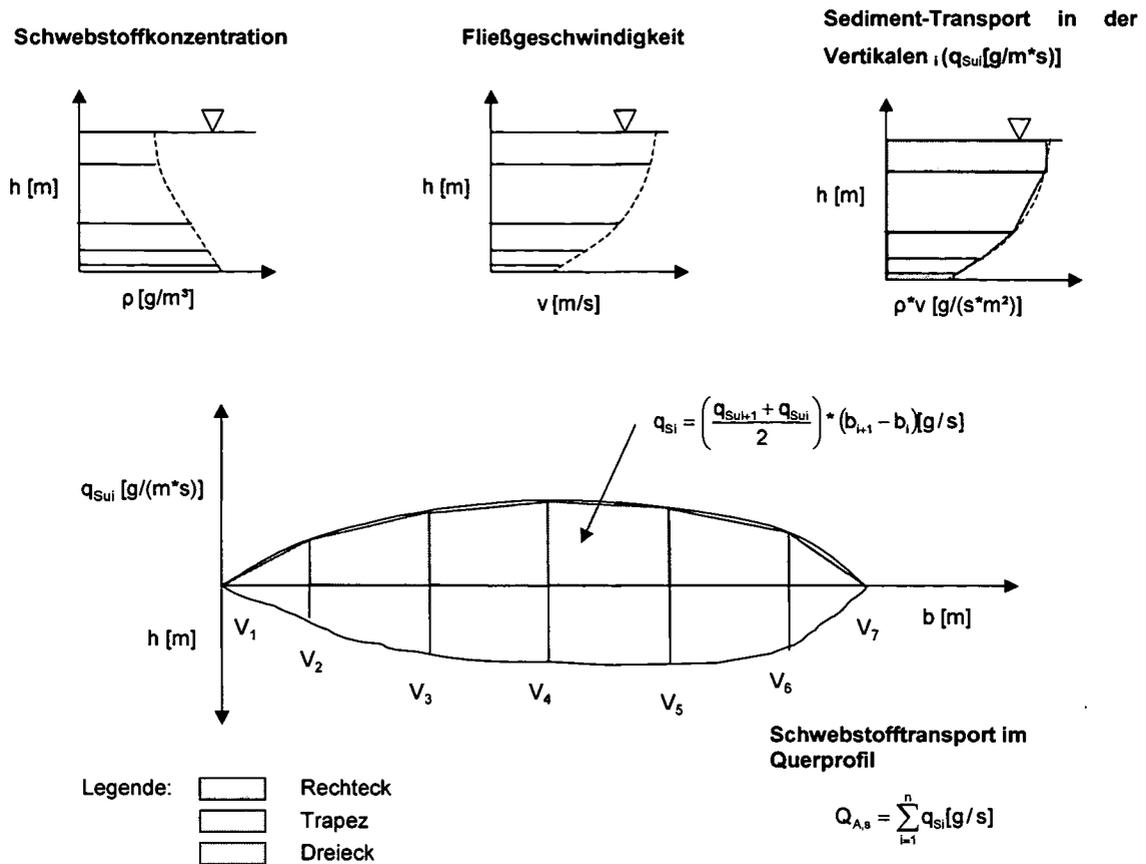


Abb. 5.14: Konventionelles Auswerteverfahren für Vielpunktmessungen (verändert nach DVWK 125, 1986)

Die Auswertung einer Integrationsentnahme kann in ähnlicher Weise vorgenommen werden, wobei sich der Schwebstofftrieb für die einzelnen Entnahmevertikalen vereinfacht aus dem Produkt von mittlerer Geschwindigkeit und mittlerer Konzentration aus der Integrationsprobe errechnen lässt.

Als weitere Auswertemethoden stehen noch rasterbasierte Verfahren mit deterministischen bzw. geostatistischen Arbeitsweisen zur Verfügung, welche viele Möglichkeiten zur Übertragung von punktueller Information auf die interessierende Fläche anbieten. In dieser Arbeit wurde versucht, die verteilt über das Querprofil gemessenen Konzentrationen und Fließgeschwindigkeiten mittels lokaler Polynominterpolation auf die Fläche des Querprofils umzusetzen, wobei hier darauf hingewiesen werden muss, dass die korrekte Auswahl und Anwendung derartiger Verfahren für dieses Anwendungsgebiet noch weiterer Untersuchungen bedarf. Mit Hilfe einer Rastermultiplikation konnte dann der

lokale Feststofftrieb, durch die Summierung aller Rasterzellen der Schwebstofftransport für das gesamte Querprofil errechnet werden (HABERSACK et. al., 2005)

Zum Zwecke einer eventuellen Trendbereinigung im Falle einer sich innerhalb des Messzeitraums ändernden Trübung könnte diese Auswertesystematik ebenfalls zur Anwendung kommen. Der Zielsetzung, die Vielpunktmessung als Referenzmessung für andere Entnahmestrategien wie Integrations- oder Einpunktmessungen brauchbar zu machen und zusätzlich Entnahmepunkte oder -lotrechten zu identifizieren, welche die Schwebstoffkonzentration zum Zeitpunkt der Entnahme am besten repräsentieren, könnte somit genüge getan werden (HABERSACK et. al., 2005).

5.7 Anpassung der Trübungsganglinien und Frachtberechnungen

5.7.1 Ermittlung des Sondenbeiwertes und Korrektur der Sondenaufzeichnung

Die vom Trübungssensor aufgezeichnete Ganglinie basiert auf Messwerten, die im 10-Minuten-Intervall vom Sondencontroller SC 1000 gespeichert werden. Diese Ganglinie wird zusammen mit dem Durchfluss und den Schwebstoffkonzentrationen aus den sondennahen Wasserproben im post-processing über die Zeit aufgetragen und visuell auf Ausreißer oder „Sensor-Fouling“ hin untersucht. Offensichtliche systematische Abweichungen von den Referenzproben, die meist von einer Verschmutzung der Sensor-Optik herrühren, müssen durch manuelle Anpassungen beseitigt werden. Wird fouling erst nach einem längeren Zeitraum identifiziert, muss der betroffene Zeitraum als Sondenausfall behandelt werden. Unter derartigen Umständen können dann die Referenzproben alleine als Ganglinienersatz herangezogen werden; damit ist aber im Regelfall ein Informationsverlust verbunden. Nachträgliche Korrekturen derart verfälschter Ganglinien erscheinen bei ausreichender Anzahl von Referenzproben grundsätzlich denkbar, hierfür wären jedoch noch weitergehende Untersuchungen erforderlich. Wie eingangs erwähnt, sind Messwerte zu entfernen, die offensichtlich als Ausreißer zu bewerten sind. Es handelt sich dabei um Messwerte, die sich von der Größenordnung her

signifikant von ihren „Vorgängern“ und „Nachfolgern“, die beide ähnliche Größen besitzen sollten, unterscheiden. Selbstverständlich sind im Rahmen solcher Korrekturen Veränderungen im Wasserstand, Durchfluss und allfällige Referenzproben in die Überlegungen mit einzubeziehen und zu überprüfen. In Zeiten von niedrigen Wasserständen können die Sensoren trocken fallen und völlig irrealer Werte liefern. Nach Eliminierung derartiger Messwerte stellt ein solcher „Sondenausfall“ nach erster Einschätzung für die Frachtberechnung kein besonderes Problem dar, da der Schwebstofftransport zu Zeiten mit geringen Abflüssen ohnehin nur geringfügig zur Gesamtfracht beiträgt.

Nach erfolgter Überprüfung der Sensorenganglinie kann gemäß dem derzeitigen Stand der Untersuchungen die Umrechnung von Sondenaufzeichnung auf sondennahe Schwebstoffkonzentration auf zwei Wege erfolgen, wobei auch eine Kombination von beiden denkbar ist:

- a) **laufende Berechnung des Sondenbeiwertes k_2 mittels Division (gravimetrisch bestimmte Schwebstoffkonzentration (C_r) durch zugehörige Sondenaufzeichnung (C_s)) und anschließender linearer Interpolation der aperiodischen Korrekturfaktoren (KIRCHLECHNER & NIEDERMÜHLBICHLER, 2004).** Als Ergebnis stehen interpolierte Korrekturfaktoren im 10-min Intervall zur Verfügung. Damit kann eine „Ganglinie des Sondenbeiwertes“ generiert werden, die nochmals auf ihre Plausibilität überprüft werden soll. Auch hier gilt es, alle verfügbaren Informationen (W , Q , T , C_s , C_r) in Betracht zu ziehen und gegebenenfalls die Ganglinie manuell zu bearbeiten. Dieses Verfahren eignet sich nach erster Einschätzung besonders bei der Anpassung von Trübungsganglinien mit einer relativ hohen zeitlichen Dichte an Referenzproben und einem ungünstigen empirischen Zusammenhang zwischen Trübungsmessung und sondennahen gravimetrisch bestimmten Schwebstoffkonzentrationen.

$$k_2 = \frac{C_r}{C_s} \quad (\text{Formel 7})$$

- b) **Umrechnung der von der Sonde aufgezeichneten Konzentrationswerte mittels einer Schätzfunktion, die auf Basis einer Regressionsanalyse zwischen Sondenmesswerten und gravimetrisch bestimmten Schwebstoffkonzentrationen erstellt wurde.** Neben linearen können auch polynomische Modelle sowie Potenzfunktionen Verwendung finden. Als vorteilhaft erweist sich diese Methode für Messstellen, die eine gute Korrelation zwischen Sondenmesswerten und gravimetrisch bestimmten Konzentrationen zeigen, aber unregelmäßige Entnahmeintervalle aufweisen.

5.7.2 Ermittlung des Querprofilbeiwertes k_1

Wie bereits oben ausgeführt, werden die quasi-permanenten Aufzeichnungen der Trübe sowie die zugehörige Korrektur lediglich lokal und punktuell erfasst. Dies lässt nur eingeschränkt Rückschlüsse auf den jeweiligen Schwebstofftransport im gesamten Querprofil zu.

Um nun den Zusammenhang zwischen der mittleren Konzentration im Querprofil (C_m) und der punktuell gemessenen Konzentration (C_r) herstellen zu können, werden beide annähernd zeitgleich ermittelten Werte in Relation gesetzt und der Korrekturfaktor k_1 errechnet. Wird dieses Verhältnis zu verschiedenen Zeitpunkten sowie bei unterschiedlichen Durchfluss- und Konzentrationsbedingungen aufgestellt und über Q aufgetragen, so ergibt sich eine durchaus plausible Beziehung zwischen Durchfluss und dem Querprofilbeiwert ($k_1 = f(Q)$), sodass mit Hilfe von Regressionsgleichungen empirische Zusammenhänge hergestellt werden können, die es ermöglichen, für sämtliche Durchflüsse Querprofilbeiwerte zu schätzen.

$$k_1 = \frac{C_m}{C_r} \quad (\text{Formel 8})$$

Je nach Schätzfunktion müssen ab bestimmten Durchflüssen konstante Korrekturfaktoren vorgesehen werden, da es ansonsten zu einer

Unterschätzung des Korrekturfaktors bei steigenden Durchflüssen kommt, wenn sich k_1 zu Q annähernd indirekt proportional verhält.

Alternativ wäre denkbar, anstatt des Durchflusses auch die entsprechenden Wasserstände zur Bestimmung des Querprofilbeiwertes heranzuziehen. Diesbezügliche Untersuchungen wären in diesem Zusammenhang noch vorzunehmen.

5.7.3 Frachtberechnung

Da Durchfluss und mittlere Schwebstoffkonzentrationen in 10-min Mittelwerten durch die vorangegangenen Umformungen zur Verfügung stehen, können durch einfache Multiplikation der beiden Zeitreihen die entsprechenden Schwebstofftransporte [g/s] errechnet werden. Durch Integration dieser Transportganglinien über die Zeit können so für beliebige Zeiträume die Schwebstofffrachten [t] bestimmt werden (JULIEN, 1995).

5.7.4 Korngrößenanalyse

Wie bereits in Kapitel 5.1 erwähnt, ist der Trübungsmesswert laut DVWK 128, 1999 stark von der Kornzusammensetzung des suspendierten Materials abhängig. Deshalb wurde im Rahmen der Diplomarbeit eine Großprobe direkt aus dem Fluss genommen, um diese für die Bestimmung der Kornverteilungskurve heranzuziehen. Zur Probenaufbereitung ließ man die Schwebstoffe im 20 Liter Kanister absetzen. Nach etwa 2 Wochen wurde der Überstand (klare Flüssigkeit) mit einem Glasrohr und Schlauch abgesaugt. Die abgesetzte Restflüssigkeit wurde im Wasserbad auf ca. 150 ml eingedampft. Danach konnte das abgesetzte Material im Gefriertrocknungsgerät getrocknet werden.

Die Korngrößenanalyse erfolgte durch eine Kombination von Nasssiebung (Fraktionen > 20 μm) und automatischer Sedimentationsanalyse (Sedigraph). Nasssiebung und Sedimentationsanalyse wurden am Institut für Angewandte Geologie an der Universität für Bodenkultur Wien durch Herrn DI Kerschbaumsteiner durchgeführt.

Zur Aufbereitung wurde die trockene Probe resuspendiert und im Ultraschallbad noch weiter fein verteilt.

Bei der Nasssiebung wurden die Sedimentproben mit einem Siebsatz von 630 μm und 200 μm Maschenweite gesiebt. Dabei wurden die Proben zuerst auf das 630 μm Sieb geleert und mit einem Wasserstrahl durchgeschwemmt. Der Rückstand der einzelnen Siebe wurde in Porzellanschalen gespült, im Trockenschrank bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und anschließend abgewogen.

Zur Bestimmung der Korngrößenverteilung der Schluff- und Tonfraktion < 20 μm wurde der SEDIGRAPH 5000 ET der Firma Micromeritics eingesetzt. Die ermittelten Klassengrenzen sind 20 μm , 6,3 μm , 2,0 μm , 0,63 μm und 0,20 μm . Dazu wurde der Anteil < 20 μm im Wasserbad eingedickt, mit 0,5 % Calgon und im Ultraschall dispergiert. Der Sedigraph beruht auf der Untersuchung der Sinkgeschwindigkeit und damit der Bestimmung des hydraulischen Durchmessers der untersuchten Partikel. Hierzu wird die Konzentration der Suspension nach einer bestimmten Zeit und in einer bestimmten Tiefe über die Dämpfung eines Röntgenstrahls ermittelt und über das Stokes'sche Gesetz ausgewertet. Aus der Kornsummenkurve des Sedigraphs und den Siebdaten konnte die Korngrößenverteilung der Großprobe ermittelt werden, welche im Kapitel 6.1.1 dargestellt ist.

6 DATEN UND ERGEBNISSE

In diesem Abschnitt wird auf die einzelnen, aus den verschiedenen Vollmessungen, gewonnenen Ergebnisse eingegangen beziehungsweise werden diese dargestellt. Das Kapitel „Schwebstoffkonzentrationen“ beinhaltet unter anderem auch die räumliche Verteilung der Schwebstoffe im Gewässer, welche in weiterer Folge zur Berechnung des Schwebstofftransportes dienen. Zur „Kalibrierung“ der Trübungssonde wurden an der Messstelle Steyr-Ortskai Flaschenproben in unmittelbarer Sondennähe gezogen, gravimetrisch bestimmt und mit den parallel dazu abgelesenen Werten aus der Trübungsmessung in Bezug gebracht.

6.1 Schwebstoffkonzentrationen

Das Messprogramm 2005 an der Messstelle Steyr-Ortskai ist im Wesentlichen in Abbildung 6.1 dargestellt.

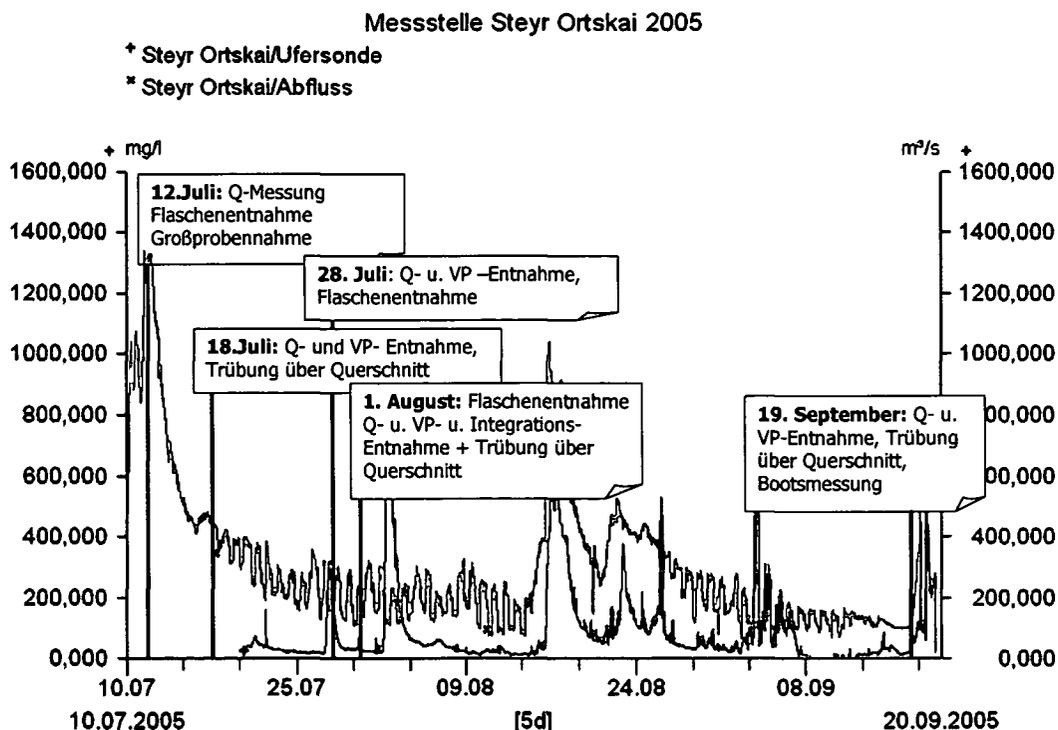


Abb. 6.1: Termine von verteilten Probennahmen von Juli bis September 2005 mit Durchflussganglinie an der Messstelle Steyr

Dabei handelte es sich um vier Vielpunktentnahmen, drei Integrationsentnahmen und drei Vielpunktmessungen mittels mobiler Trübungssonde. Diese Messungen dienten allesamt der Ermittlung der Konzentrationsverteilungen über den gesamten Fließquerschnitt der Enns.

Als Referenzproben und zur Kontrolle der erhaltenen Ergebnisse konnten die vom Hydrographischen Dienst Oberösterreich bis zu maximal vier Mal täglich, in Abhängigkeit vom jeweils herrschenden Wasserstand, genommenen Flaschenproben herangezogen werden. Eine erste Übersicht der Messtermine, der verwendeten Entnahmeverfahren und der Teilergebnisse inklusive der gemessenen mittleren Geschwindigkeiten, der Wasserstände und des jeweiligen Abflusses kann der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Termine, angewandte Entnahmefethoden und Teilergebnisse des Schwebstoffmessprogrammes 2005 an der Messstelle Steyr/Enns

Schwebstoffmessung Steyr-Ortskai / Enns 2005 - Messprogramm 2005					
mit Angabe der durchschnittlichen Konzentrationen					
Messtage / Art der Messung	12.Jul	18.Jul	28.Jul	01.Aug	19.Sep
Abfluss, Wasserstand Q [m³/s], W _m [cm]	Q = 1018,4 W _m = 301,2	Q = 1087,8 W _m = 299,3	Q = 210,12 W _m = 188,2	Q = 221,92 W _m = 188,8	Q = 189,81 W _m = 188,6
mittl. Geschw. v_m [m/s]	v _m = 2,36	v _m = 2,16	v _m = 1,86	v _m = 1,96	v _m = 1,66
Integrationentnahme m. Flasche [mg/l]	631				
Vielpunktentnahme VPE [mg/l]		50,8		52,3	52,4
Integrationsentnahme IE [mg/l]			73,0	51,1	
Trübungssonde über Querschnitt [mg/l]		52,5		51,3	52,5

6.1.1 Integrationsentnahme am 12. Juli 2005

Am Dienstag, den 12. Juli 2005 fand die erste Messkampagne in Steyr statt. Ein an der Enns während der Sommermonate nicht unübliches Hochwasser konnte gleich am ersten Messtag verzeichnet werden. Technische Schwierigkeiten und erhöhter Abfluss erlaubten eine Abflussmessung mit dem Messprogramm Biber[®] an 17 Messlotrechten nur mit hohem zeitlichem Aufwand. Die mittleren Fließgeschwindigkeiten in den einzelnen Lotrechten ergaben sich mit minimal 1,15 m/s und maximal 2,84 m/s. Der Wasserstand während der Abflussmessung schwankte zwischen einem Maximalwert von 356 cm und einem Minimalwert von 353 cm, der mittlere Wasserstand W_m errechnete sich zu **354,2 cm**. Der Durchfluss Q betrug **1016 m³/s**. Weitere Angaben dieser Messung bezüglich hydraulischer und gerinnegeometrischer Parameter sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Hydraulische und geometrische Gerinnegrößen am 12.7.2005

Durchflussquerschnitt	A	414,1	m ²
Wasserspiegelbreite	b	105,0	m
mittlere Gerinnetiefe	h_m	394,4	cm
mittlere Fließgeschwindigkeit	v_m	2,45	m/s
maximale Oberflächengeschwindigkeit	$v_{O_{max}}$	3,42	m/s
mittlere Oberflächengeschwindigkeit	v_{O_m}	2,72	m/s
Verhältnis	v_m/v_{O_m}	0,90	
Abflussspende	q	171,77	l/(s.km ²)

Die eigentliche Schwebstoffentnahme konnte in einem Zeitraum von knapp einer Stunde von 15:50 bis 16:45 Uhr in Form einer provisorischen „Integrationsmessung“ über den gesamten Profilquerschnitt gemacht werden. Dazu wurde eine Schwebstoffprobeflasche auf das Flügelgewicht montiert (Abbildung 6.2) und in jeder der 10 Messlotrechten auf eine Tiefe von ca. 1,5 m

abgesenkt, wobei darauf geachtet wurde, dass die einzelnen Punkte mit den vorher benutzten Punkten (Tiefen) bei der Abflussmessung übereinstimmen. In der Abbildung 6.3 kann man deutlich erkennen, dass der Wasserstand während der gesamten Messung annähernd als konstant angenommen werden kann und hier die Annahme des „quasistationären Abflusses“ zutreffend ist.



Abb. 6.1: Probeflasche, auf Flügelkörper montiert

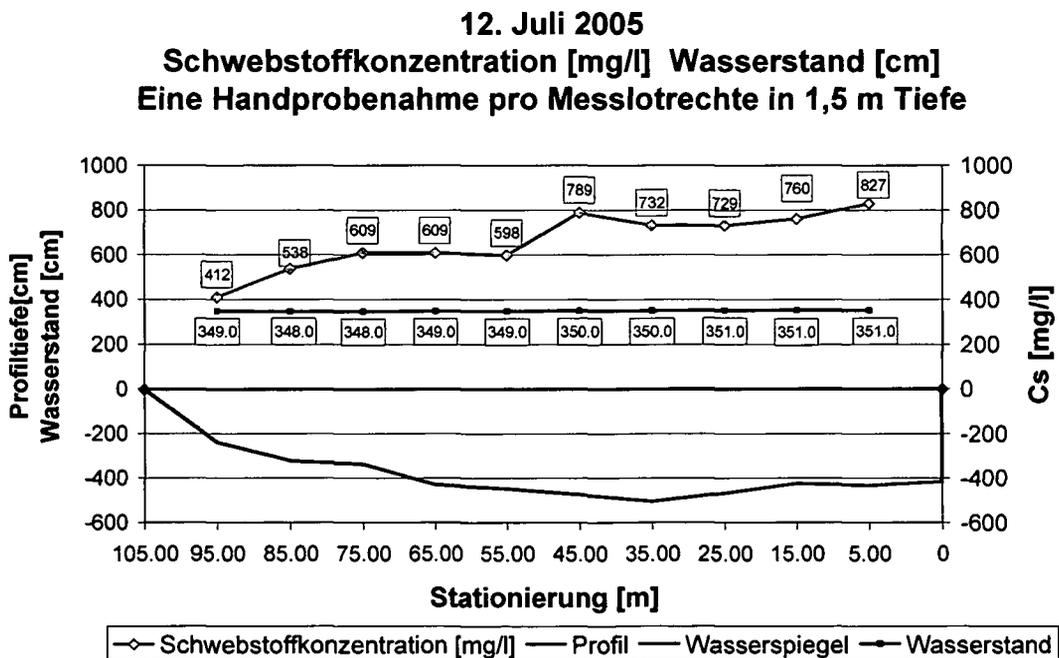


Abb. 6.2: Verlauf von Wasserstand und Schwebstoffkonzentration von punktuell über den Querschnitt entnommenen Proben

Am orographisch rechten Ufer, das sich auf der Außenseite der Flusskrümmung befindet, ist die größte Schwebstoffkonzentration anzutreffen. Sie beläuft sich in der Nähe der Ufermauer auf 827 mg/l. Nach einem kurzen Abfall folgt ein leichter, mehr oder weniger konstanter, Anstieg der Schwebstoffkonzentration bis hin zur Flussmitte bei Stationierung 45,00 m, um dann ab hier bis zum linken Ufer wieder geringer zu werden. Generell lässt sich eine tendenzielle Abnahme der Schwebstoffkonzentration, vom rechten bis zum linken Ufer auf etwa 50 % des Wertes klar erkennen. Im Wesentlichen ist dies auf die profilgeometrische Ausprägung der Enns im Messquerschnitt in Steyr zurückzuführen, welche einen unmittelbaren Einfluss auf die Geschwindigkeitsverhältnisse und in weiterer Folge auf die Schwebstoffkonzentrationen hat. Hieraus resultiert ein mittlerer Schwebstoffgehalt von 630,5 mg/l über den Querschnitt. Aus der Abbildung 6.5 kann man erkennen, dass das an diesen Tagen auftretende Hochwasser seinen maximalen Abflusswert von 1337,6 m³/s am 11. Juli 2005 um 16:00 Uhr hatte. Etwa 20 Stunden später, am 12. Juli um 12:00 Uhr, konnte die größte Schwebstoffkonzentration in unmittelbarer Ufernähe, im Bereich des Sondenstandorts, bei Stationierung 0,5 m vom Nullpunkt, ermittelt werden. Am 12. Juli 2005 wurden 4 Flaschenproben in Sondennähe genommen. Deren Schwebstoffkonzentrationen und der Verlauf des Wasserstandes sind in Abbildung 6.4 dargestellt. Die gesamte Entnahme fand bei bereits wieder absteigendem Ast der Hochwasserwelle statt, dem zu Folge ergaben die später genommenen Proben verringerte Werte der Schwebstoffkonzentration.

**Zeitlicher Verlauf der Schwebstoffkonzentration
der Flaschenproben am rechten Ufer am 12. Juli 2005**

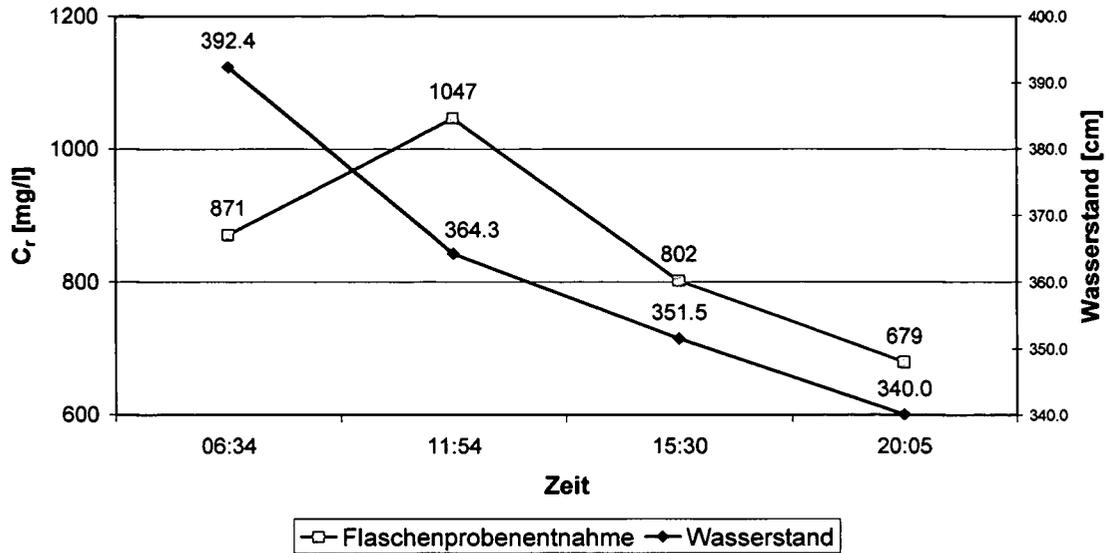


Abb. 6.3: Verlauf von Wasserstand und Schwebstoffkonzentration der Flaschenproben, entnommen durch den HD OÖ in Ufernähe des Messhauses

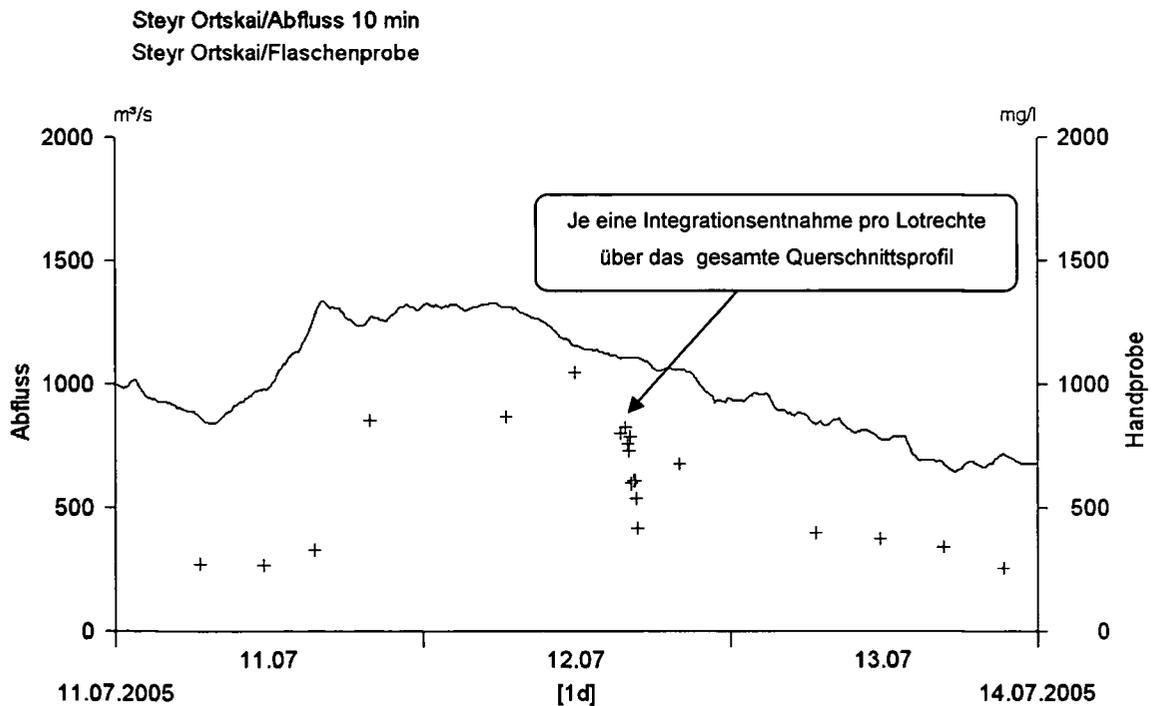


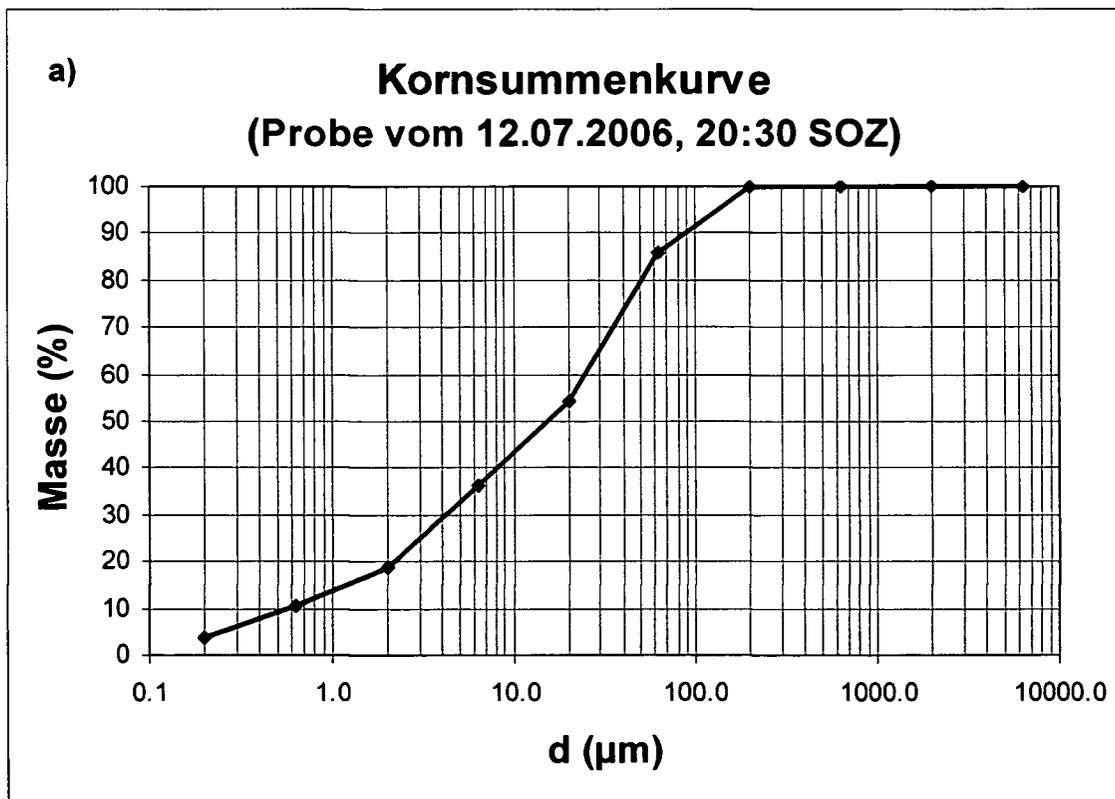
Abb. 6.4: 12. Juli 2005: Verlauf der 10min-Mittelwerte des Abflusses sowie der Schwebstoffkonzentration der Flaschenproben, entnommen durch den HD OÖ in Ufernähe des Messhauses

Des Weiteren wurde noch mittels eines 20 Liter fassenden Kunststoffbehälters eine Großprobe zur Bestimmung der Korngrößenverteilung bei Stationierung 10,00 m gezogen. Diese wurde dabei auf dem Flügelgewicht befestigt und bis auf 3,0 m Wassertiefe abgesenkt (Abbildung 6.6).



Abb. 6.5: Großprobenahme am 12.7.2005, Kanister auf Flügelkörper befestigt

Das Ergebnis der auf Basis dieser Großprobe durchgeführten Korngrößenbestimmung ist in der folgenden Abbildung 6.7 dargestellt.



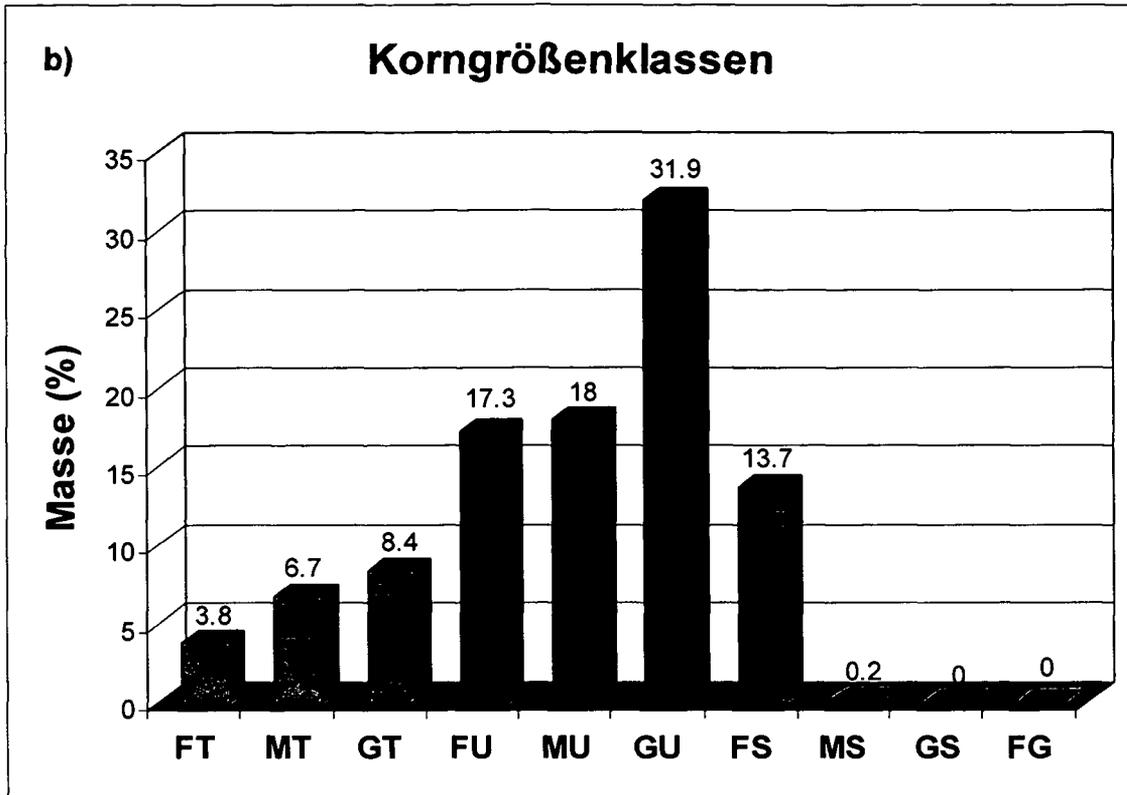


Abb. 6.6: Bild a: Kornsummenkurve; Bild b: Korngrößenklassen der Großprobe vom 12.07.2005

Als Hauptbestandteil ergab sich Schluff mit mehr als 67 % der Gesamtmasse, weitere Nebenbestandteile sind Ton mit etwa 19 % und Sand mit rund 14 %.

Der Schwebstofftransport für die verteilte Probenentnahme am 12. Juli 2005 lässt sich mit 641 kg/s beziffern. Die daraus mit dem Abfluss Q kombinierte mittlere Schwebstoffkonzentration über den Querschnitt C_m und die Schwebstoffkonzentration der Referenzprobe C_r (=Flaschenprobe) sind in Tabelle 3 dargestellt und zum Querprofilbeiwert k_1 verknüpft.

Tabelle 3: Schwebstofftransport am 12.7.2005

Schwebstofftransport:	640.68	kg/s
C_m :	630.53	g/m ³ , mg/l
C_r :	790.00	g/m ³ , mg/l
k_1 :	0.80	

6.1.2 Vielpunktentnahme am 18. Juli 2005

Am zweiten Tag der Messkampagne an der Messstelle Steyr Ortskai, wurde neben einer Abflussmessung auch eine Schwebstoffvielpunktentnahme in der Zeit von 13:00 bis 19:30 Uhr durchgeführt. In der folgenden Abbildung 6.8 ist die Ganglinie des Abflusses inklusive der täglich genommenen Flaschenproben skizziert.

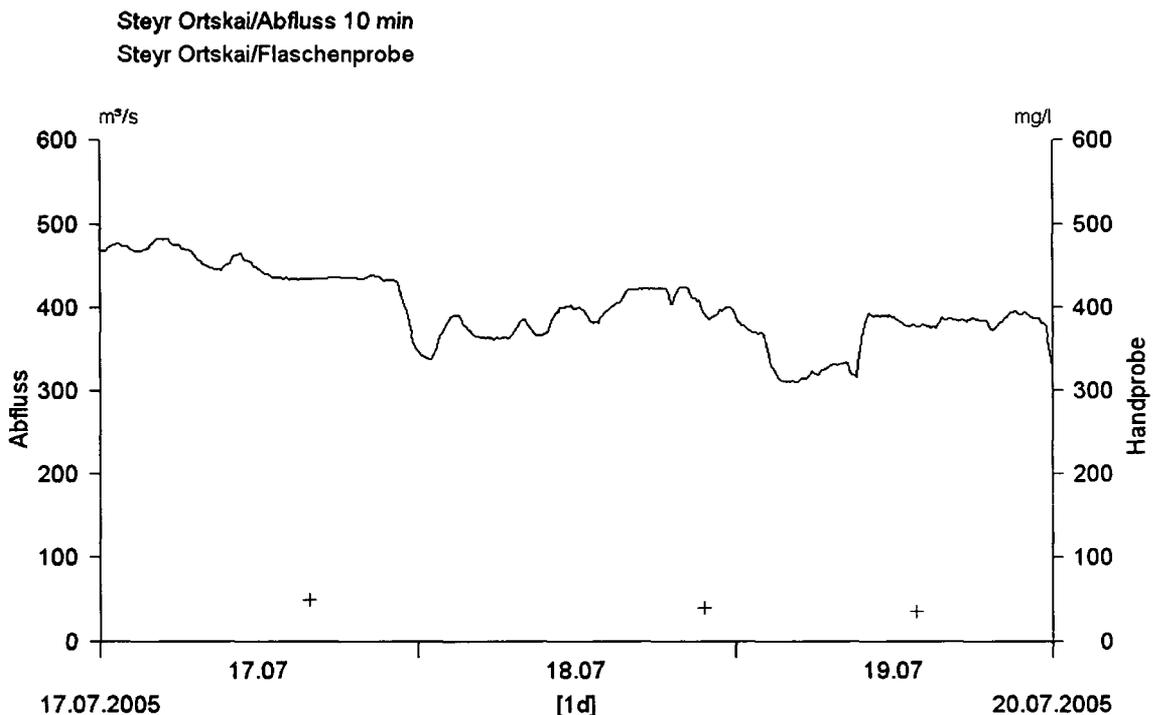


Abb. 6.7: 18. Juli 2005: Verlauf der 10min-Mittelwerte des Abflusses sowie der Schwebstoffkonzentration der Flaschenproben, HD OÖ

Die Abflussmessung konnte mittels Seilflügel, ausgerüstet mit „OTT-Delphin“, durchgeführt werden. An 5 Messlotrechten wurde an jeweils mehreren Punkten die Fließgeschwindigkeit gemessen. Die mittleren Fließgeschwindigkeiten in den einzelnen Lotrechten ergaben sich mit minimal 1,25 m/s und maximal 2,10 m/s. Die jeweils größten Fließgeschwindigkeiten (v_o , v_u und v_m) konnten bei Stationierung 45,00 m, also in diesem Fall in der Gewässermittle gemessen werden. Als annähernd konstant konnte der Wasserstand während der gesamten Abflussmessung registriert werden, der **212,0 cm** betrug. In weiterer Folge konnte der Durchfluss Q mit **406 m^3/s** bestimmt werden. Ausführlichere,

zusätzliche Ergebnisse dieser Messung bezüglich hydraulischer und gerinnegeometrischer Parameter sind in Tab. 4 dargestellt.

Tabelle 4: Hydraulische und Geometrische Gerinnegrößen am 18.7.2005

Durchflussquerschnitt	A	215,14	m ²
Wasserspiegelbreite	b	98,00	m
mittlere Gerinnetiefe	h_m	219,5	cm
mittlere Fließgeschwindigkeit	v_m	1,89	m/s
maximale Oberflächengeschwindigkeit	v_{Omax}	2,46	m/s
mittlere Oberflächengeschwindigkeit	v_{Om}	1,93	m/s
Verhältnis	v_m/v_{Om}	0,98	
Abflussspende	q	68,71	l/(s.km ²)

Bei einem annähernd gleich bleibenden Wasserstand mit einer Schwankungsbreite von 211,0 bis 213,0 cm konnte durch diese idealen Bedingungen eine Schwebstoffvielpunktentnahme mittels Vielpunktmethodik durchgeführt werden. Das dazu verwendete Entnahmegerät war der OTT-Sammler. Aus Abbildung 6.9 ist zu erkennen, dass die theoretische Verteilung der Schwebstoffkonzentration mit der in der Enns vorhandenen in den meisten Fällen gut übereinstimmt und sich Entnahmetiefen und Schwebstoffkonzentrationen direkt proportional zueinander verhalten. Allerdings lässt sich diese Gesetzmäßigkeit in Messlotrechte 4 respektive 5 (im Folgenden durch ML abgekürzt) bei Stationierung 45,00 m sowie 65,00 m nicht nachvollziehen, was durch Undichtigkeiten des Messgeräts oder eventuelle Fehler bei der gravimetrischen Auswertung im Labor zustande kommen kann. Neuerlich ist zu bemerken, dass die Schwebstoffkonzentration die eindeutige Tendenz, vom rechten zum linken Ufer hin geringer zu werden, aufweist. Die Schwebstoffkonzentration C_s bewegt sich im Querprofil in einem Bereich von 23,6 mg/l bis 125,4 mg/l. Der Maximalwert wurde, entsprechend vorheriger Messungen in Sohlhöhe am rechten Uferrand beim Pegelhaus, erzielt.

Vielpunktentnahme vom 18. Juli 2005

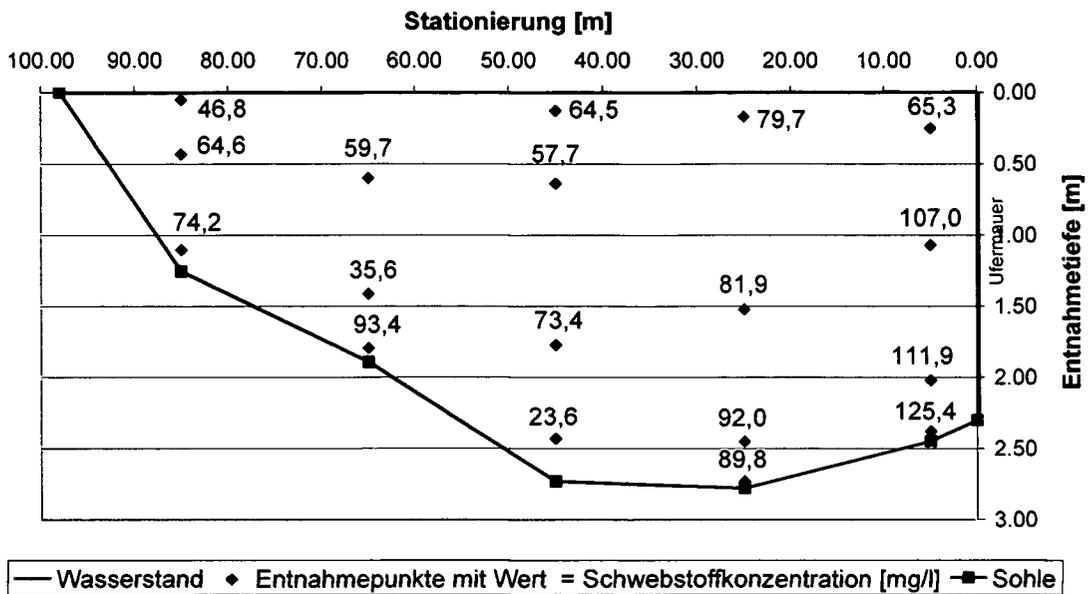


Abb. 6.8: VP-Entnahme und Ennsprofil mit Entnahmepunkten und Schwebstoffkonzentrationen

Die Berechnung des Schwebstofftransports vom 18.7.2005 ergab einen Wert von 24,3 kg/s. Die mittlere Schwebstoffkonzentration über den Querschnitt C_m und die Schwebstoffkonzentration der Referenzprobe C_r sind als Querprofilbeiwert k_1 verknüpft und in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Schwebstofftransport am 12.7.2005

Schwebstofftransport.:	24.32	kg/s
C_m :	59.83	g/m ³
C_r :	42.00	g/m ³
k_1 :	1.42	

6.1.3 Integrationsentnahme am 28. Juli 2005

Die Abflussganglinie am Donnerstag, den 28. Juli 2005, weist die für Mittel- bis Niederwasserführung typischen Schwankungen auf, die auf den Schwellbetrieb der Ennskraftwerke (EKW) zurückzuführen sind. Der Wasserstand während der Abflussmessung von 11:00 bis 12:30 Uhr variierte in einem Bereich von 164 cm bis 173 cm. Daraus folgte ein mittlerer Wasserstand W_m von **166,2 cm**.

Für die Geschwindigkeitsmessung wurde der Messquerschnitt in 13 Messlotrechte aufgeteilt. Die maximalen Fließgeschwindigkeiten konnten abermals bei Stationierung 45,00 m mit $v_o = 2,28$ m/s und $v_m = 1,86$ m/s ermittelt werden. Der Durchfluss Q betrug **271,4 m³/s**.

Ausführlichere, zusätzliche Ergebnisse dieser Messung bezüglich hydraulischer und gerinnegeometrischer Parameter sind in nachfolgender Tab. 6 dargestellt.

Tabelle 6: Hydraulische und Geometrische Gerinnegrößen am 28.7.2005

Durchflussquerschnitt	A	170,75	m ²
Wasserspiegelbreite	b	97,50	m
mittlere Gerinnetiefe	h_m	175,1	cm
mittlere Fließgeschwindigkeit	v_m	1,59	m/s
maximale Oberflächengeschwindigkeit	$v_{O_{max}}$	2,27	m/s
mittlere Oberflächengeschwindigkeit	v_{O_m}	1,78	m/s
Verhältnis	v_m/v_{O_m}	0,89	
Abflusspende	q	45,88	l/(s.km ²)

Die stark ansteigende Trübungsganglinie durchlief ihren Spitzenwert um 20:00 Uhr des Vortags, um dann, während des Messzeitraumes, wesentlich flacher abzufallen (Abbildung 6.10).

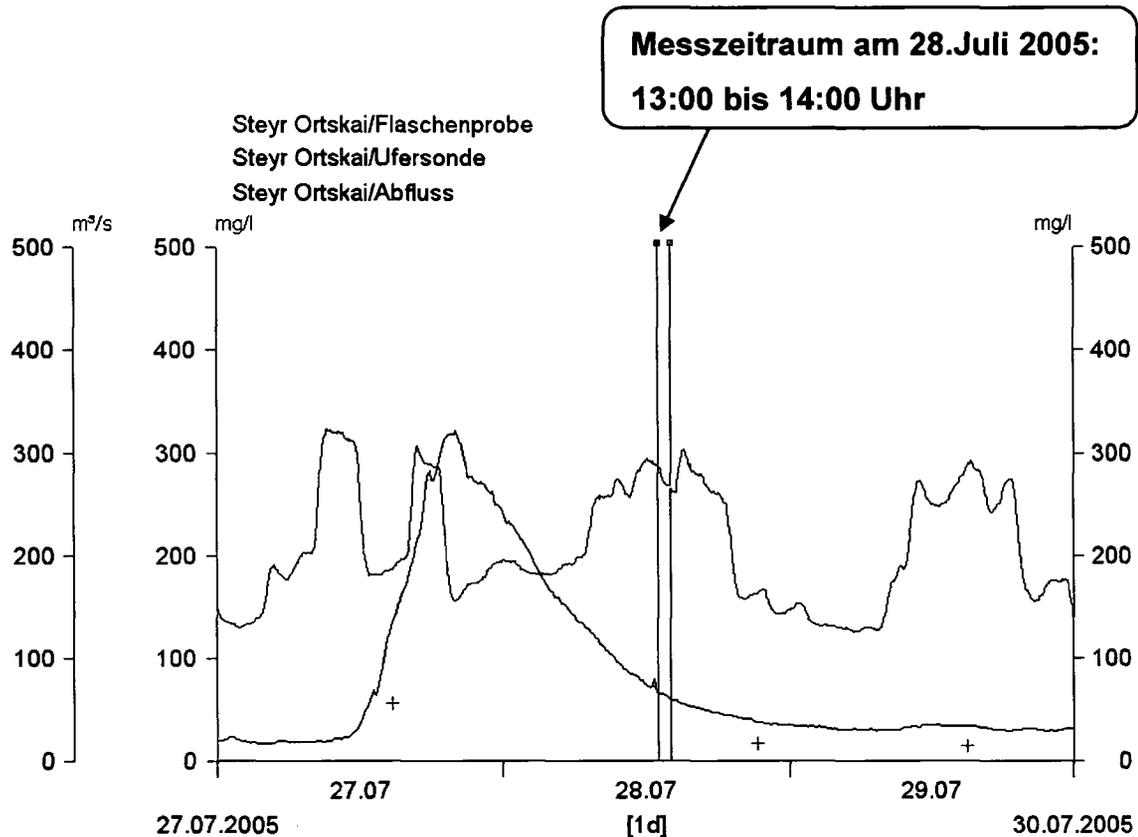


Abb. 6.9: Ganglinien von Sondenaufzeichnung, Abfluss und Referenzprobe am 28. Juli 2005

Zeitlich parallel zum Auslaufen des abfallenden Astes konnte eine Integrationsmessung mit dem OTT-Sammler in den jeweils gleichen Messlotrechten wie bei der Fließgeschwindigkeitsmessung bei praktisch konstantem Wasserstand durchgeführt werden.

Die höchste Konzentration ergab sich erwartungsgemäß am rechten Ufer mit 60,8 mg/l. Im Hauptstromstrich pendelt die Schwebstoffkonzentration zwischen 14,4 und 29,0 mg/l (Abbildung 6.11). Eine weitere Information, welche Abbildung 6.12 beinhaltet, bezieht sich auf das Verhältnis von Sondenaufzeichnung und Schwebstoffkonzentration. Dabei wird ersichtlich, dass die zeitgleich gemessenen Werte um den Faktor 0,22 bis 0,47 (Ausnahme 0,95) voneinander abweichen, die Sonde also das rund 4,5- bis 2,1-fache der

durch integrative, direkte Probenahme erhaltenen Schwebstoffkonzentration anzeigt.

28. Juli 2005 Integrationsmessung

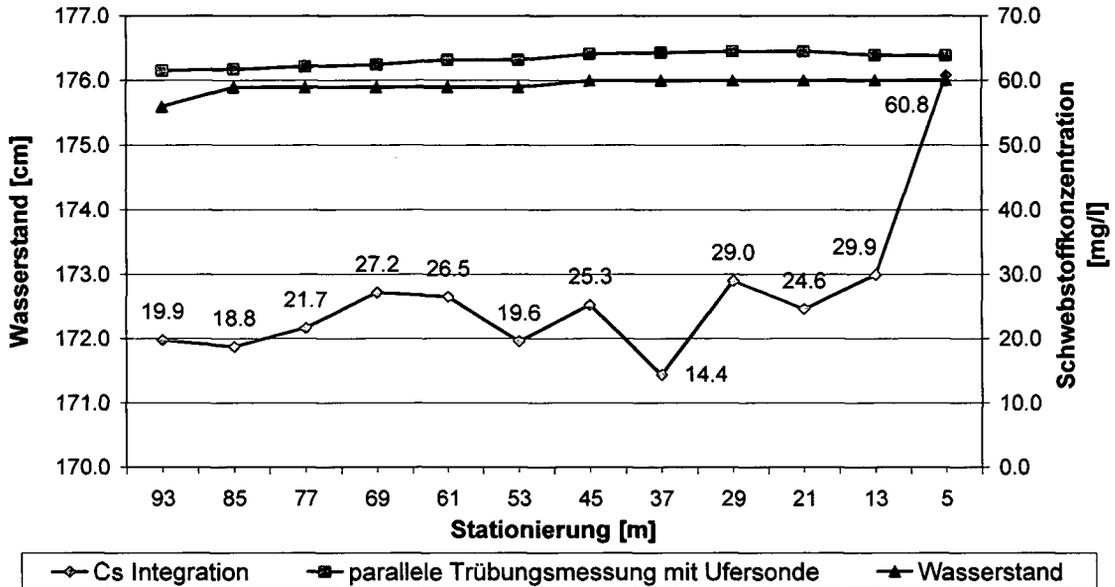


Abb. 6.10: Schwebstoffkonzentrationen am 28. Juli 2005

Vergleich der Werte aus Sondenaufzeichnung und Schwebstoffkonzentration

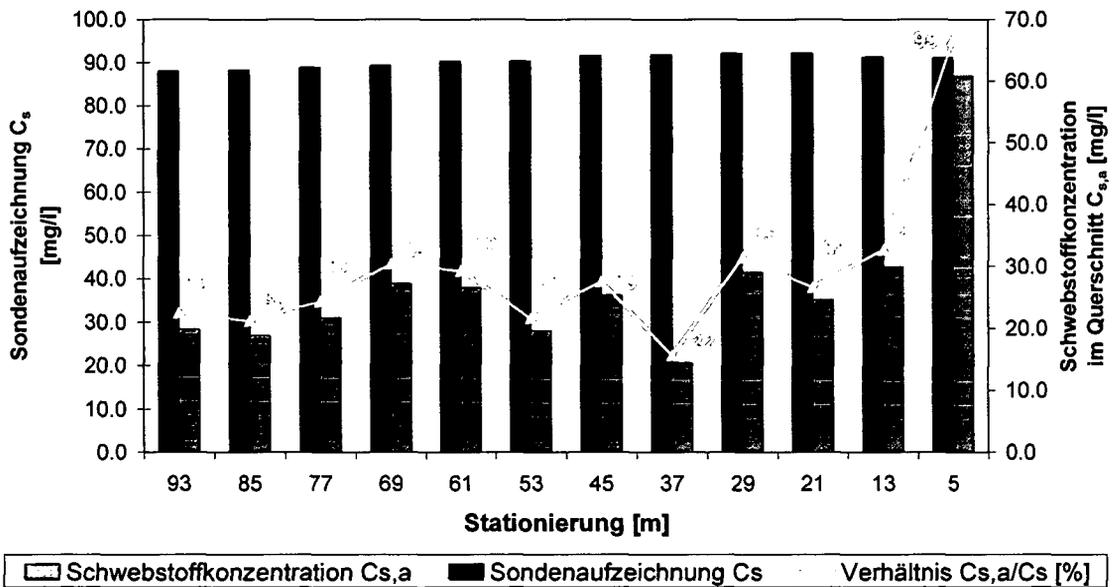


Abb. 6.11: Ganglinien von Sondenaufzeichnung, Abfluss und Referenzproben sowie der Beziehung zwischen Trübungswerten und der Schwebstoffkonzentration

In einem zeitlichen Abstand von einer Stunde wurden, zur Kalibrierung der Trübungssonde, direkt in deren unmittelbaren Nähe, Schwebstoffproben entnommen. Das Ergebnis ist in der folgenden Abbildung 6.13 abgebildet.

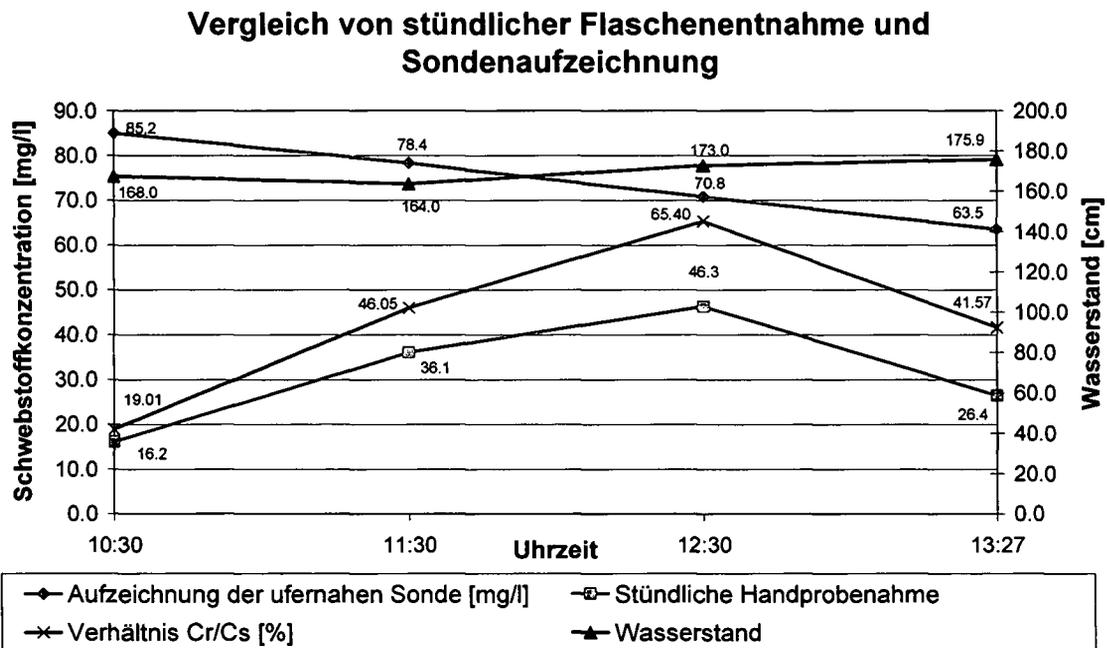


Abb. 6.12: Ganglinien von Sondaufzeichnung, Wasserstand und Referenzproben sowie der Beziehung zwischen Trübungswerten und der Schwebstoffkonzentration

Die Berechnung des Schwebstofftransports vom 28.7.2005 ergab einen Wert von 6,47 kg/s. Diesmal konnten sehr ähnliche Werte der mittleren Schwebstoffkonzentration über den Querschnitt C_m und der Schwebstoffkonzentration der Referenzprobe C_r ermittelt werden, was einen Querprofilbeiwert k_1 von 0,9 zur Folge hat und in Tabelle 7 dargestellt ist.

Tabelle 7: Schwebstofftransport am 28.7.2005

Schwebstofftransport:	6.47 kg/s
C_m	23.85 g/m ³
C_r	26.40 g/m ³
k_1	0.90

6.1.4 Vielpunkt- und Integrationsentnahme am 1.8.2005

Das Messprogramm des vierten Tages der Messkampagne setzte sich aus Abfluss-, Vielpunkt- und Integrationsmessung zusammen. Abbildung 6.14 zeigt eine, auf dem Schwellbetrieb beruhende, relativ stark schwankende Abflussganglinie, welche sich während des Messzeitraumes innerhalb eines Bereiches von 200 bis 300 m³/s bewegt. Der außerordentliche Anstieg der Trübungsganglinie ab 15:30 bis 21:00 Uhr mit einem Maximum von 533 mg/l ist durch die Werte der Flaschenentnahme plausibel.

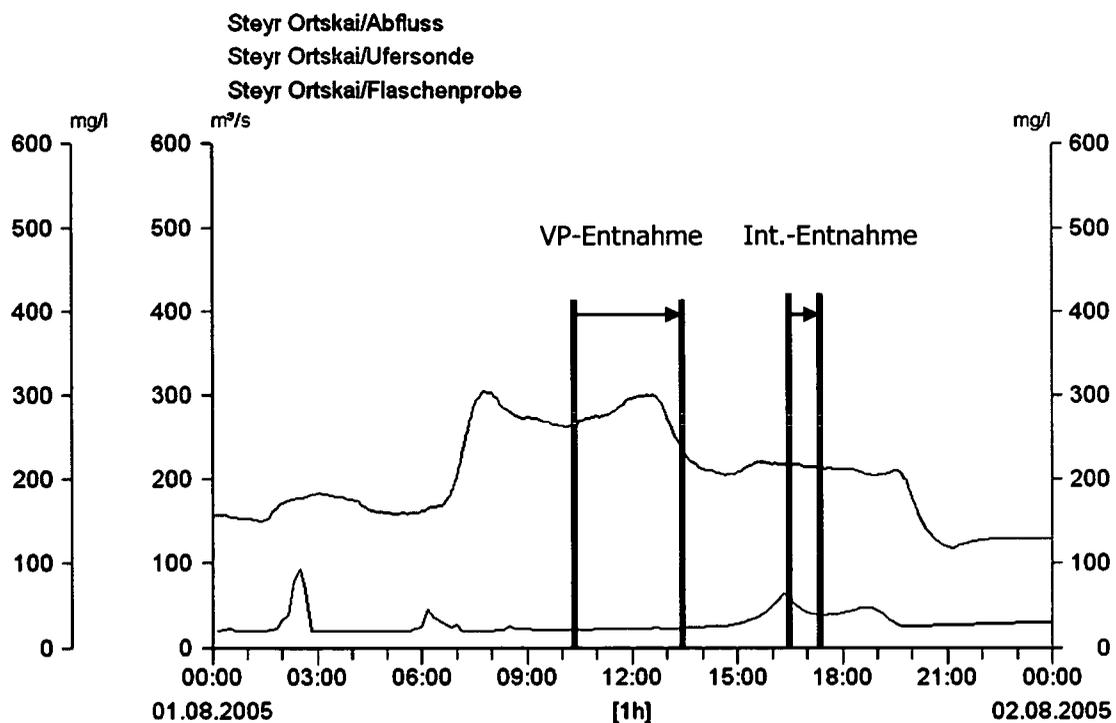


Abb. 6.13: Ganglinien von Sondenaufzeichnung, Abfluss und Referenzprobe sowie zeitliche Einordnung der Vielpunkt- und Integrationsentnahme

Für die Messung der Fließgeschwindigkeiten wurde das Querschnittsprofil in 12 Messlotrechte unterteilt. Bei einer Wasserstandsschwankung von 16 cm innerhalb des Messzeitraums wurde der mittlere Wasserstand W_m mit **163,8 cm** ermittelt. Die größten Geschwindigkeiten konnten wieder im Hauptstromstrich zwischen Stationierung 42,50 m und 65,00 m gemessen werden. Der Durchfluss Q wurde mit **258 m³/s** errechnet. Eine Übersicht der Ergebnisse des Auswertungsprotokolls findet sich in Tabelle 8.

Tabelle 8: Hydraulische und geometrische Gerinnegrößen am 1.8.2005

Durchflussquerschnitt	A	152,89	m ²
Wasserspiegelbreite	b	94,50	m
mittlere Gerinnetiefe	h_m	161,8	cm
mittlere Fließgeschwindigkeit	v_m	1,69	m/s
maximale Oberflächengeschwindigkeit	v_{0max}	2,31	m/s
mittlere Oberflächengeschwindigkeit	v_{0m}	1,82	m/s
Verhältnis	v_m/v_{0m}	0,93	
Abflussspende	q	43,60	l/(s.km ²)

Für die Schwebstoffmessungen wurde der Querschnitt in 7 Messlotrechte, die mit den vorher gewählten identisch sind, unterteilt. Eine ausführliche Darstellung der Vielpunkt- bzw. der Integrationsmessung ist in Abbildung 6.15 dargestellt.

Bei der VP-Messung fungierte der OTT-Sammler als Entnahmegesetz.

Die Integrationsmessung wurde mit dem US - P61A1 realisiert. Zeitlich gesehen zwischen 16:45 und 17:30 Uhr fand diese genau während des steilen Anstiegs der Trübung und der Schwebstoffkonzentration im Allgemeinen statt.

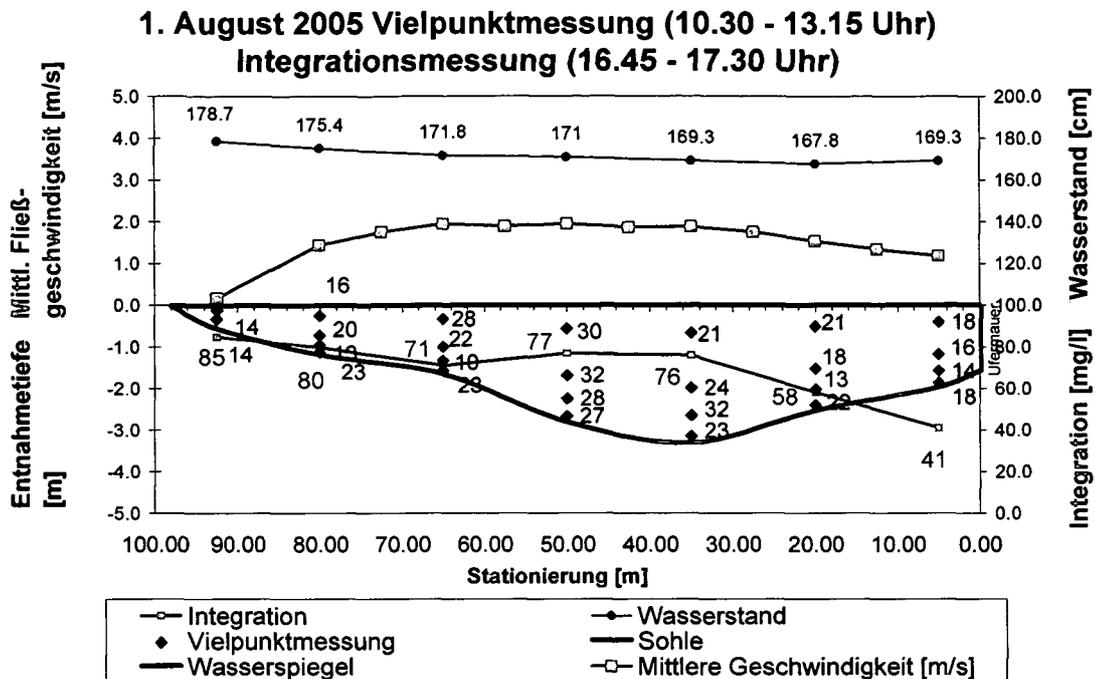


Abb. 6.14: Ennsprofil mit Schwebstoffkonzentrationen aus Vielpunkt- und Integrationsentnahmen sowie der mittleren Fließgeschwindigkeiten

Für die Kalibrierung der Trübungssondenganglinie bediente man sich wieder der stündlichen Flaschenentnahme in unmittelbarer Sondennähe. Dafür wurden während der Messung neun Probeflaschen entnommen und um den weiteren Verlauf ersichtlich zu machen, drei weitere, durch den Hydrographischen Dienst entnommene Proben, der folgenden Tage angefügt. Abbildung 6.16 veranschaulicht den Schwankungsbereich des Faktors k_2 aus der Beziehung $C_r = k_2 \cdot C_s$ (Formel 7) welcher sich zwischen 0,34 und 0,64 bewegt. Das arithmetische Mittel des Faktors k_2 über diesen Beobachtungszeitraum ergibt sich mit 49,4 %.

Vergleich von Flaschenentnahmen in Sondennähe mit Werten der Sondenaufzeichnung

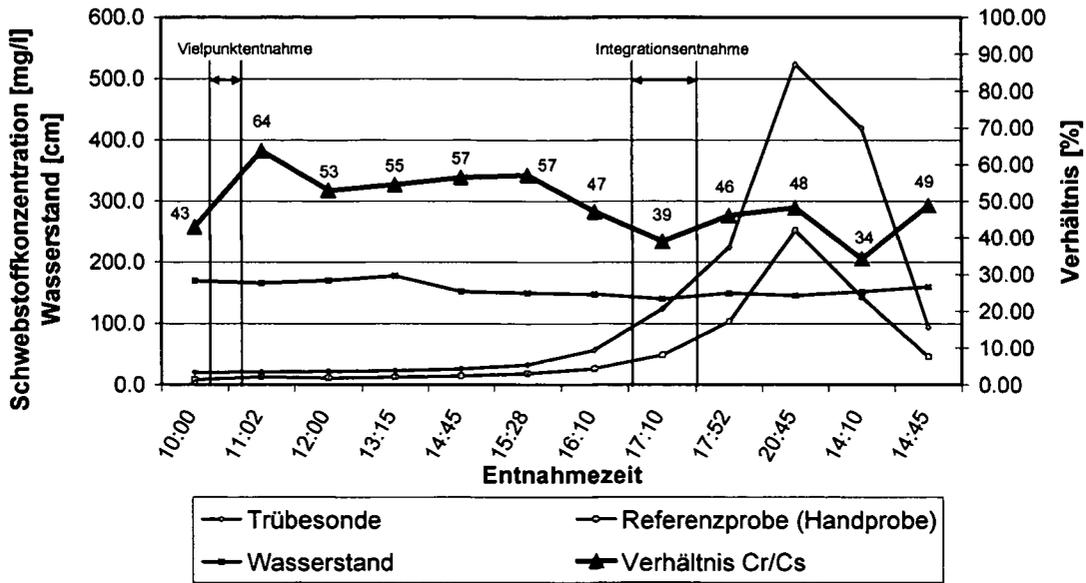


Abb. 6.15: Ganglinie von Wasserstand und Vergleich der Referenzproben mit der Trübung am 1.8.2005

Am 1.8.2005 wurde aufgrund zweier verschiedener Entnahmemethoden auch der jeweilige Schwebstofftransport zweimal errechnet. Wegen der steigenden Trübung respektive der Schwebstoffkonzentration kommt es dabei zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen, bei welchen der Schwebstofftransport bei der Integrationsentnahme jenen der Vielpunktmessung um mehr als das Dreifache übersteigt (siehe Abbildung 6.15). Ungewöhnlich, aber in derselben Größenordnung liegende, hohe Verhältniswerte des Querprofilbeiwerts k_1 von 1,86 und 2,14 sind ebenfalls Resultate dieser Messung (Tabellen 9 sowie 10).

Tabelle 9: Schwebstofftransport aus Vielpunktmessung am 1.8.2005

Schwebstofftransport:	7.66 kg/s
C_m	27.24 g/m ³ mg/l
C_r	12.75 g/m ³ mg/l
k_1	2.14

Tabelle 10: Schwebstofftransport aus Integrationsmessung am 1.8.2005

Schwebstofftransport:	23.39 kg/s
C_m	108.90 g/m ³ mg/l
C_r	58.50 g/m ³ mg/l
k_1	1.86

6.1.5 Vielpunktmessung am 19.9.2005

In der Abbildung 6.17 kann man eine abfallende Abflussganglinie erkennen. Bei der Fließgeschwindigkeitsmessung (Vielpunktmessung mit Stangenflügel) wurden Wasserstände von minimal 132,5 cm bis maximal 136,5 cm registriert. Aus einem mittleren Wasserstand W_m von **135,4** cm resultierte ein Abfluss Q von **199,8** m³/s. Eine detaillierte Übersicht der Ergebnisse des Auswertungsprotokolls findet sich in Tabelle 11.

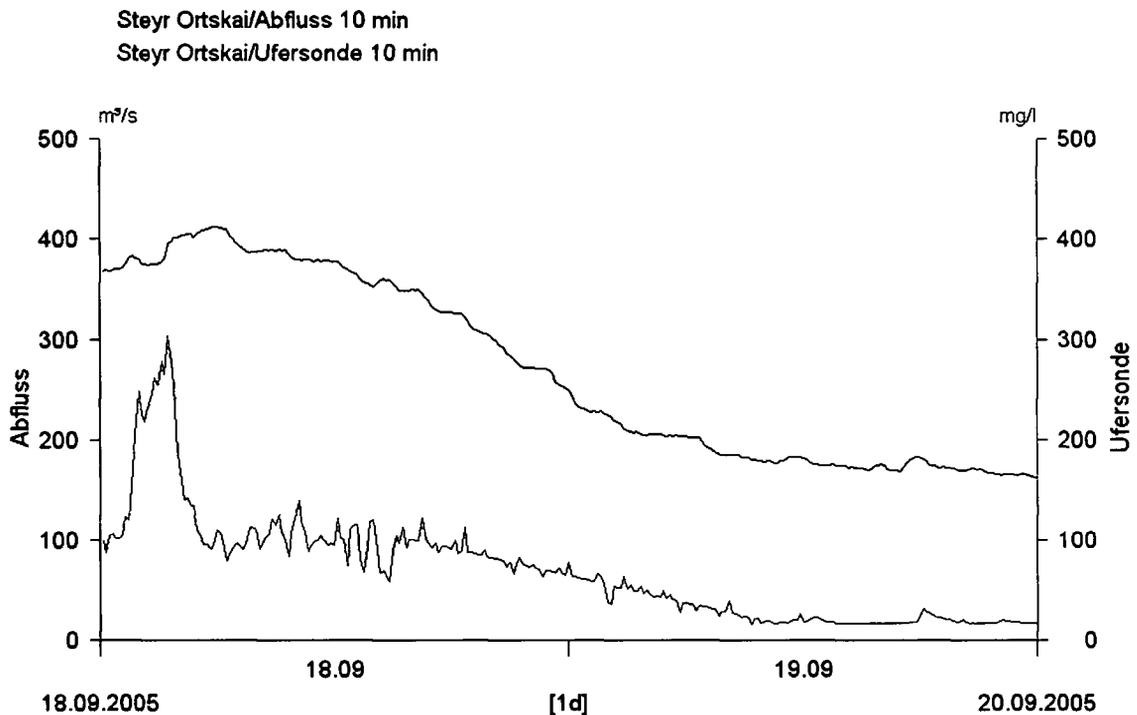


Abb. 6.16: Ganglinie von Wasserstand und Trübung am 19. September 2005

Tabelle 11: Hydraulische und geometrische Gerinnegrößen am 19.9.2005

Durchflussquerschnitt	A	148,82	m ²
Wasserspiegelbreite	b	86,00	m
mittlere Gerinnetiefe	h_m	173,1	cm
mittlere Fließgeschwindigkeit	v_m	1,34	m/s
maximale Oberflächengeschwindigkeit	v_{Omax}	1,94	m/s
mittlere Oberflächengeschwindigkeit	v_{Om}	1,36	m/s
Verhältnis	v_m/v_{Om}	0,98	
Abflussspende	q	33,78	l/(s.km ²)

Die an diesem Tag durchgeführte Vielpunktmessung mit dem OTT-Sammler wurde binnen ca. 2 Stunden durchgeführt. Geringe Werte der vorhandenen Schwebstoffkonzentration von 4.5 mg/l bis 24.7 mg/l konnten dabei über den Querschnitt ermittelt werden. Eine Übersicht der Entnahmepunkte inklusive der in diesen Punkten ermittelten Schwebstoffkonzentrationen ist in Abbildung 6.18 dargestellt.

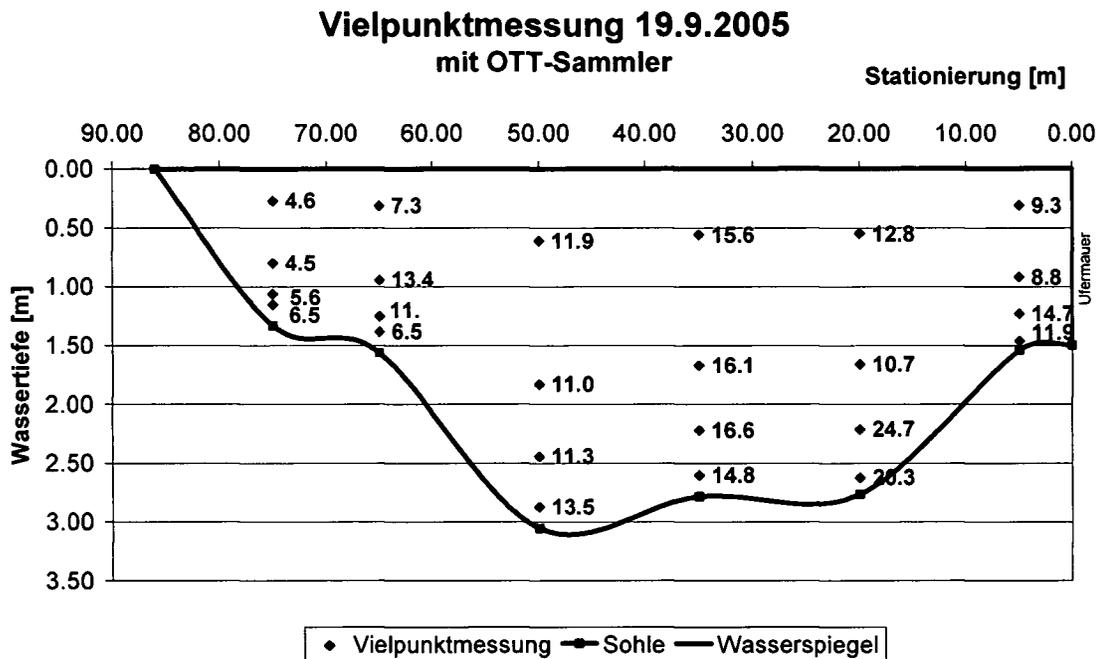


Abb. 6.17: Ennsprofil mit Schwebstoffkonzentrationen aus Vielpunktentnahme am 19.9.2005

Als Vergleich zur herkömmlichen Entnahmemethode konnte eine Trübungsmessung über Querschnitt mittels an einer Stange befestigten Sonde im Schlauchboot des Hydrographischen Dienstes durchgeführt werden (Abbildung 6.19).

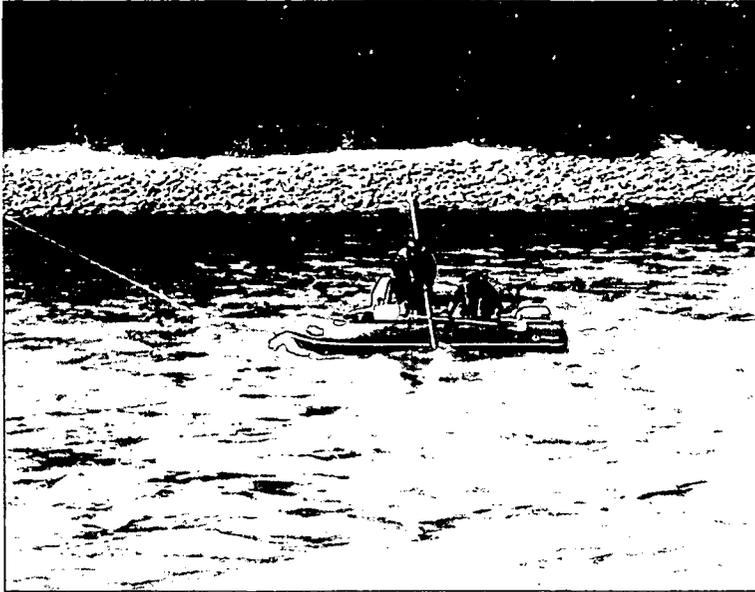


Abb. 6.18: Bootsmessung am 19.9.2005

Bei der Bootsmessung, welche zwischen 13:45 und 14:20 abgewickelt wurde, konnte gemäß dem Entnahmepunktschema, das in Abbildung 6.20 zu erkennen ist, verfahren werden. In jedem Punkt wurden 10 bis 15 über den mobilen Datenlogger abgelesene Werte der Schwebstoffkonzentrationen während eines Zeitraums von etwa einer Minute notiert und später zu einem repräsentativen arithmetischen Mittelwert berechnet. Die daraus gewonnenen Werte waren in einem Bereich von 12,1 bis 21,5 mg/l angesiedelt. Wie durch vorangegangene Messungen bestätigt, konnte auch mit dieser Methode eine Verringerung der Schwebstoffkonzentration vom rechten zum linken Ufer festgestellt werden (Abbildung 6.18).

Bootsmessung am 19. September mit mobiler Sonde solitax ts line

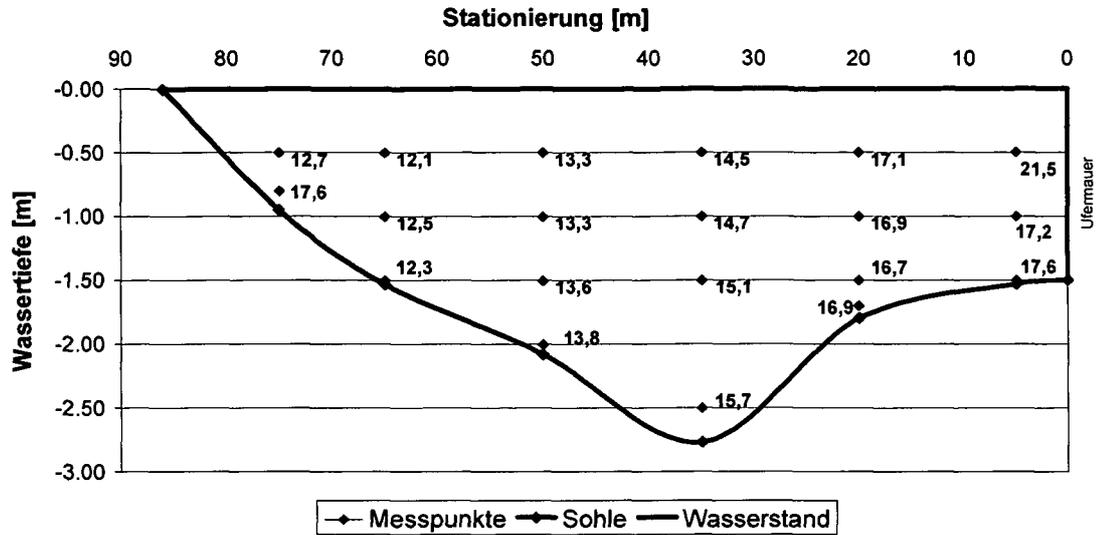


Abb. 6.19: Ennsprofil mit Schwebstoffkonzentrationen aus Bootsmessung am 19.09.2005

Bei generell sehr niedrigen Schwebstoffkonzentrationen lieferte ein Vergleich der stündlich gezogenen Referenzprobe mit der Trübung (C_r/C_s) Werte von 66 % bis zu 86 % (siehe Abbildung 6.21).

Weiters konnte an diesem Tag noch eine parallele Sondenmessung der fest installierten und mobilen Sonde realisiert werden. Die abgelesenen Werte wichen in einem Schwankungsbereich zwischen 0,2 und 0,7 mg/l voneinander ab. Man kann also mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass jene Messgeräte gleicher Bauart und gleichen Herstellers Ergebnisse in derselben Größenordnung zu liefern imstande sind, die Trübungsmessung in diesem Fall über den Querschnitt also in direkter Weise mit jener am Ufer vergleichbar ist.

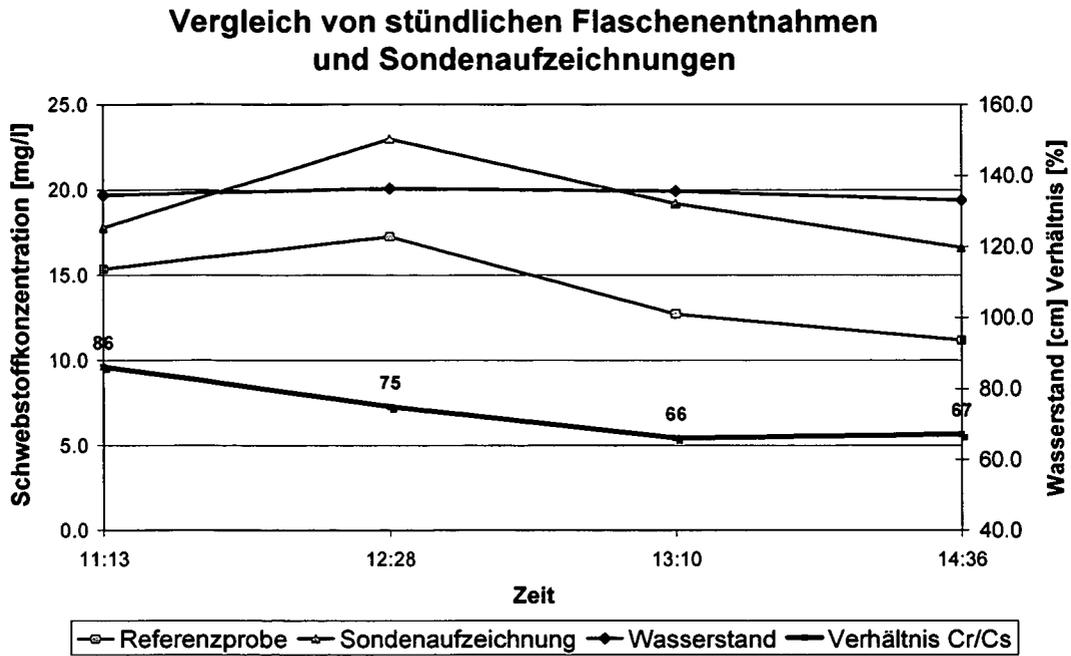


Abb. 6.20: Ganglinie von Wasserstand und Vergleich der Referenzproben mit der Trübung am 19.9.2005

Der Schwebstofftransport lässt sich mit 3,22 kg/s beziffern. Weiters sind die mittlere Schwebstoffkonzentration über den Querschnitt C_m , die Schwebstoffkonzentration der Referenzprobe C_r und der Querprofilbeiwert k_1 in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Schwebstofftransport am 19.9.2005

Schwebstofftransport:	3.22	kg/s
C_m	16.13	g/m^3 mg/l
C_r	14.11	g/m^3 mg/l
k_1	1.14	

6.2 Korrekturfaktoren

Wie in Kapitel 5.7.1 „Ermittlung des Sondenbeiwerts“ beschrieben, konnte eine gute Korrelation von Flaschenentnahmen und den Werten der Trübungssonde erreicht werden. Dieser Zusammenhang wird in der folgenden Abbildung 6.22 dargestellt.

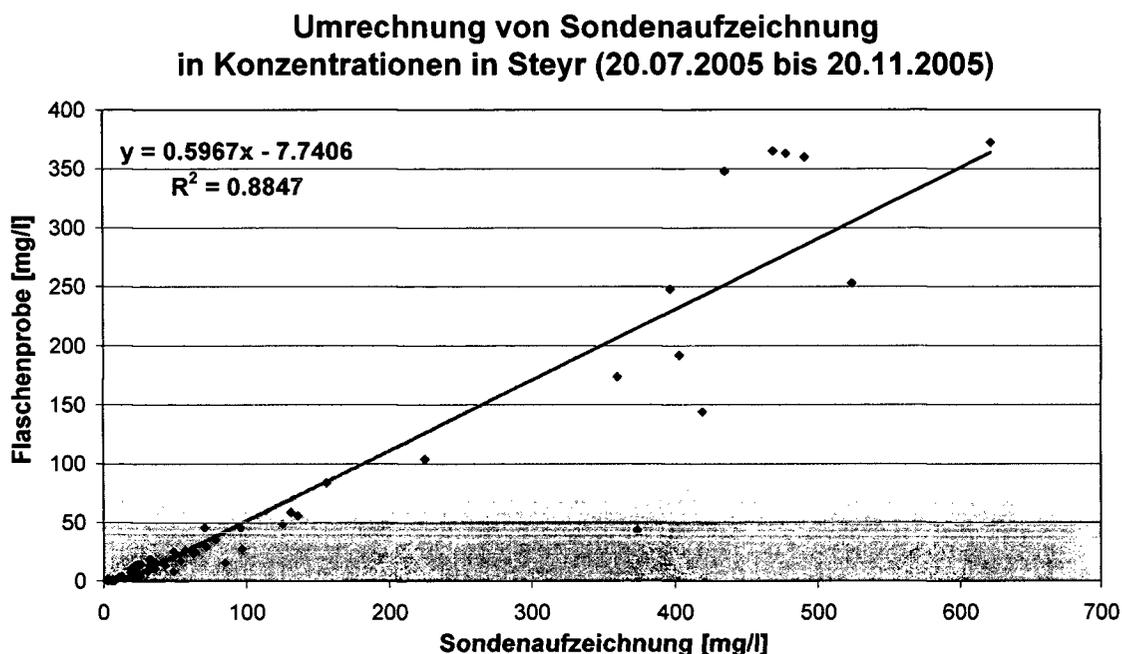


Abb. 6.21: Zusammenhang von Sondaufzeichnung und den zugehörigen Referenzproben (sondennahe Entnahme) für die Messstelle Steyr

Hierbei konnte in Steyr ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,94$ ermittelt werden (Abbildung 6.22). Dabei wurde der Messzeitraum vom 20. Juli 2005 bis 20. November 2005 berücksichtigt.

Analog dazu wird im Kapitel 5.7.2 die Ermittlung des Querprofilbeiwerts k_1 erläutert. Hierbei ist in dieser Hinsicht folgendes zu beachten: In Abbildung 6.23 sind sowohl Einzelpunkt-, Vielpunkt- und Integrationsentnahmen des Messprogramms 2005 berücksichtigt. Auf Basis dieser verteilten Probenahmen könnten verschiedene Querprofilbeiwerte errechnet werden. Ziel dieser Vorgangsweise wäre es, ähnlich der Abflussmessung, eine Schlüsselkurve zu

erstellen. Die Annahme eines linearen Zusammenhangs ergäbe, dass sich Durchfluss und Querprofilbeiwert indirekt proportional zueinander verhalten. An der Messstelle Steyr würde dabei, um einer Unterschätzung des Korrekturfaktors bei hohen Durchflüssen vorzubeugen, ab einem Durchfluss $Q > 843 \text{ m}^3/\text{s}$ der Querprofilbeiwert $k_1 = 1$ gesetzt werden (Abbildung 6.23).

Bei einem Bestimmtheitsmass von $R^2=0,26$ stellt sich dieser Zusammenhang aber als **nicht repräsentativ** heraus. Weiters musste festgestellt werden, dass die vorhandene Datenbasis zur Feststellung eines statistischen Zusammenhangs unzureichend ist und deshalb eine Erhöhung der Datenbasis durch weiterführende Messungen unumgänglich ist.

Es muss also hier nochmals dringend darauf hingewiesen werden, dass diese Beziehung keinesfalls statistisch abgesichert ist.

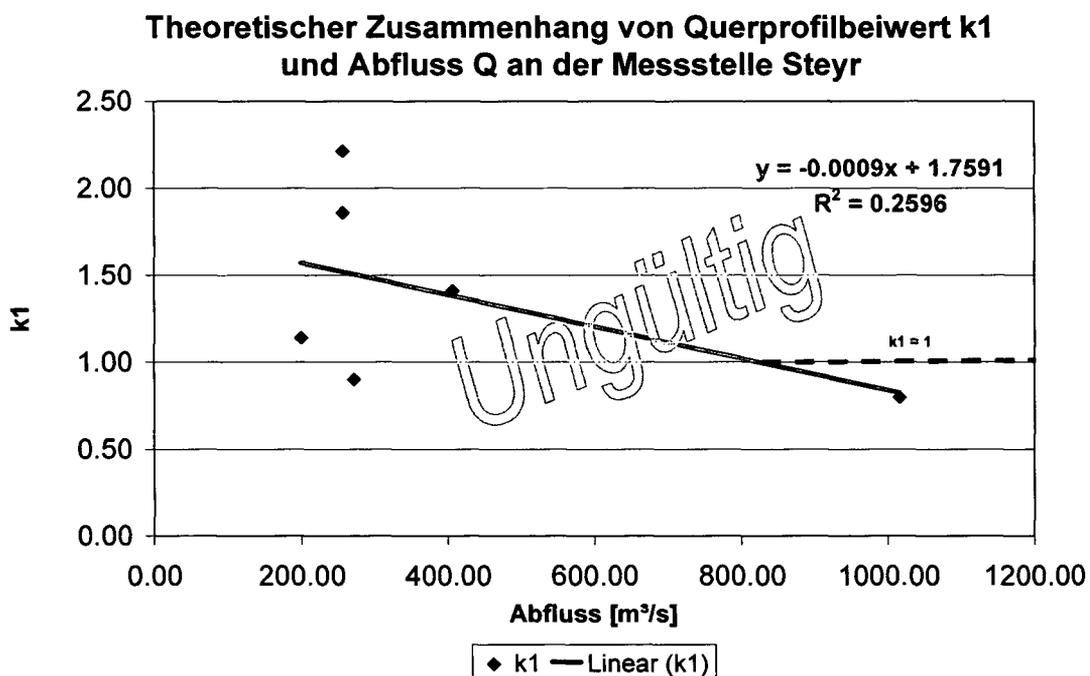


Abb. 6.22: Querprofilbeiwert k_1 bezogen auf den Abfluss

6.3 Korrigierte Ganglinie

Mit Hilfe der vorher ermittelten Korrekturfaktoren ließ sich auf einfachem Wege die korrigierte Ganglinie der Sondenaufzeichnung finden. Zusammenfassend wurde dies wie folgt bewerkstelligt:

Die Korrektur der Werte der Sondenaufzeichnung wurde mittels der Beziehung

$$y = 0.5967 x - 7.7406 \quad (\text{Formel 9})$$

durchgeführt. Die Bestimmung einer linearen Ausgleichsgeraden ergab eine durchaus zufrieden stellende Übereinstimmung mit einem Bestimmtheitsmass von $R^2 = 0.885$.

Zur Umrechnung der Referenzprobenwerte in mittlere Schwebstoffkonzentrationen des Querprofils wurde jene annähernd zeitgleich ermittelten Werte in Relation gesetzt und zum Querprofilbeiwert k_1 errechnet. Bezogen auf den Durchfluss Q ließ sich folgende theoretische Beziehung feststellen:

$$y = -0.0009 x + 1.7591 \quad (\text{Formel 10})$$

Auf dieser Grundlage ist es möglich, für sämtliche Durchflüsse die entsprechenden Querprofilbeiwerte zu schätzen.

Um den, auf die geringe Datenbasis zurückzuführenden, unzureichenden, statistischen Zusammenhang zu kompensieren, wurde an Stelle der linearen Funktion aus der Formel 10 ein arithmetischer **Mittelwert** aus den sechs vorhandenen Messungen von **1,39** herangezogen, welcher den durchschnittlichen Zusammenhang aus mittlerer Schwebstoffkonzentration im Querschnitt und Referenzprobenkonzentration für alle Abflüsse gleichermaßen darstellt.

Diese nunmehr doppelt korrigierte Ganglinie ist in der folgenden Abbildung 6.24 zu erkennen. Etwas detaillierter zu betrachten ist die Verschiebung der Ganglinie im Bild darunter, wo nur ein Abschnitt von einem Monat (in diesem Fall der August) herausgegriffen wurde und in welchem die Transformation von den ursprünglich aufgezeichneten Sondenwerten auf die tatsächlich vorhandene Trübung anschaulich aufgezeigt werden kann. Es ist auch klar zu erkennen, dass die ursprünglich aufgezeichneten Werte der Sonde immer höher als die tatsächlich vorhandenen Schwebstoffkonzentrationen sind.

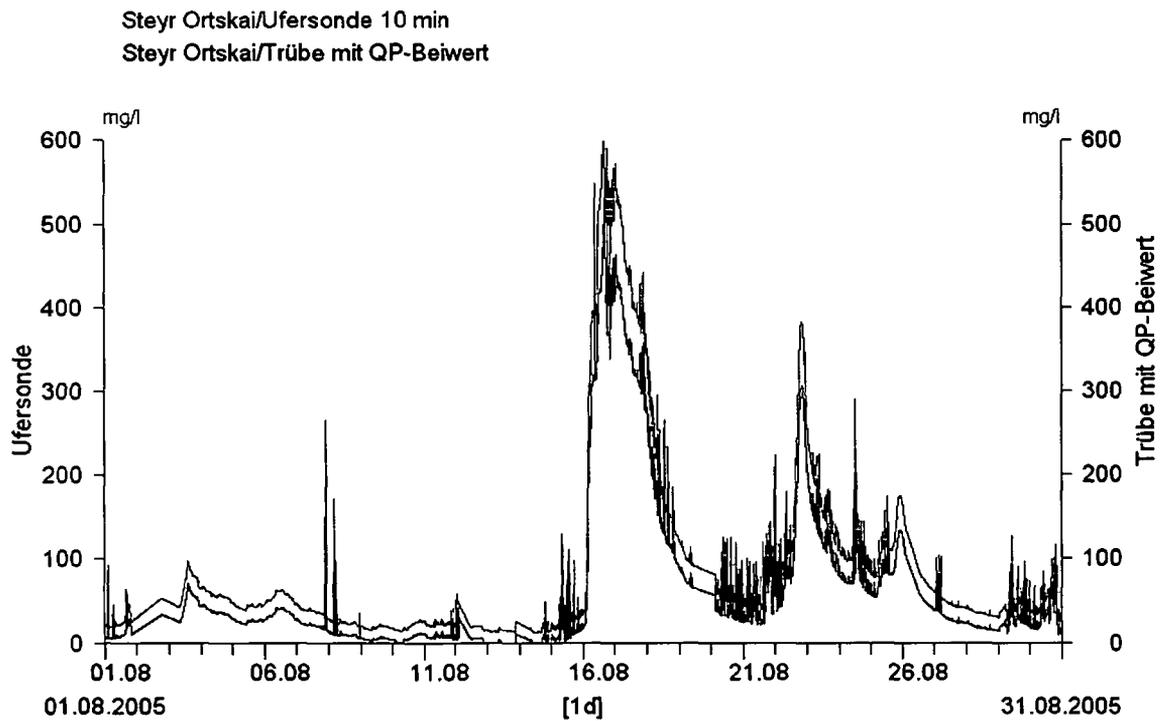
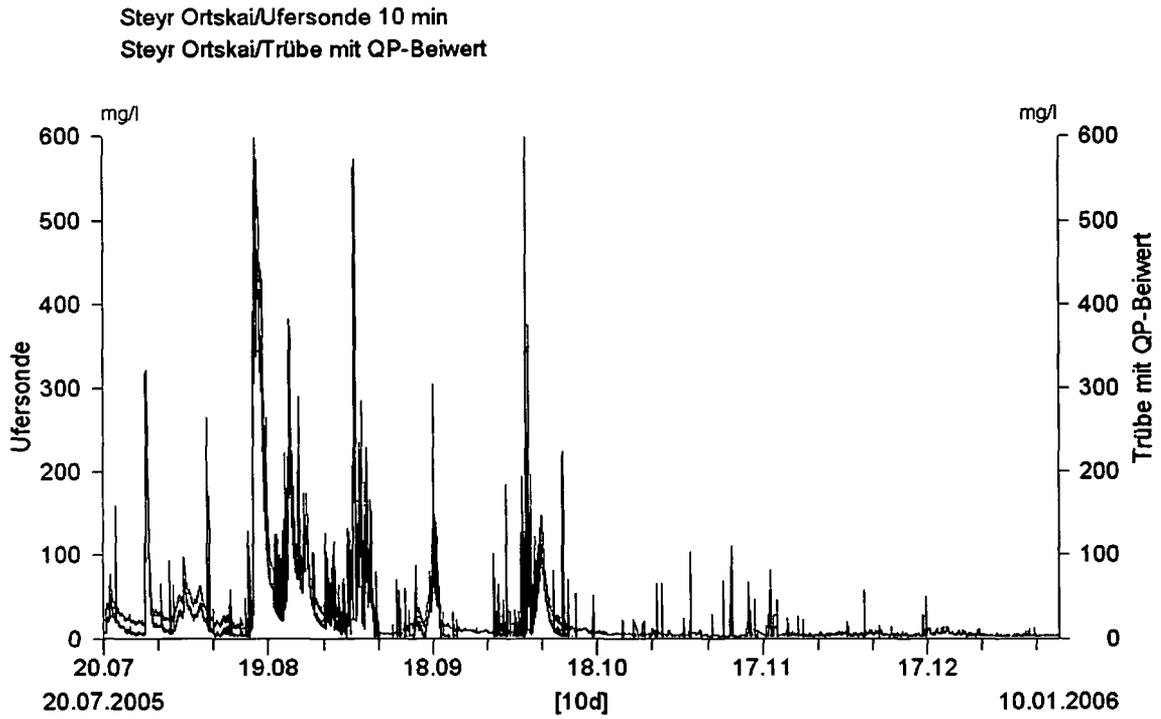


Abb. 6.23: Oberes Bild: Korrigierte Ganglinie von 20.07.2005 bis 31.12.2005;
Unteres Bild: Korrigierte Ganglinie vom August 2005

6.4 Schwebstofffracht

In Abbildung 6.25 ist der Verlauf der in der Enns transportierten Schwebstofffracht über den Zeitraum von Mitte Juli bis Ende Dezember 2005 skizziert.

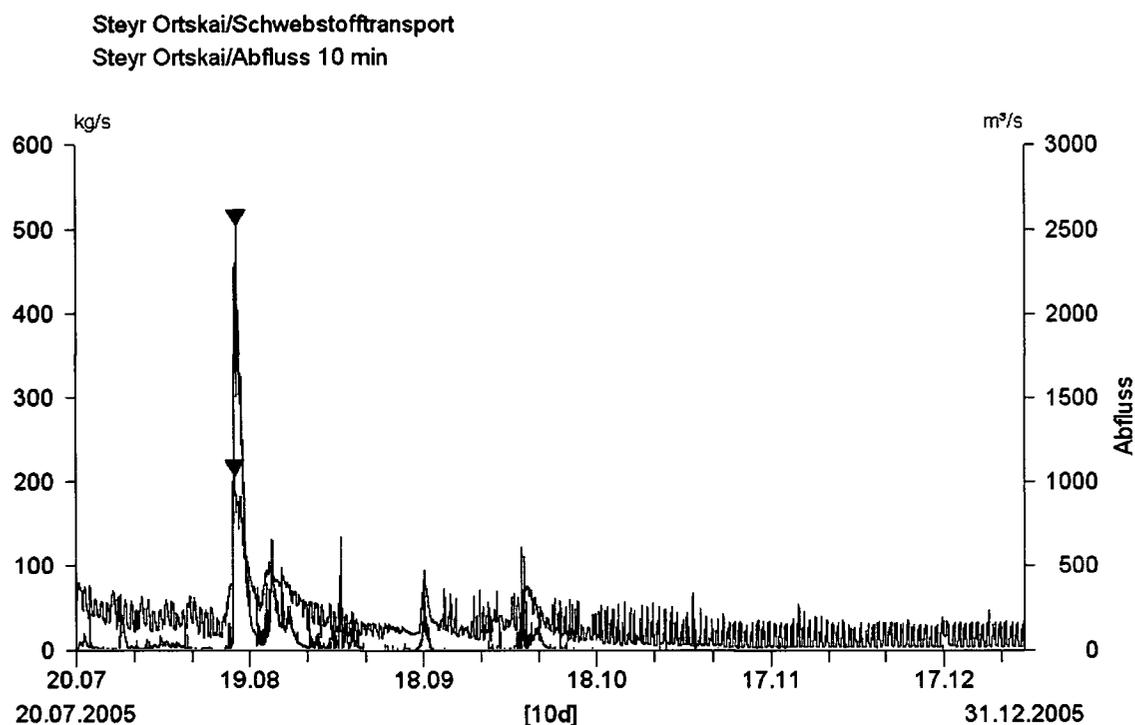


Abb. 6.24: Ganglinien von Schwebstofffracht und Abfluss vom 20. Juli 2005 bis 31. Dezember 2005

Das Produkt aus Durchfluss und mittlerer Konzentration ergibt den zeitlichen Verlauf des Schwebstofftransportes, der zeitlich integriert zur Fracht summiert wird. Daraus ergibt sich eine Gesamtfracht von rund 113.000 t.

Der Maximalwert von rund 505 kg/s ging am 16. August um 17:00 Uhr durch den Messquerschnitt (Tabelle 13). Dies lässt sich anhand Abbildung 6.25 auf einen höheren Abfluss von $Q=1041 \text{ m}^3/\text{s}$ zurückführen. Diese kurzfristig erhöhte Wasserführung ist für diese Jahreszeit keineswegs unüblich, da das HQ_1 am Pegel Steyr-Orstkai $1160 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt (persönliche Information des HD OÖ).

Tabelle 13: Übersicht der einzelnen Schwebstofffrachten pro Monat

Schwebstofftransport 2005 Steyr		
	[t]	[%]
August	91066	80.88
September	12960	11.51
Oktober	8035	7.14
November	259	0.23
Dezember	268	0.24
	112588	100.00

Schwebstofftransport in Steyr

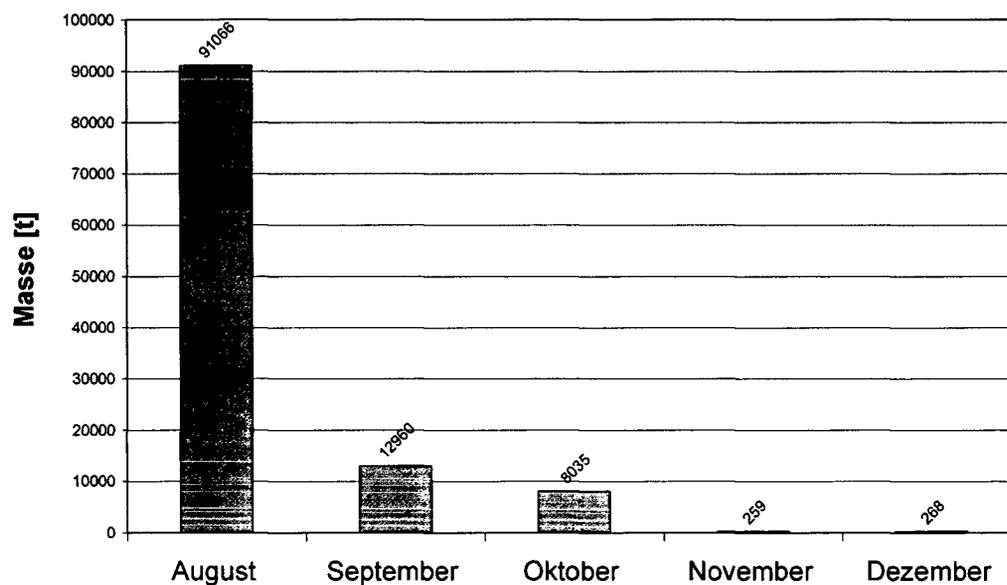


Abb. 6.25: Grafische Darstellung der Verteilung der Schwebstofffracht im Betrachtungszeitraum von August bis Dezember 2005

7 DISKUSSION

7.1.1 Indirekte Schwebstoffmessung - Trübung

Zur Erfassung der Trübung in der Enns konnte am 20. Juli 2005 eine Einbausonde der Fa. HACH-LANGE ins Gewässer an der rechten Ufermauer eingesetzt werden. Aufgrund der jahreszeitlich bedingten erhöhten Wasserführung und der damit verbundenen Gefahr beim Installieren war es nicht möglich diese in ausreichender Tiefe anzubringen. Demzufolge konnten bei einem Wasserstand unter 75 cm vorerst keine brauchbaren Messwerte erhalten werden. Dies ließ sich sehr eindeutig bei NW, vorzugsweise in der Nacht, bedingt durch den Schwellbetrieb der EKW feststellen. Darüber konnten sehr gute, auf jeden Fall plausible Größen erzielt werden. Trotzdem stellte sich die konstruktive Lösung dieser Erstaussführung nur als suboptimal heraus, auch in punkto Reinigung und Wartung sollten sich bald Mängel zeigen. Aus diesem Grund wurde am 21. November 2005 die alte durch eine neue, verbesserte Einbaukonstruktion ersetzt. Eine Prinzipskizze dieser Anordnung ist in Abbildung 7.1 dargestellt. Die Rohrleitung wird dabei durch ein Stahlprofilblech geschützt (Abbildung 7.2).

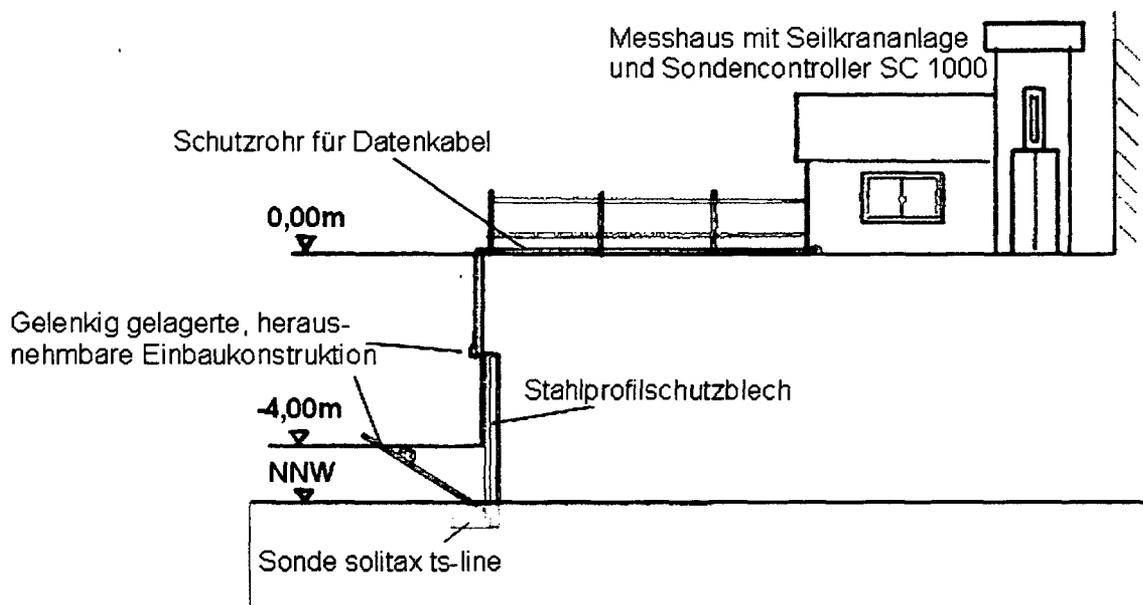


Abb. 7.1: Prinzipskizze Sondeneinbau



Abb. 7.2: Sondeneinbaukonstruktion, mittels Stahlprofilblech geschützt

Die Sonde selber ist durch vollständig versenkte Schrauben in ihrem Schutzrohr fixiert, welches dadurch keine Angriffsfläche für Schwimmstoffe und organisches Material mehr bietet (Abbildung 7.3).

VORHER:



NACHHER:

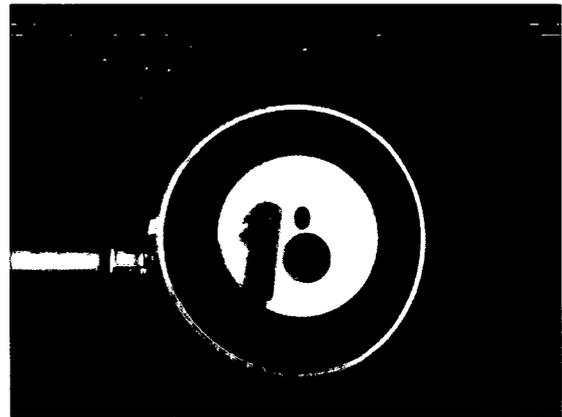


Abb. 7.3: Altes Schutzrohr mit organischem Material; rechtes Bild: Neues Schutzrohr mit Senkschraubenbefestigung

Weiters positiv hervorzuheben ist die Benutzerfreundlichkeit im Hinblick auf das Herausnehmen der Sonde zur Reinigung und Wartung, was unter ausschließlicher Verwendung eines Gabelschlüssels (22 mm), welcher auf der Messstelle vorhanden ist, bewerkstelligt werden kann (Abbildung 7.4).

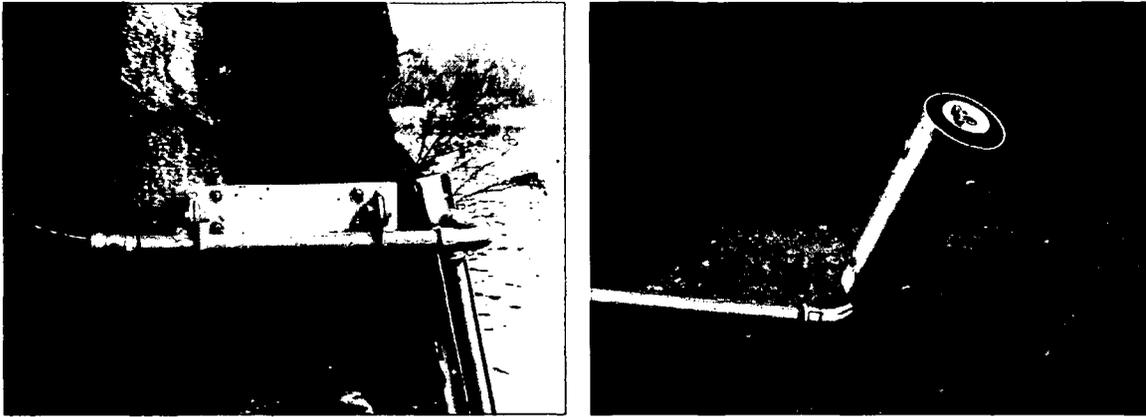


Abb. 7.4: Gelenkig gelagerte Einbaukonstruktion zur Herausnahme zu Wartungszwecken

Das vielerorts problematische „Fouling“, also die Belegung des optischen Sensors der Sonde durch einen Biofilm, ist praktisch vernachlässigbar. Demzufolge ist der Reinigungsaufwand als sehr gering einzuschätzen, nichtsdestotrotz wird die Empfehlung nahe gelegt, die Sonde während der Wintermonate alle zwei Wochen und über den Sommer mindestens einmal pro Woche herauszunehmen, gegebenenfalls zu reinigen und auf Fehlfunktionen zu überprüfen. Laut Instruktion der Fa. HACH-LANGE sollte einmal im Jahr die Sonde gewartet und bei Bedarf der Wischer gewechselt werden. Zusätzlich empfiehlt sich hierbei, in einem eigens dafür auf der Messstelle aufliegenden „Servicebuch“, alle diese Aktivitäten mit Zeitpunkt und Dauer einzutragen, um bei der späteren manuellen Korrektur der Trübungsganglinie die durch die Herausnahme entstehenden Datenlücken richtig zuzuordnen und korrigieren zu können.

Für einen Bereich der Sondenaufzeichnung von 0 bis etwa 650 mg/l kann eine lineare Funktion definiert werden. Um diese als Umrechnungsfunktion bezeichnete Beziehung als eine Schwebstoffschlüsselkurve zu behandeln und zu bestätigen, müssen auf jeden Fall weitere Messungen getätigt werden, um so einer Validierung des für diesen Ort ermittelten Verhältnisses von Schwebstoffkonzentration der Referenzprobe und der Sondenaufzeichnung gerecht zu werden. Im Wesentlichen sind es die größeren Hochwässer, die es zu erfassen gilt, um eine Messpunktverdichtung bei höheren Abflüssen und damit höheren Trübungen zu erhalten und dann der Kalibrierung mehr Aussagekraft verleihen sollen.

7.1.2 Direkte Schwebstoffmessung - Schwebstoffentnahmegeräte

Die im Rahmen der Messungen verwendeten Schwebstoffentnahmegeräte waren der OTT-Sammler und der US – P61A1 Sampler zur Querprofilmessung sowie ein einfaches Flaschenprobenahmegerät zur Punktbeprobung im Uferbereich.

Das **Schwebstoffentnahmegerät nach OTT**, das dankenswerterweise von der Energie AG zur Verfügung gestellt wurde, konnte in den meisten Fällen verwendet werden. Es können bis zu 6 Flaschen pro Seilfahrt entnommen werden, was den Zeitaufwand erheblich reduziert. Der Vorteil der vergleichsweise schnellen Durchführung bei der üblicherweise sehr zeitaufwändigen Vielpunktmessung laut NADERER (2005), wurde leider durch einige negative Aspekte geschmälert. Es waren dies Undichtigkeiten, welche teilweise verringert werden konnten. Hilfreich in diesem Zusammenhang ist eine gründliche Reinigung der Lüftungsventile an den Schraubkappen. Weiters zu gewährleisten ist in jedem Fall eine leckfreie Schlauchleitung und die Verwendung von Kunststoffflaschen mit einem Halbtrapezgewinde anstatt eines Rundgewindes, das dem Innengewinde der Schraubkappen exakt entspricht. Zweifellos lässt sich die Behauptung aufstellen, dass ein undichtes Messgerät zu einer „Verfälschung“ der Messergebnisse führen kann, indem bei der Ansteuerung eines Punktes nicht nur die dafür vorgesehene Flasche über den Revolver gefüllt wird, sondern auch die weiteren im Entnahmegerät befindlichen Flaschen vorzeitig mit Wasser, das durch Lecks eindringen kann, befüllt werden.

Dies könnte die Ursache für die bei der Vielpunktentnahme am 18. Juli 2005 erhaltene Schwebstoffverteilung sein (Kapitel 6.1.2), wobei speziell die Messlotrechten 45,00 und 60,00 m mit einem untypischen Konzentrationsverlauf herausstachen.

Außerdem kam es durch die relativ großen Abmessungen und der daraus resultierenden schlechten Manipulierbarkeit hauptsächlich bei größeren Abflüssen zu großer Abdrift, also Abweichungen des Messgeräts von seiner Normalposition in der Horizontalen. Aufgrund dieser Erscheinung waren eine exakte Punktansteuerung und die dortige Schwebstoffentnahme nur sehr schwer zu realisieren.

Ein weiterer Nachteil des OTT - Sammlers ist die Tatsache, dass jener nicht isokinetisch Proben entnimmt, was sich als neuerliche Fehlerquelle entpuppte, und damit eine weitere Abweichung vom Ziel des Erreichens eines plausiblen Ergebnisses verursacht.

Bei dem am zweithäufigsten verwendeten Entnahmegesetz, dem **US – P 61A1 Sampler**, konnten keine groben Mängel hinsichtlich der Bedienungs- und Benutzerfreundlichkeit bei der Entnahme entdeckt werden. Kurze Rüstzeiten, die durch den Flaschentausch entstehen, bekräftigen dies.

Nachteilig dabei wirkt sich aber eine erhöhte Gesamtzeit des Entnahmeverfahrens aus, da jeder Punkt einzeln angefahren werden muss. Dadurch ist eine ökonomische Verwendung dieses Geräts sicherlich am ehesten bei kleineren Abflussquerschnitten und dadurch kürzeren Fahrwegen gegeben. Insgesamt gesehen hat sich der US – P 61A1 Sampler aber für die direkte Schwebstoffentnahme als sehr geeignet erwiesen, nicht zuletzt auch deswegen, weil er eine relativ kostengünstige Messgerätevariante darstellt.

Der **Flaschenentnahme** bei der Sonde wird beim HD Oberösterreich eine große Bedeutung beigemessen. Dies bestätigt sich auf der einen Seite durch die Flexibilität der Beprobung in Abhängigkeit vom Wasserstand, wodurch die größten und damit aussagekräftigsten Frachten erfasst werden können. Auch kann an der Messstelle Steyr auf eine langjährige Schwebstoffdatenbasis zurückgegriffen werden. Beginnend mit 1. Jänner 1984 konnte zumindest alle zwei bis drei Tage eine direkte Probenahme durchgeführt werden, welche dann weiterführend mit einer vor Ort befindlichen Filtrieranlage mit Papierfiltern gravimetrisch ausgewertet wurde. Die restlichen Werte ließen sich mit Hilfe dieser „Richtwerte“ interpolieren.

Auf der anderen Seite darf in diesem Zusammenhang der Pegelbeobachter, Herr Nömayer, nicht unerwähnt bleiben, der durch sein gewissenhaftes und exaktes Arbeiten bei der Beprobung und letztlich auch seine großzügige Unterstützung bei den Messarbeiten einen maßgeblichen Anteil am Gelingen dieses Projekts im Allgemeinen beigetragen hat.

Ein ursprünglich angestrebter Gerätevergleich von verschiedenen Messgeräten ließ sich nicht realisieren, da von vornherein nur der OTT – Sammler zur Verfügung stand und es aufgrund des engen Zeitplans im Zuge des gesamten Projekts häufig zu Terminkollisionen kam.

7.1.3 Messergebnisse

Bei der Messkampagne am *28. Juli 2005* kann im Allgemeinen die in Kapitel 6.1.1 bei der Entnahme am *12. Juli 2005* gewonnene Erkenntnis, die Schwebstoffkonzentration unterliege einer, in diesem Falle aber geringeren, Abnahme vom rechten zum linken Ufer, bestätigt werden.

Eine Ausnahme stellte am *1. August 2005* bei der Vielpunktentnahme die Tatsache dar, dass die rechtsufrigen Schwebstoffkonzentrationen deutlich unter jenen des Hauptstromstrichs lagen. Dies dürfte aufgrund der absolut gesehen niedrigen Werte der Fall sein. Bemerkenswert ist der Umstand, dass die bei der Vielpunktmessung auftretende Wasserstandserhöhung von 169,3 auf 178,7 cm keinen, zumindest offensichtlichen, Einfluss auf die gemessenen Schwebstoffkonzentrationen hat. In Bereichen mit höherer Fließgeschwindigkeit, kommt es, offensichtlich erneut bedingt durch die geringen Mengen an Schwebstoff beziehungsweise der herrschenden Turbulenz zu Abweichungen von der theoretischen Schwebstoffverteilung entlang einer Messlotrechte.

Ein außerordentlich starker Anstieg um das 25-fache des Ausgangswerts der Ganglinie der Sondenaufzeichnung ist hier zwischen 15:30 und 21:00 aufgetreten. Wie in Kapitel 6.1.4 erläutert, ist dies durch die parallele Flaschenentnahme plausibel.

Der Grund für diesen Umstand könnte anthropogener Herkunft beziehungsweise durch eine lokale Schwebstoffwolke bedingt sein.

Die Integrationsentnahme wurde während dieses starken Anstiegs durchgeführt. Deshalb entstand auch die recht untypische Verteilung der Schwebstoffe mit Maxima am linken Ufer, wo ein Minimum der mittleren Fließgeschwindigkeit auftrat, was zusätzlich ein Kuriosum darstellt.

Ebenfalls in Kapitel 6.1.4 kommt man zu der Erkenntnis, dass mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden kann, dass die Anzeigeeinheit der Trübungssonde etwa das Doppelte der tatsächlich vorhandenen Schwebstoffkonzentration ausgibt. Diese Aussage gewinnt auch deswegen an Bedeutung, weil die im Zuge dieser Entnahmen auftretenden Konzentrationen von anfänglichen Werten zwischen 10 und 20 mg/l innerhalb von fünf Stunden einen Spitzenwert von 253 mg/l erreichen, die Bandbreite also sehr hoch ist und das Verhältnis aber trotzdem keine nennenswerte Änderung erfährt.

7.1.4 Methodik

Bei der Methodik der Ganglinienkorrektur ist bezüglich des Sondenbeiwerts k_2 anzumerken, dass eine Messpunktverdichtung bei höheren Abflüssen und damit erhöhten Schwebstoffkonzentrationen angestrebt werden soll, um eine mögliche Steigerung der statistischen Plausibilität zu erreichen.

In weitaus höherem Maße gilt dies für den Querprofilbeiwert k_1 . Im aktuellen Fall wurde hier auf eine einfache arithmetische Mittelung zurückgegriffen. Wie aus Kapitel 6.2 und 6.3 hervorgeht, konnte aufgrund des zu geringen Umfangs der Datenbasis die ursprüngliche Darstellung von k_1 in Bezug auf Q nicht umgesetzt werden. Auch in diesem Fall ist es dringend notwendig, die Anzahl der Messungen deutlich zu erhöhen. Außerdem bedarf es dabei noch weiterer Untersuchungen, ob und wie sich die Messmethodik auf die Ermittlung des k_1 Wertes auswirkt, da im Zuge des gesamten Messprogramms sowohl Einzelpunkt-, Vielpunkt- und Integrationsentnahmen durchgeführt und berücksichtigt worden sind.

7.1.5 Einfluss der Korngröße auf die Trübungsmessung

Wie in Kapitel 5.1 und 6.1.1 erwähnt, beeinflusst die Korngröße des Sediments die Messergebnisse der Sonde. Um den Grad der Abhängigkeit der Trübung von der Korngröße zu quantifizieren, bedient man sich einer Korngrößenanalyse.

Die unterschiedliche Korngröße resultiert aus der verschiedenartigen Herkunft des Schwebstoffmaterials (Einzugsgebiete mit räumlich heterogener Geologie bzw. Böden) oder aus dem Abfluss. Dadurch ist es möglich, dass, bei gleicher

Schwebstoffkonzentration, beträchtliche Unterschiede in den Werten der Sondenaufzeichnung zustande kommen.

Feinere Sedimente haben pro Gewichtsanteil eine relativ stark reflektierende Oberfläche. Dies führt zu einem Anstieg der Sondenwerte über den tatsächlichen Wert hinaus. Laut SILLABER (2004) ist die Aussage, der Sondenbeiwert werde bei steigendem Anteil der Tonfraktion kleiner, zutreffend. Die Großprobe vom 12. Juli 2005 kann in diesem Zusammenhang leider zu keinem projektübergreifenden Vergleich herangezogen werden, da zu diesem Zeitpunkt noch keine Trübungssonde installiert war.

7.1.6 Defizite und zukünftiger Handlungsbedarf

Zusammenfassend lässt sich für die Messstelle Steyr-Ortskai und das Messprogramm 2005 folgende Aussage machen:

Die Situierung der Messeilbahn ist nicht ganz ideal gewählt, da sich der Flusslauf an dieser Stelle in einer leichten Linkskrümmung befindet und unmittelbar nachher eine 90° Linkskrümmung durchläuft. Zusätzlich ist zu hinterfragen, inwieweit der Altarm unmittelbar vor der Messeilbahn am rechten Ufer bei den unterschiedlichen Abflüssen zum Schwebstofftransport beiträgt und diesen beeinflusst. Rund 800 m flussaufwärts mündet die Steyr orographisch links in die Enns. Nahe liegend ist deshalb die Fragestellung, ob nun innerhalb dieser Fließstrecke bereits eine vollständige Durchmischung von Steyr und Enns erreicht wird oder sich ein Übergewicht von einem der beiden Flüsse im Messquerschnitt je nach auftretendem Abfluss ausbildet. Zweifellos könnte beispielsweise eine zweite Sonde, etwa beim Pegelhaus, in Kombination mit einer weiteren Kalibrierung über von Hand genommene Referenzproben, als zusätzlich beobachtete Größe darüber Aufschluss geben. Im Idealfall wäre aber zur Beantwortung dieser Thematik eine mehrdimensionale Abflussmodellierung anzusetzen, welche Information bezüglich der unterschiedlichen räumlichen Geschwindigkeitsverteilung und den damit verbundenen Schwebstoffkonzentrationen geben könnte.

7.1.7 Schwebstofftransport

Der am 19. September 2005 ermittelte Schwebstofftransport betrug 3,22 kg/s (siehe Kapitel 6.1.5), welcher diesbezüglich den geringsten Wert des gesamten Schwebstoffprogramms ausmachte. Der größte Schwebstofftransport von 640 kg/s konnte am 12. Juli verzeichnet werden.

Im Zeitraum von 20. Juli (Sondeneinbau) bis 31. Dezember 2005 konnte am 16. August ein maximaler Schwebstofftransport von 505 kg/s festgestellt werden.

Äußerst klar ersichtlich sind dabei auch die unterschiedlichen Dimensionen in den Schwebstofffrachten zwischen den Sommer- und Wintermonaten. Von den fünf ins Messprogramm einbezogenen Monaten trägt der August mit rund 81 % am meisten zum gesamten Schwebstofftransport bei.

7.1.8 Probenlagerung und -auswertung

Um keine qualitativen Einschränkungen der Laborergebnisse zu riskieren, ist eine effiziente Logistik betreffend die Flaschenproben von großer Wichtigkeit. Wie in Kapitel 5.5 erwähnt, kann es durch eine längere Lagerungszeit und/oder erhöhter Temperatur zu einer Verfälschung der tatsächlichen Schwebstoffkonzentration kommen.

Darum wird hier nochmals auf die Dringlichkeit einer gekühlten und lichtgeschützten Lagerung und einer möglichst umgehend zu erfolgenden Filtration hingewiesen (HABERSACK et. al., 2005).

8 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG

Diese Arbeit wurde im Rahmen eines Projekts zur Erstellung eines Leitfadens zur Schwebstoffmessung in Österreich durchgeführt.

Im ersten Teil wurde ein Überblick über die Bedeutung der Schwebstoffe, deren Herkunft und Auftreten in Gewässern gegeben.

Im zweiten Teil wurde versucht, das Messprogramm mit all seinen Methodiken, Aktivitäten, den angewandten und gebräuchlichsten Schwebstoffmessmethoden, deren Vor- und Nachteilen sowie Anwendungsgebieten und letztendlich Ergebnissen darzustellen.

Feststoffe, wie Geschiebe, Schwimm- und Schwebstoffe sind für wasserbauliche und –wirtschaftliche Belange von großer Bedeutung. Laut Wasserrechtsgesetz-Novelle 2003 ist die Erhebung der Feststoffe hinsichtlich ihrer Art, Menge und Dauer verpflichtend gefordert. In der vorliegenden Arbeit wird ausschließlich auf Schwebstoffe und deren Einflüsse auf Ablagerungen in Gewässern und Überflutungsflächen, Verlandung von Stauräumen, Kolmation der Gewässersohle, aquatische Lebensbedingungen und den Schadstofftransport eingegangen.

Zur Erstellung einer Schwebstoffbilanz steht eine Vielzahl von Messmethodiken zur Verfügung. Dabei erfolgt eine Unterscheidung in direkte und indirekte Verfahren. Unter der *direkten Messung* versteht man die Entnahme von Wasserproben mit anschließender gravimetrischer Bestimmung der Schwebstoffkonzentration. Sie gilt als Standardverfahren und wird in weiterer Folge auch zur Kalibrierung anderer Methoden bzw. Messgeräte benötigt. Bei der *indirekten Messung* verwendet man Ersatztechnologien, um auf die Schwebstoffkonzentration zu schließen. Als wesentlicher Vorteil der indirekten Messung kann die kontinuierliche und automatisierte Aufzeichnung angeführt werden.

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde mit einer Kombination aus indirekten und direkten Messmethoden gearbeitet. Dazu wurde eine Trübungssonde in die Enns eingesetzt und parallel die Schwebstoffkonzentration über Vielpunkt-, Integrations- und Referenzprobenentnahmen bestimmt. Letztere erwiesen sich als unerlässlich, um eine Kalibrierung der Werte der Sondenaufzeichnung vornehmen zu können.

Das Messprogramm 2005 bestand aus jeweils drei Vielpunkt- und Integrationsentnahmen. Zusätzlich bot sich auch die Möglichkeit auf eine mobile Sonde zurückzugreifen, mit welcher man Erkenntnisse über die Trübung im Querschnitt gewinnen konnte. Die dabei erhaltenen mittleren Schwebstoffkonzentrationen schwankten zwischen 12,6 mg/l und 631 mg/l. Die größte Konzentration von 827 mg/l konnte am rechten Ufer am 12. Juli 2005 festgestellt werden. Die Tendenz, die Schwebstoffkonzentration unterliege einer steten Abnahme vom rechten bis zum linken Ufer, kann größtenteils bestätigt werden. Dies lässt sich auf die profilgeometrische Ausprägung bzw. die leichte Linkskrümmung der Enns zurückführen. Eine Ausnahme bildet die Integrationsentnahme am 1. August 2005, da diese während eines Anstiegs der Schwebstoffkonzentration durchgeführt wurde.

Unabhängig von der Messmethode eignete sich der US P61A1 Sampler am besten zur Probeentnahme. Er ist mit der Seilkrananlage manipulierbar, kann integrativ messen und passt sich gut an die vorhandenen Strömungsverhältnisse an.

Mit Hilfe des Interpolationsverfahrens konnte für die Messstelle Steyr-Ortskai im Zeitraum 1. August 2005 bis 31. Dezember 2005 ein Schwebstofftransport von etwa 113.000 t Trockensubstanz (TS) errechnet werden. Der größte Anteil von 91.000 t oder 81 % der Gesamtschwebstofffracht wurde im August transportiert. Dies kann durch ein Einzelereignis begründet werden, welches am 16. August 2005 mit einer erhöhten Wasserführung von $Q=1041 \text{ m}^3/\text{s}$ auftrat.

Die Trübungssonde solitax ts-line ist für einen Dauerbetrieb durchaus geeignet. Die Kalibrierung ist zurzeit als richtungsweisend anzusehen, aber auf jeden Fall durch eine weitere Fortführung zu verfeinern. Die Frage nach dem geeigneten

Einbaustandort der Sonde kann, da diese notwendigerweise bei einer Messanlage mit Pegel installiert werden muss und derzeit von der Höhe alle (auch minimalen) Wasserstände abgedeckt werden, als sehr positiv bewertet werden.

9 LITERATURVERZEICHNIS

Barsch D., Mäusbacher R., Pörtge K.H., 1994: Messungen in fluviatilen Systemen. Feld- und Labormethoden zur Erfassung des Wasser- und Stoffhaushaltes. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 2000: Schwebstoffmessung; Merkblatt Nr. 2.4/2, Stand: 01.07.2000; 13 Seiten

Davis, Broderick E. and the Federal Interagency Sedimentation Project: A Guide to the Proper Selection and Use of Federally Approved Sediment and Water Quality Samplers; U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1087. <http://fisp.wes.army.mil>.

DIN 38 409-H-H2, 1987: Summarische Wirkungs- und Stoffkenngößen. Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes. Normungsausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

DVWK 125, 1986: DVWK Regeln Schwebstoffmessungen DK 556.535.6 Schwebstoff, DK 556.08 (083) Messrichtlinie Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

Edwards, T.K., Glysson, G.D., 1999: Field methods for measurement for fluvial sediments; Techniques in Water Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, Book 3, Application of Hydraulics, Chapter C2, Reston, Virginia

Gattermayr, A., 2004: Schwebstoffmessungen in Tirol – Untersuchungen am Inn; Vortrag zum Thema „Schwebstoffmessung in Österreich“ am 08.11.2004 an der Universität für Bodenkultur Wien, 2004

Gibelhauser, A., 1990: Geschiebeführung und Stauraumverlandung an der Enns; Diplomarbeit am Institut für Hydrologie und allgemeinen Wasserbau, Wien, 1990.

Habersack, H. M., 2005: Sediment Regime und River Morphology Studienblätter. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau. BOKU Wien

Habersack, H. M., Kerschbaumsteiner W., 2005: Erstellung einer vorläufigen Anleitung für Schwebstoffmessungen auf Basis von durchgeführten Diplomarbeiten (mit Beiträgen von Lalk Petra). Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt . Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau. Wien, 2005.

Habersack, H. M., Kerschbaumsteiner, W., Altenhofer, M., 2005: Vorläufiger Kurzbericht: Schwebstoffmonitoring an der Messstelle Steyr/Enns. Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Ingenieurbau. BOKU Wien, 2005.

Hach-Lange, 2004/2005: Produkt-Programm. Prozess-Messtechnik

HAÖ, 2005: Digitaler Hydrologischer Atlas Österreichs. Version 2.0.1.

Hydrographisches Jahrbuch, 2002: Hydrographischer Dienst in Österreich, Jahrbuch 2002. BMLFUW, Eigenverlag, Wien.

ISO 4363 (2002): Measurement of liquid flow in open channels – Methods of measurement of characteristics of suspended sediment; ISO 2002

Julien, P., 1995: Erosion and Sedimentation, Cambridge University Press, 1995

Kasess, D.: Schwebstoffmessung an der Traisen in Niederösterreich, Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, BOKU Wien, 2006.

Kirchlechner, P., Niedermühlbichler, H., 2004: persönliche Mitteilung, Wien 2004

Kresser, W., 1964: Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstoffführung der Gewässer. ÖWW, 16. Jg., H. 1/2, S. 6-11.

Lalk, P., 2004: Schwebstoffauswertungen im Labor; Ringversuch über die abfiltrierbaren Stoffe nach DIN 38409, Teil 2, Vortrag zum Thema „Schwebstoffmessung in Österreich“ am 08.11.2004 an der Universität für Bodenkultur, Wien.

Maniak, U., 2005: Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. 5., bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Mangelsdorf & Scheurmann; 1980: Flussmorphologie – Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. Oldenburg Verlag. München und Wien.

Naderer, A., 2005: Optimierung der Schwebstoffmessung an der Traun in Oberösterreich, Diplomarbeit in prep. am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, BOKU Wien, 2005.

ÖNORM B2400, 1986: Hydrologische Fachausdrücke und Zeichen. Fachnormenausschuss 039 Hydrologie. Österreichisches Normungsinstitut. Wien

Schoellhammer, D., Wright, S. 2003: Continuous measurement of suspended sediment discharge in rivers by use of optical backscatter sensors; Erosion and Sediment Transport Measurement in Rivers: Technological and Methodological Advances; IAHS Publ. 283, 2003.

Seebacher, F., 1979: Die Hydrologie der Enns und ihres Einzugsgebietes bis zum Gesäuse; Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien und an der Technischen Universität Wien.

Sillaber, M. 2004: Optimierung der Schwebstoffmessung an der Ill in Vorarlberg; Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, BOKU Wien, 2004

Wagner, B., 2006: Schwebstoffmonitoring an den Pegelmessstellen Bruck und Golling an der Salzach; Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien, 2006.

Wimmer & Moog, O., 1994: Flussordnungszahlen Österreichischer Fließgewässer. Monographien, Bd. 51. Umweltbundesamt. Bundesministerium für Umwelt. Wien, 1994.

WSD, 2000: Schwebstoffbestimmung – Richtlinien für den Laborbetrieb; Wasserstraßendirektion, Abteilung 5 – Hydrographie (2000)

Steyr Ortskai - Profil

Steyr Ortskai - Profil												
Messstelle:	Seilkrananlage Messstelle Steyr									Datum:		
Entnahmegesetz:	Je 1 Probeflasche in 1,5 m Wassertiefe pro ML									Bemerkungen:		
Trübesonde: noch nicht vorhanden	Ansprechzeit: 5 s, 10 min				Wischerintervall: 4 h				zeitweise leichter bis erhöhter NS während der Messung, bewölkt, erhöhter aber annähernd konst. Wasserstand			
Messtrupp:	Wakolbinger, Altenhofer											
Nr. der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Profiltiefe in Bezug auf den Pegelnullpunkt	Entnahmetiefe vom WSP gemessen		Bemerkungen	Zeitpunkt				
	WS	b	t _v		0.05	0.20	0.60	0.80	0.9500			
	[cm]	[m]	[m]		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			
Uferpunkt	351.0	0.00										
1	351.0	5.00	432.7	81.70	9.0	102.0	221.0	354.0	399.0			15:50
2	351.0	15.00	423.7	72.70	1.0	130.0	246.0	347.0	411.0			16:00
3	351.0	25.00	466.7	115.70	11.0	53.0	111.0	281.0	456.0			16:05
4	350.0	35.00	503.7	153.70	15.0	174.0	340.0	449.0	494.0			16:10
5	350.0	45.00	471.7	121.70	13.0	107.0	210.0	357.0	449.0			16:15
6	349.0	55.00	445.7	96.70	24.0	150.0	246.0	368.0	435.0			16:20
7	349.0	65.00	427.7	78.70	15.0	128.0	248.0	343.0	418.0			16:30
8	348.0	75.00	335.8	-12.20	8.0	96.0	210.0	306.0	318.0			16:35
9	348.0	85.00	320.8	-27.20	9.0	72.0	137.0	252.0	299.0			16:40
10	349.0	95.00	236.9	-112.10	16.0	90.0	190.0	228.0				16:45
Uferpunkt		105.00										

Einpunktmessung - Messprotokoll

Messstelle:		Seilkrananlage Messstelle Steyr							Datum:		12. Juli 2005											
Entnahmegeschr.:		Je ML wurde hier eine Probeflasche in 1,5 m Tiefe entnommen.							Wasserstände am Pegel:													
Absenkgeschw.:									Beginn:		cm		Uhrzeit:									
Messflügel - Nr.:									Ende:		cm		Uhrzeit:									
Trübesonde:		Anspruchzeit:		Wischerintervall:			Wassertemperatur:		Beginn:		°C		Ende:		°C							
Messtrupp:		Wakolbinger, Altenhofer							Bemerkung:													
Nr. der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahmedauer	Entnahmetiefe	Proben-Flasche-Nummer	Entnahmemenge	Filternummer	Masse				Schwebstoffgehalt C _s	Schwebstoffgehalt C _e	Trübesonde I Schwebstoffmessung		Trübesonde II Schwebstoffmessung		Bestimmung für die Lotrechte - siehe separates Formular	Zeitpunkt Bemerkung		
									Filter	Filter + Schwebstoffe	Schwebstoff	Summe Schwebstoff			min	max	min	max				
	WS	b	t _v				V		F	F+S	S=(F+S)-F	S	C _e =S/V			min	max	min	max	V		
	[cm]	[m]	[m]	[s]	[m]		[l]		[g]	[g]	[g]	[g]	[g/l]	[g/m ³], [mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m/s]		
	0	0											0									
1	351.0	5.00	432.7	10	1.50	st 82	0.100	23	1.3325	1.4125	0.0800		0.8270	827							15:50	
2	351.0	15.00	423.7	10	1.50	st 39	0.100	25	1.3490	1.4250	0.0760	0.1560	0.7600	760								16:00
3	351.0	25.00	466.7	10	1.50	st 62	0.100	26	1.3312	1.4041	0.0729	0.2289	0.7290	729								16:05
4	350.0	35.00	503.7	10	1.50	st 43	0.100	24	1.3451	1.4183	0.0732	0.3021	0.7320	732								16:10
5	350.0	45.00	471.7	10	1.50	st 9	0.100	20	1.3466	1.4255	0.0789	0.3810	0.7890	789								16:15
6	349.0	55.00	445.7	10	1.50	st 14	0.100	27	1.3381	1.3979	0.0598	0.4408	0.5980	598								16:20
7	349.0	65.00	427.7	10	1.50	st 61	0.100	21	1.3436	1.4045	0.0609	0.5017	0.6090	609								16:30
8	348.0	75.00	335.8	10	1.50	st 22	0.100	22	1.3371	1.3934	0.0563	0.5580	0.6090	609								16:35
9	348.0	85.00	320.8	10	1.50	st 13	0.100	30	1.3331	1.4406	0.1075	0.6655	0.5380	538								16:40
10	349.0	95.00	236.9	10	1.50	st 3	0.200	29	1.3424	1.4257	0.0833	0.7488	0.4150	415								16:45
Uferpunkt	0	105.00										0.7488	0.0000	0								

Steyr Ortskai - Profil

Messstelle:		Seilkrananlage Messstelle Steyr								Datum:		28. Juli 2005			
Entnahmegesetz:										Bemerkungen:					
Trübesonde: SOLITAX sc 1000 (Nr. 1139787)		Ansprechzeit: 10 min				Wischerintervall: 4 h				kein NS während der Messung, sonnig und heiss, leicht schwankender bis annähernd konst. Wasserstand, BIBER - Messung					
Messtrupp:		Wakolbinger, Allenhofer													
Nr. der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Profiltiefe in Bezug auf den Pegelnullpunkt	Entnahmetiefe vom WSP gemessen	Parallele Ablesung der Sondenwerte [mg/l]:				Bemerkungen	Zeitpunkt				
	WS	b	t _v		0.05	0.20	0.60	0.80	0.9500						
	[cm]	[m]	[m]												
1	168.0	2.00	2.07	0.39		0.18	0.75	1.39	1.73						11:00
2	168.0	5.00	1.98	0.30		0.15	0.70	1.45	1.85						
3	167.0	13.00	1.83	0.16		0.10	0.80	1.39	1.78						
4	166.0	21.00	2.10	0.44		0.11	0.50	1.46	1.97	78.3	77.7				
5	164.0	29.00	2.59	0.95		0.10	0.98	1.96	2.45	77.3	77.4	77.5	77.3		
6	164.0	37.00	2.56	0.89		0.10	0.90	2.00	2.38	76.9	76.8	76.7	77.5		
7	164.0	45.00	2.19	0.49		0.11	0.60	1.58	2.08	74.9	74.9	74.5	75.4		
8	167.0	53.00	1.95	0.28		0.07	0.62	1.56	1.80	74.0	74.5	74.2	74.2		
9	169.6	61.00	1.68	-0.02		0.13	0.73	1.08	1.45	72.9	73.5	74.4	74.0		
10	169.8	69.00	1.32	-0.38		0.18	0.80	1.20		72.4	72.3	72.9			
11	170.0	77.00	1.20	-0.50		0.09	0.52	1.11		71.9	71.9	71.9			
12	171.0	85.00	0.80	-0.91		0.12	0.31	0.75		72.1	72.1	71.8			
13	172.0	93.00	0.50	-1.22		0.10	0.45			72.2	72.3				
Uferpunkt	173.0	97.50				DVWK	DVWK	DVWK	DVWK	DVWK	DVWK	DVWK	DVWK		
						3 Punkt	3 Punkt	3 Punkt		3 Punkt	3 Punkt	3 Punkt			

Steyr Ortskai - Profil															
Messstelle:	Seilkrananlage Messstelle Steyr									Datum:	1. August 2005				
Entnahmegesetz:	OTT - Sammler									Bemerkungen:					
Trübesonde: SOLITAX sc 1000 (Nr. 1139787)	Ansprechzeit: 5 s, 10 min			Wischerintervall: 4 h			kein NS während der Messung, leicht bewölkt bis heiter, leicht schwankender bis annähernd konst. Wasserstand								
Messtrupp:	Wakolbinger, Kerschbaumsteiner, Altenhofer														
Nr. der Maßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Profiltiefe in Bezug auf den Pegelnullpunkt	Entnahmetiefe vom WSP gemessen	Entnahmetiefe vom WSP gemessen	Entnahmetiefe vom WSP gemessen	Entnahmetiefe vom WSP gemessen	Entnahmetiefe vom WSP gemessen	Parallele Ablesung der Sonderwerte [mg/l]:				Bemerkungen	Zeitpunkt
	WS	b	t _v		0.05	0.20	0.60	0.80	0.9500						
	[cm]	[m]	[m]												
1	169.3	5.00	1.97	0.28	genaue Entnahmetiefe	00:00	10:35	10:32	10:28						10:28
Dritbedingter Neigungswinkel:						-0.40	-1.18	-1.58	-1.87	21.1	21.2	20.9	21.0		
15 °						86	16	7	71						
						55	75	91	93						
						11:07	11:04	11:01	10:58						10:58
2	167.8	20.00	2.53	0.85	genaue Entnahmetiefe	-0.51	-1.52	-2.02	-2.40	22.7	22.0	22.0	21.7		
Dritbedingter Neigungswinkel:						95	81	85	79						
20 °						97	56	64	84						
									11:29						11:29
3	169.3	35.00	3.30	1.61	genaue Entnahmetiefe	-0.66	-1.98	-2.64	-3.14	22.1	22.2	22.1	22.5		
Dritbedingter Neigungswinkel:						42	58	20	88						
30 °						93	21	31	17						
									12:03	12:07	12:06				12:03
4	171.0	50.00	2.80	1.09	genaue Entnahmetiefe	-0.56	-1.68	-2.24	-2.66	22.6	22.6	22.7	22.8		
Dritbedingter Neigungswinkel:						78	36	52	74						
30 °						10	70	18	90						
									12:22	12:30	12:28	12:27			12:22
5	171.8	65.00	1.65	-0.07	genaue Entnahmetiefe	-0.33	-0.99	-1.32	-1.57	23.2	23.4	23.2	23.0		
Dritbedingter Neigungswinkel:						33	35	12	9						
20 °						69	92	57	77						
									12:50						12:50
6	175.4	80.00	1.18	-0.57	genaue Entnahmetiefe	-0.24	-0.71	-0.94	-1.12	23.5	23.5	23.0	23.3		
Dritbedingter Neigungswinkel:						22	43	14	13						
15 °							39	62	3						
									13:08						13:08
7	178.7	92.50	0.55	-1.24	genaue Entnahmetiefe	-0.11	-0.33			23.5	23.6				
Dritbedingter Neigungswinkel:						65	72								
15 °						63	73								
Uferpunkt		98.00			5 Punkt	5 Punkt	5 Punkt	5 Punkt	5 Punkt	5 Punkt	5 Punkt	5 Punkt	5 Punkt		
					DVWK	DVWK	DVWK	DVWK	DVWK	DVWK	DVWK	DVWK	DVWK		
					3 Punkt	3 Punkt	3 Punkt			3 Punkt	3 Punkt	3 Punkt			

Schwebstoffvielpunktmessung - Messprotokoll

Messstelle:		Seilkrananlage Messstelle Steyr						Datum:		1. August 2005																		
Entnahmergerät:		OTT-Sammler						Wasserstände am Pegel:																				
Tröbesonde I:		Solitax sc 1000 (Nr. 1139787)		Ansprechzeit: 5 s		Wischerintervall: 4 h		Beginn:		134.7 cm		(Max. W. : 136.5)		Uhrzeit: 11:49														
Tröbesonde II:		Solitax sc 1000 (Nr. 1145255)		Ansprechzeit: 5 s		Wischerintervall: 4 h		Ende:		133.0 cm				Uhrzeit: 14:42														
Messflögel - Nr.:								Wassertemperatur:		Beginn:		*C		Ende: *C														
Messtrupp:		Wakolbinger Kerschbaumsteiner Alrenhofer						Bemerkung: Die Messung mit der Tröbesonde II wurde um 13:08 abgebrochen.																				
Nr. der Meßbohrung	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wasserschiefe	Entnahmedauer	Entnahmediefe	Probe - Flaschen - Nummer	Entnahmemenge	Fibranummer	Masse				Schwebstoffgehalt C ₁	Schwebstoffgehalt C ₂	Tröbesonde I Schwebstoffmessung		Tröbesonde II Schwebstoffmessung		Geschwindigkeit			Zeitpunkt Bemerkung						
									Faser	Faser + Schwebstoffe	Schwebstoff	Summe Schwebstoff			min	max	min	max	U _{30s}	U _{1s}	v							
	W8	b	h _w				V	F	F + S	S = (F + S) - F	S	C ₁ = S/V			min	max	min	max					Zeitpunkt der Geräteausübung					
	[cm]	[m]	[m]	[s]	[m]		l	[g]	[g]	[g]	[g]	[g/l]	[g/m ³], [mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]			[m/s]						
1	169.3	5.00	1.97	30.00	-0.40	86	0.980	61	1.3485	1.3557	0.0072																	
								55	0.800	66	1.3552	1.3615	0.0063	0.0135	0.0190	19.0	21.1											
							30.00	-1.18	16	1.000	59	1.3416	1.3482	0.0066	0.0201													
							30.00	-1.58	75	0.710	65	1.3440	1.3516	0.0076	0.0277	0.0160	18.0	21.2										
2	167.8	20.00	2.53	30.00	-0.51	91	0.380	67	1.3384	1.3410	0.0026	0.0391	0.0160	18.0	20.9													
							30.00	-1.87	71	1.000	58	1.3470	1.3561	0.0091	0.0482													
							30.00	-1.52	81	1.000	20	1.3474	1.3563	0.0089	0.0784													
							30.00	-2.02	56	0.750	23	1.3350	1.3438	0.0088	0.0872	0.0210	21.0	22.0										
3	169.3	35.00	3.30	30.00	-0.66	84	0.335	68	1.3413	1.3425	0.0012	0.1124	0.0130	13.0	21.7													
							30.00	-1.88	93	1.000	7	1.3520	1.3596	0.0076	0.1263	0.0220	22.0	22.1										
							30.00	-2.64	21	1.000	8	1.3395	1.3484	0.0089	0.1447	0.0210	21.0	22.2										
							30.00	-3.14	31	1.000	22	1.3375	1.3460	0.0085	0.1683	0.0240	24.0	22.1										
4	171	50.00	2.80	30.00	-0.56	88	0.420	24	1.3474	1.3556	0.0082	0.1785																
							30.00	-1.68	17	0.950	18	1.3466	1.3578	0.0112	0.1877	0.0320	32.0	22.5										
							30.00	-2.24	10	0.630	35	1.3447	1.3531	0.0084	0.2063	0.0230	23.0	22.6										
							30.00	-2.66	38	1.000	4	1.3451	1.3568	0.0117	0.2180													
5	171.8	85.00	1.65	30.00	-0.33	70	0.750	3	1.3447	1.3578	0.0131	0.2311	0.0300	30.0	22.6													
							30.00	-0.89	52	1.000	5	1.3409	1.3542	0.0133	0.2444													
							30.00	-1.32	18	0.680	2	1.3513	1.3644	0.0131	0.2575	0.0320	32.0	22.7										
							30.00	-1.57	74	0.750	8	1.3630	1.3719	0.0086	0.2691													
6	175.4	80.00	1.18	30.00	-0.24	90	0.570	10	1.3448	1.3534	0.0086	0.2749	0.0280	28.0	22.8													
							30.00	-0.71	69	0.750	34	1.3325	1.3458	0.0133	0.2973	0.0270	27.0	23.2										
							30.00	-0.94	35	1.000	30	1.3330	1.3424	0.0094	0.3087													
							30.00	-1.12	92	0.750	33	1.3357	1.3457	0.0100	0.3167	0.0220	22.0	23.4										
7	178.70	92.50	0.55	30.00	-0.11	12	1.000	29	1.3420	1.3540	0.0120	0.3287																
							30.00	-0.33	57	0.500	36	1.3515	1.3594	0.0079	0.3366	0.0280	28.0	23.2										
							30.00	-0.71	9	1.000	28	1.3395	1.3484	0.0089	0.3455													
							30.00	-0.94	77	1.000	27	1.3392	1.3528	0.0136	0.3591	0.0230	23.0	23.0										
8	178.70	92.50	0.55	30.00	-0.24	22	0.680	37	1.3503	1.3600	0.0097	0.3688	0.0100	10.0	23.5													
							30.00	-0.71	43	0.870	45	1.3418	1.3498	0.0082	0.3770													
							30.00	-0.94	39	0.370	46	1.3511	1.3536	0.0025	0.3795	0.0160	16.0	23.5										
							30.00	-1.12	14	1.000	39	1.3503	1.3584	0.0081	0.3878													
9	178.70	92.50	0.55	30.00	-0.11	62	1.000	41	1.3502	1.3620	0.0118	0.3994	0.0200	20.0	23.0													
							30.00	-0.33	13	1.000	44	1.3527	1.3622	0.0095	0.4089													
							30.00	-0.56	3	0.440	47	1.3344	1.3400	0.0056	0.4145	0.0230	23.0	23.3										
							30.00	-0.71	63	0.680	52	1.3368	1.3498	0.0130	0.4275	0.0130	13.0	23.5										
10	178.70	92.50	0.55	30.00	-0.33	72																						
							30.00	-0.56	73	1.000	55	1.3418	1.3556	0.0138	0.4413													
							30.00	-0.71	63	0.680	52	1.3368	1.3498	0.0130	0.4275	0.0130	13.0	23.5										
							30.00	-0.94	73	1.000	55	1.3418	1.3556	0.0138	0.4413													

Integrationsmessung - Messprotokoll

Messstelle:		Seilkrananlage Messstelle Steyr										Datum:		19. September 2005							
Entnahmegeschr.		Amerikaner										Wasserstände am Pegel:									
Absenkgeschw.												Beginn:		134.7 cm		(Max. W : 136,5)		Uhrzeit:		11:49	
Messflügel - Nr.												Ende:		133.0 cm				Uhrzeit:		14:42	
Trübesonde:		Ansprechzeit:		Wischerintervall:		Wassertemperatur:		Beginn:		°C		Ende:		°C							
Messtrupp:		Bemerkung: Die Messung mit der Trübesonde II wurde um 13:08 abgebrochen.																			
Nr. der Meßlo- rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP- Stationierung	Wassertiefe	Entnahme- dauer	Entnahmetiefe	Proben - Flasche - Nummer	Ent- nahmem- enge	Filter nummer	Masse				Schwebstoff gehalt C _s	Schwebstoff gehalt C _s	Trübesonde I Schwebstoffmess- ung		Trübesonde II Schwebstoffmessung		Geschwindigkeit Bestimmung für die Lotrechte - siehe separates Formular	Zeitpunkt Bemerkung	
									Filter	Filter + Schweb- stoffe	Schwebstoff	Summe Schwebstoff			min	max	min	max			
	WS	b	t _v				V	F	F+S	S=(F+S)·F	S	C _s =S/V					V				
	[cm]	[m]	[m]	[s]	[m]		[l]	[g]	[g]	[g]		[g/l]	[g/m ³], [mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[m/s]			
1	150.9	5.00	1.00	30		st 2	0.500	16	1.3439	1.3646	0.0207		0.0410	41	89.9		89.9	0.46	16:48		
2	151.8	20.00	1.00	30		st 27	0.690	14	1.3528	1.3931	0.0403	0.0610	0.0580	58	91.0		91.0	0.64	16:49		
3	151.2	35.00	1.00	30		st 47	0.500	15	1.3363	1.3743	0.0380	0.0990	0.0760	76	97.3	98.7	98.0	0.78	16:57		
4	151.0	50.00	1.00	30		st 67	0.500	13	1.3473	1.3856	0.0383	0.1373	0.0770	77	136.0	139.0	137.5	0.56	17:13		
5	151.0	65.00	1.00	30		st 38	0.500	11	1.3476	1.3830	0.0354	0.1727	0.0710	71	156.0	160.0	158.0	0.45	17:20		
6	150.0	80.00	1.00	30		st 25	0.500	12	1.3378	1.3778	0.0400	0.2127	0.0800	80	168.0	169.0	168.5	0.47	17:27		
7	150.0	92.50	1.00	30					leider keine Probe !				0.0850	85.0	181.0	190.0	185.5	0.46	17:35		
																	131.3	151.3			

Integrationsgeschwindigkeit beträgt:
abwärts: -0,08 m/s
aufwärts: -0,1 m/s

=> Problem! Bei der Integrationsmethode sollte die Hub und Absenkgeschwindigkeit ident sein (EWI-Methode), was aber in der Praxis nur sehr schwer durchführbar ist. (Bedienung der Seilkrananlage)

angenommene, interpolierte Werte

Stündliche Entnahmen bei der Sonde - Messprotokoll

Messstelle:		Seilkrananlage Messstelle Steyr						Datum:		19. September 2005							
Entnahmegesetz:		OTT - Sammler						Bemerkungen:									
Trübesonde: SOLITAX sc 1000 (Nr. 1139787)		Ansprechzeit: 5 s, 10 min		Wischerintervall: 4 h		Trübesonde II: Solitax		Ansprechzeit: 5 s		Wischerintervall: 4 h							
Messstrupp:												Wakolbinger, Kerschbaumsteiner, Altenhofer					
Nr. der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der GP-Stationierung	Wassertiefe	Entnahmetiefe	Probe-flaschen - Nummer	Ent-nahme-menge	Filter nummer	Masse			Schwebstoff gehalt C _s	ReferenzprobeS chwebstoff gehalt C _r	Trübesonde I Schwebstoffme ssung Ct	Verhältnis Cr/Ct	Geschwindigkeit Bestimmung für die Lotrechte - siehe separates Formular	Zeitpunkt Bemerkung	
								Filter	Filter + Schweb stoffe	Schwebstoff							Summe Schwebstoff
	WS	b	t _v		V		F	F+S	S=(F+S)-F	s	C _s =S/V			V			
	[cm]	[m]	[m]	[m]	[l]		[g]	[g]	[g]		[g/l]	[g/m ³], [mg/l]	[mg/l]	[%]	[m/s]		
	170.8			1.0	44	1.000	49	1.3441	1.3530	0.0089		0.0090	9.0	20.9	43.06	10:00	
	167.0			1.0	24	1.000	57	1.3485	1.3622	0.0137	0.0226	0.0140	14.0	21.9	63.93	11:02	
	171.0			1.0	32	1.000	48	1.3476	1.3597	0.0121	0.0347	0.0120	12.0	22.6	53.10	12:00	
	178.7			1.0	60	0.930	50	1.3370	1.3489	0.0119	0.0466	0.0130	13.0	23.8	54.62	13:15	
	153.0			1.0	5	1.000	56	1.3465	1.3611	0.0146	0.0612	0.0150	15.0	26.5	56.60	14:45	
	150.8			1.0	68	0.940	51	1.3398	1.3575	0.0177	0.0789	0.0190	19.0	33.2	57.23	15:28	
	148.5			1.0	80	1.000	54	1.3356	1.3622	0.0266	0.1055	0.0270	27.0	57.1	47.29	16:10	
	141.0			1.0	4	0.500	53	1.3508	1.3754	0.0246	0.1301	0.0490	49.0	125.0	39.20	17:10	
	150.1			1.0	82	0.500	42	1.3556	1.4078	0.0522	0.1823	0.1040	104.0	225.0	46.22	17:52	
	146.1											0.2530	253.0	524	48.28	20:45	
	152.3											0.1440	144.0	419	34.37	02.08.2005	14:10
	160.1											0.0460	46.0	94	48.94	03.08.2005	14:45

Werte aus Handprobenahme durch Pegelbeobachter!

Steyr Ortskai - Profil

Messstelle:		Seilkrananlage Messstelle Steyr										Datum:		19. September 2005		
Entnahmegesetz:		OTT - Sammler										Bemerkungen:				
Trübesonde: SOLITAX sc 1000 (Nr. 1139787)		Ansprechzeit: 5 s, 10 min				Wischerintervall: 4 h				kein NS während der Messung, leicht bewölkt bis heiter, relativ konst. Wasserstand						
Messtrupp:		Wakolbinger, Kerschbaumsteiner, Altenhofer										Abbruch der Messung mit 2. Sonde (mitgeführt) um 13:08 Uhr				
Nr. der Meßlot-rechten	Wasserstand	Abstand vom Nullpunkt der QP-Stationierung	Wassertiefe	Profiltiefe in Bezug auf den Pegelnullpunkt	Entnahmetiefe vom WSP gemessen	Entnahmetiefe von d. Sohle gemessen	Entnahmetiefe von d. Sohle gemessen	Entnahmetiefe von d. Sohle gemessen	Entnahmetiefe von d. Sohle gemessen	Bemerkungen	Zeitpunkt					
	WS	b	t _v		0.05	0.20	0.60	0.80	0.9500	0.05	0.20	0.60	0.80	0.9500		
	[cm]	[m]	[m]													
1	134.7	5.00	1.54	0.19	11:57	11:56	11:55	11:49		Parallele Ablesung der Ufersonde: 18 - 19 mg/l				11:49		
					0.31	0.92	1.23	1.46								
					19	87	66	23								
					96		53	11								
2	135.9	20.00	2.76	1.40	12:18	12:16	12:14	12:12		Parallele Ablesung der Ufersonde: ~19 mg/l				12:10		
					0.55	1.66	2.21	2.62								
					102	94	221	103								
						105		106								
3	136.5	35.00	2.78	1.42	12:33	12:32	12:31	12:30		Parallele Ablesung der Ufersonde: ~23 mg/l				12:28		
					0.56	1.67	2.22	2.60								
					213	219	220	99								
					211	212	214	6								
4	136.1	50.00	3.05	1.69	12:52	12:50	12:49	12:47		Parallele Ablesung der Ufersonde: 18 - 19 mg/l				12:47		
					0.61	1.83	2.44	2.87								
					35	33	69	57								
					12	78	92	10								
5	133.7	65.00	1.56	0.22	13:26	13:24	13:22	13:21		Parallele Ablesung der Ufersonde: 17 - 18 mg/l				13:20		
					0.31	0.94	1.25	1.38								
					9	46	54	45								
					77	26	1	49								
6	133.0	75.00	1.33	0.00	14:47	14:46	14:44	14:43		Parallele Ablesung der Ufersonde: ~16 mg/l				14:42		
					0.27	0.80	1.06	1.15								
					218	8	28	51								
					215	216										
					5 Punkt	5 Punkt	5 Punkt	5 Punkt								
					DVWK	DVWK	DVWK	DVWK		DVWK	DVWK	DVWK	DVWK			
					3 Punkt	3 Punkt	3 Punkt			3 Punkt	3 Punkt	3 Punkt				

Auswertung - Schwebstofftransport - 12.07.2005

Lotrechte	Stationierung	Wassertiefe	Entnahmetiefe	C_s	V	$C_s \cdot V_m$	S-Trieb f_{cv}	S-Transport
	b	t_w				$C_s \cdot V_m$		
	[m]	[m]	[m]	[g/m ³]	[m/s]	[g/m ² *s]	[g/m ² *s]	
Ufer1:	0							
1	5.00	432.7	1.50	827.0	1.16	956.01	4136.66	20683.32
2	15.00	423.7	1.50	760.0	2.36	1789.80	7583.38	58600.23
3	25.00	466.7	1.50	729.0	2.09	1521.42	7100.48	73419.32
4	35.00	503.7	1.50	732.0	2.68	1964.69	9896.13	84983.07
5	45.00	471.7	1.50	789.0	2.37	1871.51	8827.90	93620.18
6	55.00	445.7	1.50	598.0	2.69	1609.22	7172.28	80000.94
7	65.00	427.7	1.50	609.0	2.75	1672.92	7155.09	71636.88
8	75.00	335.8	1.50	609.0	2.84	1727.73	5801.73	64784.10
9	85.00	320.8	1.50	538.0	2.67	1436.46	4608.16	52049.46
10	95.00	236.9	1.50	415.0	1.83	759.45	1799.14	32036.50
Uferpunkt	105.00							8995.69

640809.69 g/s

640.81 kg/s

mittlerer Wasserstand: 354.20 cm
 mittlerer Abfluß: 1016.10 m³/s
 mittlerer Schwebstoffgehalt: 660.60 g/m³
 Schwebstofftransport: 640.81 kg/s
 C_m : 630.66 g/m³, mg/l
 C_r : 802.00 g/m³, mg/l
 k_1 : 0.79

Auswertung - Schwebstofftransport - 18.07.2005

Meßbreite	Stationierung	Wassertiefe h	Entnahmetiefe	Schwebstoffkonz. C_s	V	$C_s \cdot V_m$	S-Trieb f_{CV}		S-Transport
	b	h				$C_s \cdot V_m$			$m_{s(i)} = [f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}] / 2 \cdot b_{(i+1)} - b_{(i)}$
	[m]	[m]	[m]	[g/m ³], [mg/l]	[m/s]	[g/m ² *s]	[g/m ² *s]	[g/m ² *s]	[g/s]
Ufer	0								1461.27
1	5.00	2.45	0.25	65.3	1.4754	96.3928	24.0982	292.2541	7215.8055
			1.07	107.0	1.3834	148.0356	100.2156		
			2.02	111.9	1.0227	114.3963	124.6551		
			2.41	125.4	0.7117	89.2675	39.7144		
2	25.00	2.78	0.17	79.7	2.1651	172.5585	29.3349	429.3264	6858.1134
			1.52	81.9	1.9149	156.8516	222.3518		
			2.45	92.0	1.4676	134.9970	135.7096		
			2.77	89.8	1.3325	119.5919	40.7342		
3	45.00	2.73	0.13	64.5	2.4730	159.4286	20.7257	256.4849	4667.3944
			0.64	57.7	1.6392	94.6156	64.7813		
			1.77	73.4	1.4895	109.3293	115.2289		
			2.43	23.6	1.3230	31.2228	46.3822		
4	65.00	1.89	0.60	59.7	2.2090	131.9509	79.1706	210.2545	3322.8475
			1.41	35.6	1.8503	65.8707	80.1178		
			1.89	93.4	1.5684	146.4886	50.9662		
5	85.00	1.25	0.05	46.8	1.8700	87.5160	4.3758	122.0302	793.1964
			0.43	64.6	1.8857	121.8873	39.7866		
			1.10	74.2	1.4891	110.5539	77.8678		
Ufer	98.00								

24318.6280 g/s

24.32 kg/s

Mittlerer Wasserstand:	212.00 cm
Abfluss:	406.43 m ³ /s
Mittlere Fließgeschwindigkeit:	1.89 m/s
Schwebstofftransport.:	24.32 kg/s
C_m :	59.83 g/m ³
C_f :	42.00 g/m ³
k_1 :	1.42

Auswertung - Schwebstofftransport - 28.07.2005								
Lotrechte	Stationierung	Wassertiefe	Entnahmetiefe	C_s	v	$C_s \cdot v_m$	S-Trieb f_{cv}	S-Transport
	b [m]	t_w [m]	[m]	[g/m ³]	[m/s]	$C_s \cdot V_m$ [g/m ² *s]	[g/m ² *s]	
Ufer1:	0							
1	5.00	1.98	Int.	60.8	1.193	72.47	143.500	717.50
2	13.00	1.83	Int.	29.9	1.265	37.78	69.140	553.12
3	21.00	2.10	Int.	24.6	1.455	35.79	75.165	601.32
4	29.00	2.59	Int.	29.0	1.711	49.62	128.513	1028.11
5	37.00	2.56	Int.	14.4	1.768	25.46	65.176	521.40
6	45.00	2.19	Int.	25.3	1.860	47.06	103.057	824.46
7	53.00	1.95	Int.	19.6	1.827	35.81	69.828	558.62
8	61.00	1.68	Int.	26.5	1.853	49.10	82.496	659.96
9	69.00	1.32	Int.	27.2	1.690	45.97	60.678	485.42
10	77.00	1.20	Int.	21.7	1.554	33.72	40.466	323.73
11	85.00	0.80	Int.	18.8	1.130	21.24	16.995	135.96
12	93.00	0.50	Int.	19.9	0.625	12.42	6.208	49.67
Ufer2:	97.50							13.97

6473.24 g/s

6.47 kg/s

mittlere Wasserstand:	166.20 cm
mittlere Abfluß:	271.42 m ³ /s
mittlere Schwebstoffgehalt:	27.89 g/m ³
Schwebstofftransport:	6.47 kg/s
C_m	23.85 g/m ³
C_r	26.40 g/m ³
k_1	0.90

VP-MESSUNG (von 10:30 bis 13:15 Uhr)
Auswertung - Schwebstofftransport - 01.08.2005

Meßlotrechte	Stationierung	Wassertiefe t_w	Entnahmetiefe	Schwebstoffkonz. C_s	V	$C_s \cdot V_m$	S-Trieb f_{cv}		S-Transport
	b	t_w				$C_s \cdot V_m$			$m_{s0} = [(C_{s(i+1)} + f_{cv0}) / C_{s0}] \cdot b_{(i+1)} - b_0$
	[m]	[m]	[m]	[g/m³, [mg/l]	[m/s]	[g/m³*s]	[g/m³*s]	[g/m³*s]	[g/s]
Ufer	0								218.85
1	5.00	1.97	0.40	19.0	1.5148	28.7812	11.5125	43.7702	863.2268
			1.18	18.0	1.2721	22.8978	20.1548		
			1.58	16.0	1.1153	17.8448	8.1485		
			1.87	14.0	0.3985	5.5790	3.3965		
							0.5579		
2	20.00	2.53	0.51	18.0	1.7782	32.0076	16.3239	73.9934	1606.5569
			1.52	21.0	1.6941	35.5761	34.1298		
			2.02	18.0	1.3654	24.5772	15.0383		
			2.40	13.0	0.9211	11.9743	6.9448		
							1.5567		
3	35.00	3.30	0.66	22.0	2.1565	47.4430	31.3124	140.2142	2211.4938
			1.98	21.0	1.9370	40.6770	58.1592		
			2.64	24.0	1.5129	36.3096	25.4056		
			3.14	32.0	1.2393	39.6576	18.9918		
							6.3452		
4	50.00	2.80	0.56	23.0	2.2178	51.0094	28.5653	154.6517	1782.3807
			1.68	30.0	2.0959	62.8770	63.7764		
			2.24	32.0	1.9093	61.0976	34.7129		
			2.66	28.0	1.5068	42.1904	21.6905		
							5.9067		
5	65.00	1.65	0.33	27.0	2.2945	61.9515	20.4440	82.9991	802.2550
			0.99	22.0	2.1580	47.4760	36.1111		
			1.32	28.0	1.5661	43.8508	15.0689		
			1.57	23.0	1.2500	28.7500	9.0751		
							2.3000		
6	80.00	1.18	0.24	10.0	1.7232	17.2320	4.1357	23.9682	158.9689
			0.71	16.0	1.3391	21.4256	9.0845		
			0.94	20.0	1.1538	23.0760	5.1177		
			1.12	23.0	1.0300	23.6900	4.2089		
							1.4214		
7	92.50	0.55	0.11		0.1851	2.4063	0.2647	1.4668	1.1001
			0.33		0.2029	2.8406	0.5772		
							0.6249		
Ufer	94.00								

Rote Werte stellen Annahmen bzw. unvollständige Daten dar!

7664.83 g/s

7.66 kg/s

Mittlerer Wasserstand: 163.80 cm
 Abfluss: 281.40 m³
 Mittlere Fliessgeschwindigkeit: 1.69 m/s
 C_m 27.24 g/m³ mg/l
 C_r 12.75 g/m³ mg/l
 k_1 2.14

INTEGRATION (von 16:45 bis 17:30 Uhr)
Auswertung - Schwebstofftransport - 01.08.2005

Meßlotrechte	Stationierung	Wassertiefe □	Entnahmetiefe	Schwebstoffkonz. C _s	V	C _s * V _m	S-Trieb f _{CV}	S-Transport
	b	h _w				C _s * V _m		$m_{s(i)} = [f_{C_{s(i+1)}} + f_{C_{s(i)}}] / 2 * b_{(i+1)} - b_{(i)}$
	[m]	[m]	[m]	[g/m ³], [mg/l]	[m/s]	[g/m ³ *s]	[g/m ³ *s]	[g/s]
Ufer	0							476.95
1	5.00	1.97	Int.	41.0	1.1810	48.4210	95.3894	2400.3623
2	20.00	2.53	Int.	58.0	1.5310	88.7980	224.6589	5228.7461
3	35.00	3.30	Int.	76.0	1.8840	143.1840	472.5072	6705.0390
4	50.00	2.80	Int.	77.0	1.9550	150.5350	421.4980	4873.6751
5	65.00	1.65	Int.	71.0	1.9490	138.3790	228.3254	2735.5001
6	80.00	1.18	Int.	80.0	1.4450	115.6000	136.4080	903.3906
7	92.50	0.55	Int.	85.0	0.1740	14.7900	8.1345	22.3699
Ufer	98.00							44.7398

23390.77	g/s
23.39	kg/s

Mittlerer Wasserstand:	163.80 cm
Abfluss:	214.80 m ³ /s
Mittlere Fließgeschwindigkeit:	1.69 m/s
C _m	108.90 g/m ³ mg/l
C _r	58.50 g/m ³ mg/l
k ₁	1.86

Auswertung Schwebstofftransport - 19.09.2005

Meßlotrechte	Stationierung	Wassertiefe h	Entnahmetiefe	Schwebstoffkonz. C_s	V_m	$C_s \cdot V_m$	S-Trieb f_{cv}		S-Transport
	b	h				$C_s \cdot V_m$			$m_{s(i)} = [f_{Cs(i+1)} + f_{Cs(i)}] / 2 \cdot D_{(i+1)} - b_{(i)}$
	[m]	[m]	[m]	[g/m ³], [mg/l]	[m/s]	[g/m ² *s]	[g/m ² *s]	[g/m ² *s]	[g/s]
Ufer	0								50.25
1	5.00	1.53	0.60	9.3	1.5148	14.1091	8.4654	20.0991	411.26
			1.00	8.8	1.2721	11.1588	5.0536		
			1.44	11.9	1.1153	13.3071	5.3825		
							1.1976		
2	20.00	1.80	0.70	12.0	1.7782	21.3384	14.9369	34.7355	876.18
			1.30	10.0	1.6941	16.9410	11.4838		
			1.74	12.0	1.3654	16.3848	7.3317		
							0.9831		
3	35.00	2.77	1.00	16.1	2.1565	34.7197	34.7197	82.0882	976.76
			1.50	16.5	1.9370	31.9605	16.6700		
			2.10	16.0	1.5129	24.2064	16.8501		
			2.68	14.5	1.2393	17.9699	12.2311		
							1.6173		
4	50.00	1.98	0.80	11.5	2.2178	25.5047	20.4038	48.1465	588.96
			1.50	11.2	2.0959	23.4741	17.1426		
			1.92	11.0	1.9093	21.0023	9.3400		
							1.2601		
5	65.00	1.33	0.50	10.0	2.2945	22.9450	11.4725	30.3816	319.01
			0.80	12.5	2.1580	26.9750	7.4880		
			1.27	11.0	1.5661	17.2271	10.3875		
							1.0336		
Ufer	86.00								

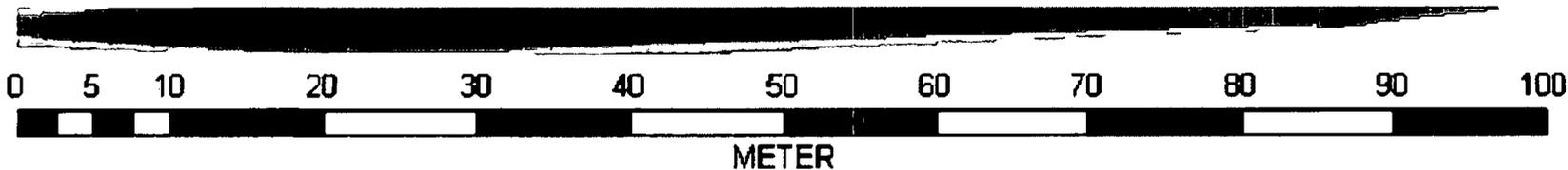
3222.41 g/s

3.22 kg/s

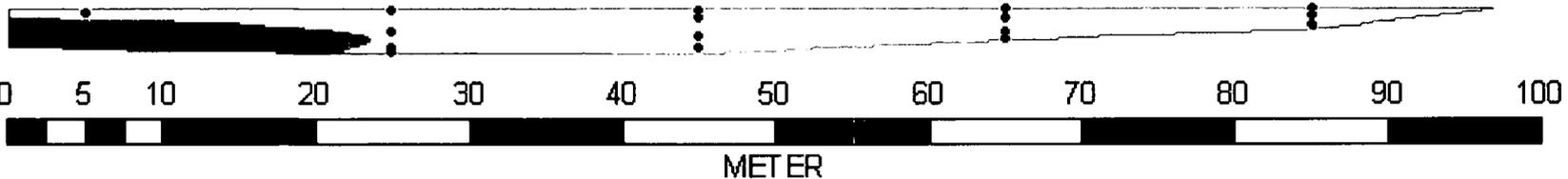
Mittlerer Wasserstand:	135.40 cm
Abfluss:	199.81 m ³
Mittlere Fließgeschwindigkeit:	1.34 m/s
C_m	16.13 g/m ³ mg/l
C_r	14.11 g/m ³ mg/l
k_1	1.14

Messung 18. Juli 2005

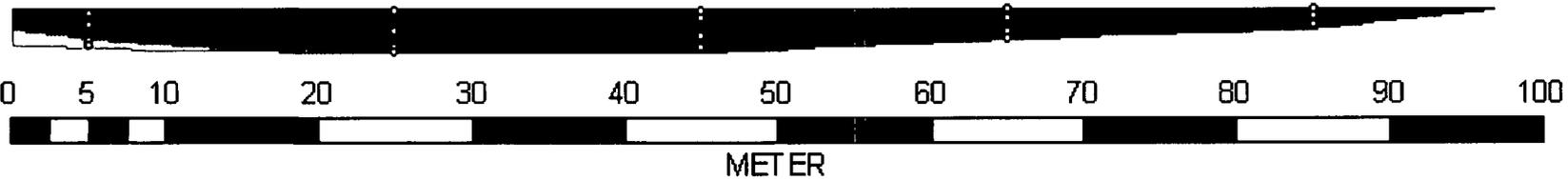
Transport [g/s.m²]



Konzentration [mg/l]:



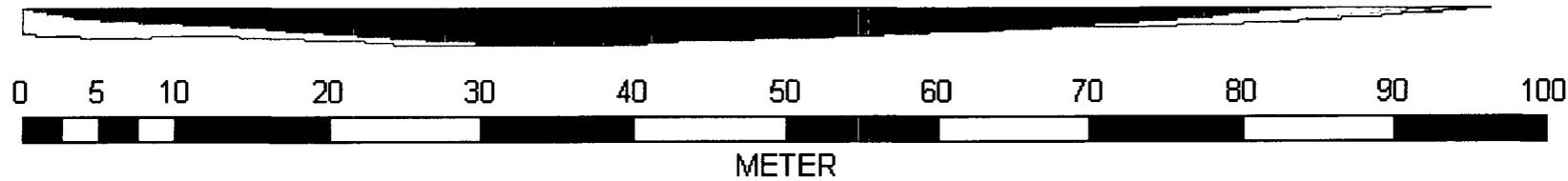
Geschwindigkeit [m/s]:



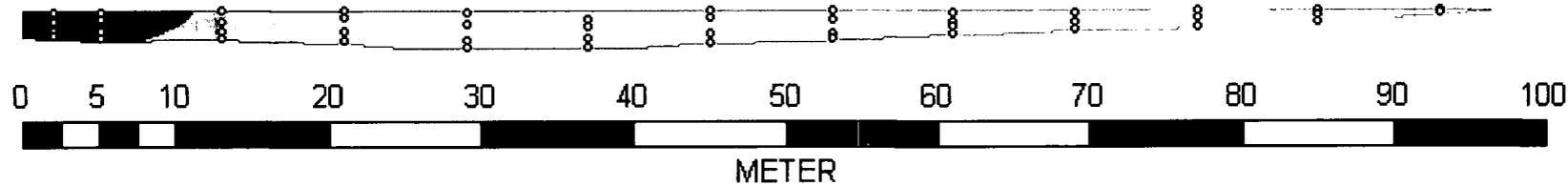
- Transport [g/s.m²]**
- ◼ < 60
 - ◼ 60 - 75
 - ◼ 75 - 90
 - ◼ 90 - 105
 - ◼ 105 - 120
 - ◼ 120 - 135
 - ◼ 135 - 150
 - ◼ 150 - 165
 - ◼ 165 - 180
- Konzentration [mg/l]**
- ◼ < 45
 - ◼ 45 - 60
 - ◼ 60 - 75
 - ◼ 75 - 90
 - ◼ 90 - 105
 - ◼ 105 - 120
 - ◼ 120 - 135
- Geschwindigkeit [m/s]**
- ◼ < 0.5
 - ◼ 0.5 - 0.75
 - ◼ 0.75 - 1
 - ◼ 1.0 - 1.25
 - ◼ 1.25 - 1.5
 - ◼ 1.5 - 1.75
 - ◼ 1.75 - 2
 - ◼ 2.0 - 2.25
 - ◼ 2.25 - 2.5

Messung 28. Juli 2005

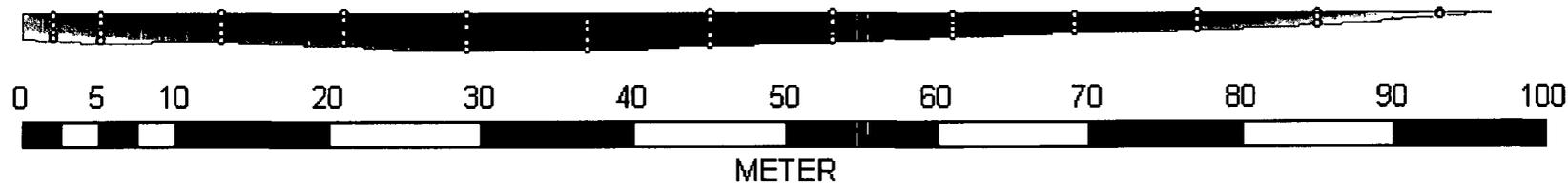
Transport [g/s.m²]:



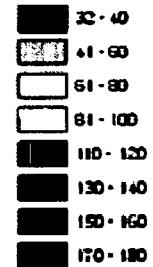
Konzentration [mg/l]:



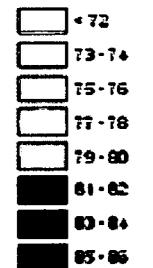
Geschwindigkeit [m/s]:



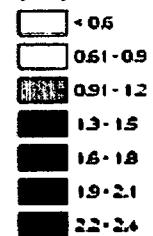
Transport
[g/s.m²]



Konzentration
[mg/l]

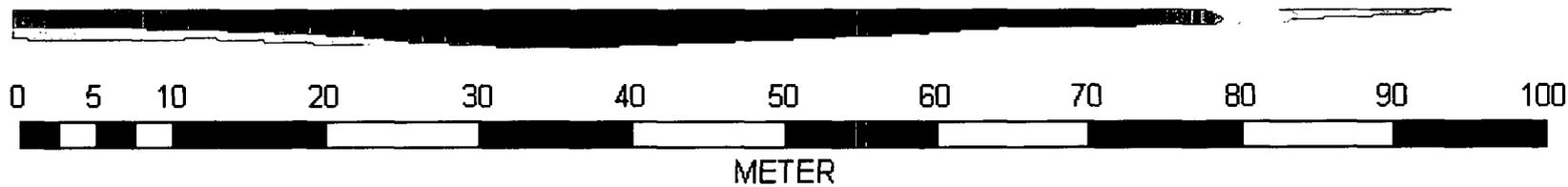


Geschwindigkeit
[m/s]

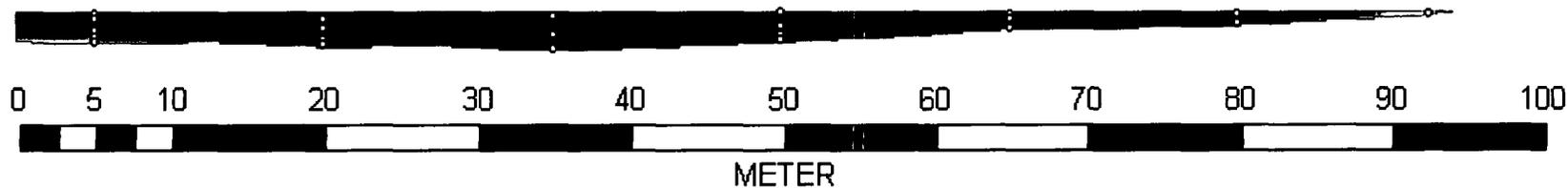


Messung 1. August 2005

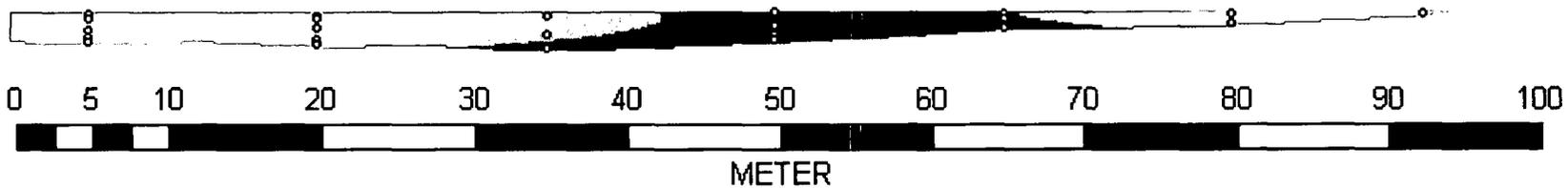
Transport [g/s.m^2]:



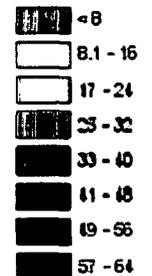
Geschwindigkeit [m/s]:



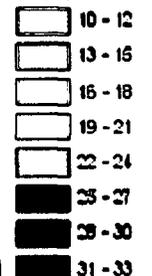
Konzentration [mg/l]:



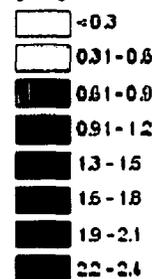
Transport
[g/s.m^2]



Konzentration
[mg/l]

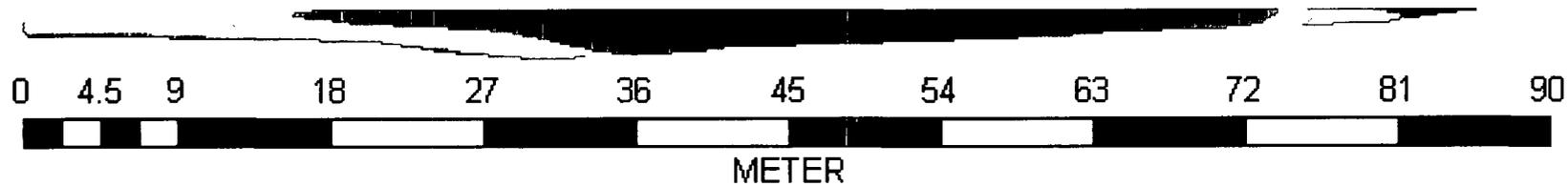


Geschwindigkeit
[m/s]

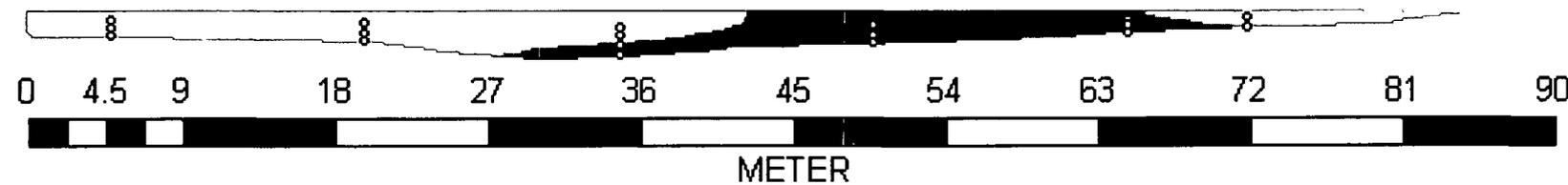


Messung 19. September 2005

Transport [g/s.m^2]:



Konzentration [mg/l]:



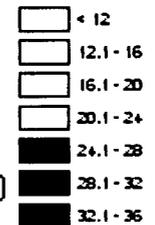
Geschwindigkeit [m/s]:



Transport [g/s.m^2]



Konzentration [mg/l]



Geschwindigkeit [m/s]

