



Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Fachabteilung 19A - Wasserwirtschaftliche Planung und
Siedlungswasserwirtschaft; Referat Hydrografie

Stempfergasse 7
8010 Graz

Schwebstoffmessungen an den Messstellen

Admont/Enns und Leibnitz/Sulm

Kurzbericht

Projektleitung: Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. H. Habersack

Bearbeitung: Dipl.-Ing. W. Kerschbaumsteiner, M. Haimann



Department für Wasser - Atmosphäre – Umwelt

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau

Wien im Dezember 2006

I.	INHALTSVERZEICHNIS	
1	EINLEITUNG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN	5
2	METHODIK	6
2.1	Erfassung der zeitlichen Variabilität	6
2.2	Sondennahe Probenentnahmen (Flaschenproben)	6
2.3	Verteilte Probenentnahme im Querprofil	6
2.4	Bestimmung der Konzentrationsverteilung im Querprofil mittels ADCP	8
2.5	Anpassung der Sondenaufzeichnung und Frachtberechnungen	9
2.5.1	Prüfung der Sondenaufzeichnung	9
2.5.2	Anpassung der Sondenaufzeichnung (Umrechnung)	10
2.5.3	Ermittlung des Querprofilbeiwertes k_Q	10
2.5.4	Frachtberechnungen	11
3	ERGEBNISSE	12
3.1	Messtelle Admont/Enns	12
3.2	Messtelle Leibnitz/Sulm	19
3.3	Einsatz von ADCP-Daten zur Bestimmung der Schwebstoffverteilung im Querprofil	27
4	ZUSAMMENFASSUNG	33
5	DANKSAGUNG	33
6	QUELLENVERZEICHNIS	34

II. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: US-P61A Schwebstoffsammler	7
Abbildung 2: Konventionelles Auswerteverfahren für Vielpunktentnahmen (verändert nach DVWK, 1986)	8
Abbildung 3: Durchflussganglinie mit den Tagen der Vielpunktentnahmen am Pegel Admont vom 01.08.2006 bis 01.10.2006	12
Abbildung 4: Ganglinie der Sondenaufzeichnungen am Pegel Admont vom 01.08.2006 bis 15.10.2006	13
Abbildung 5: Zusammenhang von Sondenaufzeichnung und den zugehörigen sondennahen Flaschenproben für die Messstelle Admont im Sommer 2006	14
Abbildung 6: Abfluss, sondennahe Flaschenproben und korrigierte Sondenaufzeichnung (sondennahe Konzentrationen) für die Messstelle Admont im Sommer 2006	15
Abbildung 7: Admont/Enns: Vielpunktentnahme vom 23.08.2006	16
Abbildung 8: Admont/Enns: Zeitliche Entwicklung des Durchflusses und der Schwebstoffkonzentration während der Vielpunktentnahme vom 23.08.2006	16
Abbildung 9: Hypothetischer Zusammenhang zwischen Durchfluss und dem Querprofilbeiwert kQ auf Grundlage der Vielpunktentnahmen mittels US-P61 im Sommer 2006 an der Messstelle Admont/Enns	17
Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der mittleren Konzentration am Pegel Admont im Sommer 2006	18
Abbildung 11: Durchflussganglinie mit Kennzeichnung der Tage mit Vielpunktentnahmen	19
Abbildung 12: Sondenaufzeichnung (Trübe) mit Reinigungssterminen am Pegel Leibnitz	20
Abbildung 13: Durchfluss, Sondenaufzeichnungen und sondennahe Flaschenproben (Referenzproben) an der Messstelle Leibnitz	20
Abbildung 14: Sondenaufzeichnungen und sondennahe Flaschenproben (Referenzproben) am 02.08.2006 an der Messstelle Leibnitz mit deutlichem Hinweis auf „Biofouling“	21
Abbildung 15: Zusammenhang von Sondenaufzeichnungen und den zugehörigen sondennahen Flaschenentnahme für die Messstelle Leibnitz im Zeitraum Juli und August 2006	22
Abbildung 16: Zusammenhang von Sondenaufzeichnungen und den zugehörigen sondennahen Flaschenentnahme für die Messstelle Leibnitz ohne 05. Juli 2006	22
Abbildung 17: Regressionsbeziehung zur Schätzung von Sondenaufzeichnungen in Abhängigkeit des Durchflusses für die Messstelle Leibnitz	23
Abbildung 18: Abfluss, Sondenaufzeichnung (Trübungssonde), geschätzte (berechnete) Konzentrationsganglinie und sondennahe Konzentrationsganglinie für die Messstelle Leibnitz	24
Abbildung 19: Leibnitz/Sulm: Vielpunktentnahme vom 14.07.2006	25
Abbildung 20: Leibnitz/Sulm: Zeitliche Entwicklung des Durchflusses und der Schwebstoffkonzentration während der Vielpunktentnahme vom 14.07.2006	25

Abbildung 21: Zusammenhang zwischen Durchfluss und dem Querprofilbeiwert kQ auf Grundlage der verteilten Probenentnahmen mittels US-P61 im Sommer 2006 an der Messstelle Leibnitz/Sulm	26
Abbildung 22: Mureck/Mur: ADCP-Messung vom 20.07.2005, umgerechnet in Konzentration ohne Kalibration	27
Abbildung 23: Mureck/Mur: ADCP-Messung vom 20.07.2005, Detail von Abbildung 9 mit Konzentrationen, gewonnenen aus der Vielpunktentnahme (Datengrundlage; Stimpfl, 2006)	27
Abbildung 24: Konzentrationsverteilung an der Enns (Pegel Admont) am 08.08.2006	29
Abbildung 25: Zusammenhang von konvertierten Rückstreusignalen und den Konzentrationen aus der Vielpunktentnahme vom 08.08.2006	29
Abbildung 26: Ergebnis der Umrechnung (Konzentration [mg/l]) nach erfolgter Kalibrierung für die Messung vom 08.08.2006	30
Abbildung 27: Konzentrationsverteilung an der Enns (Pegel Admont) am 18.08.2006	30
Abbildung 28: Ergebnis der Umrechnung (Konzentration [mg/l]) nach erfolgter Kalibrierung der Messung vom 18.08.2006 an der Enns	31
Abbildung 29: Konzentrationsverteilung an der Sulm (Pegel Leibnitz) am 02.08.2006	31
Abbildung 30: Ergebnis der Umrechnung (Konzentration [mg/l]) nach erfolgter Kalibrierung der Messung vom 02.08.2006 an der Sulm	32

III. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Schwebstofftransport in Admont/Enns im Jahr 2006	18
Tabelle 2: Schwebstofftransport an der Messstelle Leibnitz/Sulm im Jahr 2006	27
Tabelle 3: Zusammenstellung der Ergebnisse von ausgewählten Vielpunktentnahmen	32

1 EINLEITUNG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN

Aufbauend auf den Untersuchungen, die seit dem Jahr 2005 an den Messstellen Mureck/Mur und Feldbach/Raab statt fanden (Stimpfl, 2006), wurden im Sommer 2006 ergänzende Beprobungen an diesen Messstellen vorgenommen sowie zwei weitere in Admont an der Enns und in Leibnitz an der Sulm in Betrieb genommen.

Diese Analysen haben den Zweck, die in den vergangenen Jahren ausgearbeiteten Zusammenhänge mit weiteren Datensätzen zu untermauern sowie Grundlagendaten für die neuen Messstellen zu schaffen.

Es ist Ziel der Untersuchungen, neben der gewünschten Erfassung des Schwebstofftransportes, auch die im Messbetrieb gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen für die Erstellung eines Leitfadens zur Schwebstoffmessung in Österreich verfügbar zu machen.

Als Teilziele können definiert werden:

- Datengewinnung für die Optimierung der Probenentnahmen im zukünftigen Routinebetrieb
- Herstellen eines Zusammenhanges zwischen Sondenaufzeichnungen und Schwebstoffkonzentrationen aus Uferentnahmen („Sondenbeiwert“).
- Ableitung eines „Querprofilbeiwertes“ aus dem Verhältnis mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil und Konzentration der Uferentnahme
- Kombination aller relevanten Messdaten zur Ableitung der Schwebstofffrachten für die beobachteten Zeiträume
- Prüfung von Möglichkeiten, ADCP – Messungen für die Bestimmung von Schwebstoffverteilungen im Querprofil einzusetzen

Der vorliegende Bericht stellt erste vorläufige Ergebnisse der Messungen vom Sommer 2006 zusammen, die im Rahmen der Ferialpraxis von Frau Marlene Haimann erarbeitet und durch Probenserien des Hydrographischen Dienstes ergänzt wurden.

2 METHODIK

Die ins Fließgewässer eingesetzte Trübungssonde (Solitax ts-line®) zeichnet im Bereich der Pegelstelle durch quasi permanente Registrierung der Gewässertrübung eine Ganglinie von Feststoffkonzentrationen auf. Diese Sondenaufzeichnung [mg/l TS] wird anhand von sondennah gewonnenen Proben im post-processing kalibriert, 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.

Da jedoch zu jedem Zeitpunkt die mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil interessiert, ist eine weitere Anpassung des Messergebnisses erforderlich, die die Repräsentativität des Messpunktes im Verhältnis zum Schwebstofftransport im gesamten Querprofil berücksichtigt (DVWK, 1986). Dies wird über die durchzuführenden Vielpunktentnahmen (auch Integrationsentnahmen) bewerkstelligt. Aus dem Produkt von Durchfluss- und mittleren Schwebstoffkonzentrationen können Transportganglinien erzeugt werden, die durch Integration über die Zeit die Bestimmung von Schwebstofffrachten für unterschiedliche Perioden zulassen.

2.1 Erfassung der zeitlichen Variabilität

Die Erfassung erfolgt grundsätzlich mittels der oben beschriebenen Streulichtsonde in Trübungseinheiten (FNU, NTU, etc.); die zugehörige Anzeigeeinheit (SC 100® der Fa. Hach-Lange) kann jedoch auf die Ausgabe von Schwebstoffkonzentrationen (mg/l Trockensubstanz u. dergl.) umgestellt werden. Der Sensor ist mit seinem Messfenster in Fließrichtung ausgerichtet und für Reinigungs- und Wartungszwecke herausnehmbar installiert. Die Messwerte werden in der Sonde 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.

2.2 Sondennahe Probenentnahmen (Flaschenproben)

Die sondennah, mittels Weithalsflasche entnommenen Wasserproben werden gravimetrisch nach DIN 38409-H2 mittels Vakuumfiltration unter Verwendung von Celluloseacetat-Filtern (Porengröße 0,45 µm) ausgewertet.

2.3 Verteilte Probenentnahme im Querprofil

Zu Beurteilung der räumlichen Repräsentativität der laufenden Uferentnahmen sowie der punktuellen Trübungsmessung im Querprofil 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 der lokalen Geschwindigkeiten wird mittels Seilflügel vor den Schwebstoffentnahmen durchgeführt. Selbstverständlich können auch ADCP-Messungen für die Bestimmung der Geschwindigkeiten in den Entnahmepunkten herangezogen werden. Bei Durchführung von Integrationsentnahmen können bei Verwendung eines isokinetisch arbeitenden Probenehmers (US P61-A1) und Anwendung der „Equal width increment method“ die Geschwindigkeitsmessungen entfallen. Ansonsten reicht die Krepss-Messung zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit in den Lotrechten für Integrationsmessungen aus.

Die verteilte Probenentnahme nimmt je nach Anzahl der Messlotrechten und Probepunkte je Lotrechter sowie Breite des Profils für den Entnahmevorgang unterschiedlich viel Zeit in Anspruch. Dies bedingt unter Umständen Probleme bei der Auswertung, da instationäre Zustände beim Durchfluss und Schwebstofftransport eine eindeutige Zuordnung der Messpunkte zu einem definierten Durchfluss bzw. Schwebstofftransport erschweren. Bei einer etwa gleichmäßigen Zu- bzw. Abnahme der Schwebstoffkonzentrationen über die Zeit kann die Normierung der Entnahmeergebnisse eine brauchbare Auswertung der Resultate ermöglichen.

Die Schwebstoffentnahmen selbst wurden in Admont und in Leibnitz mit dem neu angeschafften US-P61A Schwebstoffsammler (Abbildung 1) durchgeführt.



Abbildung 1: US-P61A Schwebstoffsammler

Die Bestimmung von c_M aus einer Vielpunkt- bzw. Integrationsmessung erfolgt durch die Quotientenbildung von Schwebstofftransport mit dem entsprechenden Durchfluss. Abbildung 2 zeigt schematisch die Vorgangsweise bei der konventionellen Auswertung der Vielpunktentnahme. 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.

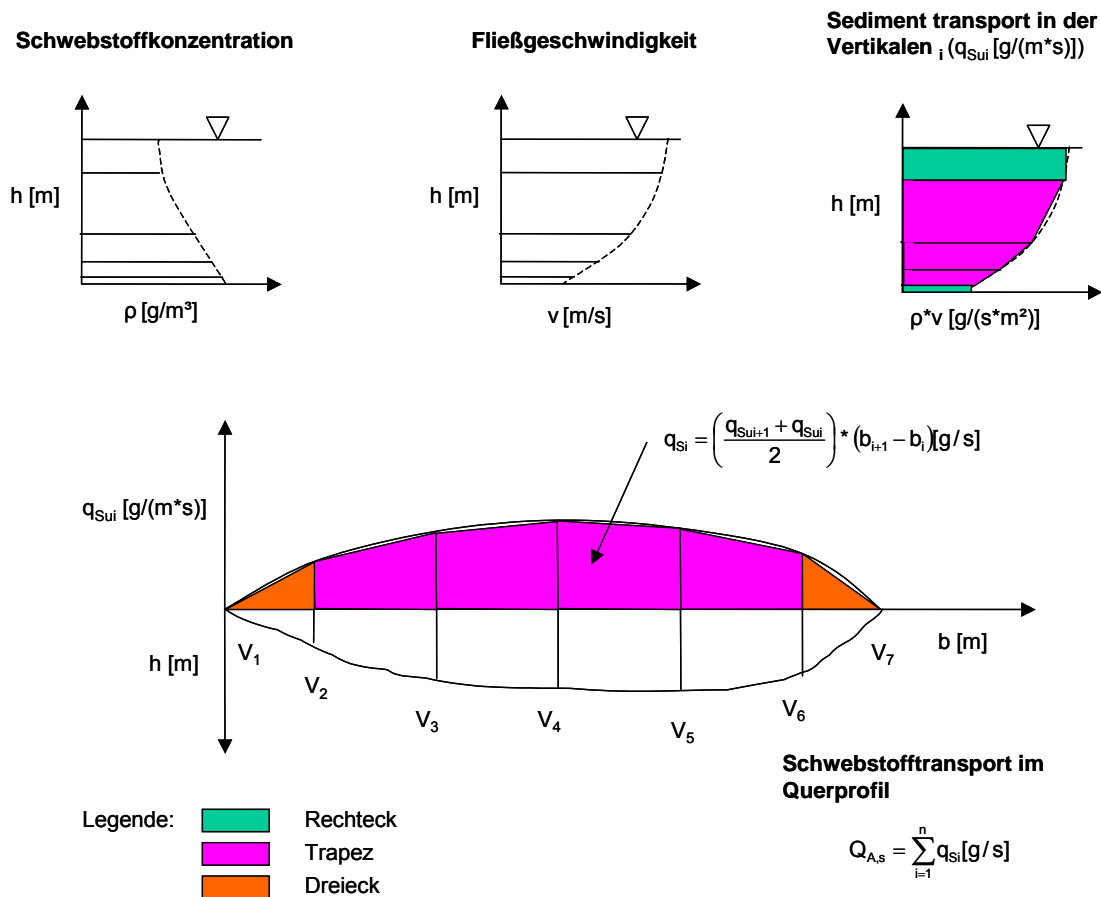


Abbildung 2: Konventionelles Auswerteverfahren für Vielpunktentnahmen (verändert nach DVWK, 1986)

2.4 Bestimmung der Konzentrationsverteilung im Querprofil mittels ADCP

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

Die rückgestrahlte Echointensität ist hauptsächlich von der Wellenlänge des Ultraschallsignals, von der Schwebstoffkonzentration und von der Korngrößenverteilung der Partikel abhängig (Müller et al., 1993). Mit Hilfe dieses Zusammenhanges, der mit der Sonargleichung beschrieben werden kann, ist es möglich, detektierte relative

Echointensitäten in absolute Intensitäten und in der Folge Schwebstoffkonzentrationen umzurechnen. Dazu sind allerdings zeitgleich mit der ADCP – Aufnahme örtlich zuordenbare Wasserproben im betrachteten Fließgewässerprofil zu gewinnen und im Labor gravimetrisch auszuwerten und schließlich mit den absoluten Intensitäten der jeweiligen Messzellen in Beziehung zu setzen (Aardom und Mol, 2005).

Das holländische Unternehmen Aquavision hat diese Erkenntnisse in ihrer Software „Plume Detection Toolbox“ umgesetzt. Dieses Programm ermöglicht, neben zahlreichen anderen Funktionen, die von ADCPs aufgenommenen relativen Echointensitäten in die absoluten Intensitäten umzurechnen. Außerdem ist es damit möglich, die beschriebene Beziehungskurve zwischen absoluter Rückstreuung und Schwebstoffkonzentration aufzustellen. Schließlich lassen sich damit kalibrierte Konzentrationsverteilungen über den gesamten Messquerschnitt sichtbar machen. Selbstverständlich ist dies nur für die Bereiche des Querprofils durchführbar, die nicht vom sog. „Blanking“ betroffen sind.

Selbst wenn eine vollständige und zufriedenstellende Umrechnung der ADCP - Aufnahmen in Schwebstoffkonzentrationen nicht gelingt, können die Daten zur Bestimmung des Querprofilbeiwertes herangezogen werden, wenn die Konzentrationen innerhalb des Querprofils in sich relativ stimmig sind.

2.5 Anpassung der Sondenaufzeichnung und Frachtberechnungen

2.5.1 Prüfung der Sondenaufzeichnung

Die vom Trübungssensor aufgezeichnete Ganglinie (15 min. Werte) 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 sondennahen Flaschenproben, die meist von einer Verschmutzung der Sensor-Optik herrühren, müssen durch manuelle Anpassungen beseitigt werden. Wird Fouling erst nach einem längerem Zeitraum identifiziert, muss der betroffene Zeitraum als Sondernausfall behandelt werden. Unter derartigen Umständen können dann die sondennahen Schwebstoffproben alleine als Ganglinienersatz herangezogen werden; damit ist aber im Regelfall ein Informationsverlust verbunden. Nachträgliche Korrekturen derart verfälschter Ganglinien erscheinen bei einer ausreichenden Anzahl von Flaschenproben grundsätzlich denkbar, hierfür wären jedoch noch weitergehende Untersuchungen erforderlich. In Ausnahmefällen kann mithilfe von Zeitabschnitten mit unbeeinflussten Sondenaufzeichnungen ein Zusammenhang zwischen Durchfluss und Sondernanglinien hergestellt werden und damit bei ausreichender Korrelation eine Trübungsganglinie rekonstruiert werden. Des Weiteren sind Messwerte zu entfernen, die offensichtlich als Ausreißer zu bewerten sind. Es sind dies einzelne Messwerte, die um Größenordnungen von ihren „Vorgängern“ und „Nachfolgern“, die beide ähnliche Größen besitzen sollten, abweichen. Selbstverständlich sind im Rahmen solcher Korrekturen Veränderungen im Wasserstand, Durchfluss und allfällige Referenzproben in die Überlegungen mit einzubeziehen. 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.

2.5.2 Anpassung der Sondenaufzeichnung (Umrechnung)

Nach erfolgter Überprüfung der Sensorenganglinie kann die Umrechnung der Sondenaufzeichnungen auf sondennahe Schwebstoffkonzentration auf zwei Wegen erfolgen, wobei auch eine Kombination von beiden denkbar ist:

- a) laufende Berechnung des Sondenbeiwertes k_S mittels Division (gravimetrisch bestimmte Schwebstoffkonzentration (c_R) durch zugehörige Sondenaufzeichnung (c_S) und anschließender linearer Interpolation der aperiodischen Korrekturfaktoren (Kirchlechner u. Niedermühlbichler, 2004). Als Ergebnis stehen interpolierte Korrekturfaktoren im 15-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.

$$k_S = \frac{c_R}{c_S} \quad (\text{Gleichung 1})$$

- 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.

2.5.3 Ermittlung des Querprofilbeiwertes k_Q

Wie bereits oben ausgeführt wird die quasi-permanente Aufzeichnung der sondennahen Konzentrationen 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_Q 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 ($k_Q = f(Q)$), sodass mit Hilfe von Regressionsgleichungen empirische Zusammenhänge hergestellt werden können, die es ermöglichen, für sämtliche Durchflüsse Querprofilbeiwerte zu schätzen.

$$k_Q = \frac{c_M}{c_R} \quad (\text{Gleichung 2})$$

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_Q zu Q annähernd indirekt proportional verhält.

2.5.4 Frachtberechnungen

Da Durchfluss und mittlere Schwebstoffkonzentrationen in 10-min Werten 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).

3 ERGEBNISSE

3.1 Messtelle Admont/Enns

Die Sonde wurde im Jahr 2006 mit einem Befestigungsrohr an der Pegelstiege befestigt. Die Fixierung ist so ausgeführt, dass das Halterohr samt Sonde aus dem Gewässer für Servicearbeiten entfernt werden kann. Die Tage mit verteilter Probenentnahme sind in Abbildung 3 dargestellt.

Das Ergebnis der Sondenaufzeichnung ist die in Abbildung 4 dargestellte Ganglinie. Bemerkenswert sind die hohen Messwerte Anfang Oktober 2006, die auf Fehlmessungen zurückzuführen sind und nicht die realen Trübungsverhältnisse im Gewässer widerspiegeln.

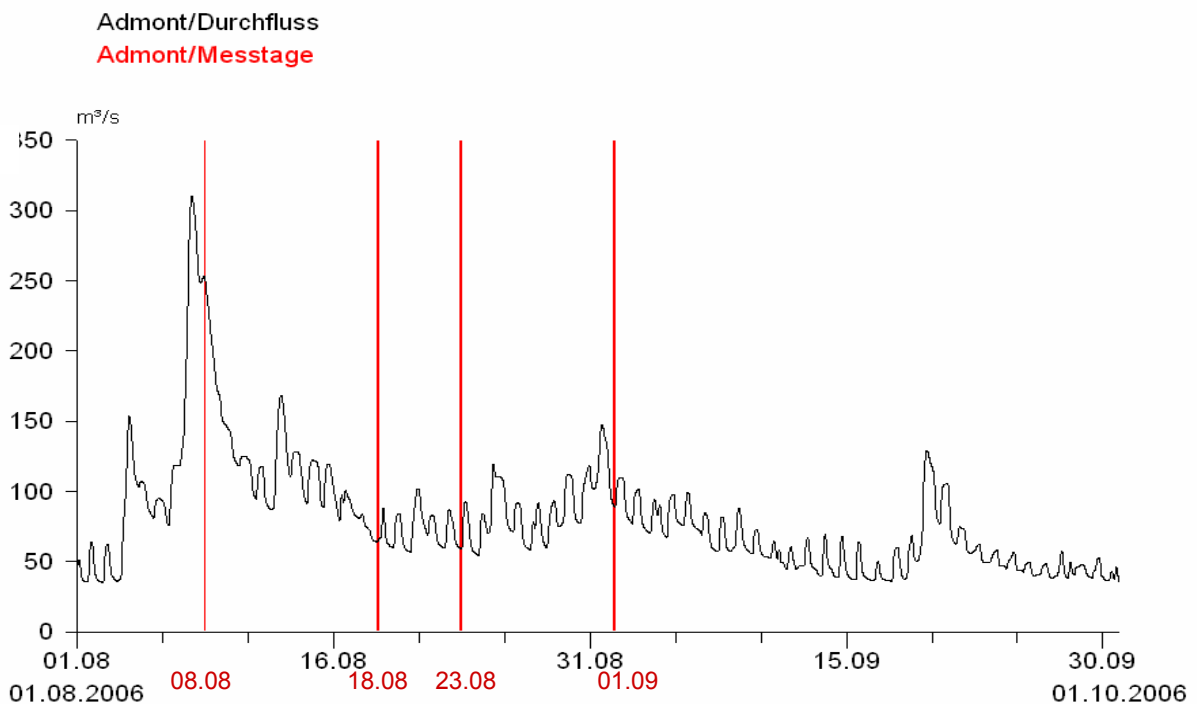


Abbildung 3: Durchflussganglinie mit den Tagen der Vielpunktentnahmen am Pegel Admont vom 01.08.2006 bis 01.10.2006

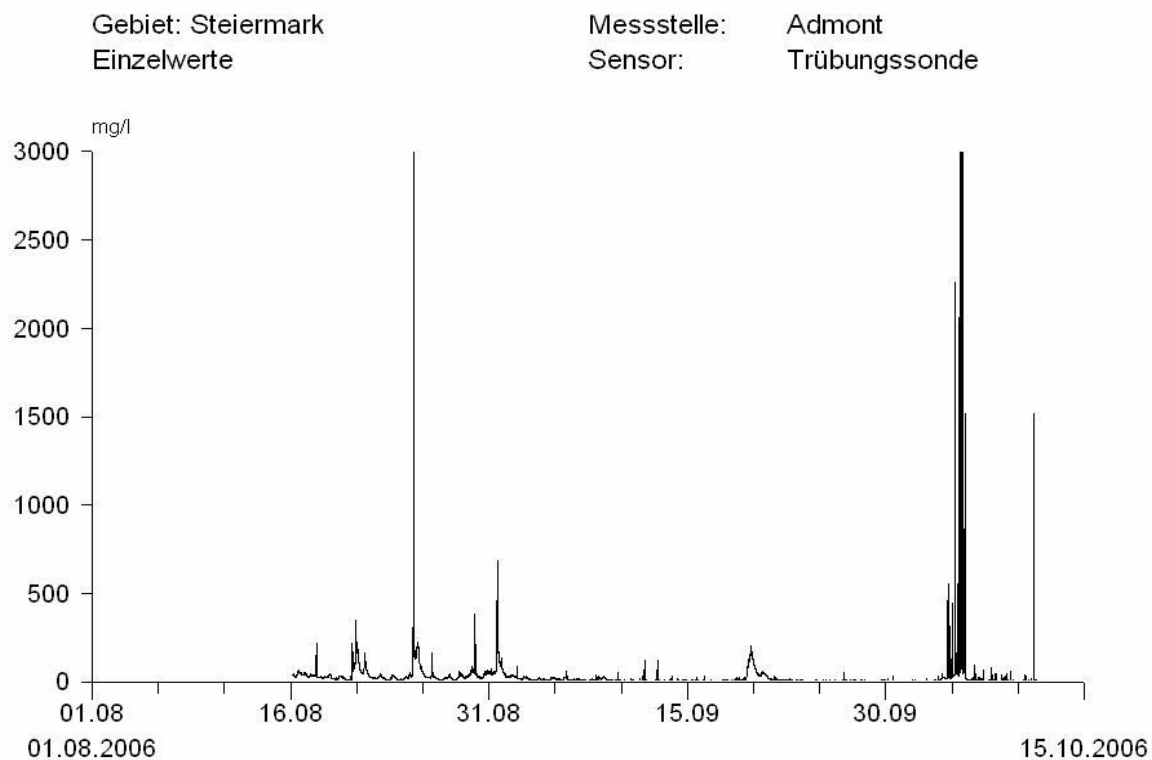


Abbildung 4: Ganglinie der Sondaufzeichnungen am Pegel Admont vom 01.08.2006 bis 15.10.2006

Der Zusammenhang zwischen den Sondaufzeichnungen und den Referenzproben ist in der Abbildung 5 dargestellt. Das lineare Modell wurde zur Aufstellung einer Schätzfunktion für die ufernahen Referenzkonzentrationen verwendet und zwar für den betrachteten Messzeitraum. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,89.

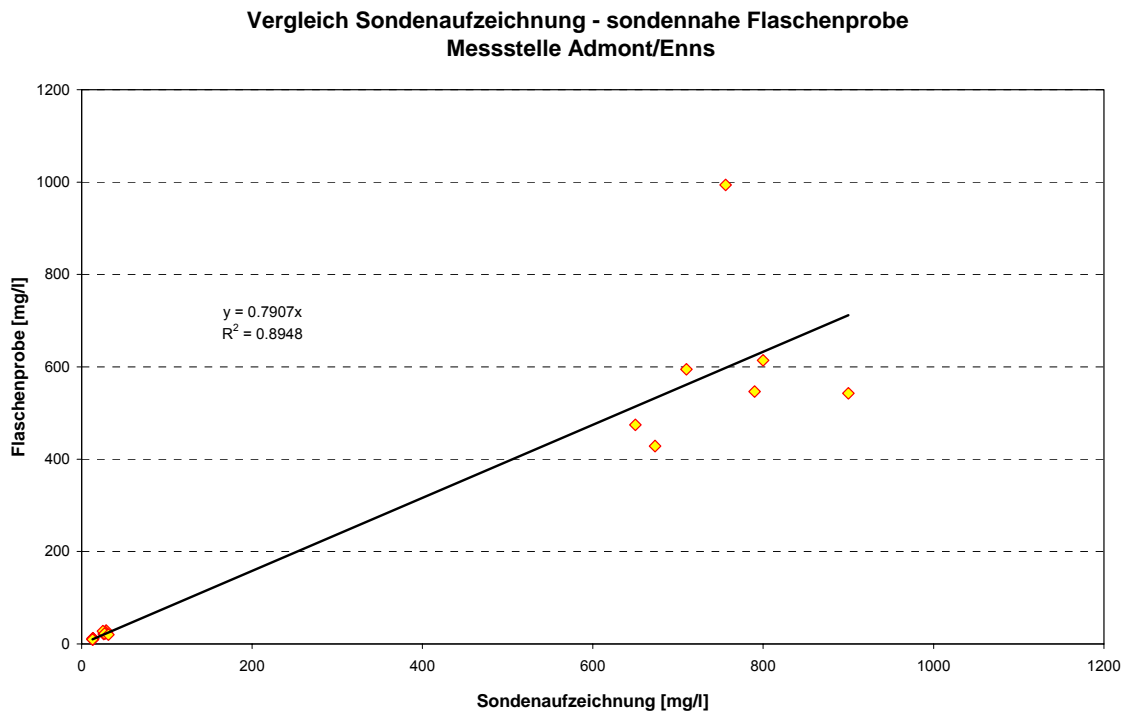


Abbildung 5: Zusammenhang von Sondenaufzeichnung und den zugehörigen sondennahen Flaschenproben für die Messstelle Admont im Sommer 2006

Die Anwendung der in Abbildung 5 dargestellten Funktion lässt die Umrechnung der geprüften Sondenaufzeichnungen in sondennahe Konzentrationen zu. Die kalibrierte Ganglinie samt Durchfluss und Flaschenproben (Referenzproben) ist in Abbildung 6 dargestellt.

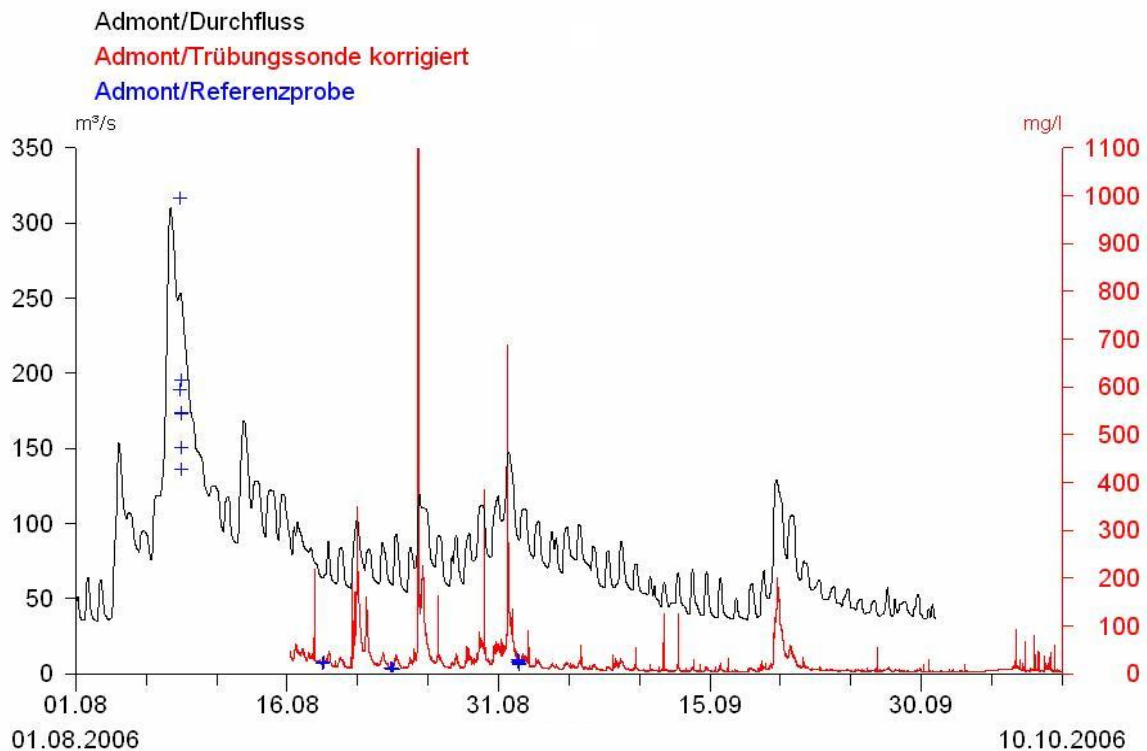


Abbildung 6: Abfluss, sondennahe Flaschenproben und korrigierte Sondaufzeichnung (sondennahe Konzentrationen) für die Messstelle Admont im Sommer 2006

Um nun die unterschiedliche Verteilung des Schwebstoffs im Querprofil erfassen zu können, wurden im Sommer 2006 verschiedene verteilte Probenentnahmen durchgeführt und für die Auswertungen herangezogen. Beispielhaft wird die Konzentrationsverteilung vom 23.08.2006 in Abbildung 7 dargestellt. Während dieser Entnahme herrschten weitgehend stationäre Bedingungen hinsichtlich des Abflusses. Auch die Sondaufzeichnungen wiesen auf eine nur geringfügig fallende Tendenz in der zeitlichen Konzentrationsverteilung hin (Abbildung 8), sodass die gesamte Messung als zuverlässig und für weitere Betrachtungen verwertbar erscheint.

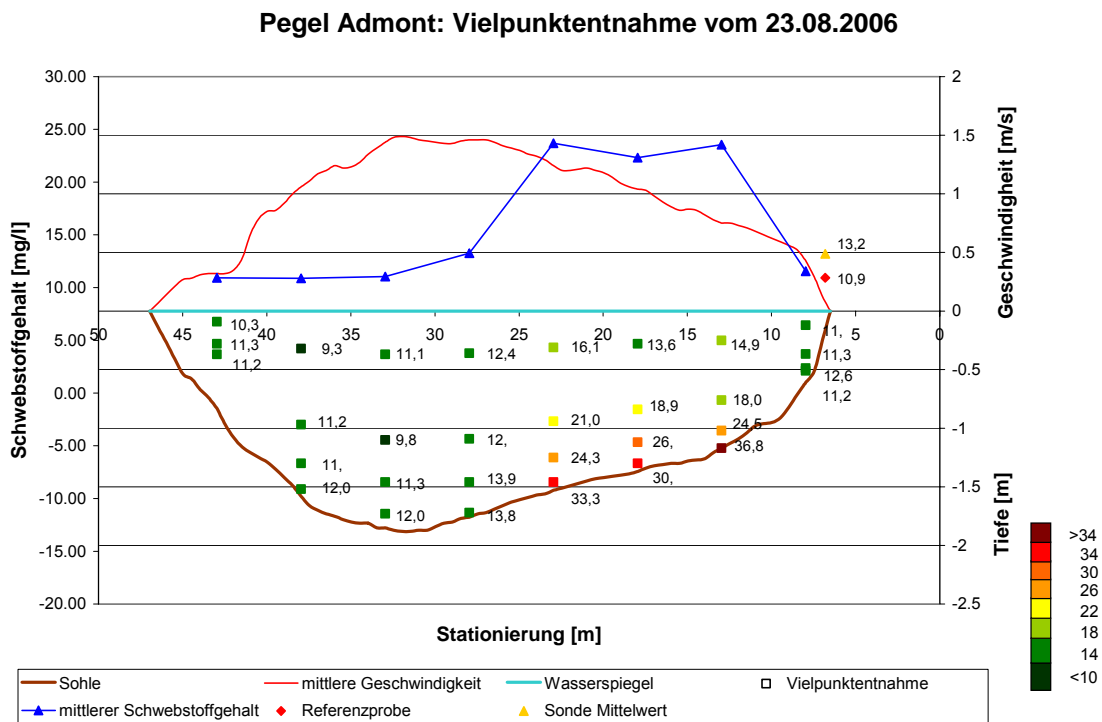


Abbildung 7: Admont/Enns: Vielpunktentnahme vom 23.08.2006

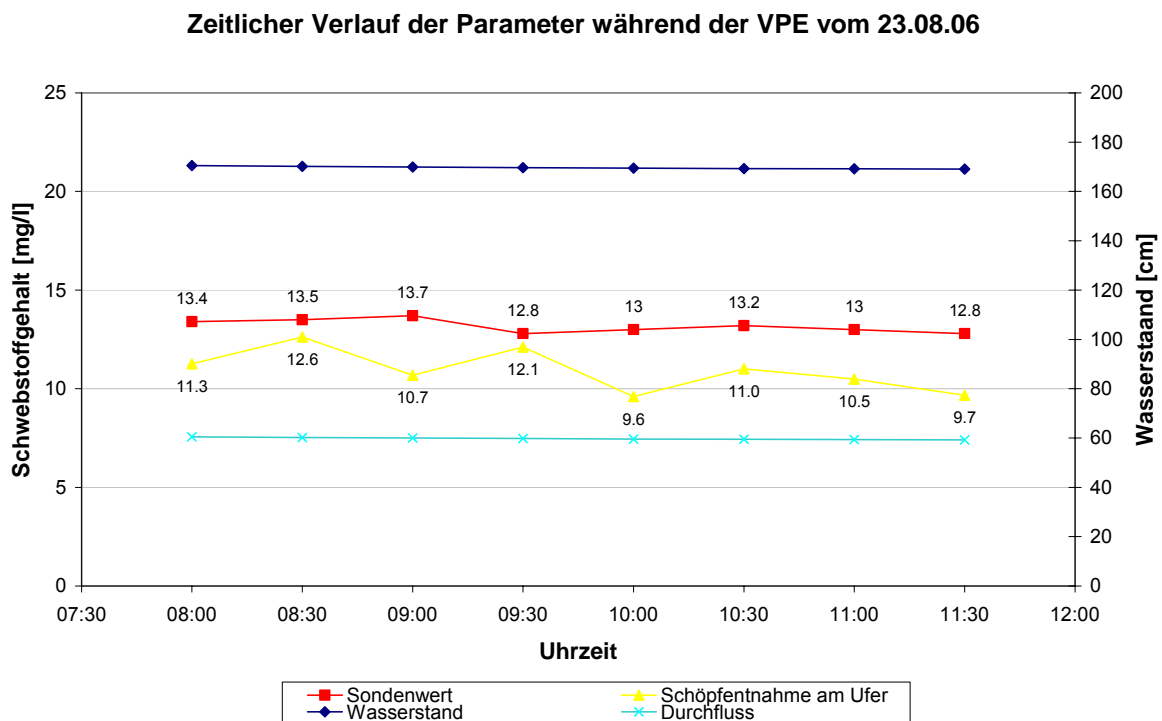


Abbildung 8: Admont/Enns: Zeitliche Entwicklung des Durchflusses und der Schwebstoffkonzentration während der Vielpunktentnahme vom 23.08.2006

Weitere verteilte Probenentnahmen, die zu Vergleichszwecken mit Integrationsentnahmen kombiniert wurden, werden in der bald vorliegenden Diplomarbeit von M. Haimann detailliert erläutert werden. Die Ergebnisse aus sämtlichen Messung bilden jedoch die Basis für die folgenden Betrachtungen.

Auf Grundlage der Vielpunktentnahmen vom Sommer 2006 konnten Querprofilbeiwerte errechnet werden (Abbildung 9). Unter Annahme eines linearen Zusammenhanges ergibt sich, dass sich Durchfluss und Querprofilbeiwert indirekt proportional ($R^2 = 0,88$) zueinander verhalten. Der nun vorliegende Zusammenhang bildet die vorläufige Arbeitshypothese, bis eine ausreichende Anzahl von Beobachtungen die statistisch zuverlässige Aufstellung dieses empirischen Zusammenhanges erlaubt. Es ist auch möglich, dass die Korrekturfaktoren vom Durchfluss unabhängig sind und um einen Mittelwert streuen, der durch eine größere Anzahl von Messungen ermittelt werden müsste.

Pegel Admont: Zusammenhang Durchfluss - Querprofilbeiwert k_Q
Datenbasis: Vielpunktentnahmen vom Sommer 2006

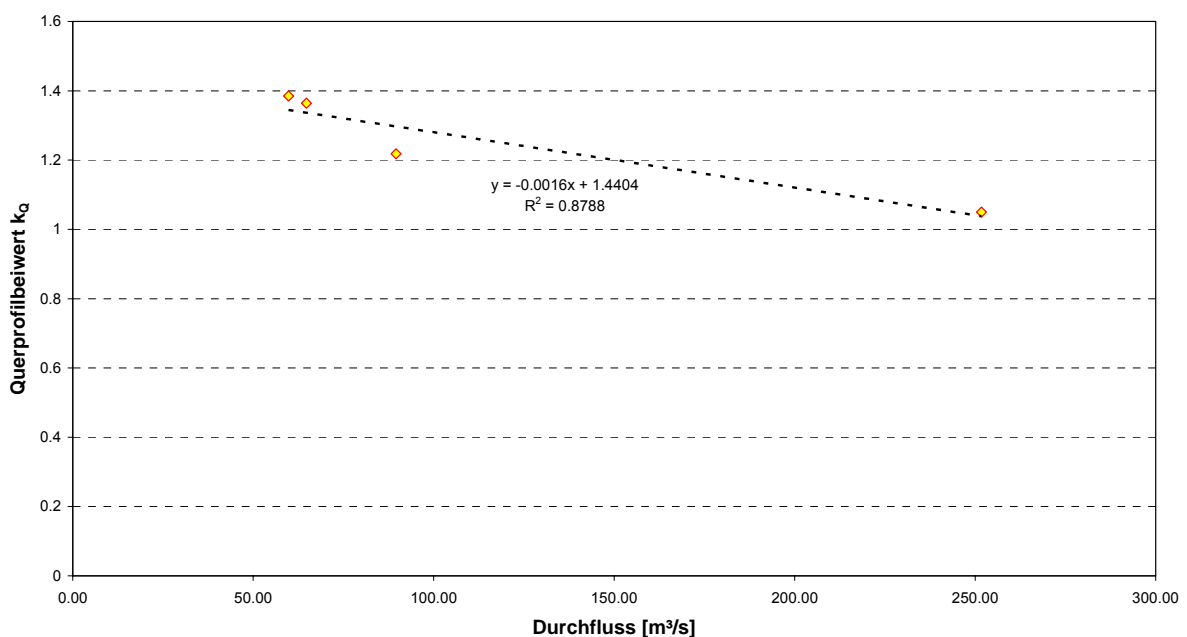


Abbildung 9: Hypothetischer Zusammenhang zwischen Durchfluss und dem Querprofilbeiwert k_Q auf Grundlage der Vielpunktentnahmen mittels US-P61 im Sommer 2006 an der Messstelle Admont/Enns

Die Anwendung der beiden Anpassungen (Umrechnung von Sondenaufzeichnungen in Schwebstoffkonzentrationen und nachfolgende Korrektur mittels Querprofilbeiwerten) auf die Trübung [mg/l] liefert die Ganglinie der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil (C_M) (Abbildung 10).

Das Produkt aus Durchfluss und mittlerer Konzentration ergibt den zeitlichen Verlauf des Schwebstofftransportes, der zeitlich integriert zur Fracht summiert wird. Es hat sich somit im September 2006 eine Schwebstofffracht von etwa 3.000 t Trockensubstanz ergeben (Tabelle

1) während im gesamten Beobachtungszeitraum (16.08.06 – 01.10.06) eine Schwebstofffracht von 21.000 t TS ermittelt werden konnte.

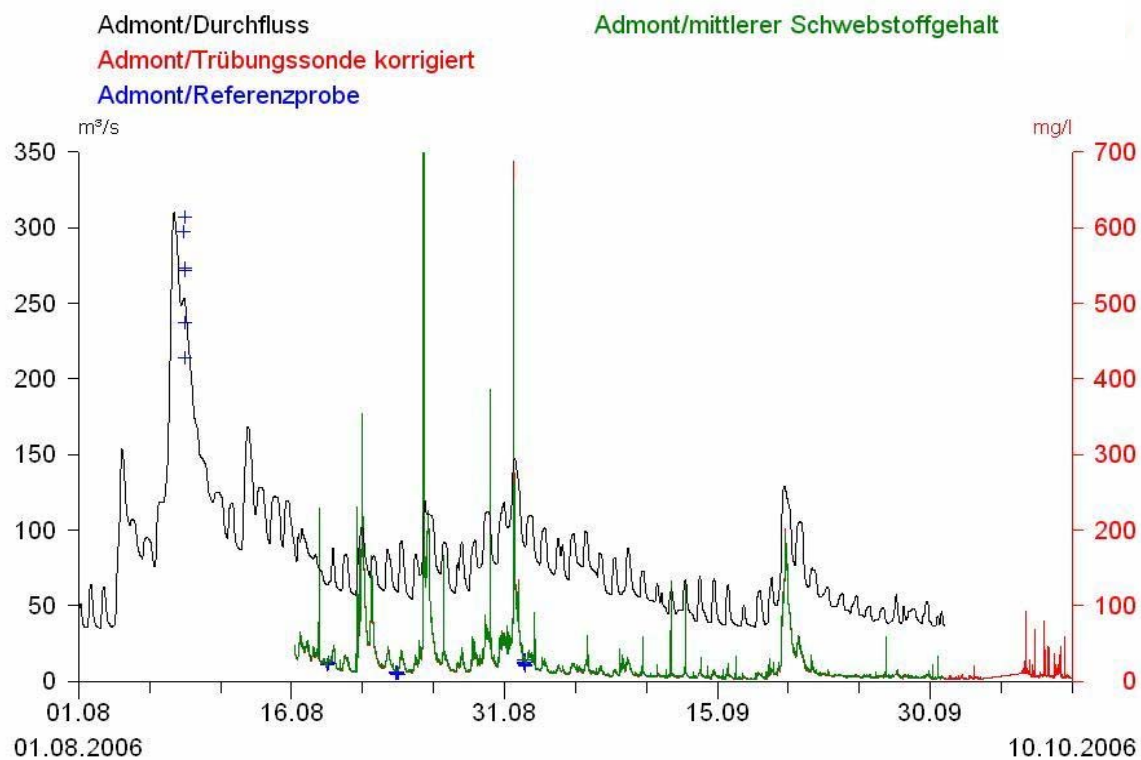


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der mittleren Konzentration am Pegel Admont im Sommer 2006

Tabelle 1: Schwebstofftransport in Admont/Enns im Jahr 2006

ZEITRAUM	SCHWEBSTOFFFRACHT [T TS]
16.08.2006 – 01.10. 2006	21.000
01.09.2006 – 01.10. 2006	3.000

3.2 Messstelle Leibnitz/Sulm

Die Sonde wurde im Frühjahr 2006 mit einem Befestigungsrohr im Bereich des Lattenpegels am orographisch rechten Ufer befestigt. Die Tage mit verteilter Probenentnahme sind in Abbildung 11 wiedergegeben.

Das Ergebnis der Sondenaufzeichnung ist in Abbildung 12 als Ganglinie dargestellt. Sie ist ergänzt um die Termine mit manueller Reinigung. Dabei ist unschwer zu erkennen, dass an dieser Messstelle sog. „Biofouling“ auftritt und damit Messwerte aufgezeichnet werden, die nicht mit der vorhandenen Gewässertrübung in Einklang zu bringen sind. Ein Blick auf die Konzentrationen der ufernahen Flaschenproben im Vergleich zur Ganglinie, die von der Sonde aufgezeichnet wurde, verdeutlicht den Sachverhalt (Abbildung 13). Abbildung 14 zeigt dies nochmals im Detail.

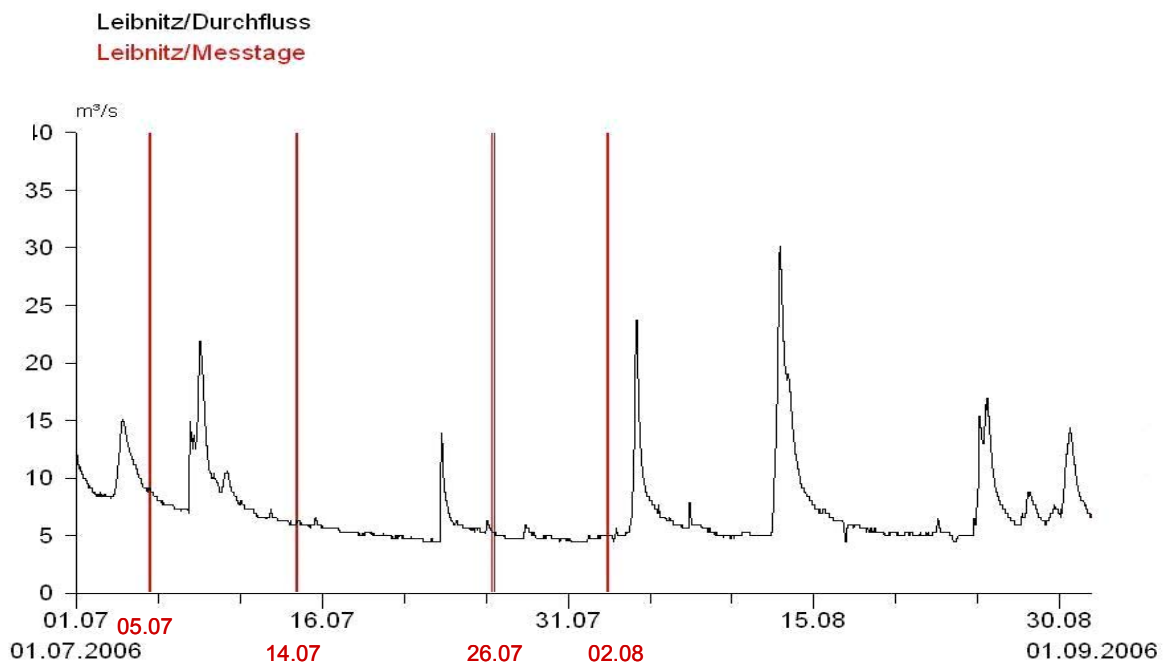


Abbildung 11: Durchflussganglinie mit Kennzeichnung der Tage mit Vielpunktentnahmen

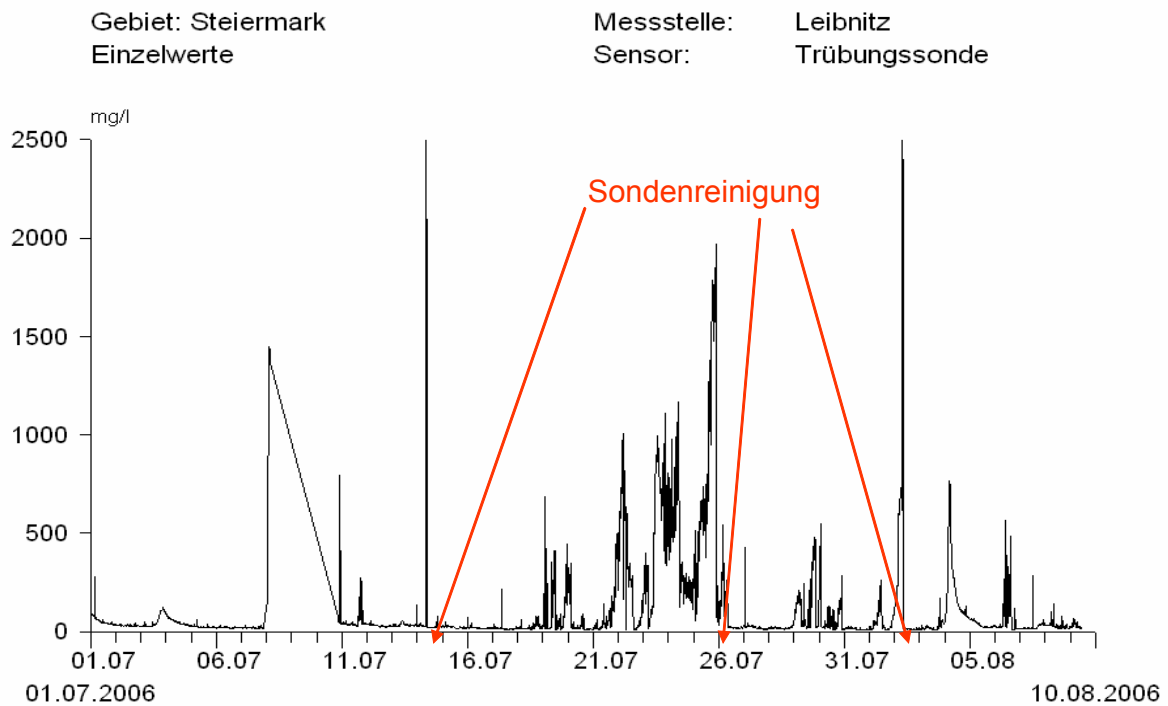


Abbildung 12: Sondaufzeichnung (Trübe) mit Reinigungssterminen am Pegel Leibnitz

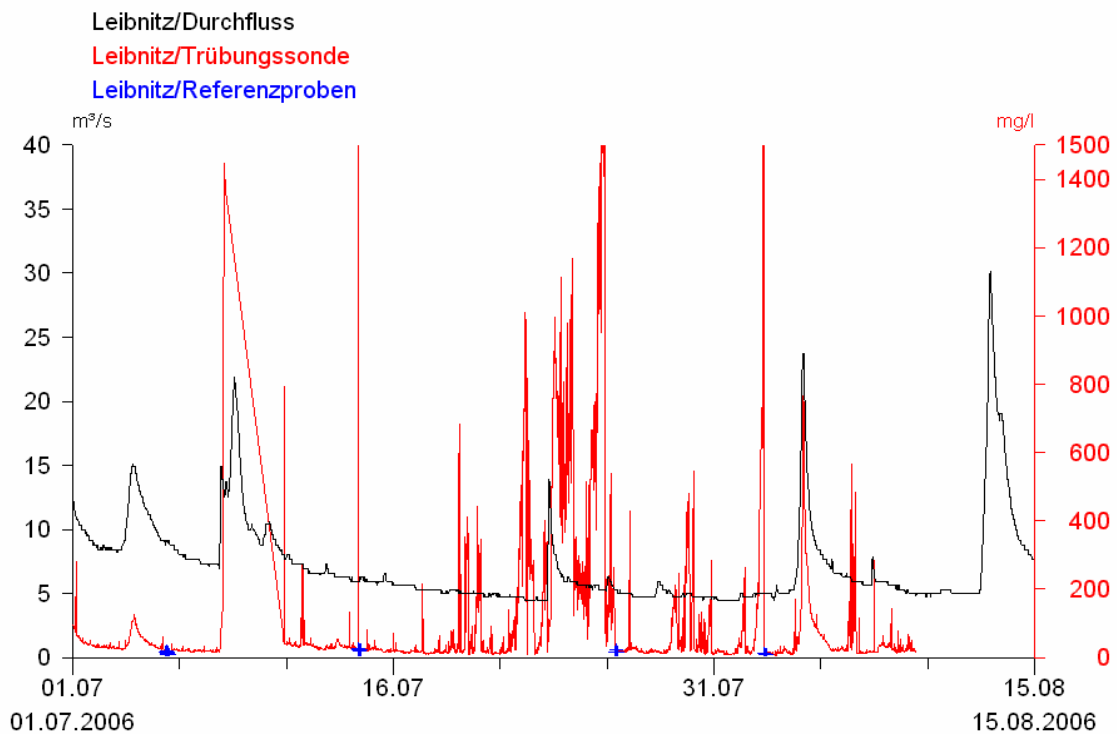


Abbildung 13: Durchfluss, Sondaufzeichnungen und sondennahe Flaschenproben (Referenzproben) an der Messstelle Leibnitz

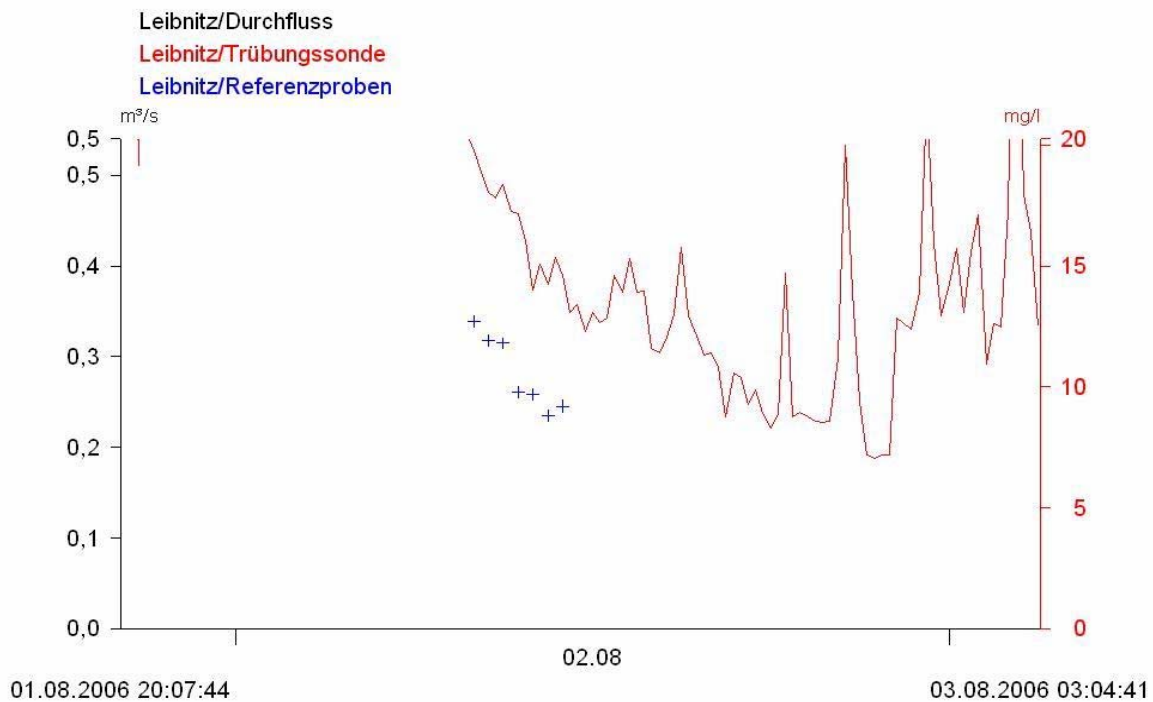


Abbildung 14: SONDENAUFZEICHNUNGEN UND SONDENNAHE FLASCHENPROBEN (REFERENZPROBEN) AM 02.08.2006 AN DER MESSSTELLE LEIBNITZ MIT DEUTLICHEM HINWEIS AUF „Biofouling“

Der Zusammenhang zwischen den SONDENAUFZEICHNUNGEN (Trübe) und den REFERENZPROBEN ist in der Abbildung 15 dargestellt. Das lineare Modell wurde zur Aufstellung einer Schätzfunktion für die ufernahen Konzentrationen verwendet und zwar für den betrachteten Messzeitraum. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,19 und ist damit im Vergleich mit anderen Messstationen niedrig. Die einzelnen Messtage sind unterschiedlich eingefärbt und zeigen eine deutliche „Clusterung“, die sicherlich auf den Prozess des „Fouling“ zurückzuführen sind.

Da am 05. Juli nur ein mäßiger Zusammenhang zwischen SONDENAUFZEICHNUNG und den REFERENZPROBEN zu erkennen ist, wurde dieser Messtag bei den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt. Des Weiteren wurden Wertepaare, die wenig plausibel erscheinen, ebenfalls aus der Datenmenge herausgenommen. Die korrigierte Gegenüberstellung von SONDENAUFZEICHNUNG und FLASCHENPROBEN ist in Abbildung 16 ersichtlich.

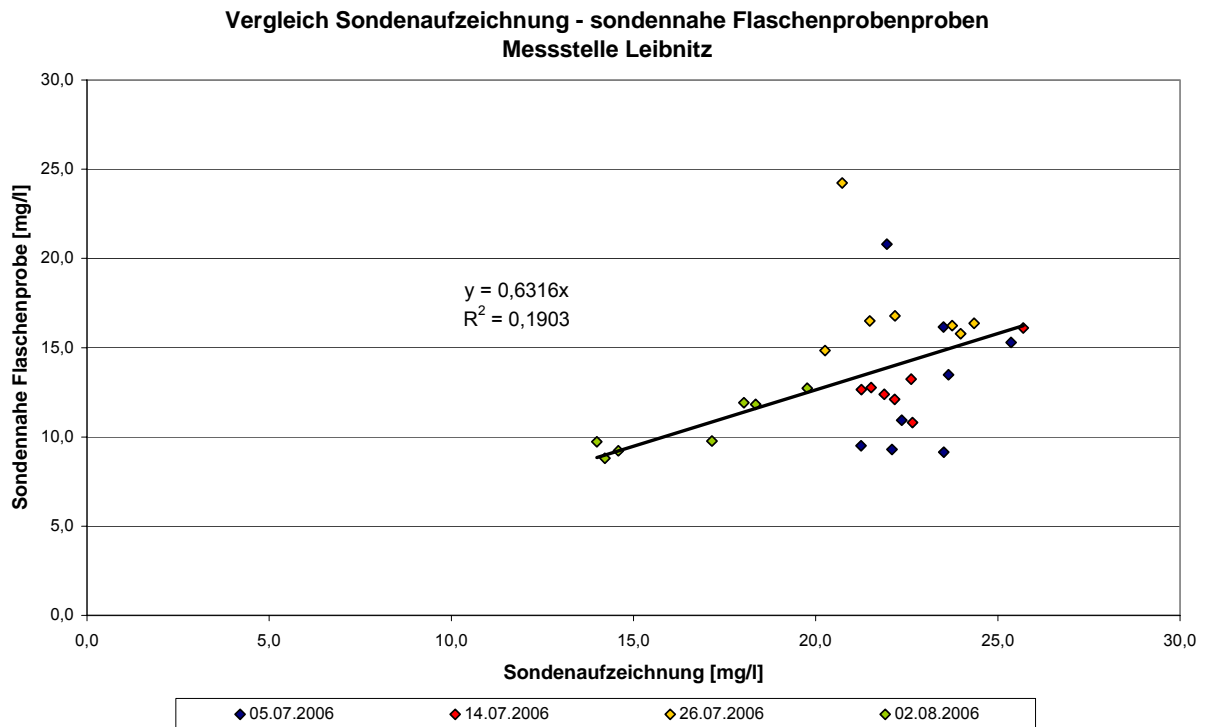


Abbildung 15: Zusammenhang von Sondenaufzeichnungen und den zugehörigen sondennahen Flaschenentnahme für die Messstelle Leibnitz im Zeitraum Juli und August 2006

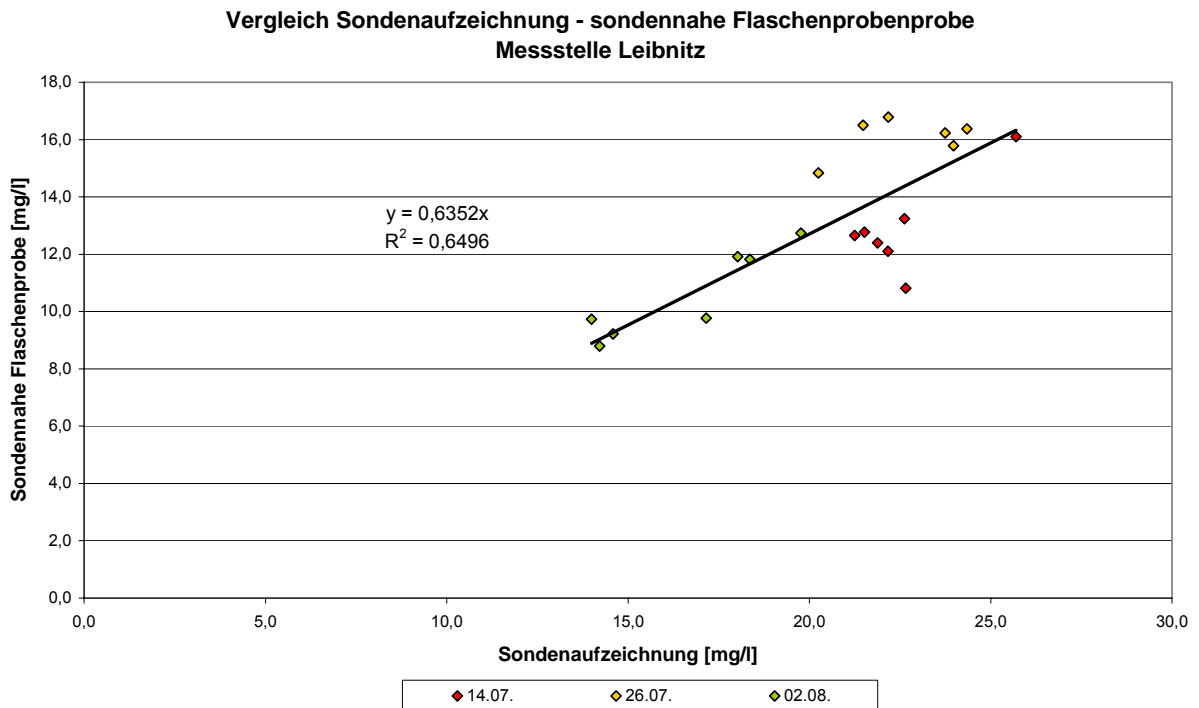


Abbildung 16: Zusammenhang von Sondenaufzeichnungen und den zugehörigen sondennahen Flaschenentnahme für die Messstelle Leibnitz ohne 05. Juli 2006

Um nun behelfsmäßig doch noch zu einigermaßen brauchbaren Ergebnissen zu kommen, wurde versucht, zwischen den vom Fouling nicht betroffenen Sondenaufzeichnungen und dem Durchfluss eine Regressionsbeziehung (Abbildung 17) aufzustellen, die dann in Abhängigkeit des Durchflusses eine Schätzung des Verlaufs der Sondenaufzeichnungen ermöglichen soll.

Gegenüberstellung Durchfluss - Sondenaufzeichnung

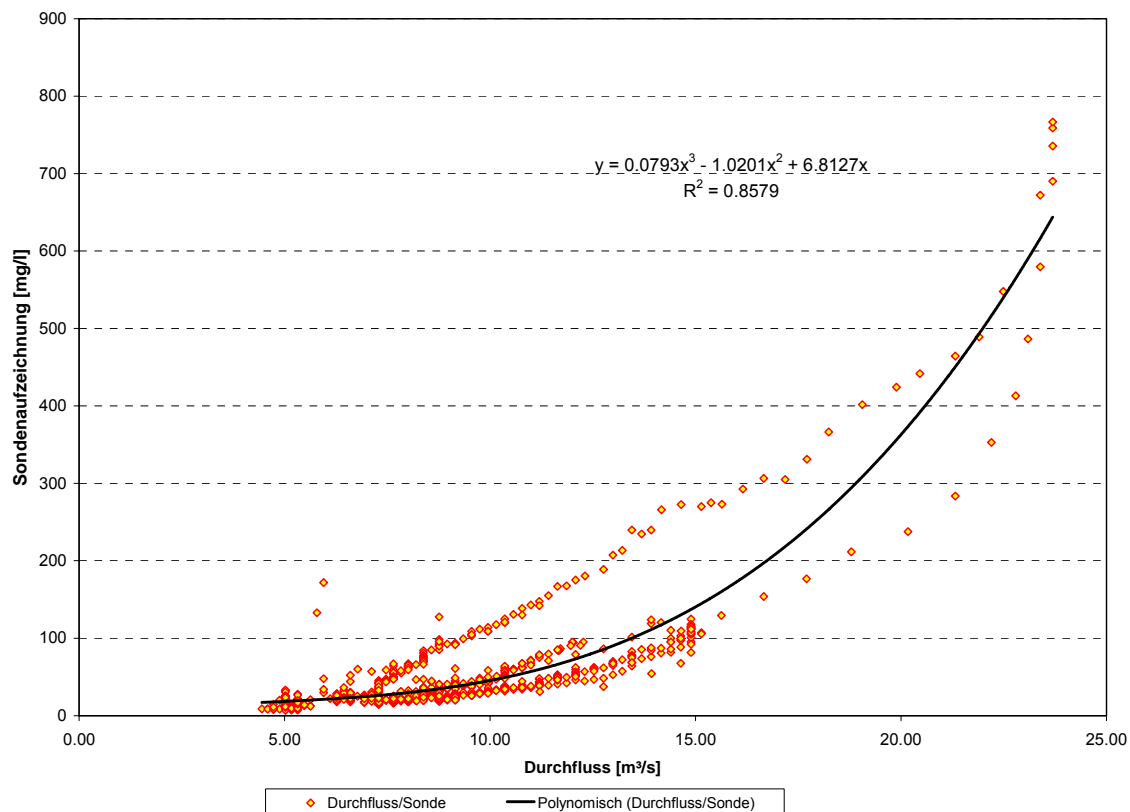


Abbildung 17: Regressionsbeziehung zur Schätzung von Sondenaufzeichnungen in Abhängigkeit des Durchflusses für die Messstelle Leibnitz

Die Anwendung der in Abbildung 17 dargestellten Funktion ergibt die neue, geschätzte Ganglinie „Sonde-berechnet“ (Abbildung 18). Für die weitere Anpassung der Regressionsschätzung hinsichtlich Umrechnung in ufernahe Konzentrationen wurde die Gleichung aus Abbildung 16 verwendet und so die Konzentrationsganglinie in Sondennähe erhalten (Abbildung 18).

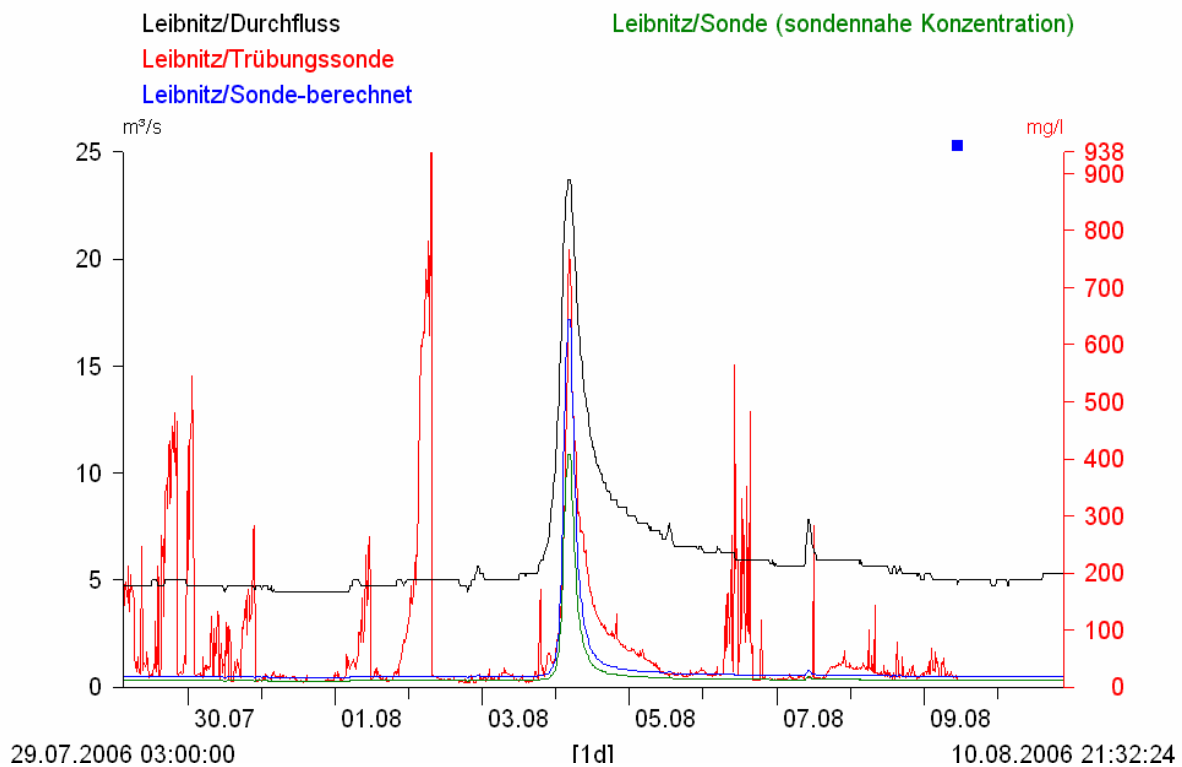


Abbildung 18: Abfluss, Sondenaufzeichnung (Trübungssonde), geschätzte (berechnete) Konzentrationsganglinie und sondennahe Konzentrationsganglinie für die Messstelle Leibnitz

Um nun die unterschiedliche Verteilung des Schwebstoffs im Querprofil erfassen zu können, wurden im Sommer 2006 vier verteilte Probenentnahmen von der Straßenbrücke aus durchgeführt und für die Auswertungen herangezogen. Die Konzentrationsverteilungen im Querprofil vom 14.07.2006 sind in Abbildung 19 bzw. der zugehörige zeitliche Verlauf der relevanten Parameter in Abbildung 20 dargestellt. Während dieser Entnahme herrschten stationären Bedingungen hinsichtlich des Abflusses. Bei der Schwebstoffkonzentration (Sonde und Uferprobe) war eine leichte Verringerung zu beobachten.

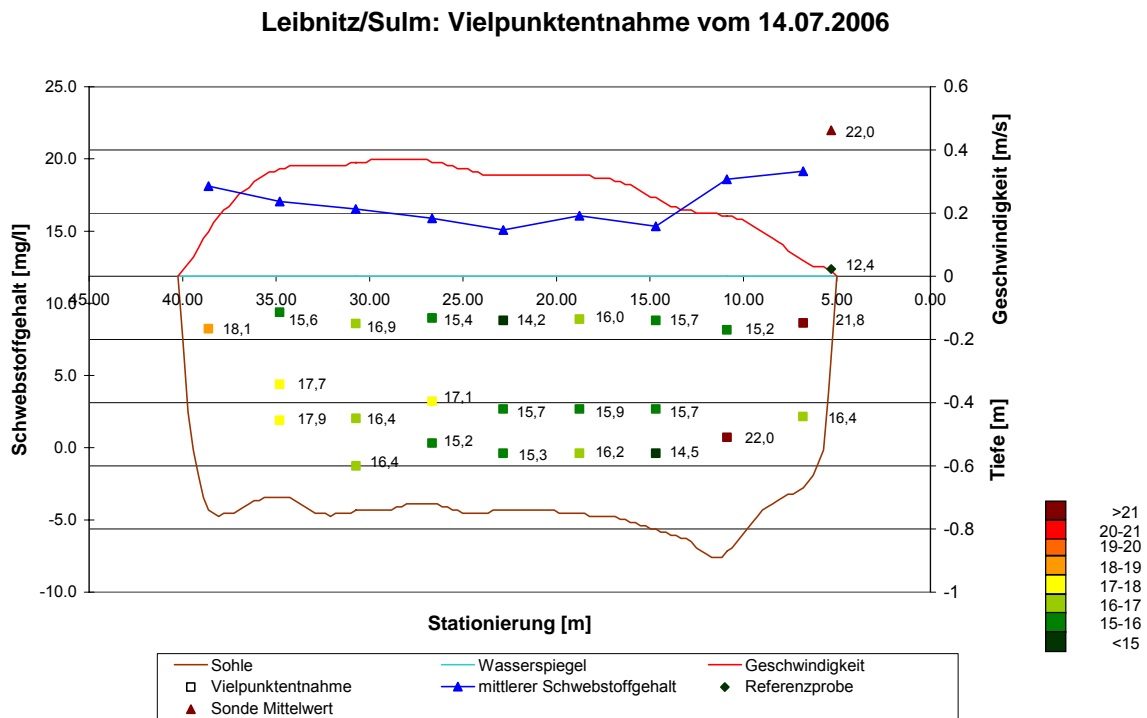


Abbildung 19: Leibnitz/Sulm: Vielpunktentnahme vom 14.07.2006

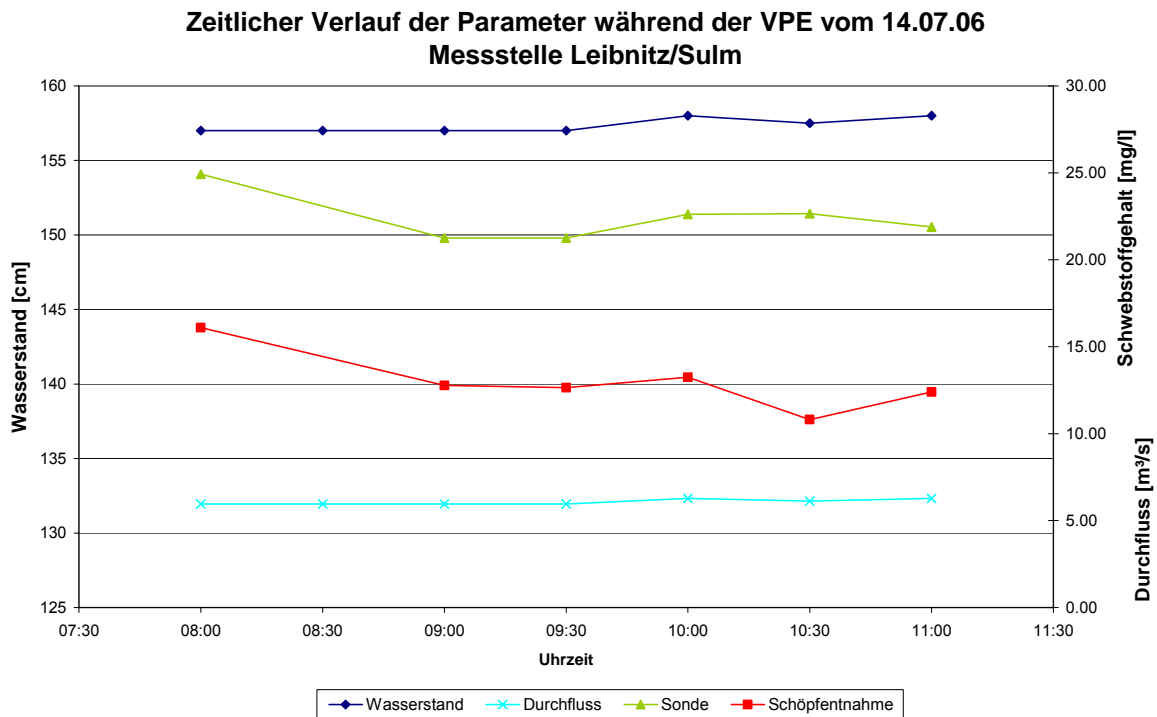


Abbildung 20: Leibnitz/Sulm: Zeitliche Entwicklung des Durchflusses und der Schwebstoffkonzentration während der Vielpunktentnahme vom 14.07.2006

Auf Basis der verteilten Probenentnahmen (drei Vielpunktentnahmen) aus 2006 konnten Querprofilbeiwerte errechnet werden (Abbildung 21). Es wurde vorerst ein linearer Zusammenhang zwischen Querprofilbeiwerten und dem Abfluss aufgestellt. Dieser hat nur hypothetischen Charakter, da hierfür eine ausreichende Anzahl von Beobachtungen erforderlich ist. Es ist auch möglich, dass die Korrekturfaktoren um einen Mittelwert streuen, der durch eine größere Anzahl von Messungen ermittelt werden muss. Für die weiteren Auswertungen wurde ein mittlerer konstanter und damit vom Durchfluss unabhängiger Querprofilbeiwert von 1,26 angenommen.

Zusammenhang Durchfluss - Querprofilbeiwert k_Q

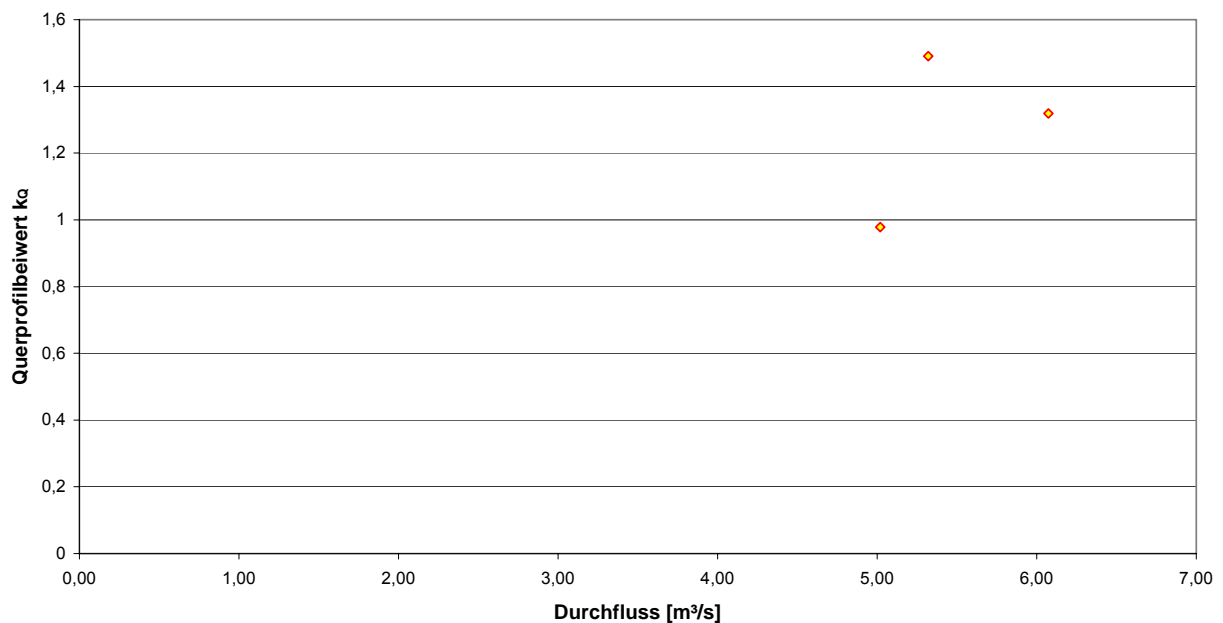


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen Durchfluss und dem Querprofilbeiwert k_Q auf Grundlage der verteilten Probenentnahmen mittels US-P61 im Sommer 2006 an der Messstelle Leibnitz/Sulm

Die Anwendung des konstanten Querprofilbeiwertes auf die „berechnete“ Konzentrationsganglinie liefert der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil (c_M).

Auch hier ergibt das Produkt aus Durchfluss und Konzentration den zeitlichen Verlauf des Schwebstofftransportes, der zeitlich integriert zur Fracht summiert wird. Es hat sich somit im Juli 2006 eine Schwebstofffracht von etwa 700 t Trockensubstanz ergeben (Tabelle 1) während im gesamten Beobachtungszeitraum (01.07.06 – 15.08.06) eine Schwebstofffracht von 1.900 t TS ermittelt werden konnte.

Tabelle 2: Schwebstofftransport an der Messstelle Leibnitz/Sulm im Jahr 2006

ZEITRAUM	SCHWEBSTOFFFRACHT [T TS]
01.07.2006 – 15.08. 2006	1.900
01.07.2006 – 31.07. 2006	700

3.3 Einsatz von ADCP-Daten zur Bestimmung der Schwebstoffverteilung im Querprofil

Im Jahr 2005 wurden an der Messstelle Mureck/Mur im Rahmen der Vielpunktentnahmen die Fließgeschwindigkeiten und der Durchflüsse mittels ADCP (River Workhorse des HD Steiermark) ermittelt. Mit den Messdaten, die am 20.07.2005 ermittelt wurden, wurde versucht, die Konzentrationsverteilung anhand der Rückstreuintensitäten zu ermitteln und das Verteilungsmuster mit den Ergebnissen der Vielpunktentnahme zu vergleichen. Dabei wurde festgestellt, dass die Verteilungsmuster sich sehr ähnlich verhalten (Abbildung 23). Die Umrechnung erfolgte mit der „Plume Detection Toolbox“ von Aquavision, wobei eine Kalibrierung der Konzentrationen anhand von gravimetrisch ausgewerteten Proben vorläufig unterblieben ist. Ein GIS-System wurde zur Visualisierung der Ergebnisse herangezogen (Abbildung 22).

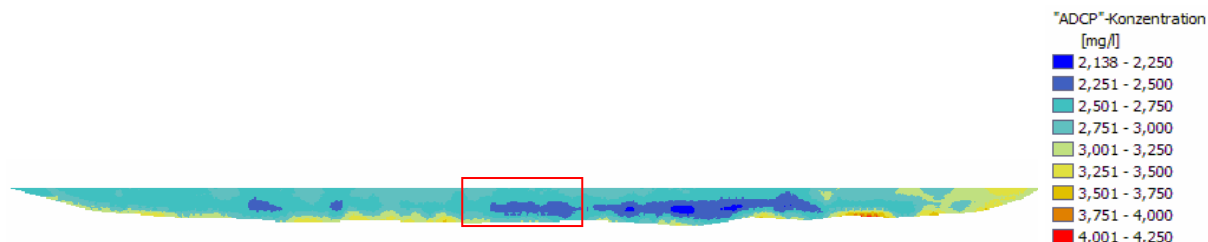


Abbildung 22: Mureck/Mur: ADCP-Messung vom 20.07.2005, umgerechnet in Konzentration ohne Kalibration

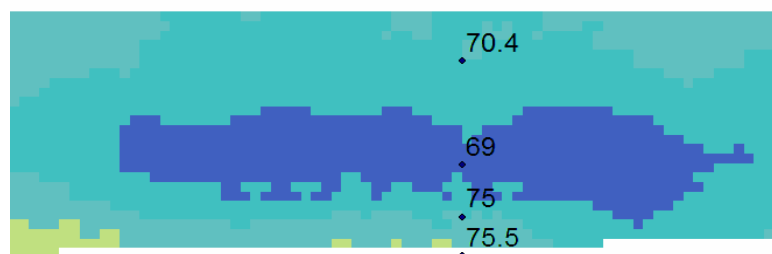


Abbildung 23: Mureck/Mur: ADCP-Messung vom 20.07.2005, Detail von Abbildung 9 mit Konzentrationen, gewonnen aus der Vielpunktentnahme (Datengrundlage; Stimpfl, 2006)

Werden die mit der PDT konvertierten absoluten Rückstreuintensitäten anhand von im Rahmen einer Vielpunktentnahme gewonnenen Proben kalibriert, kann daraus die absolute

Konzentrationsverteilung im Querprofil zum betrachteten Zeitpunkt abgeleitet werden (Aardom und Mol, 2005).

Als Beispiele hierfür können die Messungen vom 08.08.2006 (Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26) am Pegel Admont/Enns herangezogen werden, wobei Abbildung 25 den Zusammenhang zwischen den gewonnenen Proben und den konvertierten Rückstreuintensitäten darstellt. Die nachfolgenden Illustrationen (Abbildung 27 bis Abbildung 30) zeigen weitere Ergebnisse von Enns und Sulm. Vor der Vielpunktentnahme mit dem US-P61A wurde zum Zweck der Geschwindigkeitsermittlung eine ADCP - Messung durchgeführt. Die Ergebnisse daraus wurden mit der PDT-Software unter Verwendung der Proben (Konzentrationen aus der Entnahme) in ein Verteilungsprofil umgerechnet, wobei eine gute Übereinstimmung zu beobachten ist. Beachtung soll in diesem Zusammenhang besonders der orographisch rechten Hälfte des Profils geschenkt werden, wo es zur Sohle hin zu einem deutlichen Anstieg der Konzentrationen kommt, die sich auch in den Beprobungen widerspiegeln. Anmerkung am Rande: Das Pegelprofil befindet sich in einem Fließgewässerbogen, wobei sich orographisch rechts der Innenbogen befindet und gemäß den helixartigen Strömungsvorgängen in Gerinnebögen ein „Quertransport“ in Richtung Ufer stattfindet. Am Pegel Bruck/Salzach wurde bei nahezu identischer Situation ein sehr vergleichbares Phänomen beobachtet (Wagner, 2006). Auch Dinehart & Burau (2005) haben am Sacramento River, einem Sandbettfluss, in Kalifornien die Querströmungen und die damit verbundene Beeinflussung der Schwebstoffkonzentration untersucht und sind zu vergleichbaren Ergebnissen gelangt.

Untersuchungen zur Optimierung der Probenentnahme in Zusammenhang mit ADCP-Messungen, deren Ergebnisse bei reduzierter Anzahl von Proben vergleichbar sind, sind Gegenstand laufender Untersuchungen. Nach derzeitiger Einschätzung können gute Ergebnisse dann erzielt werden, wenn der im Querprofil während der Messung auftretende Konzentrationsbereich durch repräsentative Proben abgedeckt ist.

In Tabelle 3 sind die Transportmengen von Vielpunktentnahmen den Ergebnissen der Umrechnungen gegenübergestellt. Dabei ist eine recht gute Übereinstimmung festzustellen.

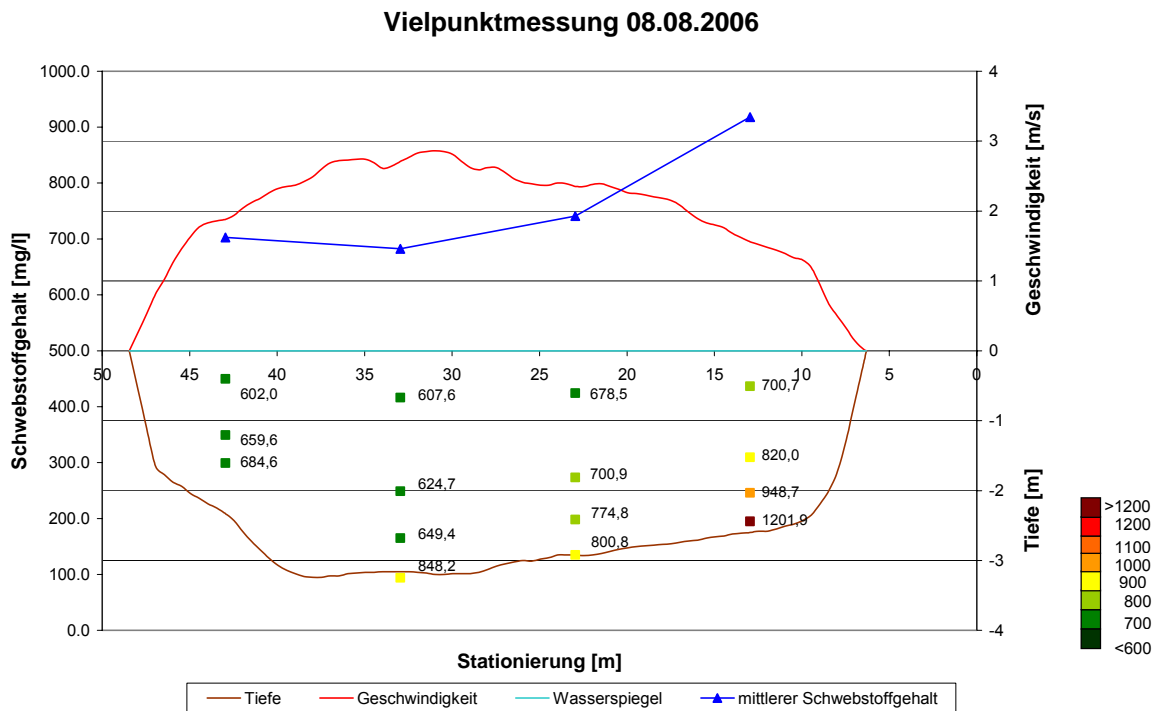


Abbildung 24: Konzentrationsverteilung an der Enns (Pegel Admont) am 08.08.2006

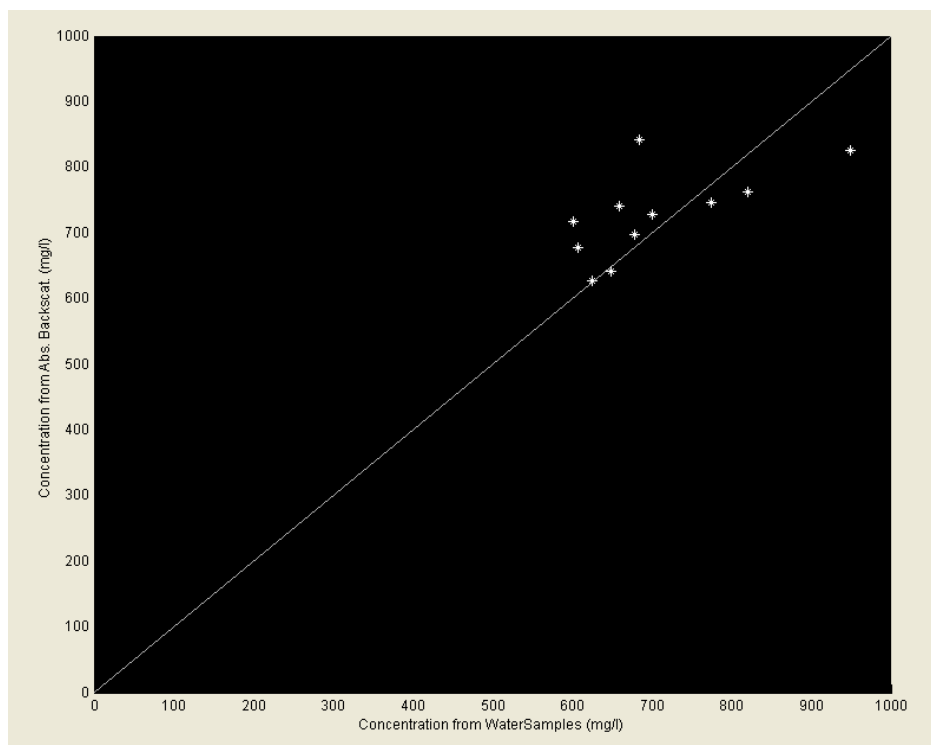


Abbildung 25: Zusammenhang von konvertierten Rückstreusignalen und den Konzentrationen aus der Vielpunktentnahme vom 08.08.2006

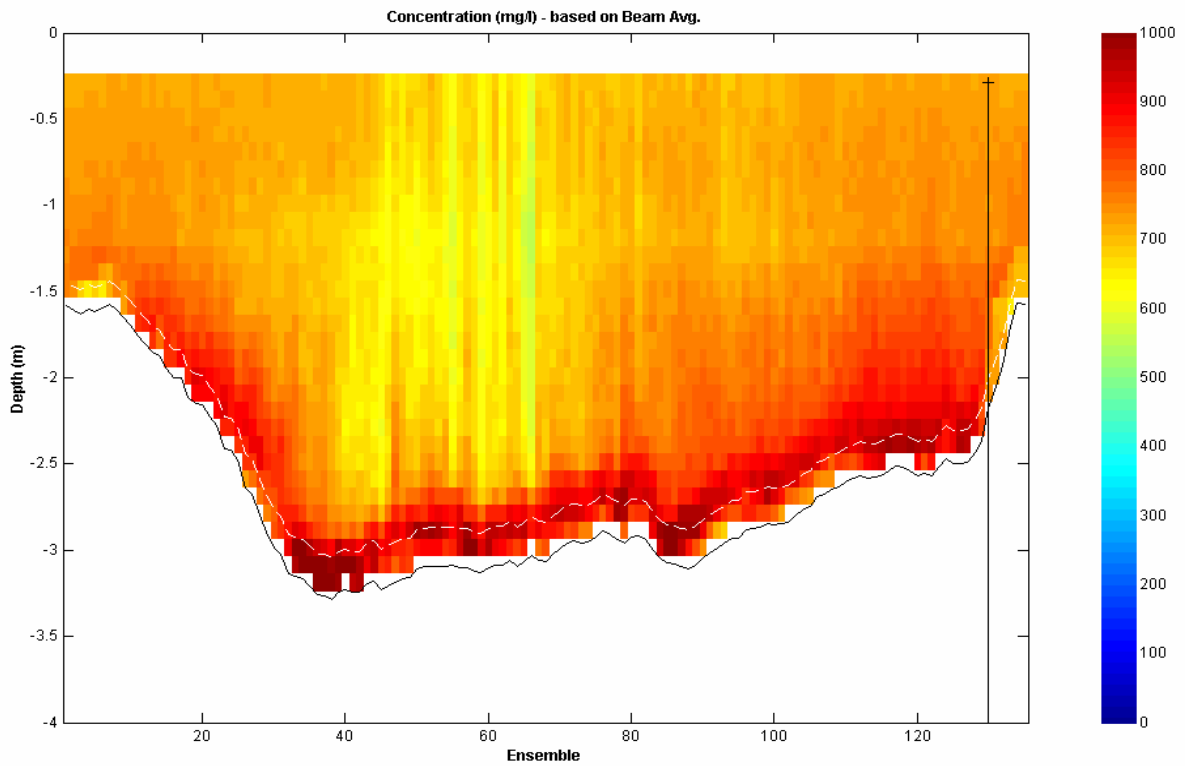


Abbildung 26: Ergebnis der Umrechnung (Konzentration [mg/l]) nach erfolgter Kalibrierung für die Messung vom 08.08.2006

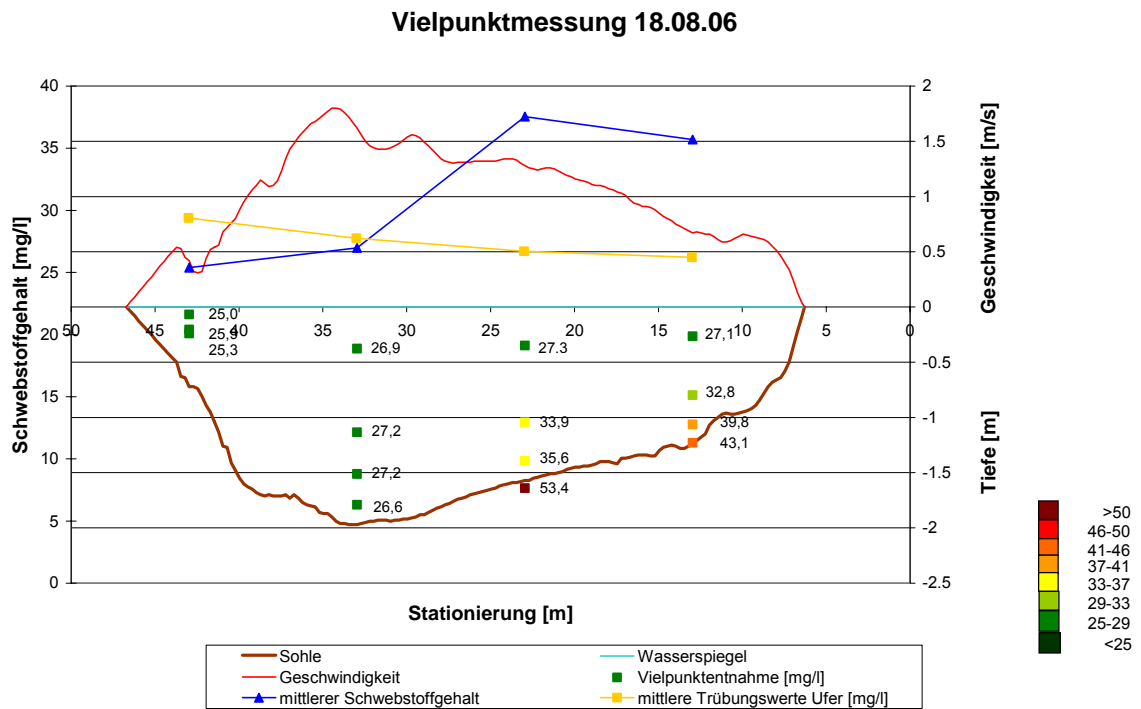


Abbildung 27: Konzentrationsverteilung an der Enns (Pegel Admont) am 18.08.2006

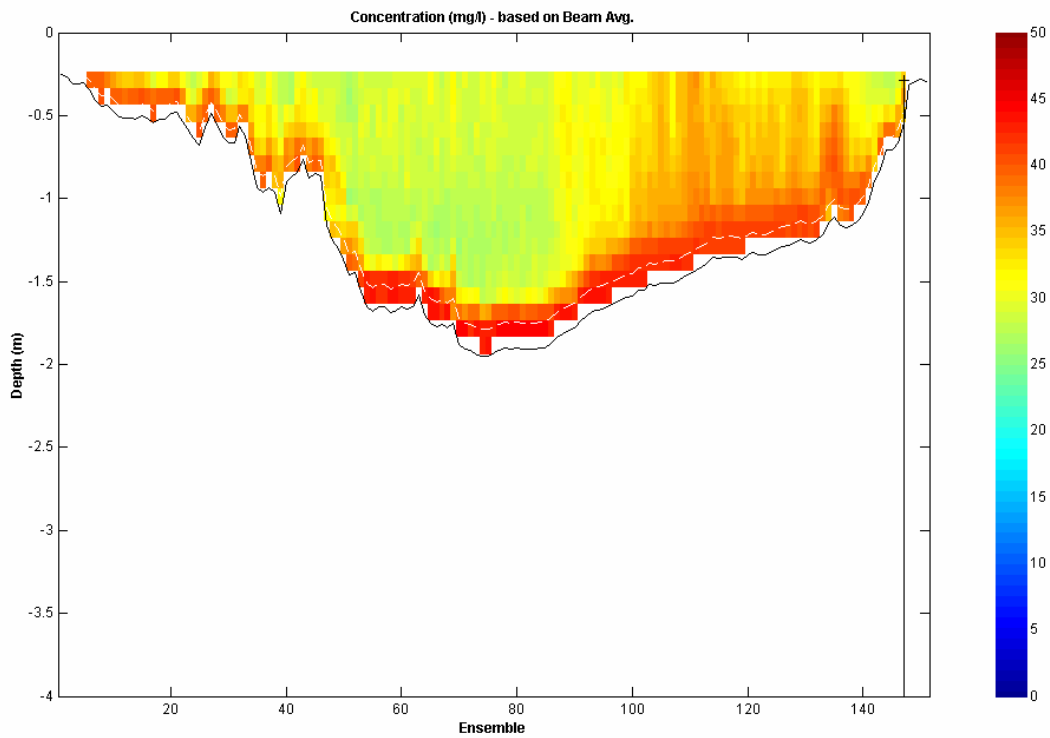


Abbildung 28: Ergebnis der Umrechnung (Konzentration [mg/l]) nach erfolgter Kalibrierung der Messung vom 18.08.2006 an der Enns

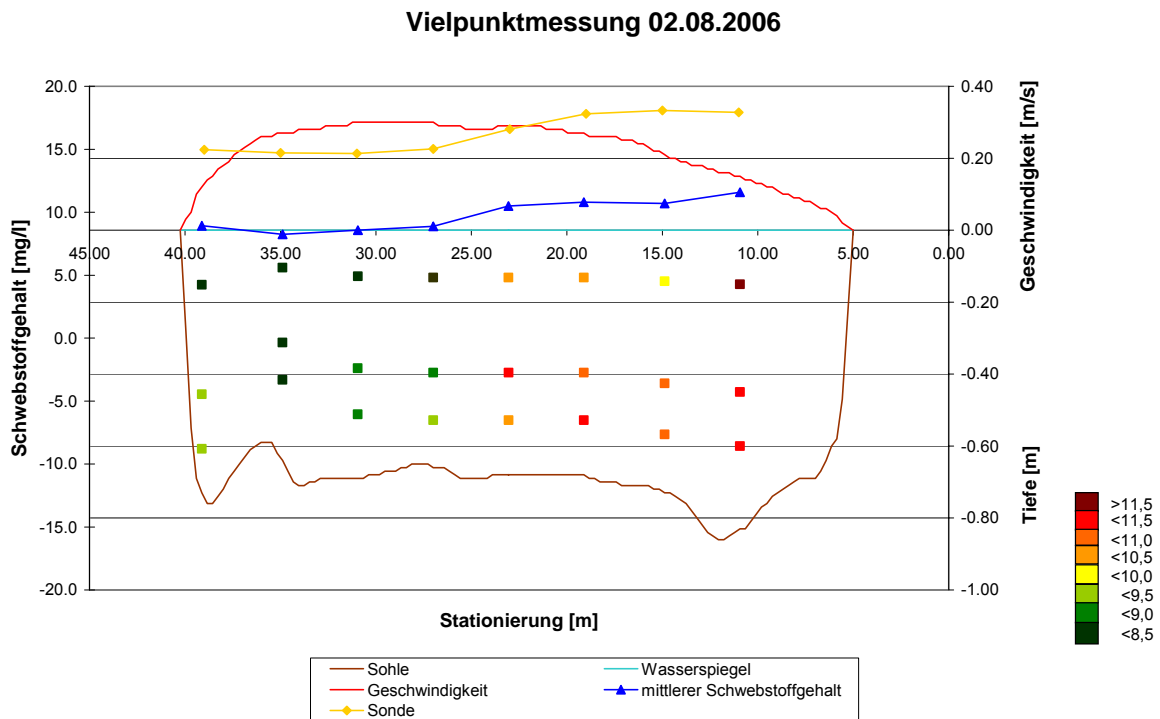


Abbildung 29: Konzentrationsverteilung an der Sulm (Pegel Leibnitz) am 02.08.2006

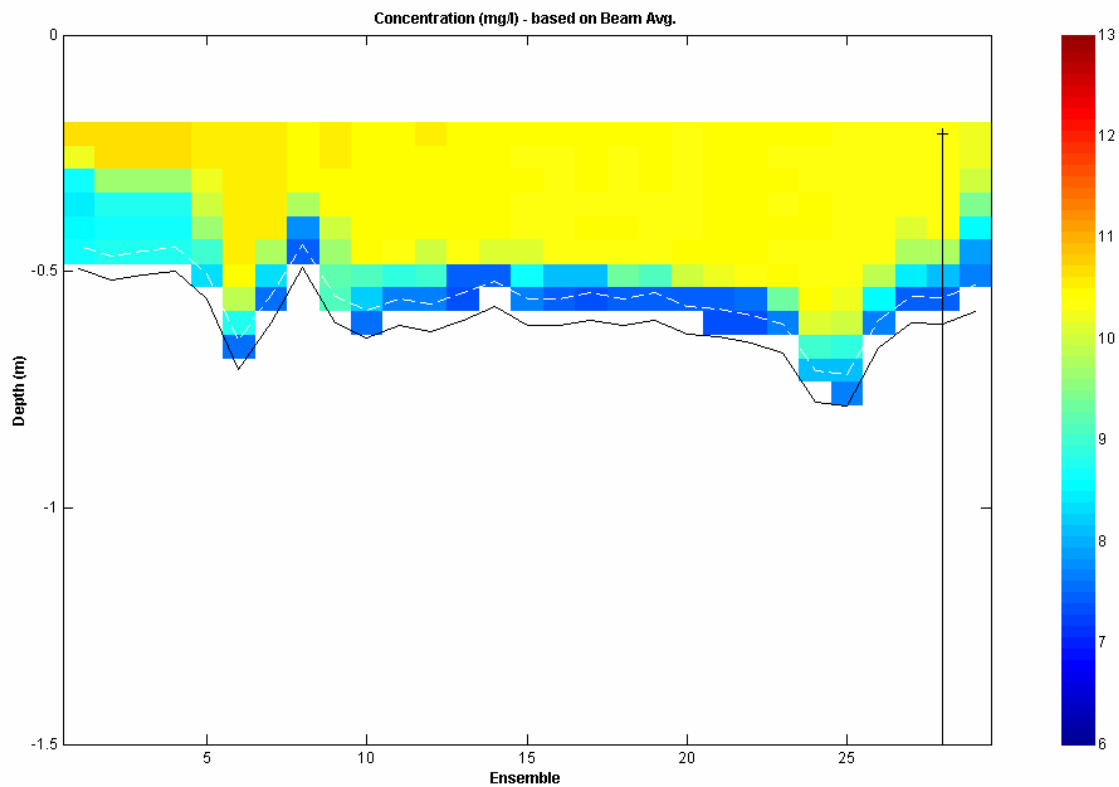


Abbildung 30: Ergebnis der Umrechnung (Konzentration [mg/l]) nach erfolgter Kalibrierung der Messung vom 02.08.2006 an der Sulm

Tabelle 3: Zusammenstellung der Ergebnisse von ausgewählten Vielpunktentnahmen

Messstelle	Datum	Durchfluss	Transport Vielpunktentnahme	Transport ADCP (PDT)
		[m ³ /s]	[kg/s]	[kg/s]
Admont/Enns	08.08.2006	242,0	152,32	149,37
Admont/Enns	18.08.2006	58,2	1,88	2,01
Leibnitz/Sulm	02.08.2006	4,8	0,05	0,05

4 ZUSAMMENFASSUNG

Der erfolgreiche Einsatz einer Trübungssonde zur kontinuierlichen Aufzeichnung von Schwebstoffkonzentrationen hat sich an den Messstelle Admont/Enns im Jahr 2006 bestätigt. An der Sulm war die Trübungsmessung durch starkes „Biofouling“ sehr beeinträchtigt, sodass die erhaltenen Ergebnisse nur sehr bedingt für weitere Auswertungen einsetzbar sind. Die Entnahme von Proben in Sondennähe und deren gravimetrische Auswertung gestaltet sich an der Messstelle Admont als sehr effektiv und erfolgreich. Eine Umrechnung der optisch erfassten Konzentrationsganglinie in eine Ganglinie der Schwebstoffkonzentration in Sondennähe ist daher dort problemlos möglich. Bezüglich der Messstelle Leibnitz wäre zu prüfen, ob auf den Einsatz einer Trübungssonde solange verzichtet werden kann, bis diese technischen Probleme zufrieden stellend gelöst sind und ob stattdessen mit einer intensivierten Flaschenprobenentnahme vorerst das Auslangen gefunden werden kann. Alternativ könnte auch das Intervall der manuellen Reinigung entsprechend verkürzt werden. Die Untersuchungen an Fließgewässern in der Steiermark hinsichtlich der Verwendung von ADCP-Daten zur Bestimmung der Schwebstoffverteilung im Querprofil haben gezeigt, dass diese hierfür geeignet sind. Damit ist mit einer Vereinfachung der verteilten Probenentnahme in naher Zukunft zu rechnen.

5 DANKSAGUNG

Die Bearbeiter bedanken sich für finanzielle Unterstützung durch den Hydrographischen Dienst Steiermark sowie für die gute Kooperation und für die tatkräftige Mithilfe bei der Messkampagne durch die Herren Dipl.-Ing. Dr. R. Schatzl, Ing. W. Verwüster, G. Hochl und H. Jungwirth. Der Leiterin des Umweltlabors des Landes Steiermark, Frau Dipl.-Ing. K. Fröhlich, gebührt unser Dank für die Unterstützung der dort durchgeführten Probenanalysen. Zu Dank sind wir auch der Fa. Aquavision verpflichtet, die uns unentgeltlich für einen Monat ihre Auswertesoftware mit entsprechendem Support zur Verfügung gestellt hat.

6 QUELLENVERZEICHNIS

- Aardom, J. H.; Mol, J.-W. (2005): Quantification of sediment concentrations and fluxes from ADCP measurements, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 12.05, Akustische Doppler Geräte (ADCPs) in der Hydrometrie: Möglichkeiten und Perspektiven einer innovativen Technik, Beiträge zum Seminar am 28./29. September 2005 in Koblenz
- Dinehart, R.; Burau, J (2005): Averaged indicators of secondary flow in repeated acoustic Doppler current profiler crossing of bends; Water resources research, Vol. 41, 2005
- DVWK (1986): Schwebstoffmessungen; Regeln zur Wasserwirtschaft 125/1986, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- Julien, P. (1995): Erosion and Sedimentation, Cambridge University Press, 1995
- Kirchlechner, P., Niedermühlbichler, H. (2004): persönliche Mitteilung, Wien 2004
- Müller, H. W.; Nachtnebel, H. P.; Schwaighofer, B. (1993): Schwebstoffanalyse und –bilanz in Fluss-Stauhaltungen, Schriftenreihe der Forschungsinitiative des Verbundkonzerns, Band 15, 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.
- Sillaber, M. (2004): Optimierung der Schwebstoffmessung an der Ill in Vorarlberg; Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, BOKU Wien, 2004
- Stimpfl, G. (2006): Schwebstoffmonitoring an Mur und Raab, Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, BOKU Wien, 2006
- Wagner, B. (2006): Schwebstoffmonitoring an den Pegelmessstellen Bruck und Golling an der Salzach; Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, BOKU Wien, 2006