



Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Fachabteilung 19A – Wasserwirtschaftliche Planung u. Hydrographie

Stempfergasse 7

8010 Graz

Schwebstoffmessungen an den Pegelstellen

Mureck/Mur und Feldbach/Raab

Vorläufiger Bericht

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

Bearbeitung: Dipl.-Ing. W. Kerschbaumsteiner, Gertrude Stimpfl



Department für Wasser - Atmosphäre - Umwelt

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau

Wien im November 2005

I.	INHALTSVERZEICHNIS	
1	EINLEITUNG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN	6
2	METHODIK	7
2.1	Trübungsmessung	7
2.2	Sondennahe Probenentnahmen (Referenzproben)	7
2.3	Verteilte Probenahme im Querprofil	8
2.4	Anpassung der Trübungsganglinien und Frachtberechnungen	11
2.4.1	Ermittlung des Sondenbeiwertes und Korrektur der Sondenaufzeichnung	11
2.4.2	Ermittlung des Querprofilbeiwertes k_1	12
2.4.3	Frachtberechnungen	13
3	ERGEBNISSE	14
3.1	Messstelle Mureck/Mur	14
3.2	Messstelle Feldbach	21
4	ZUSAMMENFASSUNG	29
5	QUELLENVERZEICHNIS	30

II. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Vakuumfiltrationsanlage und getrockneter Filter mit Rückstand (Fotos: Altenhofer, 2005)	8
Abbildung 2: Probenentnahmeggerät mit 2 eingesetzten 1 l Probeflaschen	8
Abbildung 3: ADCP im Einsatz (Foto: Schatzl, 2005)	9
Abbildung 4: Nielsen – Schwebstoffsammler (li.) und US-P61A Schwebstoffsammler (re.) (Fotos: Stimpfl, 2005 bzw. Wagner, 2005)	10
Abbildung 5: IWHW-Schwebstoffentnahmeggerät mit Funkauslösung zur simultanen Entnahme und Geschwindigkeitsmessung (Foto: Kasess, 2004)	10
Abbildung 6: Konventionelles Auswerteverfahren für Vielpunktmessungen (verändert nach DVWK, 1986)	11
Abbildung 7: Durchfluss- Trübungsganglinie (Sondenaufzeichnung) samt sondennahen Referenzproben in Mureck/Mur vom 01.07.2005 bis 31.08.2005	14
Abbildung 8: Zusammenhang von Sondenaufzeichnung und den bezüglichen Referenzproben (sondennahe Entnahme) für die Messstelle Mureck im Juli und August 2005	15
Abbildung 9: Termine von verteilten Probennahmen im Juli und August 2005 mit Durchflussganglinie an der Messstelle Mureck/Mur	16
Abbildung 10: Schwebstoffverteilung in Mureck/Mur am 04.08.2005	17
Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf von Durchfluss, Sondenaufzeichnung (Trübe) und Konzentration der Referenzproben vor, während und nach der Vielpunktentnahme am 04.08.2005	18
Abbildung 12: Geschwindigkeitsverteilung aus ADCP-Messung vom 06.07.2005 in Mureck/Mur	18
Abbildung 13: Auswertung der Vielpunktentnahme vom 06.07.2005 mittels GIS	19
Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Durchfluss und dem Querprofilbeiwert k1 auf Grundlage der verteilten Probenentnahmen im Juli und August 2005 an der Messstelle Mureck ohne Hochwasser vom 22.08.2005	20
Abbildung 15: Abfluss, Sondenaufzeichnung (Trübe), Referenzproben und korrigierte Sondenaufzeichnung für die Messstelle Mureck/Mur im Sommer 2005	21
Abbildung 16: Solitax ts-line in getauchter und in „Service-Stellung“ (Sondenföhrung: Bautype „Feldbach“)	22
Abbildung 17: Anzeigeeinheit SC1000 in wasserdichtem Stahlkasten am linken Brückenwiderlager montiert	22
Abbildung 18: Durchfluss- Trübungsganglinie (Sondenaufzeichnung) samt sondennahen Referenzproben in Mureck/Mur vom 01.07.2005 bis 31.08.2005 (Trübungsspitzen aus graphischen Gründen gekappt)	23
Abbildung 19: Fouling durch Algenbewuchs im Wischerbereich der Sondenoptik (links und Mitte), rechts nach der Reinigung	23
Abbildung 20: Zusammenhang von Sondenaufzeichnung (mit Fouling) und den bezüglichen Referenzproben (sondennahe Entnahme) für die Messstelle Feldbach im Juli und August 2005	24
Abbildung 21: Zusammenhang von Sondenaufzeichnung (ohne Fehlmessung) und den bezüglichen Referenzproben (sondennahe Entnahme) für die Messstelle Feldbach im Juli und August 2005	24
Abbildung 22: Termine von verteilten Probennahmen im Juli und August 2005 mit Durchflussganglinie an der Messstelle Feldbach/Raab	25
Abbildung 23: Schwebstoffverteilung in Feldbach/Raab am 22.08.2005	26
Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf von Durchfluss, Sondenaufzeichnung (Trübe) und Konzentration der Referenzproben vor, während und nach der Vielpunktentnahme am 22.08.2005	27
Abbildung 25: „Schwebstofffahne“ infolge der Einleitung von Drainagewässern (li.), Rohrmündung (re.) im Bereich der Rudolfsbrücke	27

Abbildung 26: Gegenüberstellung von Durchfluss und Querprofilbeiwert k_1 auf Grundlage der verteilten Probenentnahmen im Juli und August 2005 an der Messstelle Feldbach	28
Abbildung 27: Durchflussganglinie, Sondenaufzeichnung (Trübe), Konzentration der sondennahen Referenzproben und Ganglinie der mittleren Schwebstoffkonzentration (c_M) an der Messstelle Mureck im Juli und August 2005	29

III. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Probenahmen an der Messstelle Mureck/Mur im Sommer 2005	16
Tabelle 2: Schwebstofffracht in Mureck/Mur für Juli und August 2005	21
Tabelle 3: Probenahmen an der Messstelle Feldbach/Raab im Sommer 2005	26
Tabelle 4: Schwebstofffracht in Feldbach/Raab für Juli und August 2005	28

1 EINLEITUNG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN

Um ein Schwebstoffbasismessnetz in Österreich etablieren zu können, wurde im Rahmen der Arbeitsgruppe „Schwebstoffmessung im Hydrographischen Dienst“ im Jahre 2004 beschlossen, einen Leitfaden zur Schwebstoffmessung in Österreich herauszugeben. Basis dieses Leitfadens bilden Pilotuntersuchungen an verschiedenen mit Trübungssonden ausgestatteten Abflussmessstellen in Österreich, die anhand der kontinuierlich aufgezeichneten Trübe sowie mittels Entnahme von Schwebstoffproben Rückschlüsse auf den Schwebstofftransport in den betreffenden Fließgewässern erzielbar machen sollten. Im Land Steiermark wurden hierfür die Messstellen Mureck/Mur und Feldbach/Raab ausgewählt, wobei die Messstelle an der Raab eher temporären Charakter hat, da sie in erster Linie Informationen für ein schutzwasserwirtschaftliches Grundsatzkonzept an der Raab bereitstellen soll.

Zur Erfassung des Schwebstofftransportes an den betreffenden Abflussmessstellen im Sommer 2005 wurde in Mureck vom HD Steiermark eine Trübungssonde (Solitax ts-line[®] der Fa. Hach-Lange) im Bereich der Pegelstiege ins Gewässer eingesetzt. Die Baubezirksleitung Feldbach führte den Sondereinbau (ebenfalls Solitax ts-line[®]) in Feldbach an der Raab im Bereich der Rudolfsbrücke (Grazerstraße), etwa 200 m flussaufwärts des Pegels, durch. Im Rahmen der Diplomarbeit von Frau Gertrude Stimpfl fanden Schwebstoffentnahmen an beiden Standorten, jeweils sowohl an den Ufern als auch verteilt in den Querprofilen zu verschiedenen Zeitpunkten statt, um einerseits eine Anpassung der optisch registrierten Konzentrationsganglinie an die gravimetrisch bestimmten Konzentrationen vornehmen als auch durch die verteilte Probennahme die Repräsentativität des ufernahen Entnahmepunktes sowie der Sondenposition feststellen zu können.

Es ist Aufgabe der Untersuchungen, mit den erzielten Ergebnissen, 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. Da bei den Messungen in Mureck das beim HD Steiermark seit kurzem vorhandene ADCP zur Durchflussmessung im Einsatz ist, sollen die Möglichkeiten dieser Technologie im Rahmen der Schwebstoffmessung hervorgehoben werden.

Als Teilziele können definiert werden:

- Datengewinnung für die Optimierung der Probenahmen im zukünftigen Routinebetrieb
- Darstellung von Geschwindigkeits-, Konzentrations- und Transportprofilen
- Herstellen eines Zusammenhanges zwischen Sondaufzeichnungen und Schwebstoffkonzentrationen aus Uferentnahmen („Sondenbeiwert“).

- Ableitung eines „Querprofilbeiwertes“ aus dem Verhältnis mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil und Uferentnahme
- Einsatz des ADCP im Rahmen von Schwebstoffmessungen
- Kombination aller relevanten Messdaten zur Ableitung der Schwebstofffrachten für die beobachteten Zeiträume

Der vorliegende Bericht stellt erste vorläufige Ergebnisse der Messungen vom Sommer 2005 zusammen, die im Rahmen der Diplomarbeit von Fr. Gertrude Stimpfl noch vertieft bearbeitet und dargestellt werden.

2 METHODIK

Wie bereits oben kurz beschrieben, wird an geeigneter Stelle im Gewässer eine Trübungssonde (Solitax ts-line®) eingesetzt, die durch quasi permanente Aufzeichnung der Gewässertrübung eine Ganglinie erzeugt. Diese Trübungsganglinie muss anhand von Referenzproben (Entnahmen möglichst in Sondennähe) im post-processing korrigiert werden, 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, 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.

2.1 Trübungsmessung

Die Messung erfolgt grundsätzlich in Trübungseinheiten (FNU, NTU, etc.); die zugehörige Anzeigeeinheit (SC 1000® oder SC100® der Fa. Hach-Lange) kann jedoch auf die Ausgabe von Schwebstoffkonzentrationen (mg/l Trockensubstanz u. dergl.) umgestellt werden. Der mit dem Streulichtverfahren registrierende Sensor ist mit seinem Messfenster in Fließrichtung ausgerichtet und für Reinigungs- und Wartungszwecke herausnehmbar installiert. 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.

2.2 Sondennahe Probenentnahmen (Referenzproben)

Die sondennah entnommenen Wasserproben werden gravimetrisch nach ÖNORM M 6274 u. DIN 38409-H2 mittels Vakuumfiltration unter Verwendung von Celluloseacetat-Filtern (Porengröße 0,45 µm;) (Abbildung 1) ausgewertet. Die Probemenge beträgt etwa 1 l, wobei

die gesamte Probe und nicht eine Teilprobe filtriert werden soll. Dies ist erforderlich, da eine vollständige Homogenisierung der Probe, insbesondere bei hohem Sandanteil, nur schwierig zu bewerkstelligen ist.



Abbildung 1: Vakuumfiltrationsanlage und getrockneter Filter mit Rückstand (Fotos: Altenhofer, 2005)

Die Entnahme im Fluss selbst erfolgt mit einem einfachen Probennehmer, an dem die Probeflasche befestigt ist und durch Schwerkraft in der Wassersäule abgesenkt und befüllt werden kann (Abbildung 2).



Abbildung 2: Probenentnahmegesetz mit 2 eingesetzten 1 l Probeflaschen

2.3 Verteilte Probenahme 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 an der Mur durch den Einsatz des ADCP (Workhorse Rio Grande ZedHed® der Firma RD Instruments - Abbildung 3; Messsoftware WinRiver® und Auswertesoftware Agila®) schnell und relativ komfortabel vor den Schwebstoffentnahmen durchgeführt. Steht das ADCP nicht zur Verfügung, werden die lokalen Fließgeschwindigkeiten mittels Messflügel ebenfalls vor den Entnahmen ermittelt. Werden lediglich Integrationsentnahmen durchgeführt, können bei Verwendung eines isokinetisch arbeitenden Probenehmers und Anwendung der „Equal width increment method“ die Geschwindigkeitsmessungen entfallen. Ansonsten reicht die Kreps-Messung zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit in der Lotrechten für Integrationsmessungen aus.



Abbildung 3: ADCP im Einsatz (Foto: Schatzl, 2005)

Die verteilte Probenahme nimmt je nach Anzahl der Messlotrechten und Probepunkte je Lotrechter sowie Breite des Profils für die Entnahme Zeit in Anspruch. Dies bedingt unter Umständen Probleme bei der Auswertung der Probeentnahmen, 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 Mureck hauptsächlich mit dem US-P61A Schwebstoffsammler (Abbildung 4), der in erster Linie für Vielpunktentnahmen eingesetzt wird und dem Nielsen-Sammler (Abbildung 4), der für Integrationsentnahmen Verwendung findet, durchgeführt. Zu Beginn der Feldarbeiten wurde außerdem noch das IWHW-Entnahmegesetz (Abbildung 5) für Vielpunktentnahmen eingesetzt. In Feldbach wurden hauptsächlich Flaschenproben mit dem einfachen Schöpfgerät (Abbildung 2) in mehreren Lotrechten von der Brücke aus vorgenommen, da meist die Wassertiefen einen sinnvollen Einsatz der beiden oben genannten Entnahmegesetze nicht zulassen. Bei größeren Durchflüssen kamen dort auch die beiden oben genannten Geräte zum Einsatz.



Abbildung 4: Nielsen – Schwebstoffsammler (li.) und US-P61A Schwebstoffsammler (re.) (Fotos: Stimpfl, 2005 bzw. Wagner, 2005)



Abbildung 5: IHWW-Schwebstoffentnahmegesetz mit Funkauslösung zur simultanen Entnahme und Geschwindigkeitsmessung (Foto: Kasess, 2004)

Die Bestimmung von c_M aus einer Vielpunkt- bzw. Integrationsmessung erfolgt, indem nach Bestimmung des Schwebstofftransportes dieser durch den zugehörigen Durchfluss dividiert wird. Abbildung 6 zeigt schematisch die Vorgangsweise bei der konventionellen Auswertung der Vielpunktentnahme. Die Auswertung einer Integrationsentnahme kann in ähnlicher Weise vorgenommen werden, wobei die Ermittlung des Schwebstofftriebs für die einzelnen Entnahmevertikalen vereinfacht aus dem Produkt von mittlerer Geschwindigkeit und mittlere Konzentration aus der Integrationsprobe erfolgt.

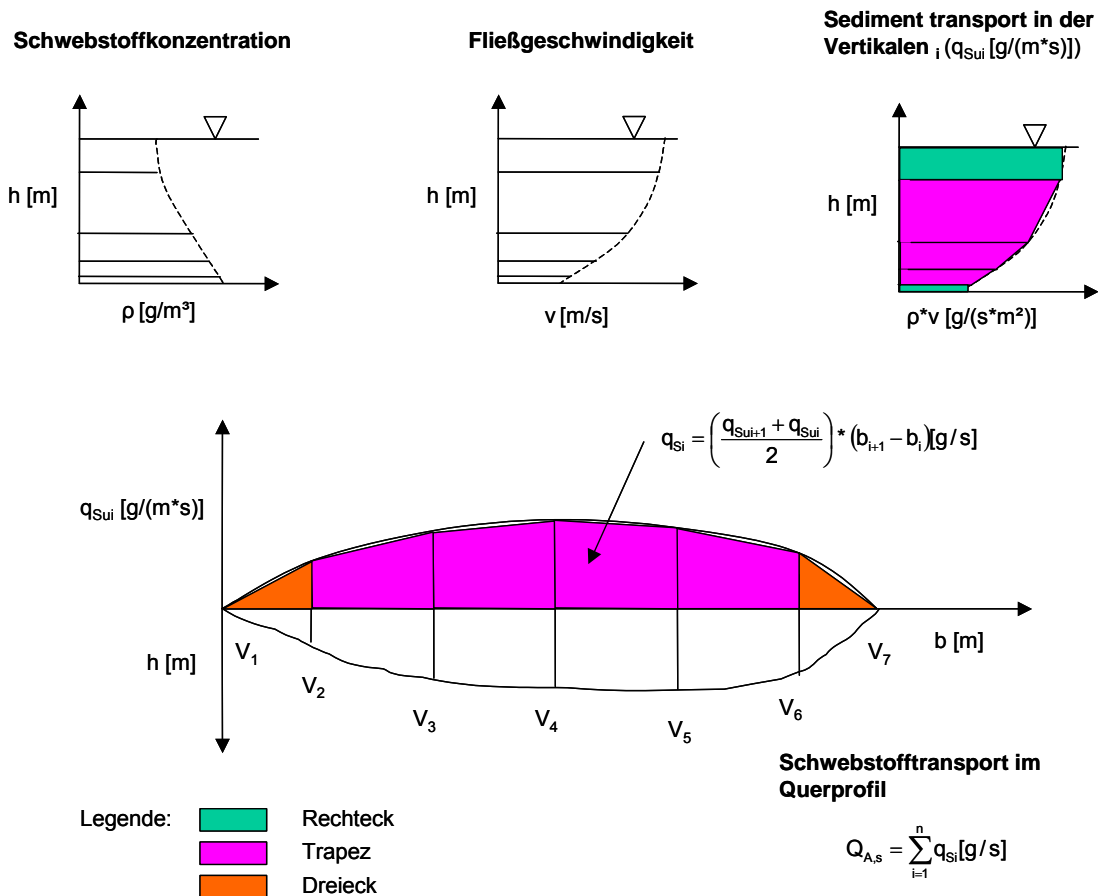


Abbildung 6: Konventionelles Auswerteverfahren für Vielpunktmessungen (verändert nach DVWK, 1986)

2.4 Anpassung der Trübungsganglinien und Frachtberechnungen

2.4.1 Ermittlung des Sondenbeiwertes und Korrektur der Sondaufzeichnung

Die vom Trübungssensor aufgezeichnete Ganglinie (15 min. Mittelwerte) 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 längerem Zeitraum identifiziert, muss der betroffene Zeitraum als Sondausfall 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. 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 miteinzubeziehen. In Zeiten von niedrigen Wasserständen können die Sensoren trocken fallen und völlig irrealen Werte liefern. Nach Eliminierung derartiger Messwerte stellt ein solcher „Sondenausfall“ nach erster Einschätzung für die Frachtberechnung kein besonderes Problem dar, da der 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 der Sondenaufzeichnungen auf sondennahe Schwebstoffkonzentration auf zwei Wegen erfolgen, wobei auch eine Kombination von beiden denkbar ist:

- a) laufende Berechnung des Sondenbeiwertes k_2 mittels Division der gravimetrisch bestimmten Schwebstoffkonzentrationen (c_R) durch den zugehörigen Sondenaufzeichnungen (c_S) mit anschließender linearer Interpolation der aperiodischen Korrekturfaktoren (Kirchlechner u. Niedermühlbacher, 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.

$$k_2 = \frac{c_R}{c_S}$$

- b) Umrechnung der von der Sonde aufgezeichneten Konzentrationswerte mittels einer Schätzfunktion, die auf Basis einer Regressionsanalyse zwischen Sondenmesswerten und gravimetrisch bestimmten Schwebstoffkonzentration 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 aufweisen, aber unregelmäßige Entnahmeintervalle aufweisen.

2.4.2 Ermittlung des Querprofilbeiwertes k_1

Wie bereits oben ausgeführt, wird die quasi-permanente Aufzeichnung 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, sodass mit Hilfe von Regressionsgleichungen empirische Zusammenhänge hergestellt werden können, die es ermöglichen, für sämtliche Durchflüsse Querprofilbeiwerte zu schätzen.

$$k_1 = \frac{c_M}{c_R}$$

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 sind noch vorgesehen.

2.4.3 Frachtberechnungen

Da Durchfluss und mittlere Schwebstoffkonzentrationen in 15-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).

3 ERGEBNISSE

3.1 Messstelle Mureck/Mur

Am 06.07.2005 wurde die Solitax-ts line Sonde mit der Anzeigeeinheit SC100 in Mureck in Betrieb genommen. Die Sonde wurde in ein Schutzrohr eingepasst, das wiederum an einem gelenkig gelagerten Ausleger fixiert ist. Dieses Gelenk ist nahe dem oberen Ende der Pegelstiege montiert, sodass mit Hilfe einer fix befestigten Kette der Ausleger samt Sonde aus dem Gewässer für Servicearbeiten herausgeklappt werden kann (Konstruktion und Bau: HD Steiermark).

Das Ergebnis der Datenaufzeichnung ist die in Abbildung 7 dargestellte Trübungsganglinie mit dem Durchfluss und den sondennah entnommenen, gravimetrisch ausgewerteten Schwebstoffproben.

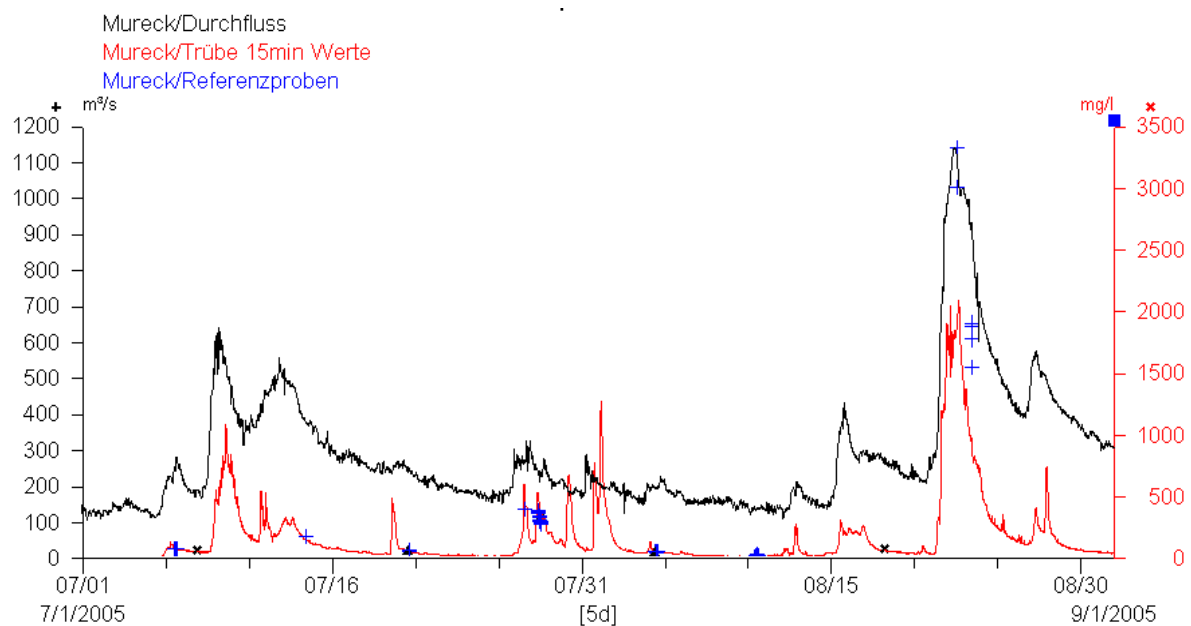


Abbildung 7: Durchfluss- Trübungsganglinie (Sondenaufzeichnung) samt sondennahen Referenzproben in Mureck/Mur vom 01.07.2005 bis 31.08.2005

Der Zusammenhang zwischen den Sondenaufzeichnungen und den Referenzproben ist in Abbildung 8 dargestellt. Ein einfaches lineares Modell wurde zur Aufstellung einer Schätzfunktion für die ufernahen Referenzkonzentrationen verwendet. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,9. Die Betrachtung der Graphik lässt den Schluss zu, dass es bei Anwendung des hier gefundenen Zusammenhanges im mittleren Konzentrationsbereich zu einer Überschätzung der Konzentrationen kommt, während in den hohen Messbereichen die Konzentrationen etwas unterschätzt werden.

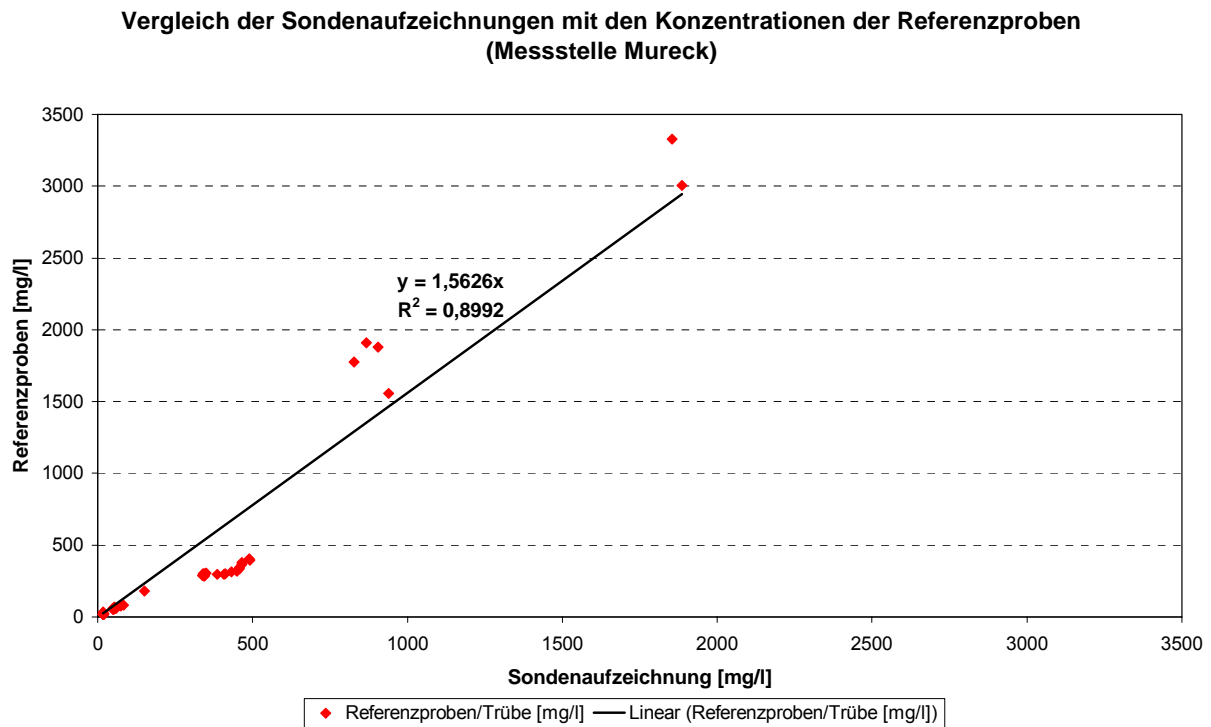


Abbildung 8: Zusammenhang von Sondenaufzeichnung und den zugeordneten Referenzproben (sondennahe Entnahme) für die Messtelle Mureck im Juli und August 2005

Um nun die unterschiedliche Verteilung des Schwebstoffs im Querprofil erfassen zu können, wurden verschiedene verteilte Probeentnahmen durchgeführt.

Die Termine sind in Abbildung 9 übersichtlich dargestellt, wobei zum Zeitpunkt des Hochwassers im August an zwei Tagen Proben entnommen wurden. Tabelle 1 weist die unterschiedlichen Entnahmen im Detail aus.

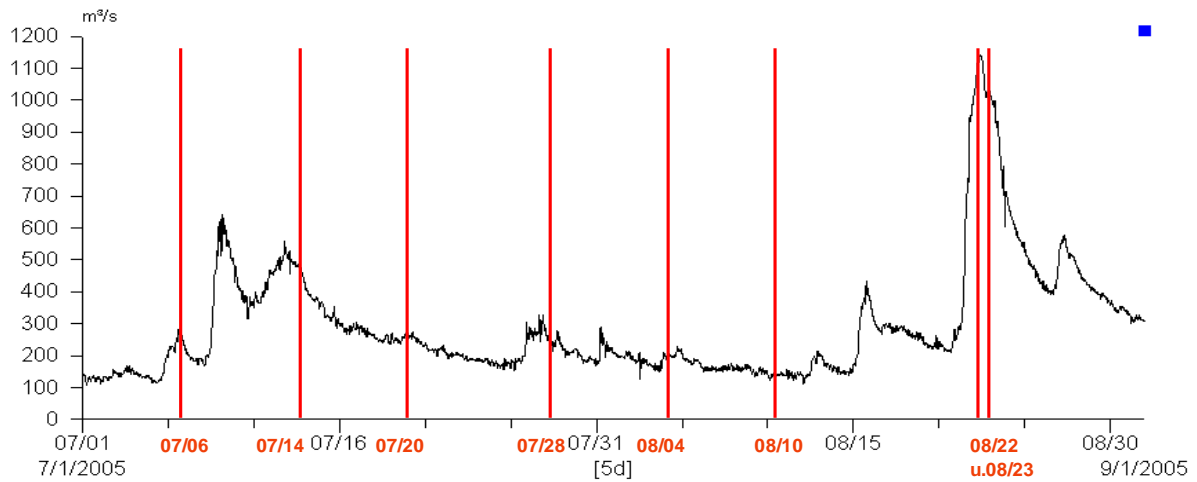


Abbildung 9: Termine von verteilten Probenahmen im Juli und August 2005 mit Durchflussganglinie an der Messstelle Mureck/Mur

Tabelle 1: Probenahmen an der Messstelle Mureck/Mur im Sommer 2005

Datum	Messung	Messgerät
06.07.2005	Vielpunktmessung 3 Lotrechte (4 Tiefenst.) Integrationsmessung 13 Lotrechte 2 ADCP-Messungen	IWHW-Sammler Nielsen S. (HD NÖ)
14.07.2005	Oberflächenentnahme 14 Lotrechte 1 Flügelmessung 1 ADCP-Messung Entnahme Großprobe	IWHW-Sammler
20.07.2005	1 Vielpunktmessung 5 Lotrechte (4 Tiefenst.) 1 Integrationsmessung 6 Lotrechte 1 ADCP-Messung 1 mobiler Sondeneinsatz (in Tiefe der fixen Sonde)	US-P61 Sampler US-P61 Sampler
28.07.2005	1 Integrationsmessung 13 Lotrechte 1 Flügelmessung keine ADCP-Messung (Sicherung kaputt) 1 Dauermessung 4h	Nielsen S. (HD NÖ) Schöpfgerät, Nielsen S.
04.08.2005	1 Vielpunktmessung 6 Lotrechte (4 Tiefenst.) 1 Integrationsmessung 6 Lotrechte 1 Integrationsmessung 6 Lotrechte 1 ADCP-Messung 1 Dauermessung 4h	US-P61 Sampler US-P61 Sampler Nielsen S. (Fa. Seba) Schöpfgerät
10.08.2005	1 Vielpunktmessung 6 Lotrechte (4 Tiefenst.) 1 Integrationsmessung 6 Lotrechte 1 Integrationsmessung 6 Lotrechte 1 ADCP-Messung 1 Dauermessung 5,5h	US-P61 Sampler US-P61 Sampler Nielsen S. (Fa. Seba) Schöpfgerät, Nielsen S. + US-P61 S.
22.08.2005	2 Uferproben	Schöpfgerät
23.08.2005	1/2 Integrationsmessung 1 Flügelmessung Entnahme Uferproben Entnahme Großprobe	Nielsen S. (Fa. Seba)

Beispielhaft werden die Ergebnisse der Vielpunktentnahmen vom 04.08.2005 und 06.07.2005 dargestellt (Abbildung 10). Beachtung wird den weitgehend stationären Verhältnissen hinsichtlich Trübe, Durchfluss und die relativ gute Übereinstimmung von Sondenaufzeichnung und Referenzproben geschenkt. Die lokalen Geschwindigkeiten zur Auswertung der Vielpunktmessung wurden aus der zugehörigen ADCP-Geschwindigkeitsverteilung entnommen. Die Vielpunktentnahme vom 06.07.2005 wurde mittels GIS-Software ausgewertet und graphisch dargestellt (Abbildung 13). Die ADCP-Messung (Abbildung 12) bildet die Grundlage für die Interpolation der Geschwindigkeitsverteilung, die Schwebstoffkonzentrationsverteilung basiert auf einer Vielpunktentnahme, die mit dem IWHW-Gerät durchgeführt wurde.

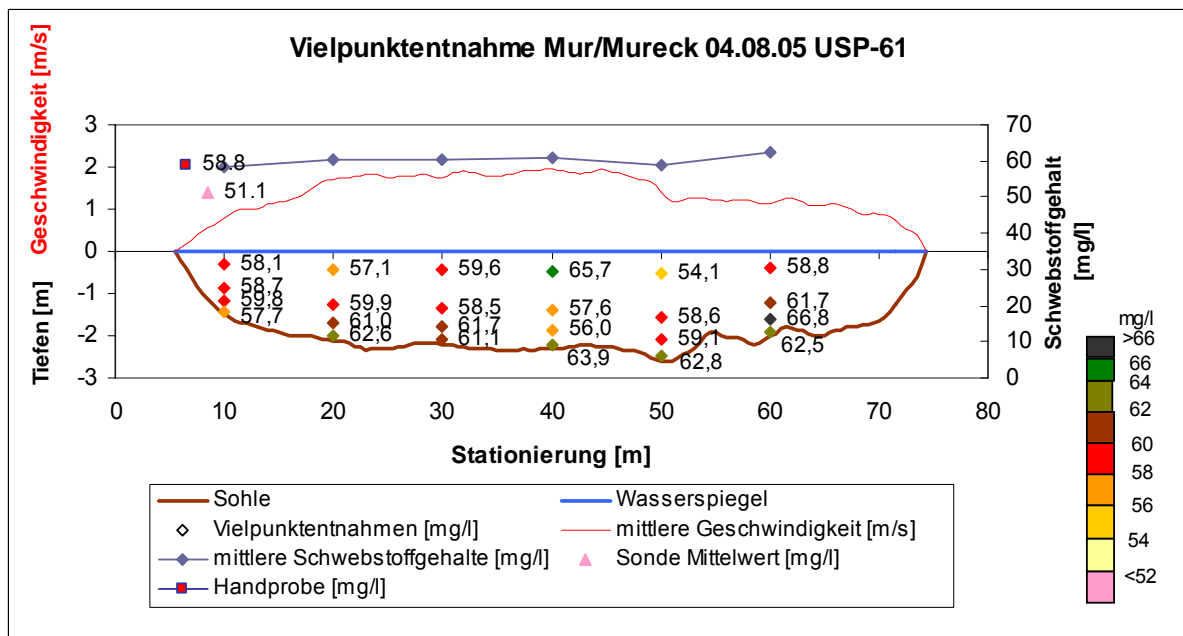


Abbildung 10: Schwebstoffverteilung in Mureck/Mur am 04.08.2005

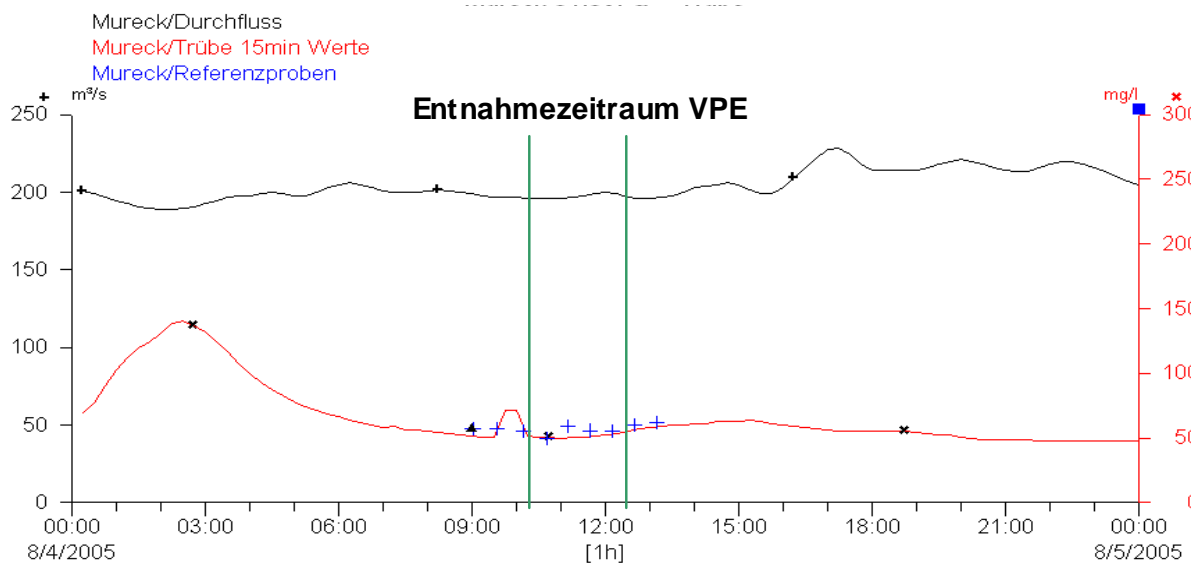


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf von Durchfluss, Sondenaufzeichnung (Trübe) und Konzentration der Referenzproben vor, während und nach der Vielpunktentnahme (VPE) am 04.08.2005

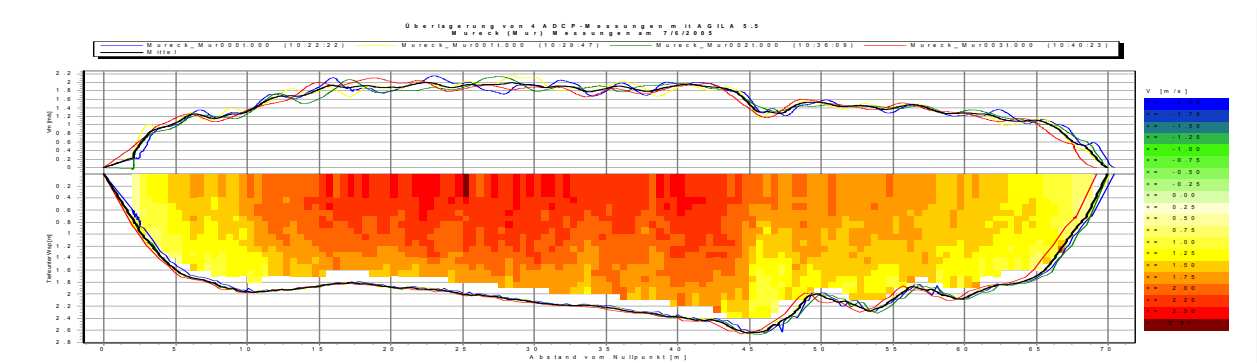


Abbildung 12: Geschwindigkeitsverteilung aus ADCP-Messung vom 06.07.2005 in Mureck/Mur

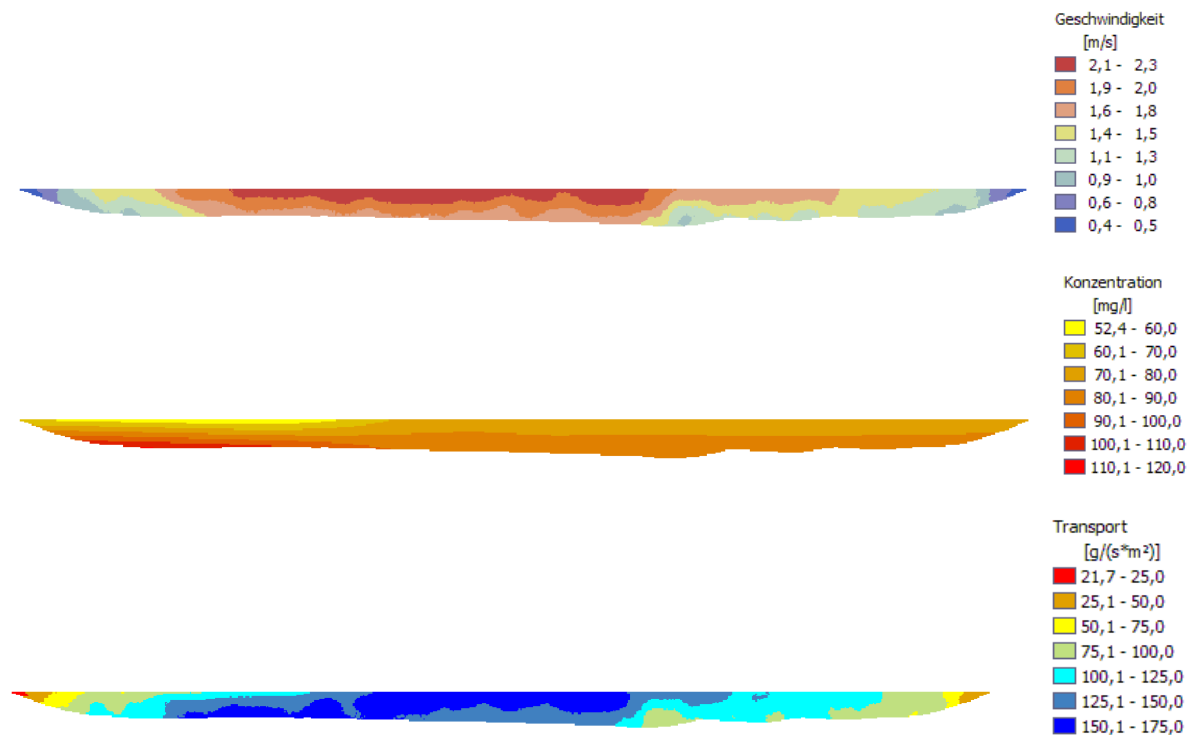


Abbildung 13: Auswertung der Vielpunktentnahme vom 06.07.2005 mittels GIS

Auf Basis der verteilten Probennahmen konnten Querprofilbeiwerte errechnet werden, die in der Abbildung 14 zusammengestellt wurden. Unter Annahme eines linearen Zusammenhanges ergibt sich, dass sich Durchfluss und Querprofilbeiwert k_1 indirekt proportional ($R^2 = 0,7$) zueinander verhalten. Für Durchflüsse größer $260 \text{ m}^3/\text{s}$ wird der Querprofilbeiwert konstant mit 1 angenommen. Bedingt durch den hohen Schwimmstofftrieb war eine Integrationsentnahme während des Hochwassers nur eingeschränkt möglich. Es konnten integrative Beprobungen in 3 von 6 vorgesehenen Lotrechten durchgeführt und daraus eine mittlere Schwebstoffkonzentration (c_M) abgeschätzt werden. Der daraus resultierende Querprofilbeiwert liegt etwas über 1 und stützt damit die vorläufige Arbeitshypothese, da eine statistisch zuverlässige Aufstellung dieses empirischen Zusammenhanges noch weitere Beobachtungen erfordert.

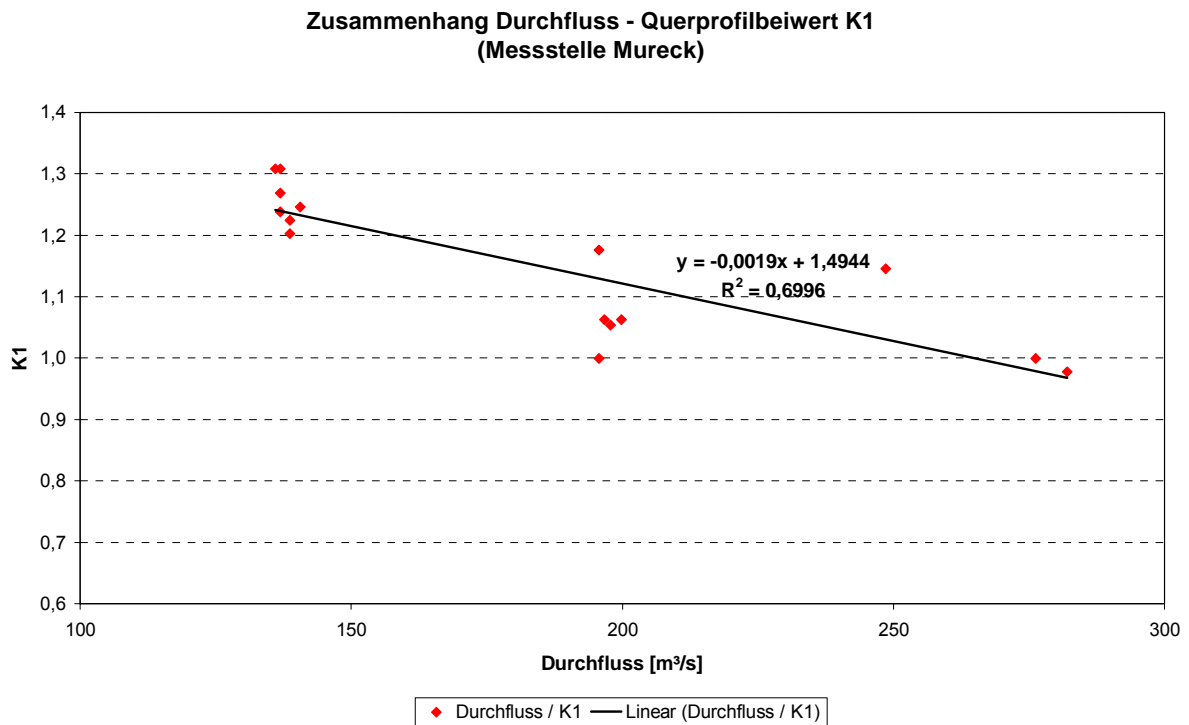


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Durchfluss und dem Querprofilbeiwert k1 auf Grundlage der verteilten Probenentnahmen im Juli und August 2005 an der Messstelle Mureck ohne Hochwasser vom 22.08.2005

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). Bedingt durch die großen Abweichungen der Referenzproben von der Trübungsganglinie zum Zeitpunkt des Hochwasserscheitels um den 22.08.2005 bewirkt die Umrechnung der Sondenwerte auf ufernahe Konzentrationen eine bedeutende Hebung des entsprechenden Konzentrationsverlaufes (Abbildung 15). Das Produkt aus Durchfluss und mittlerer Konzentration ergibt den zeitlichen Verlauf des Schwebstofftransportes, der zeitlich integriert zur Fracht summiert wird. Es hat sich somit in den Sommermonaten Juli und August 2005 eine Schwebstofffracht von etwa 790.000 t Trockensubstanz ergeben (Tabelle 2).

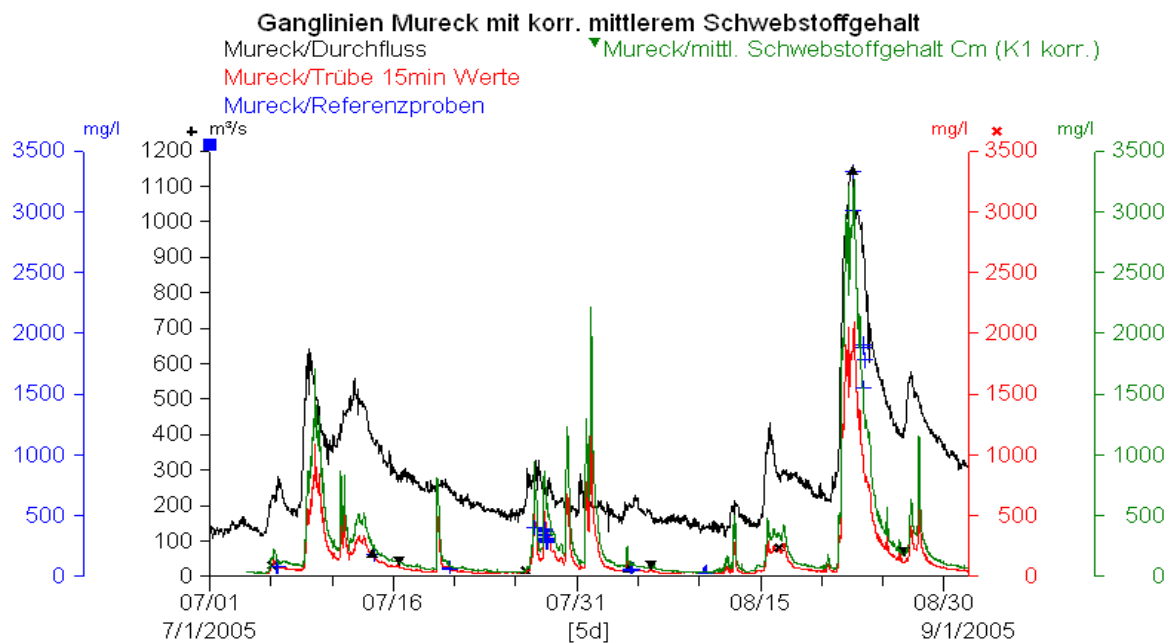


Abbildung 15: Abfluss, Sondenaufzeichnung (Trübe), Referenzproben und korrigierte Sondenaufzeichnung für die Messstelle Mureck/Mur im Sommer 2005

Tabelle 2: Schwebstofffracht (Trockensubstanz) in Mureck/Mur für Juli und August 2005

ZEITRAUM	SCHWEBSTOFFFRACHT [T TS]
04.07.2005 – 31.07. 2005	199.000
01.08.2005 – 31.08. 2005	586.000

3.2 Messstelle Feldbach

Ähnlich wie in Mureck wurde Ende Juni 2005 wurde eine Solitax-ts line Sonde mit der Anzeigeeinheit SC1000 in Feldbach in Betrieb genommen. Die Konstruktion der Bezirksbauleitung Feldbach integriert den Trübungssensor in ein Schutzrohr, das wiederum in einem aufgestellten U-Profil, auf Kunststoffrollen gelagert und stufenlos höhenverstellbar, fixiert ist. Diese Konstruktion bietet den Vorteil, dass bei beliebigen Wasserständen die Sonde zu Wartungszwecken schadlos aus dem Wasser gezogen werden kann.



Abbildung 16: Solitax ts-line in getauchter und in „Service-Stellung“ (Sondenföhrung: Bautype „Feldbach“)



Abbildung 17: Anzeigeeinheit SC1000 in wasserdichtem Stahlkasten am linken Bröckenwiderlager montiert

Das Ergebnis der Datenaufzeichnung ist die in Abbildung 18 dargestellte Trübungsganglinie mit dem Durchfluss und den sondennah entnommenen, gravimetrisch ausgewerteten Schwebstoffproben. Bemerkenswert ist, dass ab etwa 26.07.2005 das bereits oben beschriebene „Fouling“ eintritt und sich die bis dahin einigermaßen parallel laufenden Sondaufzeichnungen von den Referenzkonzentrationen immer weiter entfernen und beim Auftreten der Hochwasserwelle am 31.07.2005 sehr hohe Werte annehmen, jedoch in der Folge nicht mehr auf die Ausgangskonzentration zurückgehen. Erst die Reinigung der Sonde (Abbildung 19) am 18.08.2005 föhrt zu einer Angleichung der optisch registrierten Konzentrationen an die gravimetrisch bestimmten Schwebstoffkonzentrationen.

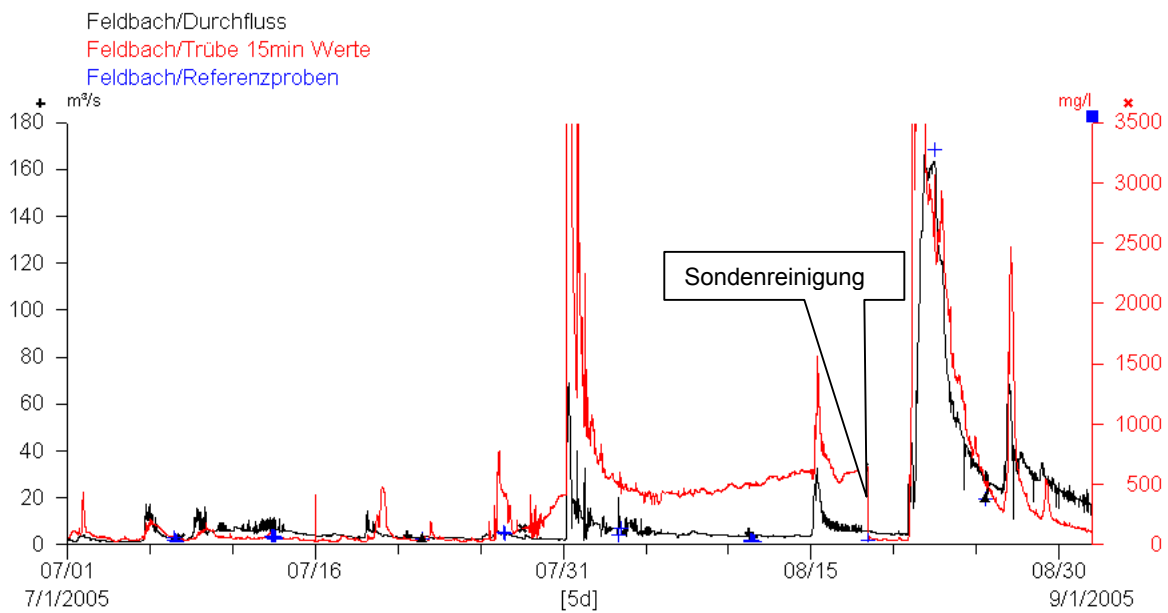


Abbildung 18: Durchfluss- Trübungsganglinie (Sondenaufzeichnung) samt sondennahen Referenzproben in Feldbach/Raab vom 01.07.2005 bis 31.08.2005 (Trübungsspitzen aus graphischen Gründen gekappt)



Abbildung 19: Fouling durch Algenbewuchs im Wischerbereich der Sondenoptik (links und Mitte), rechts nach der Reinigung

Der Zusammenhang zwischen den Sondenaufzeichnungen und den Referenzproben ist in Abbildung 20 dargestellt. Die Messungen während des Algenbewuchses auf der Sondenoptik weichen eindeutig vom sonstigen Zusammenhang ab und können daher als Fehlregistrierungen qualifiziert werden.

Nach Ausscheiden der fehlerhaften Messwerte wurde mit dem Rest eine Regressionsanalyse durchgeführt, wobei ein einfaches lineares Modell zur Anwendung kam. Die Schätzfunktion für die ufernahen Referenzkonzentrationen weist einen Korrelationskoeffizienten von 0,91 auf. Die Umrechnung der Sondenmesswerte in sondennahe Schwebstoffkonzentrationen erfolgt anhand der Schätzfunktion gemäß Abbildung 21.

Vergleich Sondenaufzeichnung mit Referenzproben (Feldbach/Raab)

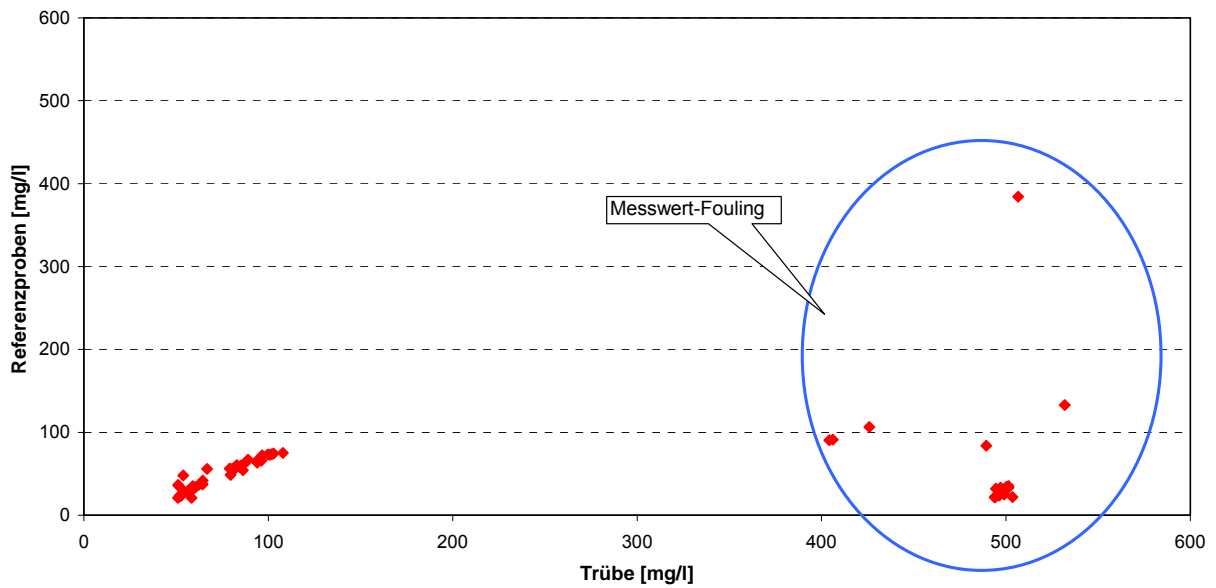


Abbildung 20: Zusammenhang von Sondenaufzeichnung (mit Fouling) und den bezüglichen Referenzproben (sondennahe Entnahme) für die Messstelle Feldbach im Juli und August 2005

Vergleich Sondenaufzeichnung mit Referenzproben ohne "Fouling" (Raab/Feldbach)

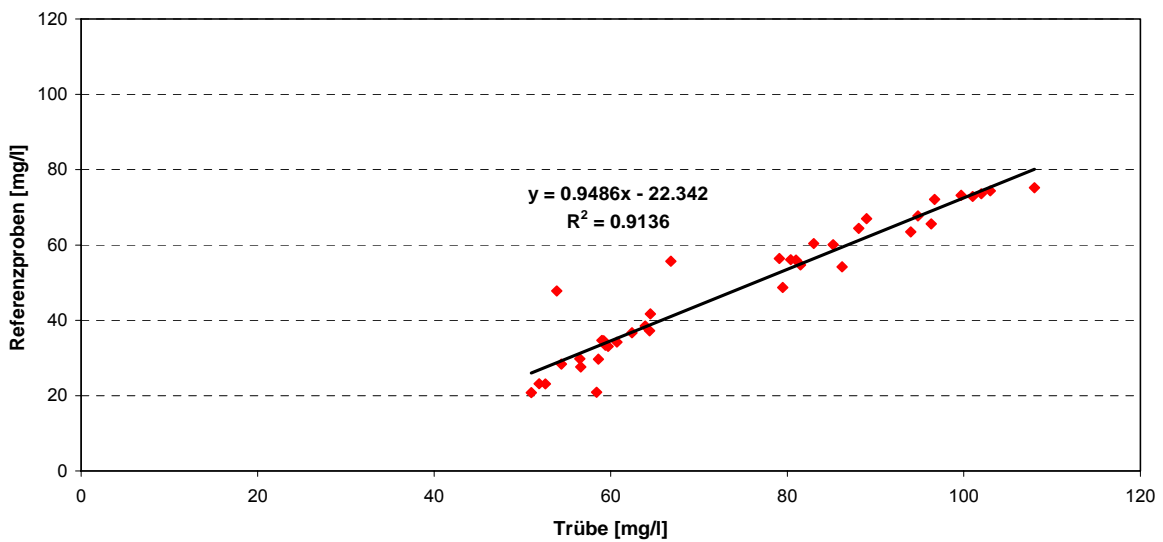


Abbildung 21: Zusammenhang von Sondenaufzeichnung (ohne Fehlmessung) und den bezüglichen Referenzproben (sondennahe Entnahme) für die Messstelle Feldbach im Juli und August 2005

Um nun auch hier die unterschiedliche Verteilung des Schwebstoffs im Querprofil erfassen zu können, wurden verschiedene, verteilte Probenentnahmen durchgeführt.

Die Termine sind in Abbildung 22 übersichtlich dargestellt. Tabelle 3 weist die unterschiedlichen Entnahmezeitpunkte, zugehörigen Durchflüsse, mittleren Konzentrationen, die Entnahmemethode und das verwendete Entnahmeggerät aus.

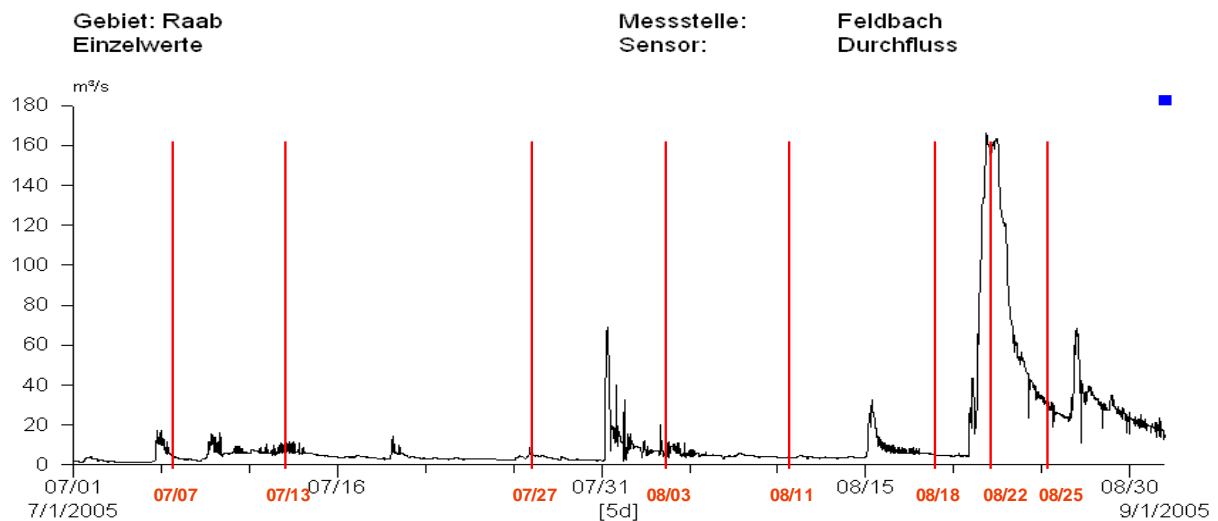


Abbildung 22: Termine von verteilten Probennahmen im Juli und August 2005 mit Durchflussganglinie an der Messstelle Feldbach/Raab

Tabelle 3: Probenahmen an der Messstelle Feldbach/Raab im Sommer 2005

Datum	Messung	Messgerät
07.07.2005	Schöpfentnahmen übers Querprofil in je 9 Lotrechten, unterhalb und oberhalb der Brücke (7 + 2 Uferpr. li.+ re.)	Schöpfgerät
	1 Dauermessung 4h	Schöpfgerät
	1 Flügelmessung oberhalb der Brücke (Kreps Meth.)	
13.07.2005	Schöpfentnahmen übers Querprofil in je 9 Lotrechten, unterhalb und oberhalb der Brücke (7 + 2 Uferpr. li.+ re.)	Schöpfgerät
	1 Dauermessung 4h	Schöpfgerät
22.07.2005	Uferprobe durch Hr. Spath	Kübel
27.07.2005	Versuch einer Vielpunktmessung mit an einer Stange befestigtem Schnorchel des Nielsen S. -> fehlgeschlagen	
	Schöpfentnahmen übers Querprofil in 9 Lotrechten, unterhalb der Brücke (7 + 2 Uferpr. li.+ re.)	Schöpfgerät
	Entnahme Großprobe 40l am linken Ufer	Schöpfgerät
03.08.2005	Vielpunktmessung in 2 Tiefenstufen (0,20*t u. 0,80*t) - oberhalb der Brücke	Nielsen Sammler
	1 Flügelmessung oberhalb der Brücke (Kreps Meth.)	
11.08.2005	1 Dauermessung 6h	Schöpfgerät
18.08.2005	Uferproben	Schöpfgerät
	Reinigung der Sonde	
22.08.2005	Schöpfentnahmen übers Querprofil in 8 Lotrechten, unterhalb der Brücke (7 + 21Uferpr. li.) - HQ	Schöpfgerät
	Entnahme Großprobe 30l in Flussmitte	Kübel
25.08.2005	Vielpunktmessung in 3 Tiefenstufen (0,20*t, 0,40*t u. 0,80*t) unterhalb der Brücke, 7 Lotrechte	US-P61 Sampler
	Mobile Sonde mitgeführt, nach 4 Lotrechten keine Datenübertragung mehr	
	Flügelmessung - nach 3 Lotrechten Zählgerät kaputt	

Exemplarisch werden die Ergebnisse der Vielpunktentnahme vom 22.08.2005 dargestellt (Abbildung 23) sowie der Verlauf des Durchflusses und der Sondenaufzeichnung vor, während und nach der verteilten Entnahme (Abbildung 24).

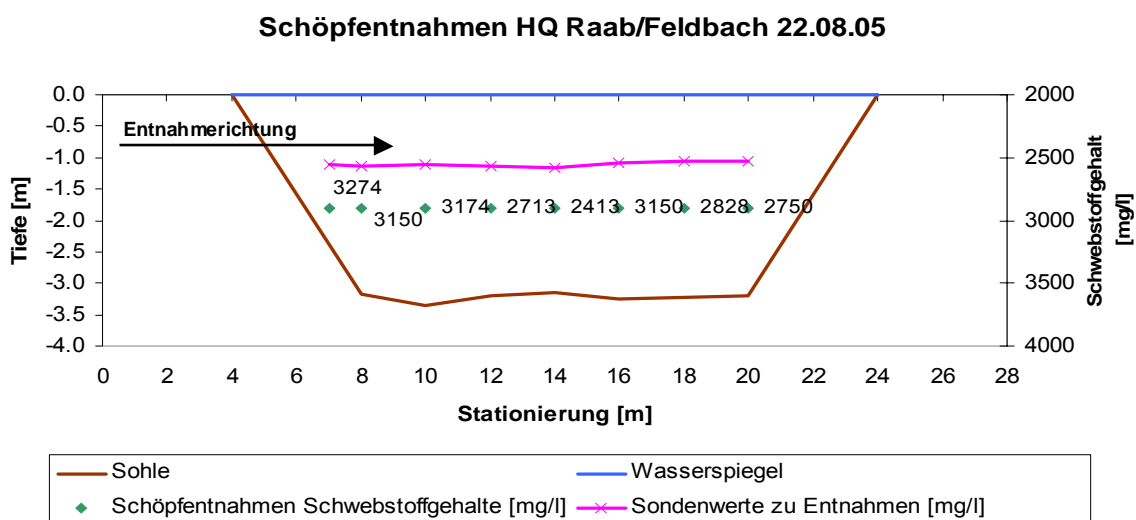


Abbildung 23: Schwebstoffverteilung in Feldbach/Raab am 22.08.2005

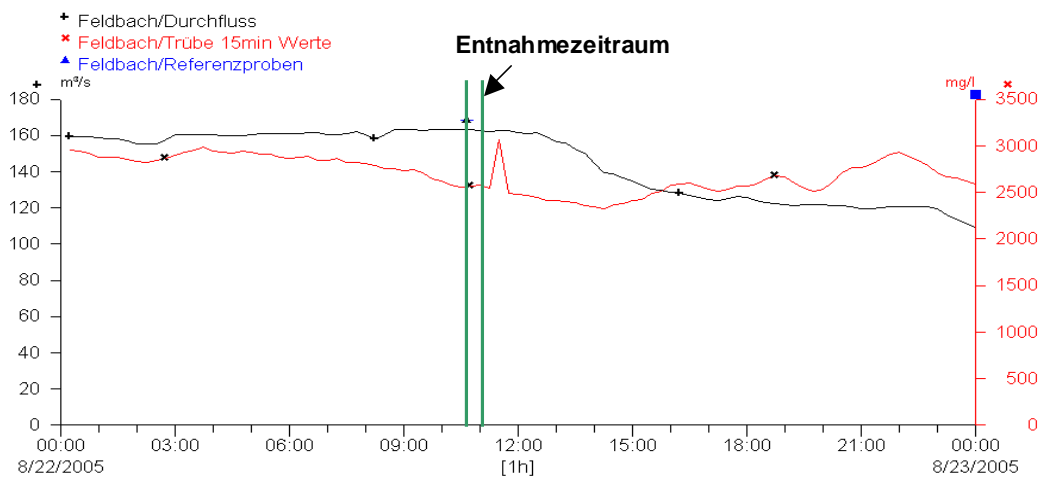


Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf von Durchfluss, Sondaufzeichnung (Trübe) und Konzentration der Referenzproben vor, während und nach der Vielpunktentnahme am 22.08.2005

Auf Basis der verteilten Probenahmen wurde versucht, Querprofilbeiwerte zu errechnen. Diese sind in der Abbildung 26 zusammengestellt; daraus ergibt sich, dass unter Annahme eines linearen Zusammenhanges praktisch keine Abhängigkeit zwischen Durchfluss und Querprofilbeiwert besteht. Die Ursachen können einerseits in der Probenahmetechnik (Schöpfproben) aber auch im Querprofil selbst begründet sein. Es wurden daher für jede verteilte Probenahme Querprofilbeiwerte errechnet und diese anschließend arithmetisch gemittelt. Daraus ergibt sich ein Querprofilbeiwert von 0,93 unabhängig vom Durchfluss. Eine Erklärung für die konstant höheren Schwebstoffkonzentrationen im Bereich der Sonde dürfte die etwa 40 m flussaufwärts der Sonde linksufrig einmündende Drainageleitung sein, die nach Augenzeugenberichten (Ing. Spat) auch bei Hochwasser bedeutende Mengen an Schwebstoffen in das Gewässer einbringt (Abbildung 25).



Abbildung 25: „Schwebstofffahne“ infolge der Einleitung von Drainagewässern (li.), Rohrmündung (re.) im Bereich der Rudolfsbrücke

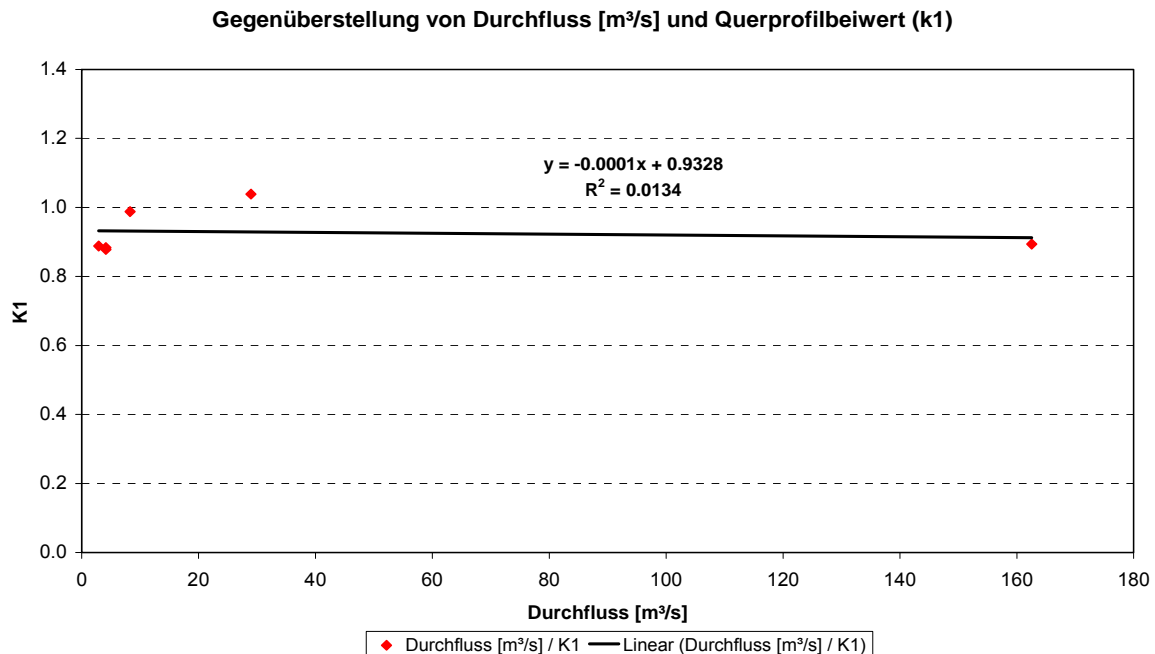


Abbildung 26: Gegenüberstellung von Durchfluss und Querprofilbeiwert k1 auf Grundlage der verteilten Probenentnahmen im Juli und August 2005 an der Messstelle Feldbach

Die Anwendung der beiden Anpassungen (Umrechnung von Sondenaufzeichnungen in Schwebstoffkonzentrationen und nachfolgende Korrektur mittels Querprofilbeiwert) auf die Sondenaufzeichnung [mg/l] liefert die Ganglinie der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil (c_M) (Abbildung 27). Das Produkt aus Durchfluss und mittlerer Konzentration ergibt den zeitlichen Verlauf des Schwebstofftransportes, der zeitlich integriert zur Fracht in Tonnen Trockensubstanz summiert wird.

Tabelle 4: vorläufige Schwebstofffracht in Feldbach/Raab für Juli und August 2005

ZEITRAUM	SCHWEBSTOFFFRACHT [T TS]
04.07.2005 – 31.07. 2005	730
01.08.2005 – 31.08. 2005	78.000

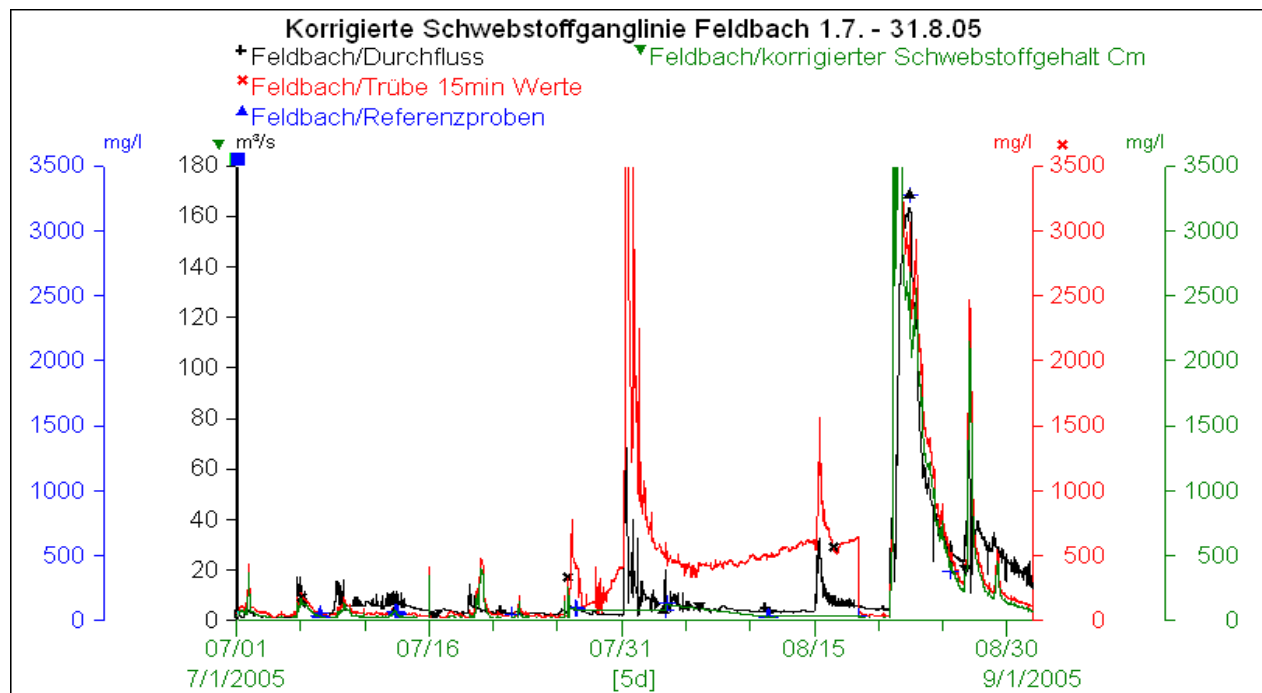


Abbildung 27: Durchflussganglinie, Sondaufzeichnung (Trübe), Konzentration der sondennahen Referenzproben und Ganglinie der mittleren Schwebstoffkonzentration (c_M) an der Messstelle Feldbach im Juli und August 2005 (spitzen aus grafischen Gründen gekappt)

4 ZUSAMMENFASSUNG

Der Einsatz einer Trübungssonde zur kontinuierlichen Aufzeichnung von Schwebstoffkonzentrationen hat sich an der Messstelle Mureck/Mur bewährt. Durch die Entnahme von Proben in Sondennähe und deren gravimetrische Auswertung ist eine Umrechnung der optisch erfassten Konzentrationsganglinie in eine Ganglinie der Schwebstoffkonzentration in Sondennähe möglich. Durch verteilte Probennahmen können Querprofilbeiwerte abgeleitet werden, die in Abhängigkeit des Durchflusses die kontinuierlich ermittelten Uferkonzentrationen in mittlere Konzentrationen im Querprofil umrechnen lassen und damit eine Transport- und Frachtberechnung ermöglichen. Nach Anwendung der beschriebenen Methode ergab sich für die Mur (Messstelle Mureck) in den Monaten Juli und August 2005 eine Schwebstofffracht von 785.000 t Trockensubstanz. Die Ergebnisse sind sicherlich noch mit einigen Unsicherheiten behaftet, die im Rahmen von Untersuchungen im nächsten Jahr präzisiert werden. Das ADCP hat sich im Rahmen der Messung, insbesondere zur Geschwindigkeitsermittlung bei Vielpunktentnahmen als äußerst brauchbar erwiesen. Hinsichtlich der Auswertung von ADCP-Rückstreusignalen zur Bestimmung von Konzentrationsverteilungen in Querprofilen werden in nächster Zeit Untersuchungen gestartet.

Die Untersuchungen an der Raab, Messstelle Feldbach, haben gezeigt, dass auch an Brücken ohne sonstige messtechnische Infrastruktur, Schwebstoffmessstellen mit Trübungssonden eingerichtet werden können. Das behandelte Problem des „Sondenfoulings“ dürfte gewässerspezifisch sein und kann lt. Hersteller vorerst nur durch

intensive Wartung (kurzes Wischerintervall, Reinigung der Optik mit Chlorbleichlauge) beherrscht werden.

Die verteilte Probennahme, vor allem die Vielpunktentnahme, stellt in Gewässern mit geringer Fließtiefe ein Problem dar, das besonders von der Baugröße der Entnahmegерäte beeinflusst ist. Abhilfe kann der Einsatz von kleineren Handgeräten (z.B. Nielsen ohne Schwimmkörper, befestigt an einer Flügelstange) sein, besitzt aber den gravierenden Nachteil, dass bei langsam fließenden Gewässern im Rahmen einer Wadmessung Sohlmaterial aufgewirbelt wird und so die Entnahmeergergebnisse beeinflusst sind. Die Frachtberechnungen an Raab haben sehr deutlich bestätigt, dass Hochwasserereignisse einen substantiellen Beitrag zur Jahresfracht beitragen können. Während im Juli 2005 nur 730 t transportiert wurden, betrug die Fracht im August 2005, bedingt durch das Hochwasserereignis, 78.000 t.

5 DANKSAGUNG

Die Bearbeiter bedanken sich für die gute Kooperation und die finanzielle wie tatkräftige Unterstützung der Messkampagne durch den HD Steiermark, insbesondere durch die Herrn Dipl.-Ing. Dr. Robert Schatzl, Gerald Hochl, Ing. Wilhelm Verwüster und Horst Jungwirth. Großer Dank gebührt auch Frau Mag. Fröhlich vom Gewässergütelabor des Landes Steiermark sowie Herrn Ing. Bernhard Spath und seinen Mitarbeitern von der Baubezirksleitung Feldbach.

6 QUELLENVERZEICHNIS

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

Lange (2003): Produktinformation zur Trübungssonde Solitax; <http://www.hach-lange.de>

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