

# Erstellung einer Schwebstoffbilanz im Einzugsgebiet des Speichers Großsölk in der Steiermark

Diplomarbeit am

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau

an der

Universität für Bodenkultur, Wien

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

Betreuer

A.O.Univ. Prof. Dipl. –Ing. Dr. Helmut Michael Habersack

O.Univ. Prof. Dipl. –Ing. Dr. Hans Peter Nachtnebel

**Hannes Badura**



Wien, 2002



## **Danksagung**

Besonderer Dank gilt meinen Eltern für die liebevolle Unterstützung und die Großzügigkeit während des Studiums und der Diplomarbeit.

Spezieller Dank gebührt Herrn O. Univ. Prof. Dipl.- Ing. Dr. Hans Peter Nachtnebel und meinem Betreuer AO. Univ. Prof. Dipl.- Ing. Dr. Helmut Habersack für den Einsatz und den zahlreichen Anregungen für das gute Gelingen dieser Arbeit. Ich danke Herrn Dipl.-Ing. Josef Schneider und Dipl.-Ing. Peter Mayr für die freundschaftliche Unterstützung und Hilfestellung bei fachbezogenen Fragestellungen und messtechnischen Belangen. Besonderer Dank gilt Alexandra und meinen Diplomarbeitkollegen und Freunden Bernhard, Gernot und Peter, die mich bei der Errichtung von Messstellen und bei den Feldmessungen unterstützten.

Bedanken möchte ich mich auch bei:

Allen Mitarbeitern der STEWEAG – Gruppe Oberes Ennstal und der Zentrale Hieflau für ihre Bemühungen im Zuge der Freilandaufnahmen und sowie für die Datenbereitstellung, dem Team der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Innsbruck, Dipl.- Ing. Dr. Gerhard Markart, Mag. Bernhard Kohl und Wolfgang Bauer für die ausgezeichnete Zusammenarbeit im Rahmen der Beregnungsversuche in den Sölktälern sowie bei den Mitarbeitern des Wasserbaulabors, insbesondere bei Herrn Fassl und beim Institut für Landeskulturelle Wasserwirtschaft für die Unterstützung bei den Versuchsauswertungen.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung	1
1.2	Ziele der Arbeit	1
1.3	Gliederung der Diplomarbeit	2
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN</b>	<b>3</b>
2.1	Eigenschaften der Schwebstoffe	3
2.1.1	Korngestalt der Schwebstoffe	3
2.1.2	Sinkgeschwindigkeit	4
2.1.3	Flockung	5
2.2	Angewandte Methoden für Schwebstoffmessungen	5
2.2.1	Akustische Methoden	6
2.2.2	Optische Methoden	6
2.3	Prozesse der Stauraumverlandung	10
2.3.1	Einströmbedingungen und Umlaufzeiten (Dichteströmungen):	10
2.3.2	Deltawachstum	10
2.3.3	Sedimentation und Stauraumverlandung	11
2.4	Auswirkungen der Stauraumverlandung	12
2.4.1	Wirtschaftliche Probleme	13
2.4.2	Technische Probleme	13
2.4.3	Ökologische Probleme und ökologische Ziele für das Feststoffmanagement	14
2.5	Maßnahmen gegen die Verlandung	15
2.5.1	Maßnahmen im Einzugsgebiet	17
2.5.2	Maßnahmen im Stauraum	18
<b>3</b>	<b>UNTERSUCHUNGSGEBIET</b>	<b>20</b>
3.1	Geographische Beschreibung des Projektgebietes	20
3.2	Geologie	21
3.2.1	Geologischer Aufbau	21
3.3	Landnutzung	22
3.4	Hydrologie	24
3.4.1	Niederschlag im Speichereinzugsgebiet	24
3.4.2	Abflussverhältnisse im Speichereinzugsgebiet	24
3.4.3	Kraftwerksanlage Großsölk	25
<b>4</b>	<b>MESSMETHODIK IM EINZUGSGEBIET DER SÖLK</b>	<b>27</b>

4.1.1	Auswahl einer geeigneten Messstelle	27
<b>4.2</b>	<b>Pegel, Abflussmessungen und Pegelschlüssel</b>	<b>28</b>
4.2.1	Lattenpegel	28
4.2.2	Maximumpegel	29
4.2.3	Druckpegel	30
4.2.4	Abflussmessungen	30
4.2.5	Erstellen der Pegelschlüssel	31
<b>4.3</b>	<b>Niederschlagsmessung</b>	<b>33</b>
4.3.1	Niederschlagschreiber	33
4.3.2	Klimastation	34
<b>4.4</b>	<b>Schwebstoffmessstellen und Methodik</b>	<b>34</b>
4.4.1	Auswahl geeigneter Messmethoden	34
4.4.2	Schwebstoffeinpunktmessung	35
4.4.3	Schwebstoffvielpunktmessung	35
4.4.4	Automatischer Probenehmer	36
<b>4.5</b>	<b>Sonden zur kontinuierlichen Messung der Trübe im Wasser</b>	<b>38</b>
4.5.1	Sondenbeschreibung	38
4.5.2	Sondenkalibrierung	39
<b>4.6</b>	<b>Analyse der Schwebstoff- und Sedimentproben</b>	<b>40</b>
4.6.1	Schwebstoffproben	40
4.6.2	Kornverteilung von Schweb- und Sinkstoffen - Korngrößenanalyse	41
4.6.3	Korngrößenanalyse	41
<b>4.7</b>	<b>Speichervermessung</b>	<b>45</b>
4.7.1	Messsystem für die Sohlgrundaufnahme	45
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>Erosion</b>	<b>48</b>
5.1.1	Allgemeines	48
5.1.2	Beregnungsversuche im Großsölktal, August – September 2000	50
5.1.2.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	59
5.1.3	Visualisierung von Erosionspotentialen mit einem GIS	66
<b>5.2</b>	<b>Transfer</b>	<b>76</b>
5.2.1	Niederschlag	76
5.2.2	Abfluss Sölkbach	79
5.2.3	Abflussverhältnisse am Speicher Sölk	83
5.2.4	Schwebstoff	85
5.2.4.1	Sölkbach	85
5.2.4.2	Grundablass	90
5.2.4.3	Triebwasser	91
5.2.4.4	Schwebstoffmessungen in den Teileinzugsgebieten	91
5.2.4.5	Schwebstoff – Längenschnitt Mößnakarbach	97
<b>5.3</b>	<b>Deposition / Remobilisation</b>	<b>100</b>
5.3.1	Korngrößenanalyse	100

5.3.2	Sohlgrundaufnahme des Speichers	104
5.3.2.1	Grundlegendes zur Speichervermessung	104
5.3.3	Ergebnis der Speichervermessungen	105
<b>6</b>	<b>BILANZ</b>	<b>108</b>
<b>6.1</b>	<b>Grundlegendes</b>	<b>108</b>
<b>6.2</b>	<b>Bilanzkomponenten</b>	<b>109</b>
6.2.1	Sölkbach	109
6.2.2	Beleitungen	109
6.2.3	Speicher	109
<b>6.3</b>	<b>Frachten</b>	<b>110</b>
6.3.1	Sölkbach	110
6.3.1.1	Korrekturfaktoren	110
6.3.2	Einzugsgebiet Strickerbach	112
6.3.3	Beleitungen	112
6.3.4	Triebwasser	113
<b>6.4</b>	<b>Schwebstoffbilanzrechnung</b>	<b>114</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>116</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>119</b>

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>BF</b>	Berechnungsfläche
<b>DGPS</b>	Differentielles GPS (siehe GPS)
<b>DHM</b>	Digitales Höhenmodell
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>E</b>	Osten
<b>GIS</b>	Geoinformationssystem
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GPV</b>	Gesamtporenvolumen
<b>HEC-RAS</b>	Hydrologic Engineering Center-River Analysis System
<b>HQ<sub>n</sub></b>	Hochwasser mit n – Jährlichkeit
<b>FNU</b>	Siehe NTU
<b>IVFL</b>	Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation
<b>IWHW</b>	Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau
<b>IS</b>	lehmiger Sand
<b>IT</b>	lehmiger Ton
<b>IU</b>	lehmiger Schluff
<b>MJNQ</b>	Mittlerer Jahreskleinstabfluss
<b>MQ</b>	Mittelwasser
<b>m.ü.A.</b>	Meter über Adria (Höhenbezugsniveau für Österreich)
<b>N</b>	Norden
<b>NTU</b>	Nephrodelic Turbidity Unit, Internationale Einheit zur Messung der Trübe
<b>O<sub>f</sub></b>	Bodenhorizont, Bodenauflage
<b>ÖNORM</b>	Österreichische Norm
<b>P-EMS</b>	Electromagnetic Liquid Velocity Meter
<b>S</b>	Sand
<b>S</b>	Süden
<b>sL</b>	sandiger Lehm
<b>sT</b>	sandiger Ton
<b>STEWEG</b>	Steirische Wasserkraft- und Elektrizitäts-Aktiengesellschaft

<b>sU</b>	sandiger Schluff
<b>T</b>	Ton
<b>tS</b>	toniger Sand
<b>TDR</b>	Bodenfeuchtemessgerät (time domain reflectometry)
<b>TS1</b>	Tiefenstufe 1 (0 - 5 cm Tiefe)
<b>TS2</b>	Tiefenstufe 2 (5 - 10 cm Tiefe)
<b>TS3</b>	Tiefenstufe 3 (10 - 20 cm Tiefe)
<b>U</b>	Schluff
<b>uL</b>	schluffiger Lehm
<b>W</b>	Westen
<b>WGS 84</b>	Weltkoordinatensystem
<b>WMS</b>	Watershed Modelling System
<b>WSP</b>	Wasserspiegel
<b>X, Y</b>	Lagekoordinaten
<b>Z</b>	Höhe

## VERWENDETE SYMBOLE

<i>A</i>	Fläche	[m <sup>2</sup> ], [ha], [km <sup>2</sup> ]
<i>AK<sub>(ges)</sub></i>	Abflussbeiwert	[l/l]
<i>AK<sub>(max)</sub></i>	kurzfristiger maximaler Abflusskoeffizient	[l/l]
<i>B</i>	Breite	[m]
<i>c<sub>D</sub></i>	Widerstandsbeiwert	[ ]
<i>C<sub>s</sub></i>	Schwebstoffkonzentration	[g/l, kg/m <sup>3</sup> ]
<i>d</i>	äquivalenter Korndurchmesser	[m], [cm], [mm]
<i>G</i>	Gewichtskraft	[N]
<i>g</i>	Gravitationskonstante	[m/s <sup>2</sup> ], [cm/s <sup>2</sup> ]
<i>h</i>	Wassertiefe	[m], [cm]
<i>I<sub>E</sub></i>	Energiehöhengefälle	[‰]
<i>I<sub>S</sub></i>	Sohlgefälle	[‰]
<i>k</i>	Erodierbarkeitsfaktor	[ ]

$k_f$	hydraulische Leitfähigkeit	[m/s]
$k_s$	Setzungsfaktor	[kg/m <sup>3</sup> ]
$k_{ST}$	Stricklerbeiwert	[m <sup>1/3</sup> /s]
$L$	Länge	[m]
$LD$	Lagerungsdichte	[g/cm <sup>3</sup> ]
$m_s$	Schwebstofftransport	[kg/s]
$m_{sf}$	Schwebstofffracht	[kg/Zeitspanne]
$n$	Manningfaktor	[s/m <sup>1/3</sup> ]
$Q$	Abfluss	[m <sup>3</sup> /s, [l/s]
$Re_s$	Reynoldszahl des Absinkvorgangs, $Re_s=(v_s d / \nu)$	[ ]
$R_v$	Regenfaktor	[KJ/m <sup>2</sup> mm/h]
$T$	Temperatur	[°C]
$t$	Zeit	[s], [h]
$v$	Fließgeschwindigkeit, Fallgeschwindigkeit	[m/s], [cm/s]
$v_s$	Sinkgeschwindigkeit im ruhenden Medium	[m/s]
$\eta$	dynamische Viskosität	[g/s·cm]
$\nu$	kinematische Viskosität	[m <sup>2</sup> /s]
$\pi$	Pi	[rad]
$\rho_T$	Raumgewicht der Ablagerung nach T Jahren	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\bar{\rho}_T$	Mittleres Raumgewicht der Ablagerung nach T Jahren	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_l$	Dichte der Dispersionsflüssigkeit	[g/cm <sup>3</sup> ]
$\rho_l$	Raumgewicht der Ablagerung nach einem Jahr	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_s$	Dichte der Schwebstoffe	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	Dichte des Wassers	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\tau$	Schleppspannung	[N/m <sup>2</sup> ]

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abbildung 2.1 Umströmung und Widerstandsbeiwert von Kugeln mit glatter Oberfläche
- Abbildung 2.2 Schemata der akustischen Schwebstoffmessung (THORNE et al., 1991)
- Abbildung 2.3 Schema der Laserreflexion (PHILLIPS UND WALLING, 1995; LAW et al., 1997)
- Abbildung 2.4 Verlandungsschema (WESTRICH 1981)
- Abbildung 2.5 Konsequenzen eines veränderten Sedimenttransports (HABERSACK, 1997)
- Abbildung 2.6 Beeinträchtigung von Fließgewässerbiozönosen infolge Stauraumspülungen
- Abbildung 2.7 Längsschnitt einer Sperre mit Grundablass und darüber liegender Fassung.
- Abbildung 3.1 Projektgebiet in der Steiermark (BEV, ÖK 200)
- Abbildung 3.2 Geologische Karte des Einzugsgebiets
- Abbildung 3.3 Landnutzung im Einzugsgebiet
- Abbildung 3.4 Mittlere monatliche Niederschlagssummen in St.Nikolai/SölktaI (1981–1995)
- Abbildung 3.5 Jahresdauerlinien der Zuflüsse zum Speicher Großsölk
- Abbildung 3.6 Beileitungen und deren Einzugsgebiete
- Abbildung 3.7 Sperrenbauwerk mit Beileitungen, Grundablass und Triebwasserstollen
- Abbildung 4.1 Messnetz im GroßsölktaI
- Abbildung 4.2a Aufbau eines Maximumpegels
- Abbildung 4.2b Maximumpegel am Strickerbach
- Abbildung 4.3 Saint – Venant - Gleichungen
- Abbildung 4.4a Pegelprofil Bräualmbach (überhöht)
- Abbildung 4.4b Messausrüstung
- Abbildung 4.5 Gerinneabschnitt Bräualmbach im Wasserspiegellagenprogramm HEC-RAS 2.1
- Abbildung 4.6 Niederschlagsschreiber im Einzugsgebiet der Sölk
- Abbildung 4.7 Messanordnung einer Vielpunktmessung
- Abbildung 4.8a Beziehung des Wasserstandes zum Stromstärkesignal und die Umsetzung in Impulse/ Minute
- Abbildung 4.8b Aufbauschema der Pumpe-Probennehmer Steuerung
- Abbildung 4.9a Anzeigeeinheit (LANGE, 2000)
- Abbildung 4.9b Aufbauschema
- Abbildung 4.9c Trübungssonde
- Abbildung 4.10 Ermittelte Kalibrierungswerte für die Beileitungen
- Abbildung 4.11 Filtriertisch
- Abbildung 4.12 IWHW–Schwebstoffsammler (MAYR, 1999)
- Abbildung 4.13 Messsystem für Echolotvermessung
- Abbildung 4.14 Aufbau des Messsystems (Prinzipiskizze)
- Abbildung 5.1 Isoerodentenkarte für Österreich
- Abbildung 5.2 Lage der Versuchsflächen am Sölkbach (2 Standorte) und Seifriedbach (5 Standorte)
- Abbildung 5.3a Beregnungsfläche BF1 - *Sauerklee-Fichtenwald* Gesellschaft mit Feuchtezeigern;  
pseudovergleyte Moderbraunerde
- Abbildung 5.3b Abflussentwicklung: Beregnungsversuch BF1

- Abbildung 5.4a Berechnungsfläche BF2 - *Sauerklee-Fichtenwald*; stark geneigt, geringe Bodendeckung (50%); Braunerde auf Hangschutt, skelettreich.
- Abbildung 5.4b Abflussentwicklung: Berechnungsversuch BF2
- Abbildung 5.5a Berechnungsfläche BF3 – *Nardetum*; mittlere Beweidungsintensität, hoher Oberflächenabfluss; Rasenbraunerde
- Abbildung 5.5b Abflussentwicklung: Berechnungsversuch BF3
- Abbildung 5.6a Berechnungsfläche BF4 – *Nardetum*; mäßig beweidet; Rasenbraunerde
- Abbildung 5.6b Abflussentwicklung: Berechnungsversuch BF4
- Abbildung 5.7a Berechnungsfläche BF5 – *Lawinenfächer*; Waldsimsen-Wiese; hochorganischer Auftragsboden.
- Abbildung 5.7b Abflussentwicklung: Berechnungsversuch BF5
- Abbildung 5.8a Berechnungsfläche BF6 – Blaike; geschütteter Rohboden
- Abbildung 5.8b Abflussentwicklung: Berechnungsversuch BF6
- Abbildung 5.9a Berechnungsfläche BF7 – Blaike; Rohboden (auf Braunerdebasis).
- Abbildung 5.9b Abflussentwicklung: Berechnungsversuch BF7
- Abbildung 5.10 Bodenart aller untersuchten Standorte (österr. Texturdreieck)
- Abbildung 5.11 Erodierbarkeit (*k-Faktor*) der untersuchten Böden nach der Bodenart, dem Humusgehalt, der Aggregatstabilität und der Wasserleitfähigkeit (nach SCHLICHTING und BLUME 1995)
- Abbildung 5.12 Zeitlicher Verlauf des minütlichen Bodenabtrags während der Starkregensimulation
- Abbildung 5.13 Gegenüberstellung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag
- Abbildung 5.14 Niederschlag im Seifriedtal am 16.9.2000
- Abbildung 5.15 Abfluss, Schwebstoffkonzentration, Schwebstofftransport und Schwebstoffsummenlinie am 16.9.2000
- Abbildung 5.16 Änderung des Sedimentabtrags mit der Hangneigung (Hangneigung: Verhältnis H/L)
- Abbildung 5.17 Schema der Ermittlung des Sedimentabtrags
- Abbildung 5.18 Bodenabtragskarte vom Regenereignis am 16.9.2000 im Seifriedtal
- Abbildung 5.19 Übersichtliche Karte über den Bodenabtrag im Einzugsgebiet Seifried für das NS-Ereignis am 16.9.2000
- Abbildung 5.20a Forstwege in der Sölk
- Abbildung 5.20b Forstweg im Seifriedtal
- Abbildung 5.21 Ausschnitt der digitalisierten Forstwege mit der Einteilung in Neigungsklassen in[°]
- Abbildung 5.22 BF6 (Forststrassenschüttung mit beginnender Pflanzenwiederbesiedelung)
- Abbildung 5.23 BF7 (Forststrassenschüttung mit fortgeschrittener Pflanzenwieder-besiedelung)
- Abbildung 5.24 Tagessummen Niederschlag St. Nikolai Jahr 2000
- Abbildung 5.25 Tagesniederschläge an der Sperre Sölk im Untersuchungszeitraum (STEWEG)
- Abbildung 5.26 Tagessummen Niederschlag Donnersbach Jahr 2000; Abflussverhältnisse im Großsölkthal
- Abbildung 5.6b Niederschlagsschreiber
- Abbildung 5.28 Zusammenhang der Schneeschmelze mit der Sonneneinstrahlung
- Abbildung 5.29 Ganglinie Sölkbach (Stundenmittelwerte) - Niederschlag St. Nikolai (Tagessummen)
- Abbildung 5.30 Pegelschlüssel Strickerbach
- Abbildung 5.31 Ganglinie Strickerbach
- Abbildung 5.32 Ganglinien der Teileinzugsgebiete für das Regenereignis 21.7.99

- Abbildung 5.33 Zuflussganglinie zum Sölksee; Nicht genutztes Wasser (Hochwasserentlastung)
- Abbildung 5.34 Prozentuelle Aufteilung der Ganglinien (Beleitungen Kleinsölk und Donnersbach)
- Abbildung 5.35 Ganglinie Sölkbach und beprobte Hochwässer
- Abbildung 5.36 Schwebstoffkonzentration – Abfluss der Schneeschmelze
- Abbildung 5.37 Abfluss - Schwebstoffkonzentration Hochwasser 12.10.2000
- Abbildung 5.38  $Q - C_s$  Beziehung für den Sölkbach
- Abbildung 5.39 10-jährliches Ereignis vom 22.9.1999; Fracht – Summenlinie
- Abbildung 5.40 Trübungsganglinie Beileitung Donnersbach
- Abbildung 5.41 Trübungsganglinie der Beileitung im Vergleich zum Abfluss Donnersbach
- Abbildung 5.42 Schwebstoffmessungen im Einzugsgebiet
- Abbildung 5.43 Schwebstofftransport und Abfluss, Feststoffschleife - Hysteresis
- Abbildungen 5.44 Abfluss, Schwebstoffgehalt und Transportraten an den wichtigsten Zubringern zur Sölk.
- Abbildung 5.45 Lage der Vergleichsmessung am Sölkbach
- Abbildung 5.46 Schwebstoffgehalt der Zubringer und am Sölkbach im Vergleich
- Abbildung 5.47 Wassertrübung durch Abschmelzvorgänge im Mößnaker
- Abbildung 5.48 Gegenhangfoto einer Lawine im Mößnaker
- Abbildung 5.49 Darstellung des beprobten Lawinenkegels im Mößnaker (Hintergrund: Orthofoto)
- Abbildung 5.50 Längenschnitt und Schwebstoffkonzentration im Mößnakerbach
- Abbildung 5.51 Probenahmestellen im Speicher: 1 – 7: Institut für Bioanalytik; 8: IWHW
- Abbildung 5.52 Kornverteilungen im Speicher
- Abbildung 5.53 Korngrößenverteilung der Vorsperre im Schluff- und Sandbereich
- Abbildung 5.54 Zunahme der Lagerungsdichte mit den Betriebsjahren
- Abbildung 5.55 Profile und ursprüngliches Bachbett
- Abbildung 5.56 Beispiel für das Postprocessing in Hydropro<sup>®</sup> (Trimble)
- Abbildung 5.57 2D/3D Darstellungen der Speichervermessung im April 2001
- Abbildung 5.58 Speicherinhaltslinie, Absenk- und Stauziel
- Abbildung 5.59a Vergleich der Speichervolumina
- Abbildung 5.59b Vergleich der Speichervolumina bei Stauhöhe 890 m. ü. A.
- Abbildung 6.1 Schwebstoffherkunft im Sölksee
- Abbildung 6.2 Schwebstofffracht am Sölkbach (Bezugspunkt Pegel Ödwirt)
- Abbildung 6.3 Schwebstofffrachten der Sommerhochwässer (Bezugspunkt Pegel Ödwirt), eingeteilt in  
Abflussklassen
- Abbildung 6.4 Schwebstofffracht im Triebwasser
- Abbildung 6.5 Auffangwirkungsgrad (nach BRUNE, 1953)

## Tabellenverzeichnis

- Tabelle 2.1 Schwebstoffmessmethoden im Vergleich (WREN et al., 2000).
- Tabelle 2.2 Grundsätzliche Maßnahmen zur Verhinderung oder Reduktion von Verlandungsproblemen bei Speichern (SCHLEISS et. al., 1996)
- Tabelle 4.1 Lattenpegelneigungen und Sohlgefälle
- Tabelle 4.2 Übersicht der angewandten Messmethoden
- Tabelle 4.3 Messprotokoll und Auswertung einer Vielpunktmessung am Seifriedbach
- Tabelle 4.4 Fallzeiten für bestimmte Grenzdurchmesser
- Tabelle 5.1 Auflistung der wichtigsten bodenphysikalischen Kennwerte der Versuchsflächen
- Tabelle 5.2 Deckungsgrade der Vegetation und Barflächen – nicht vegetationsbedeckte Stellen an der Bodenoberfläche
- Tabelle 5.3 Zuordnung der Beregnungsstandorte zu den Landnutzungen
- Tabelle 5.4 Aufstellung der Neigungsklassen, Anteile der Weglänge und der Wegfläche
- Tabelle 5.5 Tabellenwerte für Dämme und Einschnitte im Verkehrswegebau (nicht bindige Böden)
- Tabelle 5.6 Berechnungsergebnisse auf Datenbasis BF6
- Tabelle 5.7 Berechnungsergebnisse auf Datenbasis BF7
- Tabelle 5.8 Vergleich relative Einzugsgebietsgröße – relativer Abflussanteil
- Tabelle 5.9 Protokoll der Schwebstoffmessungen am Grundablass
- Tabelle 5.10 Schwebstoff Plöschmitzbach am 6.6.2000
- Tabelle 5.11 Schwebstoff Seifriedbach am 6.6.2000 und 16.9.2000
- Tabelle 5.12 Abfluss, Geschwindigkeit und Schleppspannung am Seifriedbach
- Tabelle 5.13 Lagerungsdichten der Korngrößenklassen nach einem Jahr (Sediment ständig unter Wasser, WMO, 1989)
- Tabelle 6.1 Sedimenteintrag
- Tabelle 6.2 Sedimentabtrag
- Tabelle 6.3 Deposition

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Durch die Nutzung der Wasserkraft wird ein massiver Eingriff in die dynamischen Prozesse eines Fließgewässers vorgenommen. Veränderungen im Feststoffhaushalt der betroffenen Fließgewässer sind im Zuge dieser Wasserkraftnutzung allerdings unvermeidbar (SCHRÖFELBERGER und DRAXLER, 1998). Anders als bei Laufkraftwerken wie z.B. an der Donau, wo Hochwässer durch Austrag und Ablagerung von Schwebstoffen in besiedelten und landwirtschaftlich genutzten Räumen wirtschaftliche Schäden mit sich ziehen können, führt die Stauraumverlandung durch Feststoffe bei Speicherkraftwerken vor allem zu energiewirtschaftlichen Nachteilen und technischen Problemen für den Kraftwerksbetreiber. Sperren unterstützen die oft erforderliche Abflussregulation. Durch die Anlandung bei Sperren wird der Hochwasserschutz und die Hochwasserregulation massiv beeinträchtigt.

Ein großer Teil der Fließgewässer Österreichs wurden in den letzten Jahrzehnten zu staugeregelten Flüssen ausgebaut. Vor dem Hintergrund ökonomischer und technischer Ziele wurden die Auswirkungen des Gewässeraufstaus meistens nur unvollständig bedacht. Sie betreffen vor allem die Flussbiozönose und das Transportregime eines Flusses. Befand sich das freifließende Gewässer im Transportgleichgewicht, so wurde dies durch den Aufstau gravierend gestört. Die Verringerung der Transportkapazität der Fließgewässer hatte eine allmählich fortschreitende Verlandung vieler Stauräume zu Folge (DVWK, 1993). Die Stauregulierung von Flüssen unterbricht zum einen den Transport von suspendiertem Material und von Geschiebe. Zum Anderen ist die Ablagerung von zuvor als Spülfracht abtransportierten feinkörnigen Schwebstoffen als die Hauptursache der Verschlammung von Stauräumen anzusehen (WESTRICH, 1988).

## 1.2 Ziele der Arbeit

Im Jänner 1999 wurde am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW) ein EU-finanziertes Projekt mit dem Titel WARMICE begonnen. WARMICE (Water resources management in a changing environment: the impact of sediment on sustainability) untersucht Einzugsgebiete in einigen europäischen Ländern (England, Spanien und Österreich) das Erosionsverhalten, Transportvorgänge und Verlandungsprozesse bei Speichern. Im Hinblick auf Änderung des Klimas und der Landnutzung sollen qualitative Aussagen über Veränderungen als Folge dieser Vorgänge gemacht werden. Schlussendlich soll es auf Grund dieses Projekts möglich sein, Richtlinien für das Management des Speichers und des Einzugsgebiets zu entwickeln, um das Ausmaß der Speicherverlandung zu reduzieren.

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Erstellung einer Schwebstoffbilanz für den Großsölksee, der an einem südlichen Zubringer der oberen Enns liegt. Wichtig ist die Erfassung der raum - zeitlichen Variabilitäten in Bezug auf Niederschlag und Abfluss und die damit einhergehende Ermittlung der Schwebstoffkonzentrationen und Schwebstofffrachten bei Hochwasserereignissen in den Teileinzugsgebieten des Großsölkbaches. Um eine gute Vorhersage über den Schwebstofftransport treffen zu können, ist die Herkunft der Schwebstoffe von besonderer Bedeutung.

Für die Speicherbilanzierung werden die Beileitungen aus den Einzugsgebieten Donnersbach - Walchenbach sowie der Kleinsölk miteinbezogen, um den gesamten Eintrag in den Sölksee quantifizieren zu können. Schwebstoffausträge über das Triebwasser und Speicherspülungen gehen ebenfalls in die Bilanzierung mitein.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen Erkenntnisse über Sedimenttransportvorgänge im Einzugsgebiet als auch Hinweise über flächenhafte Erosion im Einzugsgebiet liefern. Die Messergebnisse werden auch in anderen Diplomarbeiten verwendet. Sie dienen vor allem der Modellkalibrierung bzw. Modellvalidierung für das Erosionsmodell KINEROS.

### **1.3 Gliederung der Diplomarbeit**

Das Kapitel „Grundlagen“ beschäftigt sich mit den in der Literatur behandelten Eigenschaften der Schwebstoffe, den Methoden zur Messung der Schwebstoffkonzentration und den technischen sowie ökologischen Problemen der Stauraumverlandung. Im Kapitel „Untersuchungsgebiet“ wird einen Überblick über das Einzugsgebiet in geografischer, geologischer und hydrologischer Hinsicht geben. Zusätzlich wird die Speicheranlage mit den Einleitungen beschrieben. Die Methodik der Freilandaufnahmen, die Beschreibung der Messtechniken, die Lage der Messstationen sowie die verwendete Softwarepakete und die Auswertemethoden werden in Kapitel 4 behandelt. Die gesamte Schwebstoffbilanz für den Speicher Großsölk errechnet sich aus den im Abschnitt 5 dargestellten Messergebnissen.

## 2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Schwebstoffeigenschaften, Messtechniken zur Messung der Schwebstoffkonzentrationen und die Probleme der Stauraumverlandung erörtert.

### 2.1 Eigenschaften der Schwebstoffe

Die in einem Gewässer transportierten Feststoffe lassen sich in Abhängigkeit von ihrer Bewegungsform unterteilen (DIN Deutsches Institut für Normung, 1996). Das Geschiebe wird an der Gewässersohle rollend, hüpfend oder gleitend transportiert. Als Schwebstoffe (Suspensa) bezeichnet man Feststoffe, die durch Turbulenz in Schwebelage gehalten werden. Schwimmstoffe, meist organischer Art, haben ein kleineres spezifisches Gewicht und schwimmen demzufolge an der Wasseroberfläche.

Die Schwebstoffe sind in den gestauten und in vielen ungestauten Flüssen von großer Bedeutung. Die als Suspensionsfracht abgeführten Mengen sind viel größer als jene infolge Schwimmstoff- und Geschiebefracht (RAUDKIVI, 1996).

Die Schwebstoffe können in Hinblick auf die Interaktion mit der Gewässersohle in zwei Fraktionen unterteilt werden, das suspendierte Bettmaterial und die Spülfracht (EINSTEIN, 1950).

Als suspendiertes Bettmaterial wird der Schwebstoffanteil bezeichnet, dessen Korngrößen auch in der Gewässersohle vertreten sind. Die Spülfracht umfasst den feinkörnigen Anteil der Schwebstoffe, der nicht oder nur in geringen Mengen im Sohlmaterial enthalten ist. Solche Partikel stammen aus Bereichen oberhalb des gerade betrachteten Fließquerschnitts, durch den sie ohne Austausch mit dem Bettmaterial hindurchtransportiert werden. In frei fließenden Gewässern werden Partikel mit einer Korngröße unter  $63 \mu\text{m}$  als Spülfracht angesehen.

#### 2.1.1 Korngestalt der Schwebstoffe

Durch die Prozesse der Verwitterung und des Transportes durch Wind und Wasser entstehen Einzelpartikel unterschiedlichster Formen. Die Form oder Gestalt beeinflusst das Verhalten der Partikel während Erosion, Transport und Ablagerung, sowie deren physikalische Eigenschaften. So wird die Hydrodynamik des Schwebstofftransportes maßgeblich von der Sinkgeschwindigkeit der suspendierten Feststoffe beeinflusst. Diese ist neben der Korngröße in erheblichem Maße von der Partikelform abhängig.

Bei der Messung der Partikelgröße und bei der Berechnung des dynamischen Verhaltens wird in der Praxis jedoch meist idealisiert von der Kugelform ausgegangen. Zudem werden in der Natur auftretende Effekte wie Agglomeration in den wenigsten Fällen berücksichtigt (BAIER, 1996). Natürliche Schwebstoffe stellen Partikelaggregate mit poröser Struktur und irregulärer Gestalt dar. Vor allem die poröse Struktur der

Schwebstoffe führt bei gleicher Partikelmasse und gleichem Partikelquerschnitt gegenüber impermeablen Kugeln zu einer Verringerung der Sinkgeschwindigkeit (TÖDTEN, 1987).

### 2.1.2 Sinkgeschwindigkeit

Die stationäre Sinkgeschwindigkeit  $v_s$  von kohäsionslosen sphärischen Partikeln in einem ruhenden Fluid berechnet sich aus dem Kräftegleichgewicht zwischen Strömungswiderstand  $W$  und der um den Auftrieb verringerten Gewichtskraft  $G$  (SHARPE, 1994).

$$W = c_D \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot v_s^2 \cdot d^2 \cdot \frac{\pi}{4} = G = (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot d^3 \cdot \frac{\pi}{6} \quad (1)$$

Nach Umformung erhält man für die Sinkgeschwindigkeit:

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot \frac{g \cdot d}{c_D}} \quad (2)$$

In oben angeführter Gleichung ist der Widerstandsbeiwert  $c_D$  bei vorgegebener Kornform nur von der Reynoldszahl des Absinkvorgangs abhängig:

$$Re_s = \frac{v_s \cdot d}{\nu} \quad (3)$$

$d$  bezeichnet den Korndurchmesser und  $\nu$  die kinematische Viskosität. Je nachdem, ob das sinkende Partikel laminar ( $Re_s$  klein) oder turbulent ( $Re_s$  groß) umströmt wird (Abbildung 2.1), bestimmen entweder die Reibungskräfte oder die Trägheitskräfte den Strömungswiderstand. Für  $Re_s < 1$  leitet das Stoke'sche Gesetz ab:  $c_D = 24/Re_s$ . Für größere Reynolds-Zahlen existieren in der Literatur zahlreiche empirische Beziehungen zwischen  $c_D$  und  $Re_s$  (ZANKE, 1982).

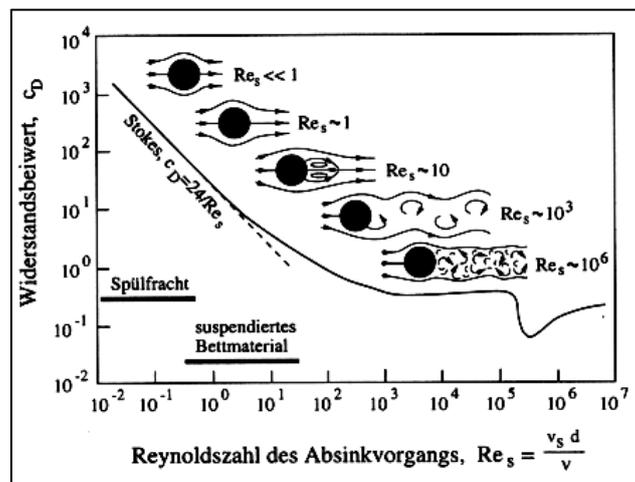


Abbildung 2.1 Umströmung und Widerstandsbeiwert von Kugeln mit glatter Oberfläche als Funktion der Reynoldszahl des Korns und Angabe der in Flüssen für Schwebstoffe relevanten Bereiche (ALLEN, 1994).

### 2.1.3 Flockung

Die Aggregation von Partikeln hängt von der Kollisionsfrequenz und der Haftbarkeit (Kollisionswirksamkeit) der Partikel ab (VAN LEUSSEN, 1994). Die Kollisionsfrequenz nimmt mit der Schwebstoffkonzentration und dem Geschwindigkeitsgradienten zwischen den Partikeln zu. Diese werden in einem Fluss durch Strömungsturbulenzen oder unterschiedliche Sinkgeschwindigkeiten der Schwebstoffe hervorgerufen. Für die Kohäsion zwischen den Teilchen sind Partikelladungen, metallische und organische Beläge (Coatings) sowie bakterielle Schleime, Polymere und Ausscheidungsprodukte verantwortlich (EISMA, 1993).

## 2.2 Angewandte Methoden für Schwebstoffmessungen

Viele Messmethoden werden für die Messung der Schwebstoffkonzentration eingesetzt. Die hier kurz beschriebenen Messmethoden umfassen akustische Methoden, Strahlungsmessung und optische Methoden wie Lichtreflexion, Lichtstreuung sowie optische Transmission.

Pumpeprobennehmer und Einzelprobenahme werden im Kapitel 4.4 beschrieben, ein Vergleich mit anderen Messmethoden findet sich in diesem Kapitel in Tabelle 2.1.

Da Ereignisse auch Nachts auftreten und schwer vorhersagbar sind, ist es besonders schwierig Schwebstoffmessungen ohne automatisierte Messinstrumente durchzuführen. Wenn erfolgreich gemessen wurde, ist der Aufwand der Probenauswertung im Labor einzurechnen. Sollen Korngrößen mitgemessen werden, kann bei ex - situ Techniken, wie die der Flaschenprobenahme, ein Einfluss auf die Partikelgröße entstehen. Das kann durch die Aggregation oder Zerfall der Partikel, oder durch unsachgemäßes „Handling“ mit den Proben erfolgen (McHENRY et al., 1967). Eine Stunde Absetzvorgang kann bei Wiederherstellen der Suspension ein Anwachsen der mittleren Korngröße bis zu 24 % zur Folge haben (PHILLIPS und WALLING, 1995).

Suspendiertes, feines Sediment ( $< 0,063 \text{ mm}$ ) ist über einen Flussquerschnitt annähernd gleichverteilt und weist keine sehr große Fluktuationen mit der Zeit auf. Sandiges Sediment hingegen zeigt große Veränderungen in Raum und Zeit. Hier wird die Unterscheidung zwischen Messfehlern oder natürlicher Variabilität des Transportvorganges schwierig.

Der folgende Abschnitt beschreibt Methoden zur Messung der Schwebstoffkonzentration und teilweise von Korngrößenbestimmungen, prinzipielle Techniken sowie Vor- und Nachteile (basierend auf: WREN et al., 2000). Die meisten Geräte speichern Daten in Echtzeit, Ausnahmen bilden Pumpeprobenahme und Flaschenprobenahme.

### 2.2.1 Akustische Methoden

Kurze ( $\sim 10 \mu s$ ), hochfrequente Signale (1-5 MHz) werden von einem Transducer ausgesandt. Ein Teil der Signale wird vom Schwebstoff reflektiert und wieder empfangen (THORNE et al., 1991). Ist das Sediment von einheitlicher Größe, ist es möglich über die Stärke des reflektierten Signals die Schwebstoffkonzentration zu berechnen (Abbildung 2.2). Abhängig von der Wiederkehrzeit des Echos wird die Wassersäule durch die Signale zerlegt. Die Stärke eines Signals ist abhängig von Korngröße und Konzentration. Werden verschiedene Frequenzen verwendet, können sowohl Konzentration als auch Korngrößen untersucht werden (CRAWFORD und HAY, 1993).

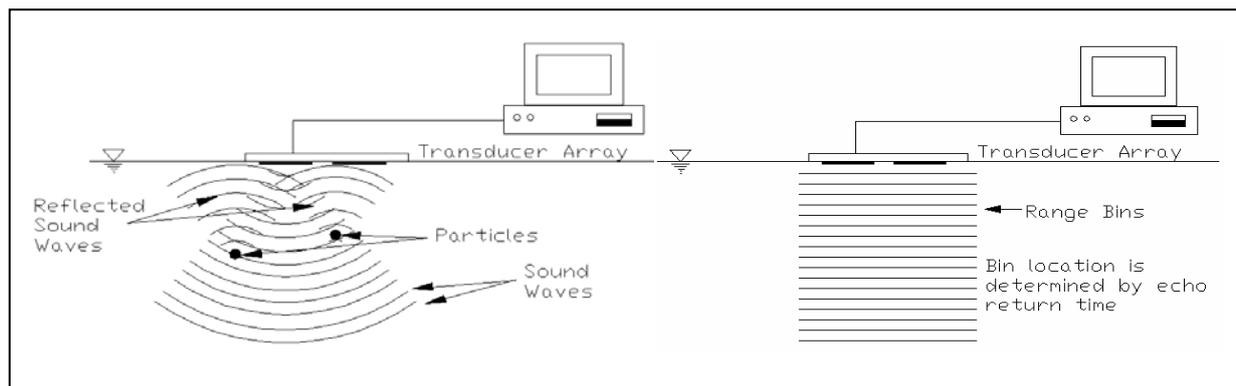


Abbildung 2.2 Schemata der akustischen Schwebstoffmessung (THORNE et al., 1991)

### 2.2.2 Optische Methoden

#### Methode der Lichtbrechung (Laser Diffraction)

Ein Laserstrahl wird in die Probe gerichtet. Teile des Laserstrahls werden reflektiert, absorbiert oder gestreut. Das gebrochene Licht trifft auf mehrere ringförmig konzentrisch angeordnete, fotoempfindliche Elemente. Der Streuwinkel des Laserstrahles wird über die fotoempfindlichen Elemente bestimmt. Über den Streuwinkel ist es möglich Partikelgrößen zu berechnen, z.B. über die Lorenz - Mie Gleichung. Die Schwebstoffkonzentration wird damit über das Volumen der Partikel berechnet, die Schwebstoffkonzentration ist unabhängig von der Korngröße (WREN et al., 2000).

### Laserreflexion (engl.: Focused Beam Reflectance)

Ein Laserstrahl wird auf weniger als  $2 \mu\text{m}^2$  stark gebündelt. Dabei dreht sich die Schwebstoffprobe mehrmals pro Sekunde. Der Laserstrahl trifft Sedimentpartikel, die einen Teil des Strahles reflektieren (Abbildung 2.3). Die Reflexionszeit wird dabei benutzt um die Länge des Partikels zu bestimmen. Mit Hilfe dieser Information wird das Volumen über eine repräsentative Achse berechnet (PHILLIPS UND WALLING, 1995; LAW et al., 1997).

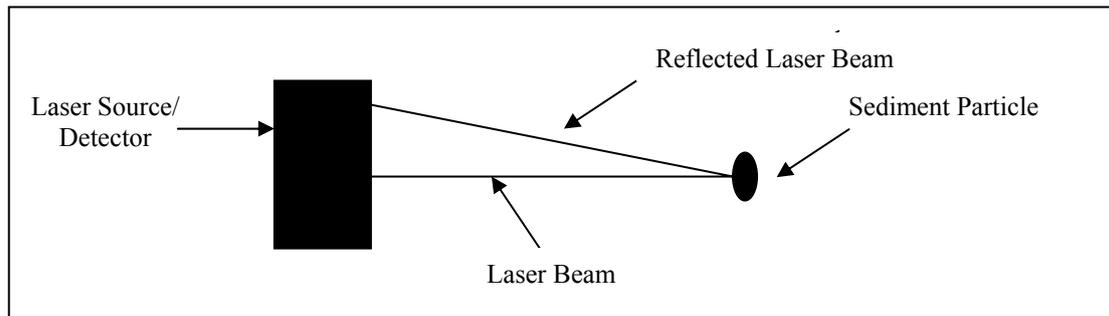


Abbildung 2.3 Schema der Laserreflexion (PHILLIPS UND WALLING, 1995; LAW et al., 1997)

### Trübungsmessungen

- Streulicht-Fotometer (Optical Backscatter)
- Transmissionsmessgeräte (Optical Transmission)

Es gibt zwei Arten von Streulicht-Fotometern:

- (1) Das in Richtung Emitter reflektierte Licht wird gemessen;
- (2) Die Transmissivität wird gemessen. Bei einem Streulicht-Fotometer wird infrarotes oder sichtbares Licht verwendet.

Ad (1): Wenn Schwebstoffe vorhanden sind, wird ein Anteil des ausgesendeten Lichts in Richtung Emitter reflektiert. Fotodioden sind meist rund um den Emitter angeordnet, die die Intensität des rückgestrahlten Lichts messen. Die Stärke des Signals gibt Aufschluss auf die Größe der Schwebstoffkonzentration. Das Messgerät muss kalibriert werden. Eine nähere Beschreibung eines Streulicht-Fotometers ist im Kapitel 4.5 zu finden.

Ad (2): Von einem Emitter wird Licht in die Suspension gesendet. Es wird dabei der Lichtdurchgang (Transmission) von einem gegenüberliegenden Sensor gemessen.

### **Spektrale Reflexion**

Diese Art der Messung basiert auf dem Rückstrahlvermögen eines Wasserkörpers von sichtbarem oder infrarotem Licht. Die Reflexion wird über ein Handgerät, Flugzeug oder in Satteliten installierte Spektrometer gemessen.

Die Korrelation zwischen Schwebstoffkonzentration und Reflexionsvermögen des Wasserkörpers wurde von verschiedenen Wissenschaftlern untersucht und gemessen (BLANCHARD und LEAMER, 1973) Die Beziehung ist von mehreren Parametern abhängig:

- Optische Eigenschaften des Sedimenttyps
- Sonneneinstrahlungswinkel
- räumliche Auflösung der Messungen

### **Strahlungsmessung (engl.: Nuclear Measurement)**

Im Allgemeinen wird bei der Strahlungsmessung die Abschwächung oder Rückstrahlung eines Schwebstoffteilchens genutzt. Man kann unterscheiden (McHENRY et al., 1967):

- Messinstrumente, die eine künstliche Strahlungsquelle benutzen um die Rückstrahlung eines Teilchens zu messen
- Messinstrumente, die eine künstliche Strahlungsquelle benutzen um Strahlungsdurchgang durch ein Teilchen zu messen
- Messinstrumente, die die natürliche Strahlung eines Teilchens messen

Tabelle 2.1 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Meßmethoden und deren Vor- bzw. Nachteile.

Tabelle 2.1 Schwebstoffmessmethoden im Vergleich (WREN et al., 2000).

<b>Technik</b>	<b>Arbeitsweise</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
<b>Akustische Methoden</b>	Korngröße u. Konzentration werden über akustische Signale berechnet.	Gute räumliche u. zeitliche Auflösung; große vertikale Reichweite; keine insitu Messung	Reflektiertes Signal ist schwierig zu interpretieren; Reflekt. Signal bei hohem Schwebstoffkonzentrat. geschwächt
<b>Flaschenprobenahme</b>	Schwebstoffproben werden isokinetisch aus dem Wasser gezogen und in Flaschen abgefüllt.	Erlaubt es Konzentrationen und Korngrößen festzustellen; die meisten anderen Methoden werden über Flaschenproben kalibriert.	Schlechte zeitliche Auflösung; Benötigt Laborarbeit zur Datengewinnung
<b>Pumpeprobenahme</b>	Schwebstoffproben werden aus dem Fuß gepumpt u. später analysiert.	Dauereinsatztauglich; erlaubt es Konzentrationen und Korngrößen festzustellen	Schlechte zeitliche Auflösung; Benötigt Labor zur Datengewinnung; Berücksichtigt meist nicht die Isokinetik.
<b>Laserreflexion</b>	Zeit der Reflexion von Schwebstoffpartikeln wird gemessen	Messungen in weitem Korngrößen u. Konzentrations-Bereich	Nur Punktmessungen; teuer
<b>Laserlichtstreuung</b>	Brechungswinkel des Lasers wird gemessen	Keine Abhängigkeit von Korngrößen	Unzuverlässig; teuer; nur Punktmessungen; kleine Korngrößenspannweite
<b>Strahlungsmessung</b>	Gemessen wird die Rückstrahlung o. die Transmission	Messungen in weitem Korngrößen-u. Konzentrationsbereich; energiesparend	Geringe Sensibilität; nur Punktmessungen; radioaktiver Zerfall
<b>Optische Messungen</b>	Reflexion o. Transmission von sichtbarem oder infrarotem Licht werden gemessen.	Einfach; gute temporäre Auflösung; relativ billig; erlaubt Fernsteuerung und Fernspeicherung	Starke Korngrößenabhängigkeit; nur Punktmessungen
<b>Spektralanalyse</b>	Licht wird vom Wasserkörper reflektiert u. gestreut u. vom Flugzeug o. Sateliten aus gemessen.	Flächendeckende Messungen möglich	Schlechte Auflösung; Korngrößenabhängigkeit; Schlechte Anwendbarkeit bei Flüssen

## 2.3 Prozesse der Stauraumverlandung

Die wichtigste Ursache für die Gestaltsveränderung von Seen und Seenbecken im Allgemeinen ist ihre Auffüllung mit organischen und anorganischen Sedimenten aus dem Einzugsgebiet. An der Verlandung sind neben Feststoffen (Geschiebe, Schwebstoffe) und anorganischen gelösten Stoffen, die mit den Zuflüssen in den See transportiert werden, auch organische Ablagerungen beteiligt.

Die Sedimentationsrate von durchflossenen Seen hängt vor allem von der Feststofffracht der Zuflüsse ab. In großen Seen überwiegt der Einfluss von Wind und Zirkulation, in kleinen Seen derjenige von Zufluss und Zirkulation, wobei die Verweilzeit des Wassers einen maßgeblichen Einfluss hat (DYCK und PESCHKE, 1995).

### 2.3.1 Einströmbedingungen und Umlaufzeiten (Dichteströmungen):

Mit dem einfließenden Wasser werden auch Sedimente in den Stausee getragen. Ist die Dichtedifferenz zwischen Speicherwasser und einströmendem Wasser klein, wird eine Durchmischung erleichtert und die suspendierten Sedimente können sich im See ausbreiten. Ist die Dichtedifferenz des anströmenden Wassers relativ zum Wasser im See groß, so kann es zu einem Überströmen (engl.: overflow, nahe am Wasserspiegel), Unterströmen (engl.: underflow, nahe des Seegrundes), oder einem Strömen in mittleren Wassertiefe (engl.: interflow) kommen. Die Dichte des Wassers ist abhängig von Temperatur, Sedimentkonzentration und Salinität.

Bereits kleine Temperaturdifferenzen können große Dichteänderungen bewirken. Eine Temperaturdifferenz von 1°C bei einer Wassertemperatur von 25°C ändert die Dichte um  $0,00025\text{g/cm}^3$ , das ist gleichzusetzen mit einer Änderung der Schwebstoffkonzentration von ca. 400 mg/l (AXELSSON, 1967; SUNDBORG, 1992).

Hat das einströmende Wasser eine höhere Dichte als das Wasser im See, wird sich eine Zirkulation einstellen, vorausgesetzt der See ist tief genug und die morphologische Ausbildung des Untergrunds erlaubt es (JANSSON und ERLINGSSON, 2000).

### 2.3.2 Deltawachstum

Sand und grobe Kornfraktionen werden als Geschiebe an der Gewässersohle transportiert. Das Geschiebe wird als Delta abgelagert, wobei die Mächtigkeit der Akkumulation von Abfluss und der Änderung der Wasserspiegellagen im Stausee abhängt. Auch Schwebstoffe setzen sich im Bereich des Deltas ab, was auf die abnehmende Schleppspannung im Speichersee zurückzuführen ist (JANSSON und ERLINGSSON, 2000).

### 2.3.3 Sedimentation und Stauraumverlandung

Sedimentation bezeichnet den Vorgang, bei dem sich in Bewegung befindliche Partikel zur Gewässersohle hin bewegen und zumindest Zeitweise dort verweilen (WESTRICH, 1988). Ausgehend von der Stauwurzel nehmen mit zunehmender durchströmter Fläche die Fließgeschwindigkeit und die Sohlschubspannung ab, die Feststoffe beginnen zu sedimentieren (ÖWAW, 2000).

Abbildung 2.4 gibt einen Überblick über die Vorgänge in einem Einzugsgebiet mit anthropogener Nutzung und deren Auswirkungen und stellt die Komplexität der Verlandung von Stauanlagen dar.

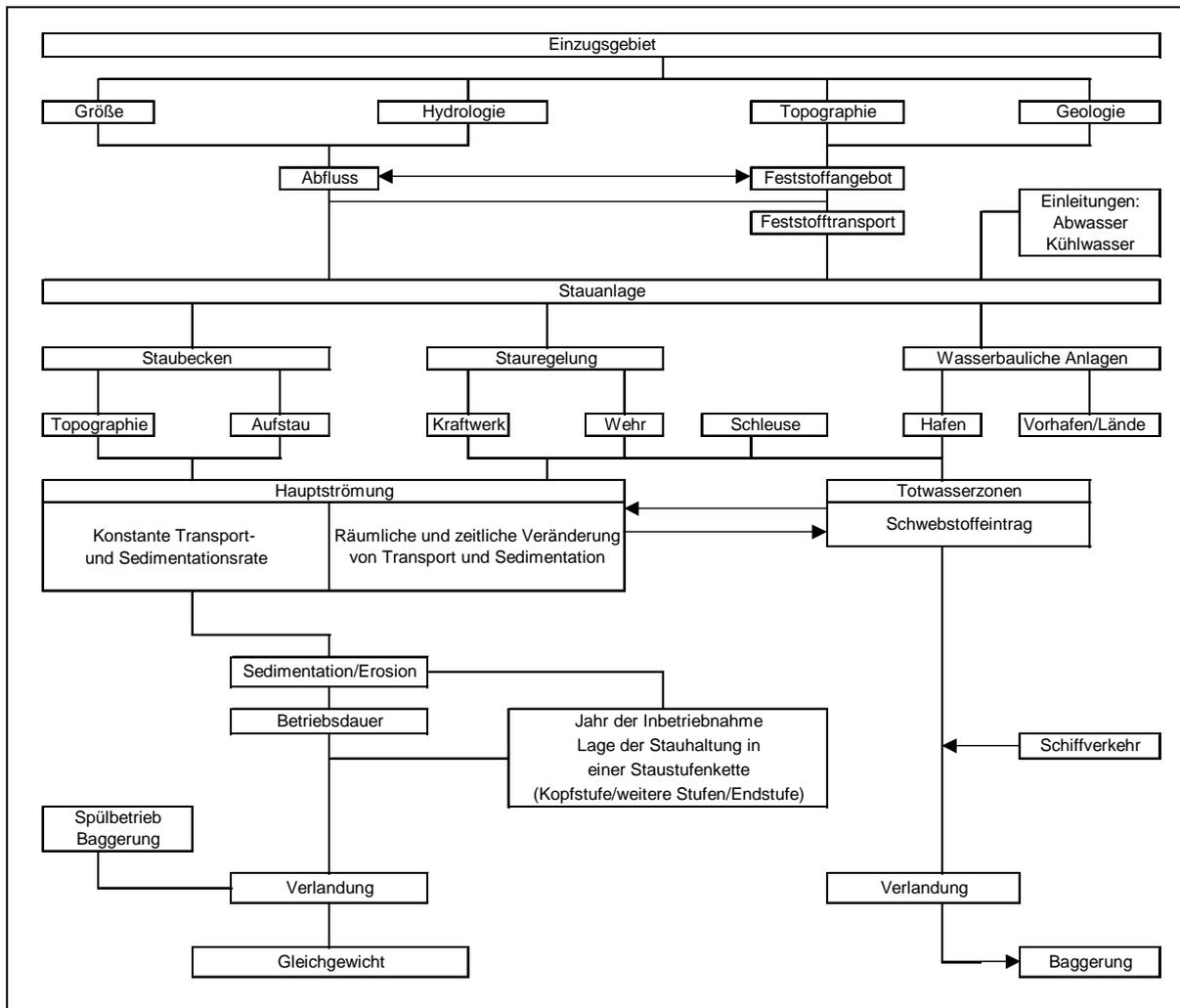


Abbildung 2.4 Verlandungsschema (WESTRICH 1981)

## 2.4 Auswirkungen der Stauraumverlandung

Als Folge des Sedimenteintrags in einen Stausee ergeben sich technische und wirtschaftliche Nachteile, sowie ökologische Auswirkungen auf die Gewässerfauna vor und nach einem Stau (Abbildung 2.5)

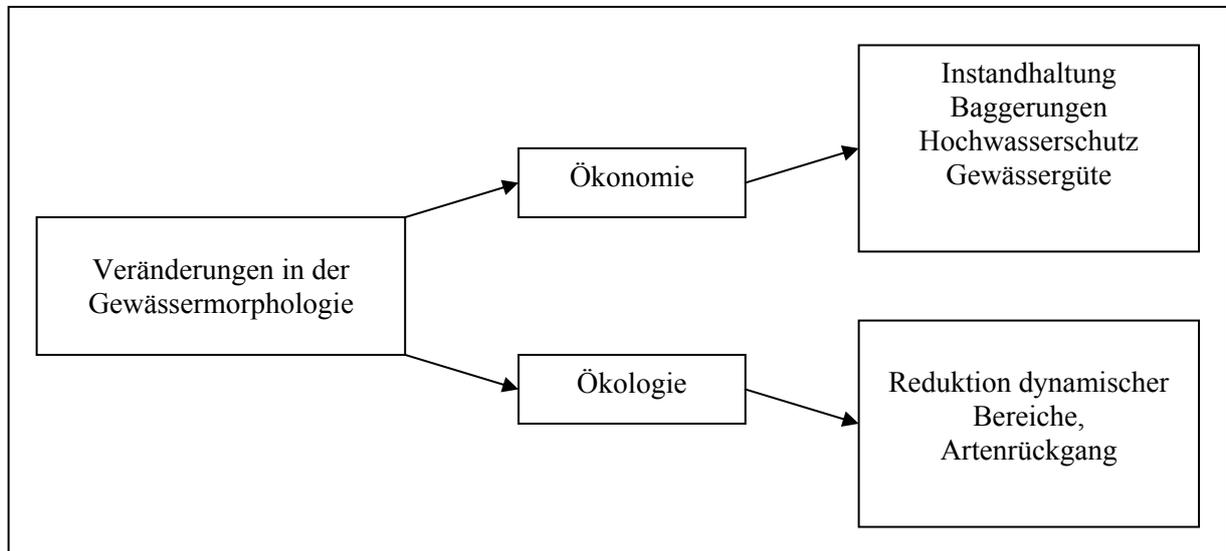


Abbildung 2.5 Konsequenzen eines veränderten Sedimenttransports (HABERSACK, 1997)

Jede flussbauliche Maßnahme zieht Veränderungen der Gewässermorphologie nach sich. Das gilt nicht nur für freie Fließstrecken mit Regulierungsmaßnahmen sondern auch für Stauhaltungen. Alle Flüsse transportieren Sediment ebenso wie Wasser. Sperrenbauwerke beeinflussen den Transport beider Substanzen in unterschiedlicher Weise.

Wenn Speicher altern, werden die Einflüsse der Verlandung größer und besser erkennbar, wodurch auch die damit in Zusammenhang stehenden Probleme verdeutlicht werden (MORRIS und FAN, 1998).

### 2.4.1 Wirtschaftliche Probleme

Man unterscheidet grundsätzlich das Fassungsvermögen eines Speichers und den Nutzspeicherinhalt. Der Nutzspeicherinhalt ist die Wassermenge zwischen Stauziel und Absenkziel. Durch Verlandungserscheinungen kann es zur Reduktion des Nutzspeicherinhalts führen. Das hat Auswirkungen auf die Energieproduktion und wirkt sich aus der Sicht des Kraftwerksbetreibers auf die Wirtschaftlichkeit des Speichers aus. Speziell bei Speicherkraftwerken mit Spitzenstromabdeckung, das sind wie im Falle des Speichers Sölk Tages- oder Wochenspeicher mit geringem Speicherinhalt, sind die Auswirkungen auf eine Nutzspeicherreduktion äußerst groß. Zusätzliche Kosten entstehen für den Kraftwerksbetreiber durch z.B. Geschiebeabgrabbungen, Saugabgrabbungen und Spülungen.

### 2.4.2 Technische Probleme

Ablagerungen wirken sich nachteilig bei Wasserfassungen und Grundablässen aus. Geschiebe und abgesetzte Schwebstoffe müssen aus sicherheitstechnischen Gründen entfernt werden um eine Verlegung des Grundablasses auszuschließen (VISCHER, 1981).

Harte Minerale können im Unterwasser von Ausleitungen wie ein Sandstrahl wirken (EVRARD, 1985). Sedimente mit einem Korndurchmesser größer 0,1 mm beschleunigen die Abrasion an Turbinen erheblich. Bei großen Fallhöhen und quarzhaltigem Sediment reichen dafür auch schon weit kleinere Korngrößen aus. Dadurch wird die Effizienz der Energieerzeugung eingeschränkt und erfordert erhöhten Wartungs- und Reparaturaufwand. Grundablässe können ebenfalls durch Abrasion beschädigt werden (MORRIS und FAN, 1998). Feinsedimente im Triebwasser können sich aber auch positiv auf die Energieerzeugung auswirken, sie erhöhen die Dichte des Wassers.

Eine der größten Gefahren durch Sedimentation ist die Verlegung von Grundablässen durch abgelagerte Sedimentmassen, welche noch durch Holz, das gleichsam als Bewehrung wirkt, verstärkt werden können. Dies kann sogar zum kompletten Verlegen des Grundablasses führen. Vor der Sperre abgelagertes Material, welches bereits in der Planung berücksichtigt werden muss, bewirkt eine zusätzliche Belastung der Konstruktion (ÖWAV, i. V.). Außerdem ist es möglich, dass im Sediment enthaltene Stoffe, speziell Schwefelverbindungen, die Betonfestigkeit verringern bzw. zu Korrosion von Metallteilen führen (EVRARD, 1985).

### 2.4.3 Ökologische Probleme und ökologische Ziele für das Feststoffmanagement

Wehranlagen und Sohlabstürze zählen zu den Ursachen für Unterbrechungen des Fließgewässerkontinuums bzw. der Gewässervernetzung. Zusätzlich führen aber auch Gewässerabschnitte mit unzureichender Lebensraumqualität aufgrund von Abwasserbelastung, Flussregulierung, Aufstau, Ausleitung und Schwellbetrieb zur Fragmentierung der Gewässer. Die Folgen der Kontinuumsunterbrechung sind Abnahme oder Unterbindung sowohl abiotischer (z.B. Feststoffhaushalt) als auch biotischer Austauschprozesse in longitudinaler und lateraler Hinsicht (SCHMUTZ, 1996).

Stauraumspülungen treten sowohl bei Laufkraftwerken als auch bei Speicherkraftwerken auf. Auswirkungen von Stauraumspülungen auf Biozönosen während der Spülung sowie deren Folgewirkungen sind in Abbildung 2.6 zusammengefasst. Die plötzliche Remobilisierung von über längere Zeiträume akkumulierten Feststoffen führt zu einer Stoßbelastung flußab gelegener Gewässerabschnitte. Infolge der schwallartigen Spülung, und des plötzlich eintretenden Geschiebetriebs, erfolgt eine mechanische Abschwemmung aquatischer Organismen, wobei v.a. benthische Organismen (z.B. Makrozoobenthos, Bodenfische) betroffen sind (Wiesbauer et al., 1991).

Zu den ökologischen Zielen im Feststoffmanagement zählen (ÖWAV, 2000):

- Aufrechterhaltung des Geschieberegimes zur Vermeidung von Eintiefungen in freien Fließstrecken.
- Eine Stauraumgestaltung, die eine ökologische Aufwertung, eine Förderung des Feststofftransports und eine Vermeidung bzw. Minimierung der Managementmaßnahmen zur Folge hat.
- Schonung des Ökosystems.

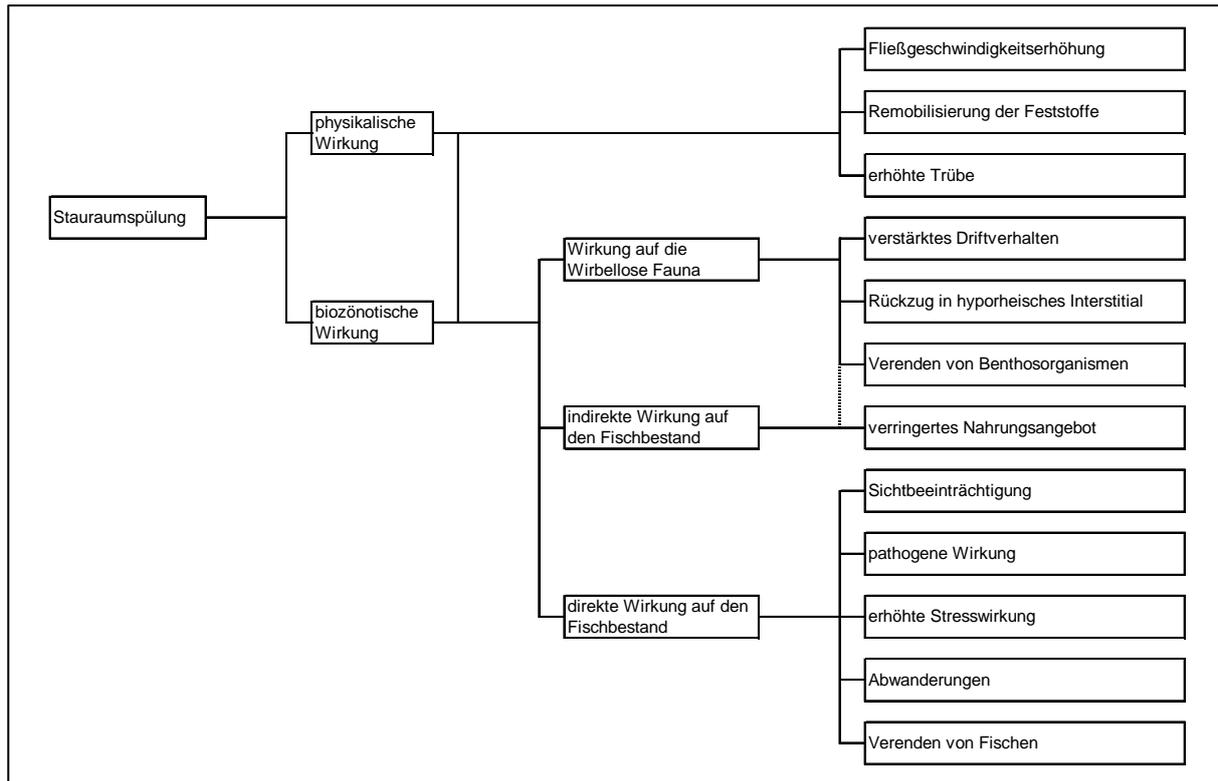


Abbildung 2.6 Beeinträchtigung von Fließgewässerbiozönosen infolge Stauraumpülungen (WIESBAUER et al., 1991)

## 2.5 Maßnahmen gegen die Verlandung

Da die Verlandung von Stauräumen von vielen Faktoren abhängt, gibt es keine einzelne Maßnahme dagegen. Zur Vereinfachung kann man die verschiedenen Maßnahmengruppen in Kategorien einteilen, nämlich in:

- Flächenhafte Maßnahmen im Einzugsgebiet
- Geschieberückhalt
- Entfernen des abgelagerten Sediments
- Durchtransport des Sediments durch den Speicher

Zur Entfernung des bereits abgelagerten Sediments existieren verschiedene Möglichkeiten. Baggerungen und Spülungen werden häufig angewandt, Spülungen bei abgesenktem Wasserspiegel haben sich jedoch als am wirtschaftlichsten erwiesen (GRAF, 1981).

In Tabelle 2.2 sind mögliche Maßnahmen zur Verhinderung oder Reduktion der Stauraumverlandung angeführt. Die gängigsten Verfahren werden in weiterer Folge beschrieben.

Tabelle 2.2 Grundsätzliche Maßnahmen zur Verhinderung oder Reduktion von Verlandungsproblemen bei Speichern (SCHLEISS et. al., 1996)

<b>Maßnahmen im Einzugsgebiet</b>	<b>Wirkung auf die Anlage</b>
Erosionsschutz: Vegetation, Entwässerung, Materialrückhalt	Reduktion Sedimenteintrag
Sandfänge bei Wasserfassungen	Reduktion Sedimenteintrag
Vorsperren bei den natürlichen Speicherzuflüssen	Reduktion Sedimenteintrag
Geschiebeumleitungen über einen Entlastungsstollen, von einer Vorsperre bis in den luftseitigen Bereich der Mauer	Geschiebeableitung aus dem Einzugsgebiet

<b>Maßnahmen im Stauraum</b>	<b>Wirkung auf die Anlage</b>
Umlagerung der Sedimente im Stauraum (Schwimm-, Saugbagger, Air-lift)	Freihaltung Triebwasserfassung (kein Volumenrückgewinn)
Sedimentableitung aus dem Stauraum (Schwimm-, Saugbagger, Air-lift)	Freihaltung der Triebwasserfassung (Volumenrückgewinn)
Abpumpen über Mittelablass über Triebwasserweg , HW-Entlastung in Abhängigkeit des Seestandes	
Spülen mit Grundablass	Freihaltung des Grundablasses (Volumenrückgewinn)
Schutzdamm im Vorfeld der Triebwasserfassung	Schutz vor Dichteströmen
Bauliche Maßnahmen bei der Triebwasserfassung	Wirkung auf die Anlage
Höherlegung der Triebwasserfassung	Freihaltung Triebwasserfassung (zeitlich begrenzt)
Bau einer Spülvorrichtung	Freihaltung Triebwasserfassung (Volumenrückgewinn)
Schutzwand vor der Triebwasserfassung	Schutz vor Dichteströmen
Ringförmig vor der Triebwasserfassung angelegte Wasserjets zur Sedimentaufwirbelung	Freihaltung Triebwasserfassung (Volumenrückgewinn)

### **2.5.1 Maßnahmen im Einzugsgebiet**

Flächenhafte Maßnahmen sind, wenn überhaupt möglich, die wirksamste Methode zur Kontrolle der Verlandung, weil dadurch die Mobilisierung von Sediment im Einzugsgebiet und im Flusslauf selbst verringert wird. Solche Kontrollmaßnahmen können in kleinen Einzugsgebieten verwirklicht werden, in größeren wäre es zu teuer und zeitaufwendig. Bei der Planung eines Speichers sollten die Gegebenheiten im Einzugsgebiet auf alle Fälle sorgfältig untersucht und berücksichtigt werden. Entsprechende Bodenschutzmaßnahmen zählen zu den effektivsten Möglichkeiten zur Verringerung der Erosion. Die wichtige Rolle der richtigen Bodenbewirtschaftung in der Forst- und Landwirtschaft muss ebenfalls berücksichtigt werden (GRAF, 1981).

#### **Geschieberückhalt**

Der Eintrag von Sediment in einen Speicher kann auch durch konstruktive Maßnahmen im Einzugsgebiet vermindert werden. Dabei sollen sowohl Flussbettstabilisierungen als auch Geschieberückhaltesperren in Betracht gezogen werden (GRAF, 1981).

Die Entstehung von Geschiebe zu verhindern ist nur in sehr beschränktem Umfang möglich. Verbauungen beeinflussen Wildbäche und Uferanrisse als Geschiebequellen. Die Verbauung hat allerdings durch die Gleichgewichtsbedingung zwischen Abfluss und Geschiebetrieb eine natürliche Grenze. Hält man zu viel Geschiebe zurück, nimmt sich der Zufluss den zum Gleichgewicht notwendigen Ersatz aus Sohlen- und Seitenerosion. Durch geschickte Anordnung von Geschiebesperren kann man wenigstens diejenigen Teile des Einzugsgebiets vorübergehend ausschalten, die besonders zur Geschiebebildung beitragen (HARTUNG, 1959).

#### **Erosionsschutz**

Speziell die flächenhafte Bodenerosion kann wirksam bekämpft werden, indem im Einzugsgebiet für eine entsprechende Vegetationsdecke gesorgt wird. Besonders der Eintrag von Schwebstoffen kann dadurch vermindert werden (HARTUNG, 1959).

### **Lage des Speichers**

In Hinblick auf den Feststoffeintrag in einen Speicher wäre es günstig, diesen in einem Nebental zu errichten, weil dadurch das Wasser des Haupttales geschiebefrei gefasst, entsandet und in den Stausee übergeleitet werden kann. Dies ist im allgemeinen nicht möglich, aber es hat sich hinsichtlich des Geschiebes als günstig erwiesen, wenn das natürliche Einzugsgebiet des Speichers möglichst klein ist und dieser hauptsächlich über Beileitungen gespeist wird (VISCHER, 1981). Durch den Einbau von Sandfängen in die Wasserfassungen der Beileitungen kann so der in den Speicher eingetragene Feststoff stark reduziert werden.

### **Kiesfänge**

Um das Geschiebe aus dem natürlichen Einzugsgebiet erst gar nicht in den Speicher gelangen zu lassen, können Kiesfänge errichtet werden. Diese werden durch Vorsperren vom restlichen Speicher getrennt. Das grobe Material wird hier abgelagert und kann durch Baggerung entfernt werden. Bei der Errichtung eines solchen Kiesfanges ist daher auf eine gute Erreichbarkeit mit schwerem Gerät zu achten.

### **Geschiebeableitung**

Bei allen bisher genannten Maßnahmen wird der Feststoffhaushalt des Einzugsgebiets beeinträchtigt, da die zurückgehaltenen Feststoffe im Unterwasser des Speichers fehlen. Eine Methode um dieses Problem zu umgehen, ist die Geschiebeableitung durch einen Entlastungsstollen, der bei Hochwasser geöffnet wird und durch den das Geschiebe ins Unterwasser transportiert wird (WAKONIG, 1999).

## **2.5.2 Maßnahmen im Stauration**

Bei der Errichtung eines Speichers soll bereits auf die zu erwartenden Feststoffablagerungen Rücksicht genommen werden. Es ist dafür zu sorgen, dass ein ausreichend großer Totraum (jener Raum, der nicht oder nur mit Pumpen entwässert werden kann) zur Verfügung steht, um das während der Nutzungsdauer ankommende Sediment aufnehmen zu können. Die entsprechende Ausbildung der Grundablässe und Turbineneinläufe ist ebenfalls ein Instrument zur Bewirtschaftung der Feststoffe (GRAF, 1981).

### **Spülungen**

Bis zu einem gewissen Grad können Sedimente auch entfernt werden, indem man sie durch den Grundablass spült (siehe Abbildung 2.7). Die Wirkung der Spülung ist umso besser, je länger und intensiver sie erfolgt und je tiefer der Stauspiegel dabei abgesenkt wird. Diese Aussage wird verständlich, wenn man

bedenkt, dass es großer und anhaltender Schleppkräfte bedarf, um Geschiebe- und konsolidierte Schwebstoffablagerungen aufzulockern und abzutragen (VISCHER, 1981).

Wo immer es möglich ist, wird zur Entlandung eines Speicherbeckens eine Speicherbeckenspülung vorgezogen, da bei dieser der Sedimenthaushalt, wenn auch diskontinuierlich, aufrechterhalten wird (ÖWAV, 1998).

Die Spülung von Feststoffen durch den Grundablass kann auf zwei Arten durchgeführt werden (KRUMDIECK und CHAMOT, 1981):

- Spülung „unter Druck“
- Spülung „bei freiem Wasserspiegel“

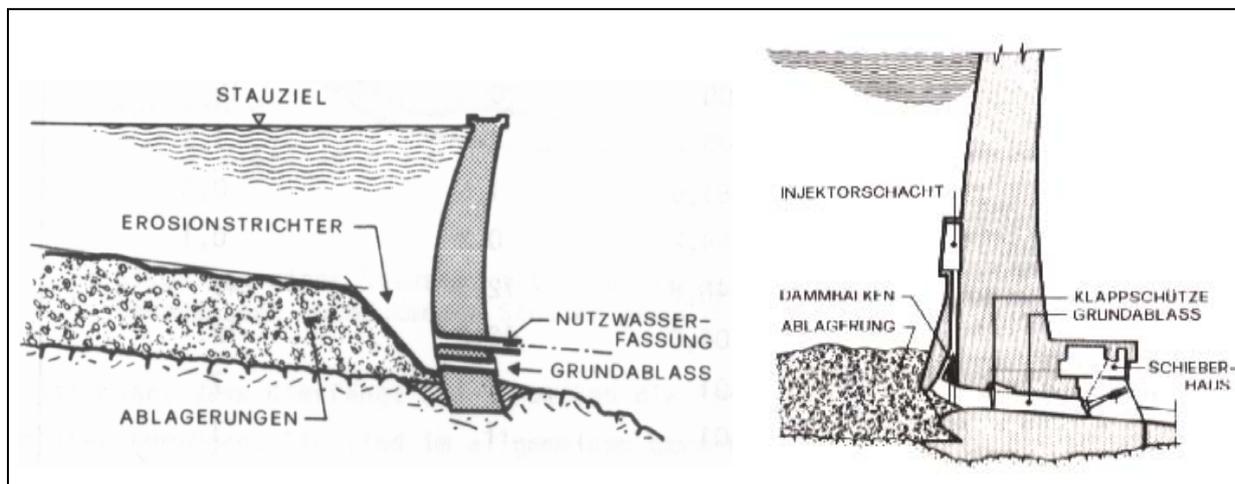


Abbildung 2.7 Längsschnitt einer Sperre mit Grundablass und darüber liegender Fassung. Kurze Spülungen bei vollem Stausee schaffen bloß einen Erosionstrichter mit steilen Böschungen, vermögen also die Ablagerungen nur in einem engen Bereich abzutragen (VISCHER, 1981).

### Baggerungen

Baggerungen sind ebenfalls eine häufig angewandte Methode, um bereits verlandeten Stauraum zurückzugewinnen oder um die Betriebsorgane von Sediment frei zu halten. Grundsätzlich muss dabei zwischen Räumungen und Umlagerungen unterschieden werden. Während bei der Räumung das Material aus dem Speicher entfernt wird, wird es bei Umlagerung in einen Teil des Speichers verfrachtet, der für den Betrieb eine unbedeutende Rolle spielt. Auch das in Kiesfängen oder Geschiebeauffangräumen abgelagerte Sediment wird normalerweise durch Baggerung entfernt. Ob das Material für eine Verwendung zum Beispiel im Straßenbau oder ähnlichem geeignet ist, hängt völlig von der Sedimentqualität ab. Kann es nicht verwendet werden, so bedeutet die notwendige Deponierung eine erhebliche finanzielle Belastung für den Betreiber des Speichers. Manchmal ist auch möglich, das Material kontrolliert ins Unterwasser zurückzugeben.

### 3 Untersuchungsgebiet

#### 3.1 Geographische Beschreibung des Projektgebietes

Das Projektgebiet Großsölktal befindet sich in der nördlichen Steiermark im Bezirk Liezen und liegt in den Niederen Tauern. Das Einzugsgebiet des Großsölkbaches Abbildung 3.1 umfasst eine Größe von ca. 141 km<sup>2</sup>. Das Sperrnbauwerk ist gleichzeitig der Gebietsauslass des Untersuchungsgebietes auf einer Höhe von 901,80 m ü.A. (Stauziel), den höchsten Punkt bildet der Große Knallstein, 2599 m ü.A..



Abbildung 3.1 Projektgebiet in der Steiermark (BEV, ÖK 200)

Das Einzugsgebiet kann in 7 Teileinzugsgebiete unterteilt werden, die größten Zubringer zum Großsölkbach sind der Hansenalmbach, Bräualmbach, Seifriedbach und der Strickerbach.

## 3.2 Geologie

Die Verwitterbarkeit des anstehenden Gesteins und das Vorhandensein von Lockergesteinen wirken sich direkt auf die Geschiebe- und Schwebstoffproduktion aus.

Das Großsölkatal liegt in den Niederen Tauern, im Nordwesten jener Gebirgseinheit, die geologisch als Muriden bezeichnet wird. Diese sind Teile der altkristallinen Zentralalpen und wurden wegen ihrer mittleren Position innerhalb der drei ostalpinen Decken als Mittelostalpin bezeichnet (Abbildung 3.2).

### 3.2.1 Geologischer Aufbau

(nach BECKER, 1989)

Die liegendste Gesteinseinheit ist der Gneis-Komplex, der vornehmlich aus hellgrauen, feinkörnigen, feingeschiefert bis gefaserten Gneisen besteht. Diese treten im Bereich des Süßleitecks im Süden des Bräualmtales auf. Hier sind auch granitische Gesteine eingeschaltet, die grobkörniger, massiger und von der Farbe her heller ausgebildet sind. Der nächst höhere Amphibolit-Komplex wird hier vorwiegend von hornblendeführenden Schiefen und Gneisen aufgebaut. Er tritt nur im Kleinsölkatal zutage. Im Großsölkatal wird er vom Glimmerschiefer-Komplex überlagert. Dieser wird von einer breiten Palette verschiedener glimmerführender Metamorphite aufgebaut. Als geringmächtige Lagen oder Linsen können darin Amphibolite und Marmore eingeschaltet sein. Zwischen dem Kochofen und der Ortschaft Großsölk (Sölker Marmor) und dem Gipfelgebiet des Gumpeneck (Gumpenecker Marmor) werden die Marmorzüge häufiger und vor allem mächtiger.

Im Norden werden die Glimmerschiefer von Phylliten und Grünschiefern überlagert, die bereits der höheren oberostalpinen Decke zugerechnet werden. Die „Ennstaler Phyllite“ sind graue bis dunkelgraue, feinschiefrige, ebenplattige bis blättrige Gesteine mit seidenglänzenden Spaltflächen. Den Phylliten sind verschiedenmächtige Lagen von Grünschiefern zwischengeschaltet.

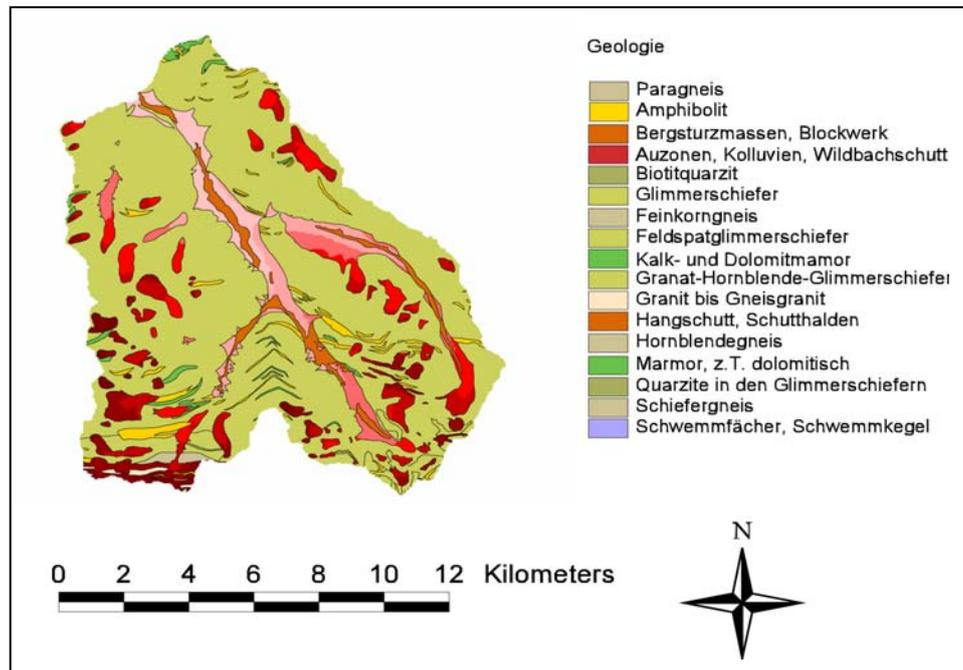


Abbildung 3.2 Geologische Karte des Einzugsgebiets

### 3.3 Landnutzung

In den Gemeinden Großsölk, Kleinsölk und St. Nikolai entfallen 10.694 ha oder 37% auf Waldland. Wenn man die Eigentumsart berücksichtigt, so fallen 17% der Waldfläche auf Waldbesitz unter 59 ha, 68% auf über 50 ha und 15% auf Agrargemeinschaften (Abbildung 3.3). Groß ist in dieser Region auch der Anteil an Almen. Sie sind mit 8.224 ha oder 28% im hohen Ausmaße an den Gemeindeflächen beteiligt (BIERINGER, 1984). Einen Teil dieser Almen hat sich der Wald jedoch im Laufe der Zeit zurückerobert. Damit erhöht sich die Waldfläche noch um einiges. Ausschlaggebend für die relativ geringe Waldflächenausstattung sind die zahlreich vorhandenen unproduktiven Flächen oberhalb der natürlichen Waldgrenze. Rund 6100 ha oder 21% entfallen auf landwirtschaftliche Nutzflächen, die in erster Linie als Grünland genutzt werden. Der Anteil an Ackerland ist gering (WAKONIG, 1999).

Die Höhenstufen der Vegetation reichen von der montanen Höhenstufe bis zur alpinen, wenige Gipfel reichen bis in die subnivale Höhenstufe (HÖLLRIEGL und MAYRHOFER, 1989). Die unteren, steilen Taleinhänge sind zu einem großen Teil mit Fichte bestockt, die in dieser Lage der unteren Nadelwaldstufe standortsgemäß ist. In höheren Lagen tritt vermehrt die Lärche als Mischbaumart auf, die dann im Schutzwaldbereich und in der Kampfzone des Waldes häufig alleine den Baumbewuchs übernimmt (BIERINGER, 1984).

Die Verlandungstendenz von Stauhaltungen wird im Wesentlichen vom Feststoffeintrag der Zuflüsse bestimmt. Maßgebenden Einfluss auf die Feststofffracht haben dabei folgende Parameter des Einzugsgebiets: Geologie, Vegetation, Topographie, Geomorphologie (Verwitterung, Denudation, Erosion), Klima (Verdunstung, Wind- und Temperaturverhältnisse, Niederschlagsereignisse) und anthropogene Faktoren (Bewirtschaftung, Bebauung). Je nach der Charakteristik des Einzugsgebietes wirken bestimmte Faktoren verstärkend oder abmindernd auf den Feststofftrieb (ÖWAW, 2000). Durch die anthropogene Beeinflussung von Fließgewässern, durch Flussbau oder Flusstauhaltungen, können Feststoffeintrags-, Transport- und Ablagerungsvorgänge in einem Einzugsgebiet verändert werden. Flusstauhaltungen wie das des Großsölkseichers nehmen auch Einfluss auf die Nachbareinzugsgebiete.

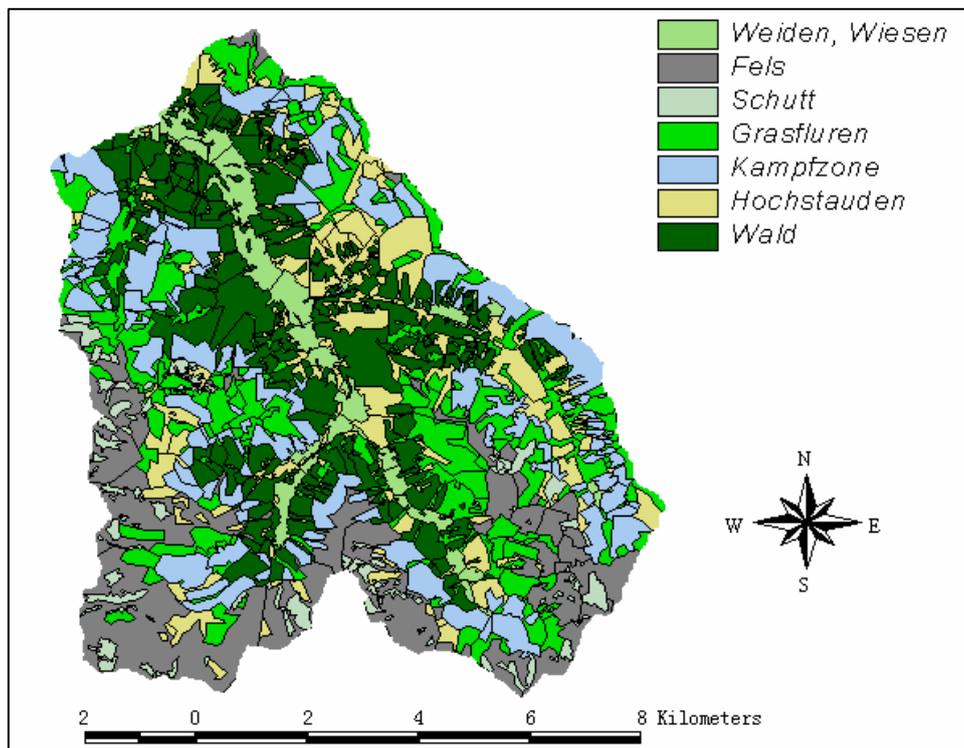


Abbildung 3.3 Landnutzung im Einzugsgebiet

### 3.4 Hydrologie

#### 3.4.1 Niederschlag im Speichereinzugsgebiet

Der langjährige mittlere Niederschlag (Abbildung 3.4) beträgt für St. Nikolai 1194 mm (HZB), für das gesamte natürliche Einzugsgebiet des Sölkspeichers beträgt er 1530 mm (HYDROGRAPHISCHE LANDESABTEILUNG, 1975). Der gesamte Niederschlag fällt an 130 bis 150 Tagen, wobei nur an 16 bis 20 Tagen Gewitter auftreten. Durchschnittlich fallen von April bis August 55% der Jahresniederschläge (KRABICHLER, 1981). Das Jahr 2000 liegt mit 44,5% deutlich darunter. Das größte Tagesmaximum von 90 mm wurde am 5.8.1928, die größte Monatssumme von 326 mm im August 1966 beobachtet (HZB, 1995).

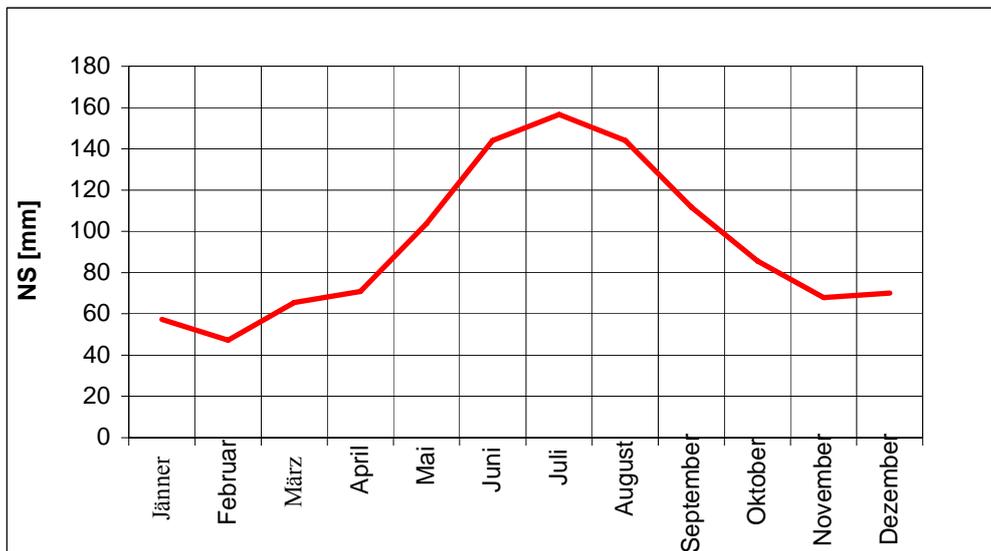


Abbildung 3.4 Mittlere monatliche Niederschlagssummen in St.Nikolai/Sölkthal (1981–1995)

#### 3.4.2 Abflussverhältnisse im Speichereinzugsgebiet

Der mittlere Abfluss MQ des Sölkbaches beträgt bei der Sperre Großsölk  $5,23 \text{ m}^3/\text{s}$ . Das entspricht einer mittleren Abflusspende von  $37,2 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  bzw. einer mittleren Abflusshöhe von 1178 mm. Der mittlere Jahreskleinstabfluss MJNQ beträgt  $0,84 \text{ m}^3/\text{s}$ , der kleinste zu erwartende Abfluss  $0,68 \text{ m}^3/\text{s}$ . Das 1-jährliche Hochwasser HQ<sub>1</sub> wurde zu  $42 \text{ m}^3/\text{s}$  errechnet, das 10-jährliche zu  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  und das 100-jährliche zu  $165 \text{ m}^3/\text{s}$  (HYDROLOGISCHE LANDESABTEILUNG, 1975). Das bedeutendste hydrologische Ereignis im Jahr ist die Schneeschmelze. In Abbildung 3.5 sind die Überschreitungsdauerlinien der Speicherzuflüsse dargestellt.

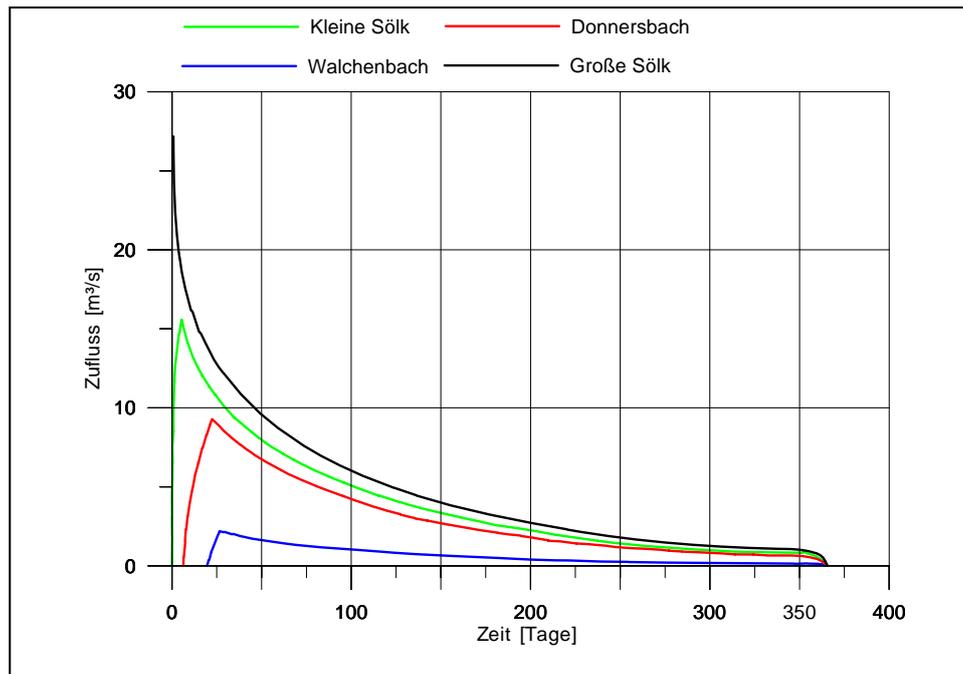


Abbildung 3.5 Jahresdauerlinien der Zuflüsse zum Speicher Großsölk

Die Zuflüsse zum Speicher Sölk sind, ausgenommen der Großsölkbach, künstlich geschaffene Beileitungen. Ist das Stauziel des Speichers erreicht ( 901,8 *m.ü.A.*), werden die Beileitungen nacheinander abgeschaltet, das ist abhängig vom Gesamtzufluss.

### 3.4.3 Kraftwerksanlage Großsölk

Das Kraftwerk Sölk wurde 1976 bis 1978 gebaut und im August 1978 in Betrieb genommen. Weiters wird aus den Einzugsgebieten Donnersbach und Kleinsölkbach Wasser über Beileitungen geführt und in den Speicher geleitet (Abbildung 3.7). Die Einleitungsbauwerke befinden sich im vorderen Drittel des Stausees (Abbildung 3.6). Die Bachfassung Kleinsölk (Wehr mit Einlaufbauwerk) bringt eine maximale Einzugswassermenge von  $Q = 14 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Beileitung Donnersbach besteht aus zwei Bachfassungen, Bachfassung Donnersbach (Tiroler Wehr) und Bachfassung Walchenbach (Tiroler Wehr) mit  $Q = 8,5 \text{ m}^3/\text{s}$  bzw.  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  maximaler Einzugswassermenge. Sie wird über eine Schanze in den Stausee eingeleitet.

Von der Sperre Sölk führt ein Druckstollen mit einer Länge von 5,2 Kilometer zu einem Wasserschloss und von dort weiter geht eine 0,9 Kilometer lange Stahldruckrohrleitung bis ins Kraftwerk Stein am Sölkbach. Im Krafthaus ist eine Francisturbine mit einer Ausbauwassermenge von  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  (Überlast  $34 \text{ m}^3/\text{s}$ ) eingebaut. Die Engpassleistung beträgt 61000 *KW*, das Jahresarbeitsvermögen 221 Mio. *KWh* (STEWEG).

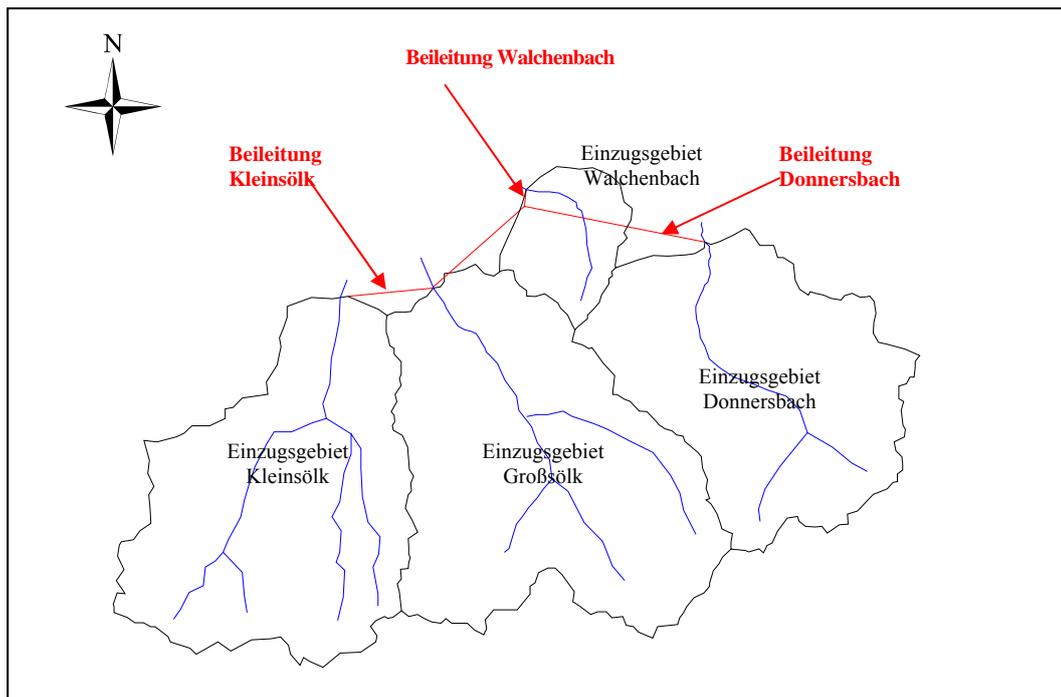


Abbildung 3.6 Beileitungen und deren Einzugsgebiete

Bisher erfolgten drei bewilligte Stauraumpülungen (1987, 1999, 2001). Es wird eine periodische Stauraumpülung angestrebt, wofür die umfangreichen Beweissicherungsergebnisse der Spülung 1999 die Randbedingungen liefern sollen (ÖWAW, 2000).

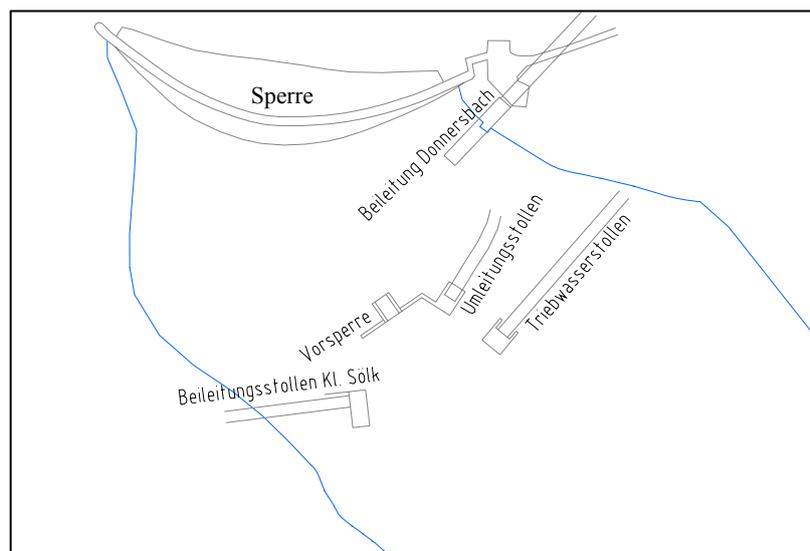


Abbildung 3.7 Sperrbauwerk mit Beileitungen, Grundablass und Triebwasserstollen

## 4 Messmethodik im Einzugsgebiet der Sölk

Die Erfassung der aktuellen fluvialen Geomorphodynamik erfordert die Einrichtung von Messnetzen, da die Aufnahme der benötigten Daten im Rahmen der offiziellen Messstellen des Hydrografischen Dienstes (Pegel, NS- Stationen, etc.) viel zu weitständig ist. Einrichtung und Betrieb von Sondermessnetzen, die in der Regel für eine begrenzte Zeit eingerichtet sind, werden intensiv überwacht, um kurzfristige Spitzen voll zu erfassen. Sie erfordern deshalb auch nicht den baulichen Aufwand, der an den offiziellen Messstationen üblich ist. Es ist daher eine Anpassungen an regionale Gegebenheiten und an die gewünschte Fragestellung möglich (BARSCH, 1994).

### 4.1.1 Auswahl einer geeigneten Messstelle

Im Jahr 1999 zeigte sich das bisherige Messnetz im Einzugsgebiet der Sölk als zu weitständig um ein auftretendes Abflussereignis auch in den Teileinzugsgebieten des Sölktales zu erfassen. Tatsache ist, das Messmethoden erst entwickelt werden mussten oder häufig die in der Fachliteratur erwähnten Messanordnungen aus logistischen, arbeitstechnischen, größenmäßigen oder anderen Gründen nicht direkt zu übernehmen waren (BARSCH, 1994). Das bestehende Messnetz wurde stark verdichtet, somit wurde es möglich, auch an den Zubringern der Sölk sinnvolle Schwebstoffmessungen durchzuführen.

Hierfür war es notwendig weitere Pegel an den Zubringern und am Hauptbach zu installieren. Lattenpegel zur einfachen Ablesung des Wasserstandes bei einer Schwebstoffprobenahme ermöglichen mit einer dementsprechenden Pegelschlüsselkurve den momentanen Abfluss und somit den Schwebstofftransport zu berechnen. Maximumpegel lassen den maximalen Abfluss in jedem einzelnen Zubringer der Sölk erkennen. Weiteres wurden Einheimische aus den Orten Mößna, Fleiß und St. Nikolai organisiert, die die Schwebstoffprobenahme bei einem Ereignis übernahmen. Hinzu kam ein weiterer Regenschreiber im Seifriedtal bzw. wurde ein Regenschreiber, der keine repräsentativen Ergebnisse im Jahr 1999 lieferte, versetzt und im Ortsteil Fleiß aufgestellt (siehe Abbildung 4.1).

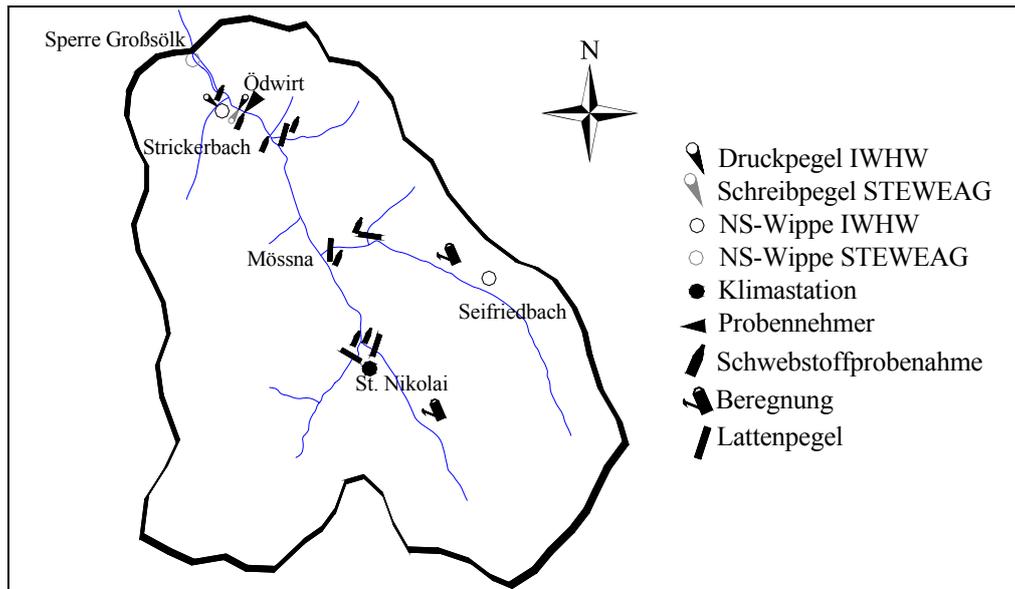


Abbildung 4.1 Messnetz im Großsölkthal

## 4.2 Pegel, Abflussmessungen und Pegelschlüssel

### 4.2.1 Lattenpegel

Im Labor des IWHW wurden aus Flachstahl gefertigte Lattenpegel hergestellt, die den Anforderungen im Sölkthal gerecht werden. Stahl wurde Holz vorgezogen, denn Holz könnte durch anprallende Steine beschädigt werden oder bersten. Außerdem ist die Montage von Holzlatten im Gelände und steilen, steinigem Uferböschungen schwierig.

Pegellatten wurden überall dort angebracht, wo Schwebstoffprobenahmen durchgeführt werden, damit ist es möglich mit einem geeigneten Pegelschlüssel den Abfluss bei einer Schwebstoffprobenahme zu verifizieren. Nicht alle Pegellatten konnten vertikal montiert werden, somit war es notwendig die Neigungen mittels Nivellment einzumessen (Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1 Lattenpegelneigungen und Sohlgefälle

Pegelname	Neigung [Grad]	Mittleres Sohlgefälle im Bereich der Pegel [%]
Seifriedbach	31,56	1,87 (zwischen Absturzbauwerken)
Mößnakarbach	54,82	9,92 (natürliches Gefälle)
Bräualmbach	77,60	1,79 (natürliches Gefälle)
Hansenalmbach	34,43	1,81 (zwischen Absturzbauwerken)
Plöschmitzbach	senkrecht	11,61 (natürliches Gefälle)

### 4.2.2 Maximumpegel

Oft ist es nicht möglich in allen Teilen des Einzugsgebietes Messungen Vorort durchzuführen, entweder aus zeitlichen Gründen oder aus Gründen der Unzugänglichkeit der Messstelle bei Hochwasser.

Weitere wertvolle Daten bei einem erfolgten Hochwasser liefern Maximumpegel, die in entlegenen Gebieten wie im Sölketal hilfreiche Aufschlüsse über den Hergang eines Hochwasserereignisses geben können. Jeweils ein Maximumpegel wurde in ca. 25 m Abstand oberhalb und unterhalb eines Lattenpegels montiert.

#### **Aufbau und Funktionsweise eines Maximumpegels**

Vom IWHW (Ingenieur Fassl) wurde eine einfache aber sehr effiziente Methodik gewählt, die sich bereits in der Messsaison 2000 bewährt hat. Der verwendete Maximumpegel im Sölketal besteht aus einem ca. zwei Meter langen Flachstahl, die Länge sollte auch bei bordvollem Abfluss ausreichend sein und kann je nach den örtlichen Gegebenheiten variieren. Der Verbleib einer wasserlöslichen Beize am Flachstahl markiert den höchsten Wasserstand seit der letzten Ablesung. Der Pegel wird vor Nässe, anprallenden Steinen oder ähnlichem von einem Rohr aus Aluminium geschützt. Eine Verschlusskappe oben und unten dient der Fixierung des Flachstahls im Alurohr, wobei der untere Verschluss keine Dichtung trägt und somit das Wasser ungehindert ins Rohrinne eindringen kann (siehe Abbildung 4.2a und 4.2b).

Um eine Verzögerung des Ansteigens der Wassersäule im Pegelrohr auszuschließen, wurde eine zusätzliche Bohrung angebracht. Die richtige Größe der Bohrung verhindert Wellenbewegungen und damit verbundenes Spritzwasser im Rohr. Steigt das Wasser im Rohr an, markiert wasserlösliche Beize am Flachstahl den maximalen Wasserstand am Pegel, die Ablesung erfolgt mit einem einfachen Maßband oder Ähnlichem. Die Ablesungen können beliebig oft, meist nach einem Ereignis, wiederholt werden. Bei jeder Ablesung wird die Beize erneuert. Je nach Witterungsverhältnissen wird aber der Maximumpegel mindestens ein Mal im Monat abgelesen. Das Abrinnen der Beize, ausgelöst durch Kondenswasser und Feuchtigkeit, kann das Messergebnis stark beeinflussen und verfälschen.

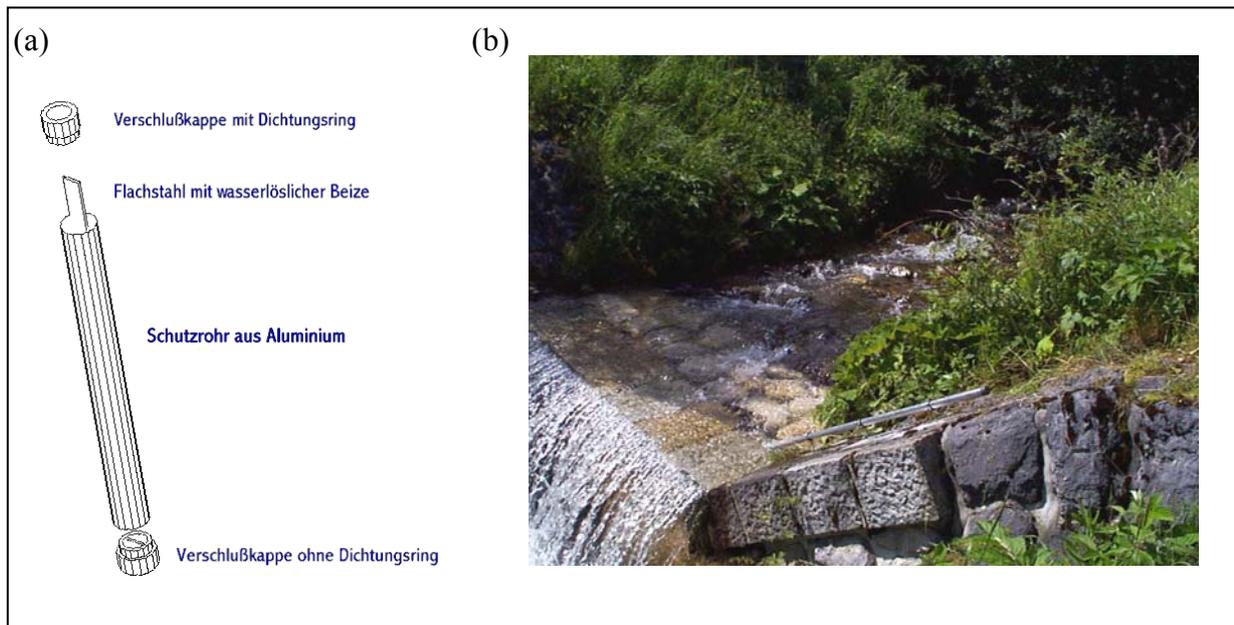


Abbildung 4.2a Aufbau eines Maximumpegels

Abbildung 4.2b Maximumpegel am Strickerbach

### 4.2.3 Druckpegel

Im Jahr 2000 wird der Druckpegel Ödwirt in seiner Funktionsweise beibehalten. Es stehen Daten vom 1.4.2000 bis 22.12.2000 zu Verfügung, wobei ergänzend aufgezeichnete Daten des Schreibpegels Ödwirt verwendet werden.

Eine genaue Beschreibung der Druckmesssonden und der verwendeten Pegelschlüssel zur Berechnung der Abflussdaten ist ausführlich in der Diplomarbeit von WAKONIG (2000) enthalten.

### 4.2.4 Abflussmessungen

Drei Methoden kamen im Sölktal zur Anwendung. Für Geschwindigkeitsmessungen kamen Flügel- und P-EMS - Messgeräte zum Einsatz, für kleinere Bäche wurde die Salzverdünnungsmethode eingesetzt.

Speziell für verbaute Bäche erwies sich der Einsatz von Flügel- und Delftmessungen als besonders günstig, da die Absturzbauwerke ein vordefiniertes, sich nicht veränderndes Profil besitzen und die gemauerte Sohle annähernd horizontal ist.

### 4.2.5 Erstellen der Pegelschlüssel

Für jeden Lattenpegel im Einzugsgebiet wurde ein Pegelschlüssel erstellt. Der verfügbare Zeitraum war zu kurz um entsprechend viele Abflussmessungen für jeden der Pegel durchzuführen. Die meisten Messungen dienten vor allem als Kalibrierungsdaten für das eindimensionale, numerische Wasserspiegel-lagenprogramm HEC-RAS 2.1. Mit HEC-RAS ist es möglich über die Lösung der Saint–Venant–Gleichungen (Energiegleichung) Wasserspiegellagen zu rechnen und Pegelschlüssel zu erstellen. Von HEC-RAS 2.1 wird die in Abbildung 4.3 dargestellte Diffusionswellenansatz, sowie die lokale Beschleunigung zur Berechnung herangezogen, instationäre Abflussverhältnisse können mit dieser Version nicht simuliert werden.

<i>Dynamische Grundgleichung (Bewegungsgleichung) (Energiebilanz)</i>					<i>Kontinuitätsgleichung (Massenbilanz)</i>	(4)
$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$	$+ \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x}$	$+ \frac{\partial y}{\partial x}$	$+ I_e$	$- I_s$	$= 0$	
<i>lokale</i>	<i>konvektive</i>	<i>Druckglied</i>	<i>Reibungs- gefälle</i>	<i>Gerinne- gefälle</i>		<i>hydrologische Verfahren</i>
<i>Beschleunigung (Trägheitsglieder)</i>		<i>kinematischer Wellenansatz</i>				
<i>Diffusionswellenansatz</i>						
<i>Lösung des vollständigen Gleichungssystems, dynamischer Wellenansatzansatz</i>						

Abbildung 4.3 Saint – Venant - Gleichungen zur eindimensionalen Darstellung des instationären, sich allmählich verändernden Strömungsprozesses beim Ablauf von Hochwasserwellen und Möglichkeiten der Modellreduktion (Vereinfachung des Gleichungssystems) (DYCK und PESCHKE, 1995)

Als Grundlage der Berechnungen dienen die Gerinnegeometrie und die Gerinnerauigkeit (Manningrauigkeit). Die Manningrauigkeit wird in der amerikanischen Literatur vielfach verwendet und findet in vielen Fließformeln ihre Anwendung. Sie der Kehrwert der Stricklerrauigkeit.

$$k_{ST} = \frac{1}{n} \quad n \dots \text{Manningkoeffizient} \tag{5}$$

Im Bereich der Pegel wurden die Gewässer mit Querprofilen in kurzen Abständen terrestrisch vermessen (Abbildung 4.4a und 4.4b). Im Programm selbst werden die Querprofile linear interpoliert und können weiter verdichtet werden.

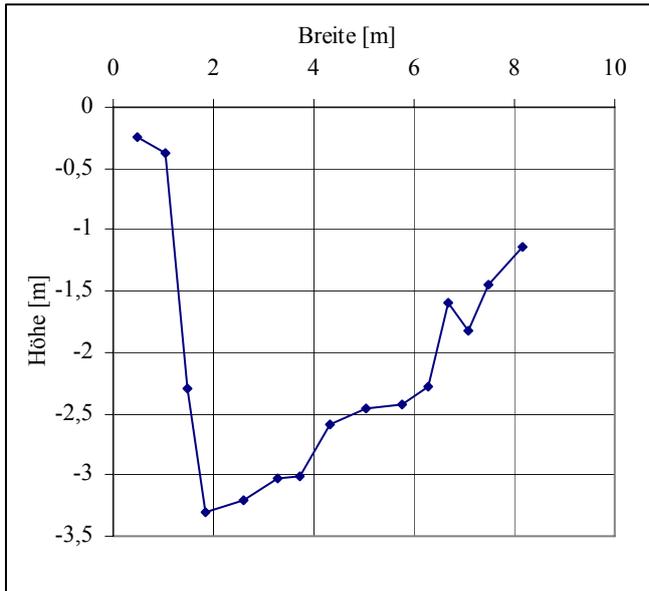


Abbildung 4.4a Pegelprofil Bräualmbach (überhöht)



Abbildung 4.4b Messausrüstung

Als Ergebnis der Vermessung wird in HEC-RAS das Gerinne dargestellt (Abbildung 4.5).

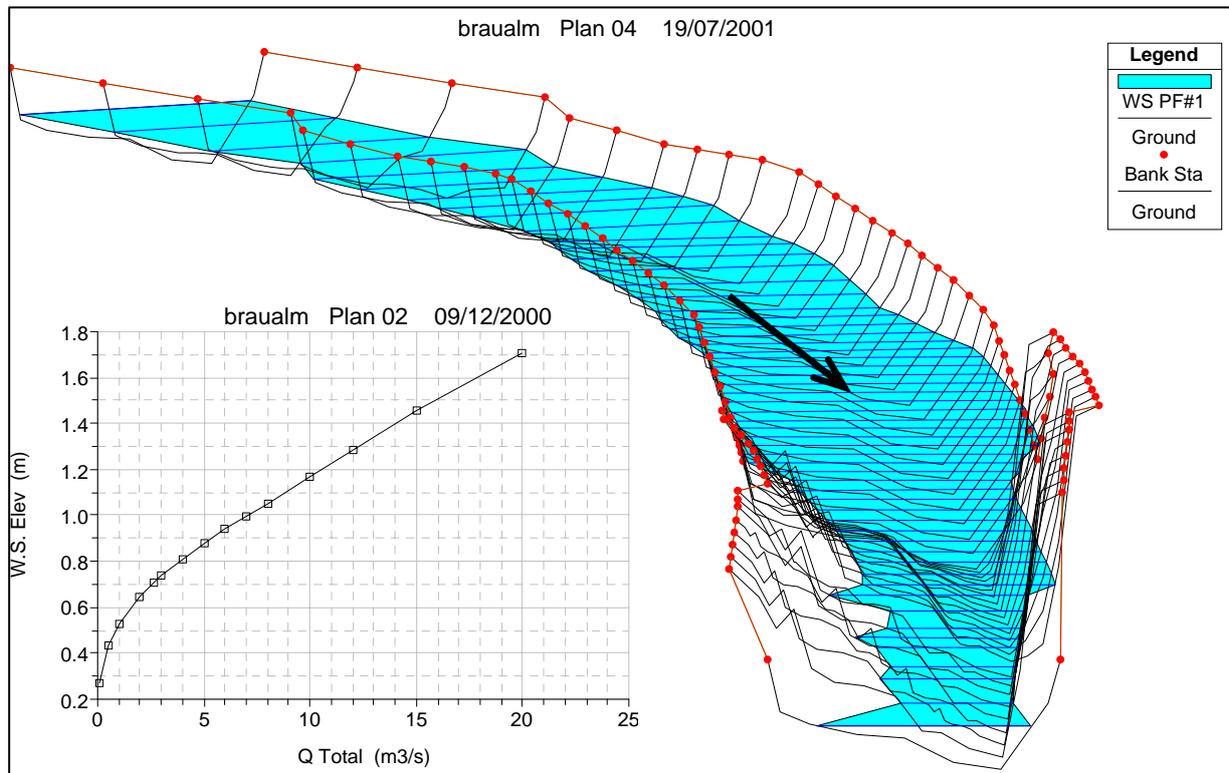


Abbildung 4.5 Gerinneabschnitt Bräualmbach im Wasserspiegellagenprogramm HEC-RAS 2.1 mit Pegelschlüssel im Querprofil 11 (Pegelprofil).

### 4.3 Niederschlagsmessung

Insgesamt standen für den Zeitraum von 1. April bis 31. Dezember 2000 fünf Niederschlagsschreiber im Einzugsgebiet Sölk zu Verfügung.

Drei Regenwippen wurden vom Projekt WARMICE betreut und ein Totalisator mit täglicher Ablesung wird vom Hydrographischen Zentralbüro (HZB) betrieben. Von der STEWEAG standen Messdaten einer Regenwippe zu Verfügung (Abbildung 4.6).

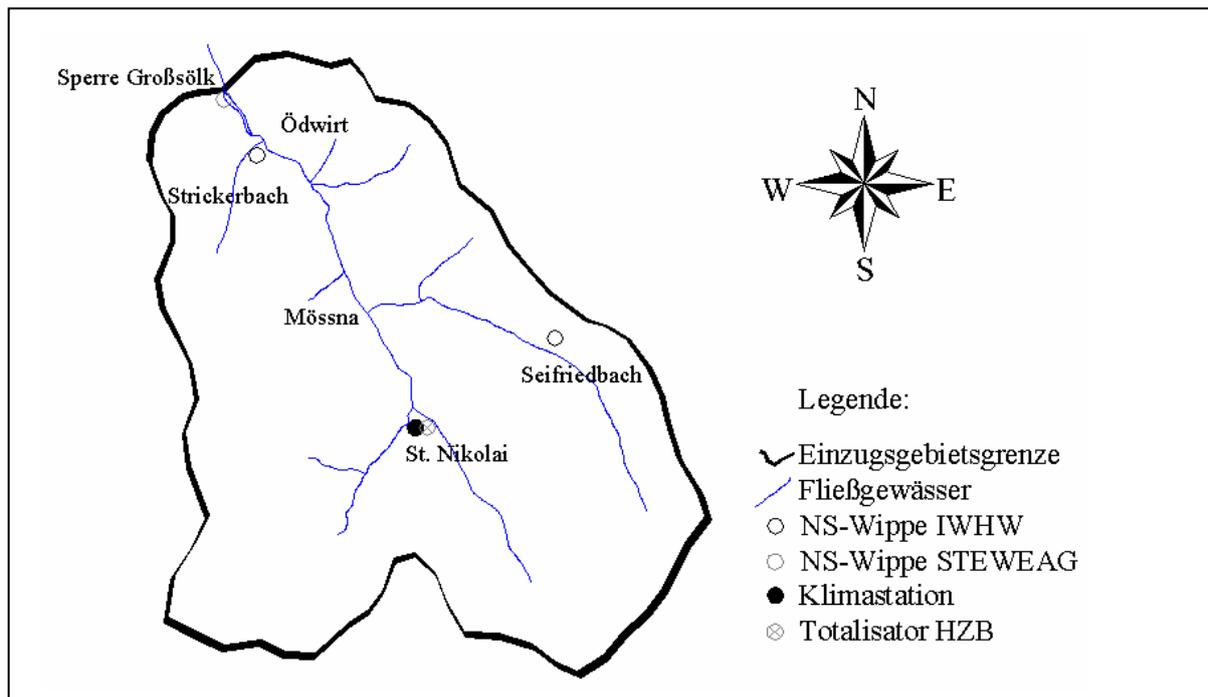


Abbildung 4.6 Niederschlagsschreiber im Einzugsgebiet der Sölk

#### 4.3.1 Niederschlagschreiber

Bei den Niederschlagsschreibern am Seifriedbach und am Strickerbach handelt es sich um Regenwippen der Firma GEALOG mit einer Auflösung von 0,2 Millimeter. Es wurden die Daten alle 15 Minuten auf einem Datenlogger mit Ringspeicher gespeichert, und konnten mittels PC im Feld ausgelesen und weiterverarbeitet werden.

### 4.3.2 Klimastation

Eine Klimastation der Firma KRONEIS mit Regenwippe, Sternpyranometer, Wind- und Temperaturmesser am Standort St. Nikolai konnte wertvolle Daten im Zuge der Schneeschmelze 2000 liefern. Die Regenwippe hat eine Auflösung von 0,1 Millimeter und 15 Minuten Abspeicherintervall. Der Datenlogger besitzt einen Ringspeicher und wird jedes Monat ausgelesen. Als wichtiges Feature kann das Solarpaneel angesehen werden, es versorgt die Batterie mit ausreichend Strom. Die Batterie dient als Pufferspeicher für die Nacht. Damit entfallen monatliche Wartungsarbeiten an der Station selbst.

Das Sternpyranometer wird am häufigsten gewartet. Wichtig ist das Wechseln oder Reaktivieren der Trockensubstanz (Silica – Gel) mindestens alle zwei Wochen. Tritt eine Rosafärbung der Trockensubstanz ein, wird der Behälter auf 80° C erhitzt und kann später wieder eingesetzt werden (KRONEIS, 1994).

## 4.4 Schwebstoffmessstellen und Methodik

### 4.4.1 Auswahl geeigneter Messmethoden

Die zunehmende Bedeutung verlässlicher Aussagen zum Transport von Geschiebe und Schwebstoff in Fließgewässern z.B. für mathematisch-numerische Modellierungen, ökomorphologische Fragestellungen aber auch für Fragestellungen der Sedimentbewirtschaftung machen den Einsatz zeitgemäßer Messgeräte, Messmethodiken und Informationssysteme erforderlich.

Zur Beobachtung und Analyse der Sedimente werden im Projektgebiet je nach Fragestellung, Zugänglichkeit und dem damit verbundenen Betreuungsaufwand verschiedene Messeinrichtungen verwendet (Tabelle 4.2). Im Vordergrund steht das Erfassen von Hochwässern. Somit kommen im Einzugsgebiet Messmethoden zum Einsatz, die speziell auf Ereignisse abzielen.

Tabelle 4.2 Übersicht der angewandten Messmethoden

Messstelle	Methodik
Sölkbach	Pump-probenehmer / Einzelprobenahme
Teileinzugsgebiete	Einzelprobenahme
Beileitungen	Trübungsmesssonden
Triebwasser	Einzelprobenahme

#### 4.4.2 Schwebstoffeinpunktmessung

Die Einpunktmessung wurde vorwiegend in den Teileinzugsgebieten angewandt. Die Entnahme erfolgt mit Hilfe eines Schöpfgerätes möglichst in der Mitte des Gewässers, z.B. von einer Brücke oder einem Boot. Im unmittelbaren Uferbereich ergeben sich nämlich eventuell, besonders bei kurzfristigen Wasserstandsschwankungen, ungewöhnlich hohe Schwankungen des Schwebstoffgehalts. Die Probenahme von Brücken ist besonders vorteilhaft, da von dort auch bei Hochwasser (im Stromstrich und auch bei weiteren Oberflächenpunkten) ohne Schwierigkeiten Wasserproben geschöpft werden können (DVWK Regeln, 1986). Die mit dem Schöpfgerät entnommenen Proben werden in Flaschen abgefüllt, gekennzeichnet und im Labor analysiert (Kapitel 4.6.1).

#### 4.4.3 Schwebstoffvielpunktmessung

Bei der Vielpunktmessung wird wie bei der Abflussmessung an mehreren Messlotrechten und dort in verschiedenen Tiefen je eine Wasserprobe entnommen. Der Abstand der Messlotrechten und die Zahl der Messpunkte je Messlotrechte richtet sich nach Breite und Tiefe des Gewässers (Abbildung 4.7). Die empfohlenen Tiefenstufen sind  $0,8 h$ ,  $0,4 h$ ,  $0,2 h$ ,  $0,05 h$  mit  $h$  = Wassertiefe in Meter (DVWK Regeln, 1986). Die Auswertung der Proben erfolgt wie bei der Einzelpunktmessung.

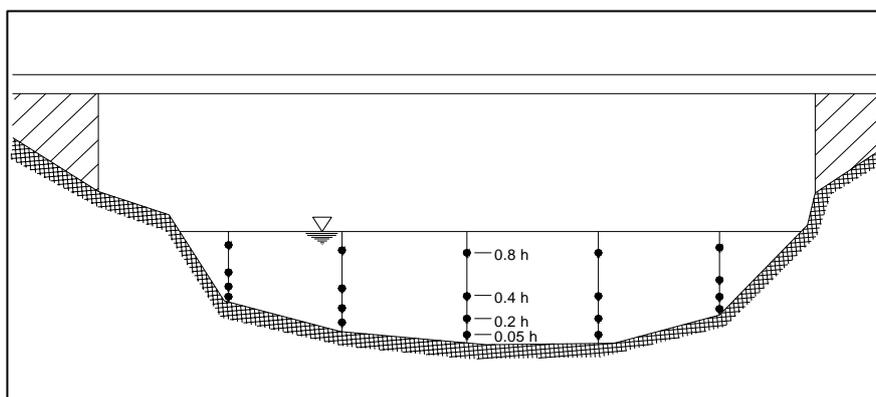


Abbildung 4.7 Messanordnung einer Vielpunktmessung

Das Ergebnis einer Vielpunktmessung ist der Schwebstofftransport. Da Probenahme und Geschwindigkeitsmessung einhergehen, erhält man parallel zur Schwebstoffmessung eine Abflussmessung (Tabelle 4.3). Die Vielpunktmessung wurde im Sölketal auch zur Überprüfung der Messgenauigkeit des automatischen Pumpeprobennehmers eingesetzt.

Tabelle 4.3 Messprotokoll und Auswertung einer Vielpunktmessung am Seifriedbach

AUSWERTUNG SCHWEBSTOFFVIELPUNKTMESSUNG											
Gruppe:		B									
Meßstelle:		Seifriedbach									
Datum:		3/10/00									
Wasserst. am Pegel:		30 cm								B= 10.10 m	
Entnahmegesetz:		IWHW-Sampler									
Nummer der Messlotrechten	Abstand vom Nullpunkt vom linken/rechten Ufer	Wassertiefe	Tiefe des Messpunktes über Sohle	Schwebstoffgehalt	Geschwindigkeit	Spalte 5 x 6	Schwebstofftrieb in der Messlotrechten			Fläche	TRANSPORT
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1A	0.42	0.21	0.03	0.0	0.64	0.00	0.00	50.45	60.08	3.26	0.196
1B			0.10	0.0	0.68	0.00	0.00				
1C			0.18	280.0	0.69	192.64	7.71				
							2.89				
2A	1.68	0.23	0.03	320.0	0.77	246.40	7.39	100.38			
2B			0.10	0.0	0.93	0.00	8.62				
2C			0.20	101.0	1.08	108.78	5.44				
							1.63				
3A	3.79	0.39	0.03	0.0	0.81	0.00	0.00	31.38			
3B			0.20	0.0	1.01	0.00	0.00				
3C			0.36	113.4	1.14	128.82	10.31				
							1.93				
4A	6.31	0.42	0.03	0.0	0.69	0.00	0.00	126.67			
4B			0.20	250.0	0.96	238.75	20.29				
4C			0.39	83.3	1.12	92.96	31.51				
							1.39				
5A	8.42	0.43	0.03	257.7	0.47	120.60	3.62	51.62			
5B			0.20	61.9	0.73	45.00	14.08				
5C			0.40	0.0	0.81	0.00	4.50				
							0.00				
6A	9.68	0.11	0.03	0.0	0.21	0.00	0.00	0.00			
6B			0.08	0.0	0.41	0.00	0.00				
							0.00				

#### 4.4.4 Automatischer Probennehmer

Der Hauptgrund für die Verwendung von Pump-Probennehmern ist die Steigerung der Probenanzahl und damit der Verlässlichkeit der Daten während eines Hochwasserereignisses (MORRIS und FAN, 1998).

Daher wurde 1999 am Pegel Ödwirt eine zusätzliche Messeinrichtung installiert. Der Pump-Probenehmer ISCO 300 der Firma ISCO ist ein vielverwendetes System und kann 24 Flaschen zu je 800 ml aufnehmen. Die Steuerung lässt eine hohe Variabilität zu und ist über die Auswertesoftware ISCO FLOWLINK 3 programmierbar. Einfache Programmierungen und gerätespezifische Abfragen sind über die Tastatur am Gerät vornehmbar.

### Steuerung

Für die Anforderungen am Sölkbach wurde der Probenehmer mit einem Druckpegel kombiniert. Der Druckpegel wandelt den Wasserstand in Stromstärke, die zwischen 0 und 20 mA liegt, um und gibt diese an den ISCO - Sampler weiter. 0 mA entspricht einem Wasserstand von 0 mmWS, 20 mA einem Wasserstand von 2 500 mmWS. Damit ergibt sich eine lineare Beziehung zwischen Wasserstand und Stromstärke. Der Pump-Probenehmer setzt nun die eingehende Stromstärke in Impulse um, die je nach Wasserstand bzw. Stromstärke zwischen 0 und 5 Impulse pro Minute variieren können. Der Probenehmer ist so programmiert, dass der erste Impuls bei ca. 20 m<sup>3</sup>/s gezählt wird, das entspricht mindestens 500 mmWS oder 4 mA. Ist das einprogrammierte Limit von 10 Impulsen erreicht, wird die erste Flasche gefüllt. Damit zeigt sich, dass bei höheren Wasserständen geringere zeitliche Abstände zwischen den Proben liegen (Abbildungen 4.8a und b). Weitere Ausführungen und Überlegungen finden sich in der Diplomarbeit von WAKONIG (1999).

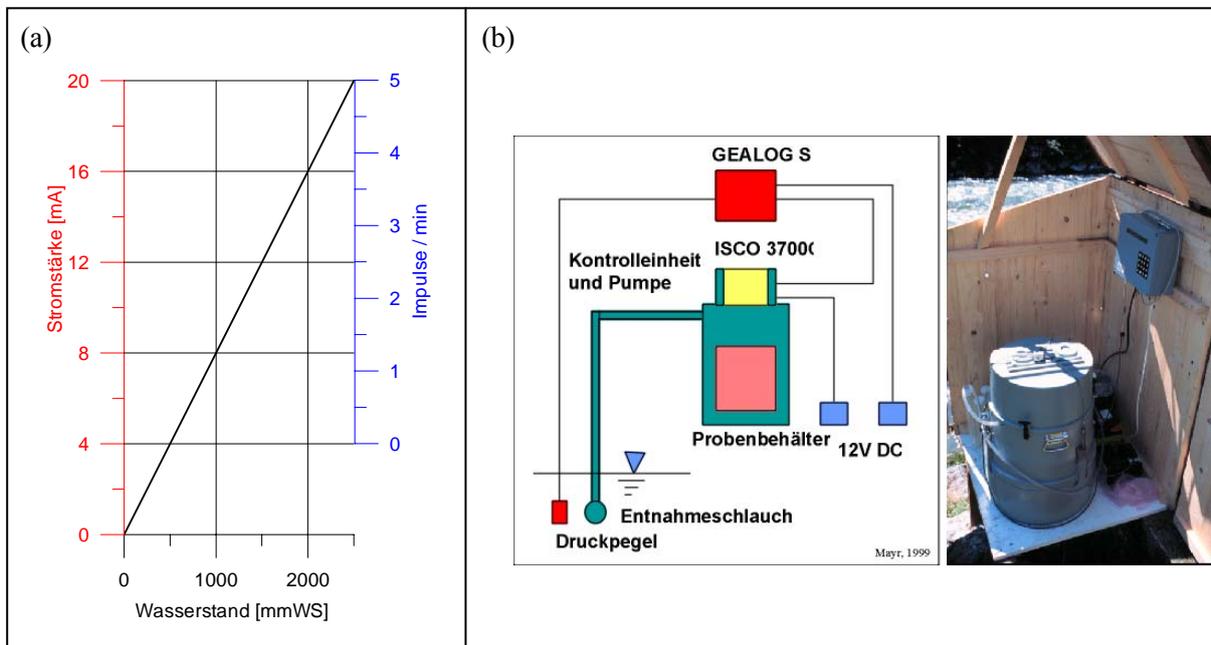


Abbildung 4.8a Beziehung des Wasserstandes zum Stromstärke-signal und die Umsetzung in Impulse/Minute

Abbildung 4.8b Aufbauschema der Pump-Probenehmer-Steuerung (MAYR, 1999) und ISCO-Sampler am Pegel Ödwirt / Sölkthal

## 4.5 Sonden zur kontinuierlichen Messung der Trübe im Wasser

Da die Ergebnisse aus dem Jahr 1999 die Beileitungen nicht mitberücksichtigen und die Quantität des Schwebstoffeintrags nicht verifizierbar war, wurde es notwendig, auch den Schwebstoffeintrag aus den Einzugsgebieten Donnersbach - Walchenbach und Kleinsölk in die Schwebstoffbilanz für den Speicher Großsölk einzubeziehen.

Die kontinuierliche Trübungsmessung hat sich hier als sinnvoll erwiesen. Bei langen Anfahrtswegen und Unzugänglichkeit der Messstationen erweist sich eine automatische Abspeicherung der Daten als besonders vorteilhaft.

### 4.5.1 Sondenbeschreibung

Die Messsonden der Firma Lange aus Obergrafendorf basieren auf dem Messprinzip des Infrarot-Duo-Streulicht-Fotometers und entsprechen der Norm EN 27027. Diese Geräte wurden bereits erfolgreich bei der Tauernkraft eingesetzt und dem Institut für Wasserwirtschaft weiterempfohlen.

Es handelt sich um eine selbstreinigende Tauchsonde für die kontinuierliche Messung der Trübung im Wasser, in Becken oder Gerinnen. Die Ablesung der Daten erfolgt mit einer mikroprozessorgesteuerten Anzeigeeinheit. Die Messsonde beinhaltet einen internen Datenlogger, damit ist es möglich, die Sonde unabhängig von der Anzeigeeinheit auszulesen. Ausgelesen wird die Sonde über eine serielle Schnittstelle mittels PC und der geeigneten Software.

#### Technische Daten

Der Messbereich liegt zwischen 0,001 und 1000 *NTU* (auch *FNU*), die Messabweichung wird mit 1%, mindestens aber  $\pm 0,1$  *NTU* angegeben. Der Betreuungsaufwand ist sehr gering und wird werksmäßig mit 1 Stunde pro Monat beziffert (siehe Abbildung 4.9a bis 4.9c).

Weitere technische Daten (LANGE, 2000):

- Ansprechzeit:  $> 1$  s (einstellbar);
- Umgebungstemperatur:  $+2^{\circ}\text{C}$  bis  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- Abmessungen D\*L [mm]: 60\*150
- Masse [kg]: ca. 0,6
- Alle 12 Monate sollte das Gerät gewartet und instand gesetzt werden.

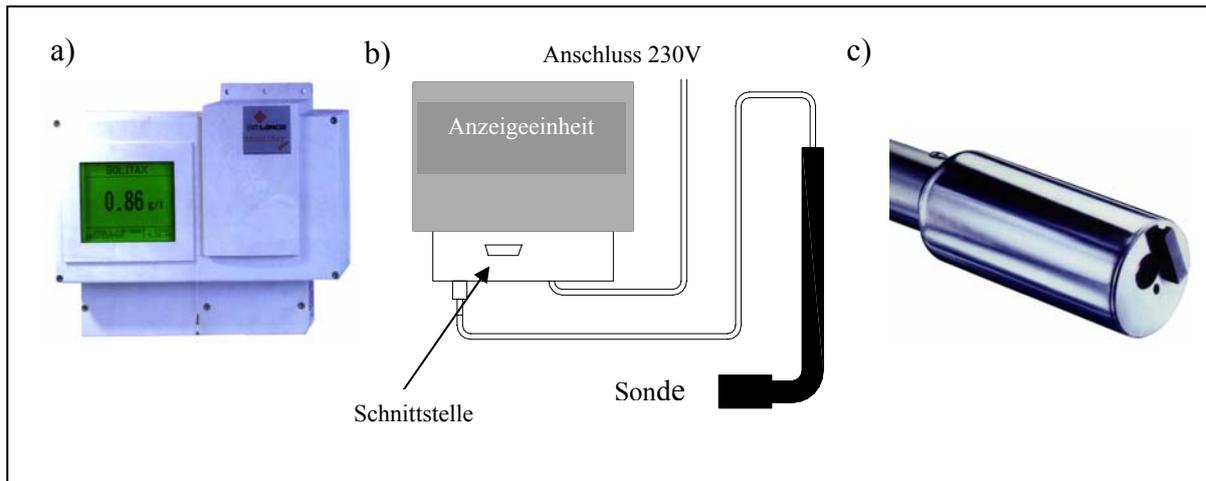


Abbildung 4.9a Anzeigeeinheit (LANGE, 2000)

Abbildung 4.9b Aufbauschema

Abbildung 4.9c Trübungssonde (LANGE, 2000)

#### 4.5.2 Sondenkali**br**ierung

Die Kalibrierung der Trübungssonden erfolgte mit Sedimentproben im Labor. Das Sediment wird bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Eine definierte Menge von 10 Liter destilliertem Wasser dient als Basis der Kalibrierung. Das getrocknete und gewogene Sediment wird eingerührt, somit erhöht sich der Sedimentgehalt im Wasser schrittweise und die *FNU*-Werte (auch *NTU*, international standardisierte Einheit der Trübung) können abgelesen werden. Die Streuung der Werte für die einzelnen Beileitungen Walchenbach, Donnersbach und Kleinsölk sind im nachfolgenden Diagramm 4.10 dargestellt.

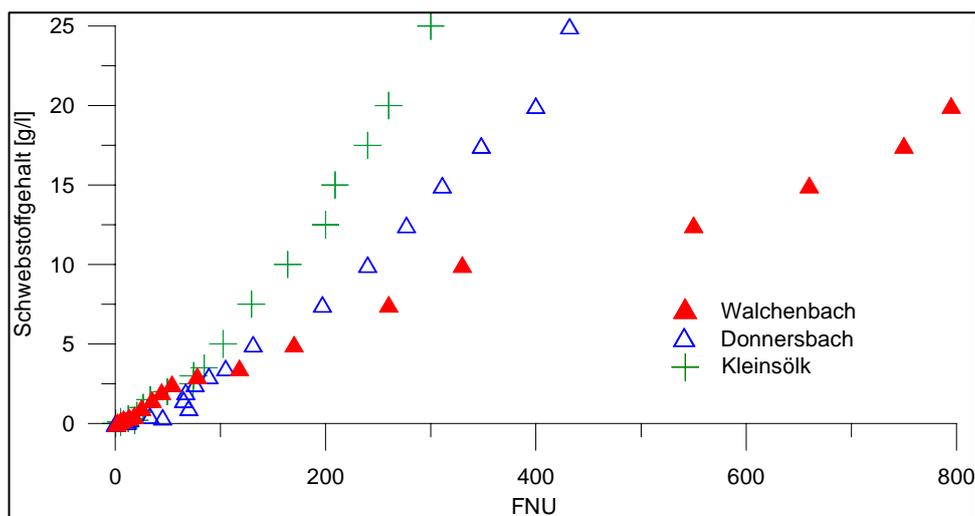


Abbildung 4.10 Ermittelte Kalibrierungswerte für die Beileitungen

## 4.6 Analyse der Schwebstoff- und Sedimentproben

### 4.6.1 Schwebstoffproben

Ca. 300 gezogene Schwebstoffproben (z.B. mit dem IWHW- Schwebstoffsammler, Abbildung 4.12) im Zeitraum von April bis November 2000 wurden im Labor analysiert. Bei der gravimetrischen Bestimmung des Schwebstoffgehaltes muss die Wasserprobe gefiltert werden (Abbildung 4.11). Da sich in der Zeit zwischen Probeentnahme und Filterung ein großer Teil der Schwebstoffe schon abgesetzt hat oder abgesetzt haben kann, muss durch mehrfaches Ausspülen des Schöpfgerätes oder der Flasche sichergestellt werden, dass auch alle Schwebstoffe abgespült und mit dem Spülwasser filtriert werden.



Abbildung 4.11 Filtriertisch

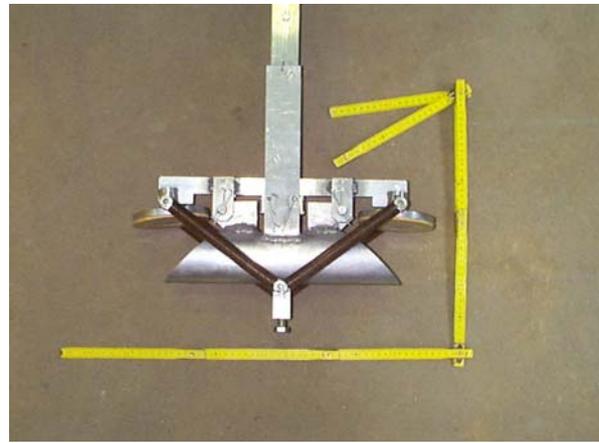


Abbildung 4.12 IWHW-Schwebstoffsammler (MAYR, 1999)

Der Filtrerrückstand wird nach Trocknung durch Wägung im Labor bestimmt. Die Filter werden nummeriert und im Trockenschrank bei  $105^{\circ}\text{C}$  bis zur Gewichtskonstanz getrocknet (DVWK Regeln, 1986). Ist das Filtergewicht bekannt, ergibt die Differenz aus Gesamtgewicht von Filter und Filtrerrückstand das Gewicht des Schwebstoffes. Wird das Schwebstoffgewicht dem Volumen der Wasserprobe zugeordnet, erhält man den Schwebstoffgehalt.

Bei der gravimetrischen Untersuchung wird zwischen organischem und anorganischem Material nicht unterschieden. Die Methode zielt auf die Bestimmung des Schwebstoffgehaltes ab. Als Filter wurden die Faltenfilter MN 619  $\frac{1}{4}$  der Firma LHG mit 24 cm Durchmesser verwendet. Da zwar die selben Filtertypen einer Firma verwendet wurden aber drei verschiedene Filterserien, kam es zu Differenzen der Filtergewichte. Das mittlere Filtergewicht für die 1. Serie lag bei 3,01 g / Filter, für die Serien zwei und drei bei 3,10 g / Filter.

Diese Filter haben im Mittel  $6 \mu\text{m}$  Porengröße. Für die Ermittlung des Schwebstoffgehaltes ist in der Regel der durch die Porengröße bedingte Verlust unerheblich, zumal sich die Poren während des Filterns durch abgelagerte Schwebstoffe noch verkleinern (DVWK, Regeln, 1986).

#### 4.6.2 Kornverteilung von Schweb- und Sinkstoffen - Korngrößenanalyse

Im Stauraum und in der Vorsperre setzen sich naturgemäß durch verringerte Fließgeschwindigkeiten (siehe Kapitel 5.3) und weniger Turbulenz größere Schwebstoffmengen unterschiedlicher Korngrößen ab.

In der Literatur finden sich verschiedene Methoden zur Bestimmung von Korngrößenverteilungen von Schwebstoffen. Hier wären der Coulter Counter, Sedigraph oder Siebungen sowie Sedimentationsverfahren zu nennen. Alle Methoden haben Ihre Vor- und Nachteile bezüglich Messungengenauigkeit, Zeitaufwand, Probenvolumina und Datenkontinuität (STRASSER, 1998).

Aus Gründen der Verfügbarkeit der Instrumentarien im Labor des Instituts für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft (BOKU) wurden für die Korngrößenanalyse der Proben aus dem Sölkpeicher und der Vorsperre die Verfahren der Nasssiebung und Pipettierverfahren gewählt.

#### 4.6.3 Korngrößenanalyse

(nach: Praktikum zur Landeskulturellen Wasserwirtschaft, Instiut für Landeskulturelle Wasserwirtschaft, BOKU)

Die Korngrößenbestimmung für den Sölkpeicher erfolgt in Anlehnung an die ÖNORM L 1061 (1988). Diese ÖNORM ist für die Bestimmung der Massenteile der Feinboden-Körnungsgruppen (Korngrößenklasse) Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) von Mineralböden anzuwenden. Im speziellen Falle der Schwebstoffanalyse werden die Korngrößenklassen des Feinbodens ermittelt.

Die folgend beschriebenen Methoden der Nasssiebung und des Absetzverfahrens (Pipettierverfahren nach KUBIENA) setzen einen Massenanteil an organischer Substanz unter 15% voraus. Aus Sedimentanalysen des Instituts für Geo- und Bioanalytik in Mitterberghütten geht hervor, dass der organische Anteil (Glühverlust) im Speicher Sölk zwischen 4 % und 9 % liegt. Damit sind diese beiden Methoden anwendbar.

##### Nasssiebung

Ca. 100 g einer luftgetrockneten Bodenprobe mit der Masse  $m_{s+w}$ , deren Massenwassergehalt  $w$  bekannt sein muss oder ermittelt werden muss, wird zerkleinert und auf 0,01 g genau in ein Sedimentationsgefäß

eingewogen. Hierauf wird sie mit 250 ml Dispergierungsmittel vermischt und über Nacht stehen gelassen. Als Dispergierungsmittel dient eine 0,1-molare Tetranatriumphosphat-Dekahydrat-Lösung (Hierfür sind 44,608 g  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  in 1000 ml Wasser zu lösen). Danach wird Wasser auf ca. 750 ml aufgefüllt und im Rotierapparat etwa zwei Stunden lang geschüttelt. Nun wird die Probe in kleinen Mengen auf das 0,063-mm-Sieb geleert und mit einem Wasserstrahl durchgeschwemmt. Der gesamte Rückstand 0,063 mm wird auf den Siebsatz aufgebracht und mit der Nasssiebung im Rüttelgerät gerüttelt.

Die Rückstände werden aus den einzelnen Sieben in Abdampfschalen gespült und im Trockenschrank bei 105°C bis zur Massenkonstanz getrocknet. Das Verhältnis zwischen der Masse eines bestimmten Siebrückstandes und der gesamten Feststoffmasse der eingewogenen Bodenprobe  $m_s$  laut Gleichung ergibt den jeweiligen Anteil der Fraktionen. Z.B. errechnet sich der Feinsandanteil (0,063 mm bis inklusive 0,2 mm Äquivalentdurchmesser) mit

$$m_s = \frac{m_{s+w}}{1+w} \quad \text{Anteil fS} = \frac{m_{\text{Siebrückstand } 0,063 \text{ mm}} + m_{\text{Siebrückstand } 0,125 \text{ mm}}}{m_s} \quad (6)$$

#### **Feststellung des Schluff- und Tonanteiles nach Kubiena, ÖNORM L 1061 (1988)**

Genau 20,00 g einer luftgetrockneten und fein zermahlene Bodenprobe, Partikeldurchmesser  $<0,063 \text{ mm}$ , mit bekanntem oder festzustellendem Wassergehalt  $w$  werden mit 100 ml entionisiertem Wasser 12 Stunden lang in ein Sedimentationsgefäß (1000-ml-Zylinder) stehen gelassen. Nachdem die Probe zwei Stunden lang im Rotierapparat geschüttelt worden ist, werden 25 ml der 0,1-molaren  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ -Lösung beigelegt und das Sedimentationsgefäß wird auf 1000 ml mit entionisiertem Wasser aufgefüllt. Schließlich wird das Sedimentationsgefäß mit der dispergierten Bodenprobe noch kurz mit der Hand aufgeschüttelt und dann aufgestellt. Ab diesem Zeitpunkt beginnt die Sedimentation.

Die Fallgeschwindigkeit  $v$  eines Partikels mit dem äquivalenten Korndurchmesser  $d$  beträgt nach dem Stokes'schen Gesetz

$$v = \frac{d^2 (\rho_s - \rho_l) g}{18\eta} \quad (7)$$

und ist abhängig von der mittleren Feststoffdichte  $\rho_s$ , der Dichte der Dispersionsflüssigkeit  $\rho_l$  sowie der Gravitationskonstanten  $g$  und der dynamischen Viskosität  $\eta$ . Die Fallzeit  $t$ , die ein Partikel an der Suspensionsoberfläche bis zum Erreichen einer Tiefe  $h$  benötigt, beträgt bei angenommener konstanter Fallgeschwindigkeit

$$t = \frac{h}{v} \quad (8)$$

Für die Pipettiertiefe von  $h = 10 \text{ cm}$  ergibt sich mit obigen, in der ÖNORM L 1061 (1988) angeführten Werten folgender Ausdruck für die Fallzeit:

$$t = \frac{10 \cdot 18 \cdot 0,01}{d^2 \cdot (2,65 - 1,00) \cdot 980,65} = \frac{1,1124346 \cdot 10^{-3}}{d^2} \quad (9)$$

Damit erhält man für bestimmte Grenzdurchmesser die in der Tabelle 4.4 angeführten Fallzeiten. Die in der ÖNORM L 1061 angeführten Fallzeiten weichen geringfügig ab.

Tabelle 4.4 Fallzeiten für bestimmte Grenzdurchmesser

Grenzdurchmesser $d$	Fallzeit
63 $\mu\text{m}$	29 s
20 $\mu\text{m}$	4 min 39 s
10 $\mu\text{m}$	18 min 32 s
6,3 $\mu\text{m}$	51 min 29 s
2 $\mu\text{m}$	7 h 43 min 31 s

Da der Wasserspiegel im Sedimentationsgefäß durch den Pipettiervorgang ein wenig absinkt (die Füllhöhe bei 1000 ml Inhalt beträgt bei den üblichen Gefäßen rund 27 cm, für ein Pipettier Volumen von 20 ml daher rund 5 mm), ist die Pipette nicht auf die jeweils gleiche Höhe über den Boden des Sedimentationsgefäßes abzusenken (ein solches Verfahren verwendet DIN 66111 (1989)), sondern eben genau 10 cm tief unter dem Wasserspiegel einzutauchen. Die abpipettierten Suspensionen werden bei 105°C im Trockenschrank eingedampft.

Da der Grenzdurchmesser der ersten Pipette  $d = 63 \mu\text{m}$  gleich dem Größtkorndurchmesser der gesamten Probe ist, müssen die Kornfraktionen in der ersten Pipette gleich verteilt sein wie in der gesamten Probe. Das Gewicht des Eindampfrestes in der ersten Schale entspricht daher 100 % der Schluff- und Tonfraktion, das Verhältnis des Gewichts einer bestimmten Fraktion mit dem Grenzdurchmesser  $d$  zum Eindampfrest 63  $\mu\text{m}$  entspricht dem Anteil der Fraktion. Allerdings ist zu bedenken, dass sich in der Pipette neben den Bodenpartikeln (in der ersten Pipette sollten es  $20 \text{ g} / 1000 \text{ ml} \cdot 20 \text{ ml} = 0,4 \text{ g}$  sein, in den weiteren entsprechend weniger) die Dispergierungsflüssigkeit (rund  $20 \text{ ml} - 0,4 \text{ g} / 2,65 \text{ g/ml} = 19,85 \text{ ml}$  in der ersten Pipette, in den weiteren entsprechend mehr) und damit auch ein wenig Dispergierungsmittel befindet. Wenn 44,608 g  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$  in 1 000 ml Wasser gelöst werden und sich davon 25 ml in der Suspension befinden, sind in der Suspension  $44,608 \text{ g} / 1 000 \text{ ml} \cdot 25 \text{ ml} = 1,1152 \text{ g}$  enthalten, und unter Annahme, dass

die Pipette genau 20 ml Dispergierflüssigkeit enthält, enthält sie auch  $1,1152 \text{ g} / 1000 \text{ ml} \times 20 \text{ ml} = 0,0223 \text{ g}$   $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$  (genau genommen ist das der Maximalwert – z.B. der letzten Pipette, wenn die Probe keinen Ton enthält –, die Minimalmasse beträgt etwa  $1,1152 \text{ g} / 1000 \text{ ml} \times 19,85 \text{ ml} = 0,0221 \text{ g}$ ; immer unter der Voraussetzung, dass das Dispergierungsmittel nicht von den Bodenpartikeln adsorbiert wird).

Die ÖNORM sieht vor, in drei Zylindern jeweils 25 ml Lösung mit entionisiertem Wasser auf 1000 ml aufzufüllen, 20 ml davon abzupipettieren und einzudampfen. Der Mittelwerte der drei Eindampfreste ist die pro Pipette in Abzug zu bringende Masse an Tetranatriumdiphosphat-Dekahydrat  $g_{\text{Dispergierungsmittel}}$ .

Der Anteil z.B. der Ton-, Grob - und Mittelschlufffraktionen am Gesamtteil Ton und Schluff beträgt demnach:

$$\frac{g_{\text{Pipette } 20, \mu\text{m}} - g_{\text{Dispergierungsmittel}}}{g_{\text{Pipette } 63, \mu\text{m}} - g_{\text{Dispergierungsmittel}}} \quad (10)$$

## 4.7 Speichervermessung

### 4.7.1 Messsystem für die Sohlgrundaufnahme

Die Vermessung von Binnengewässern ist geprägt durch einen hohen messtechnischen, personellen und zeitlichen Aufwand. Daher wurde aufgrund von wirtschaftlichen und arbeitstechnischen Aspekten am IWHW ein Messsystem entwickelt, das entsprechend den geforderten Genauigkeiten im Gegensatz zu herkömmlichen Messverfahren den Gesamtarbeits- und Zeitaufwand auf ein Minimum reduziert.

Basierend auf der Entwicklung der Real – Time - Kinematik in der GPS - Vermessung bietet sich nun ein Verfahren in der Hydrographie an, welches bereits online im Feld die innerhalb hydrographischer Arbeiten geforderten Geometriedaten liefert.

Somit waren folgende Anforderungen an das Messsystem zu stellen:

- Komplettsystem (Vermessung, Datenübertragung, Editierung, Interpolation, Darstellung, Berechnung)
- Höchstmögliche Messgenauigkeit (Lage, Tiefe)
- Geringer Messzeit- und Bearbeitungsaufwand
- Geringer Personalaufwand

In einem ersten Arbeitsschritt wurden von verschiedenen Anbietern, die für die Durchführung einwandfreier Messungen benötigten Messinstrumente angekauft bzw. angeliehen. Für das Aufgabenspektrum der Navigation, Datenaufzeichnung und teilweisen Datenverarbeitung (Editierung) wurde die von Trimble angebotene Software HydroPro<sup>®</sup> angewandt. Darauf basierend wurde mittels unterschiedlicher Softwarepakete versucht, den Anforderungen an Interpolation, Darstellung und Berechnungen (z.B. Volumensunterschiede zweier aufeinanderfolgender Messungen ein und desselben Gewässerbereiches) gerecht zu werden.

Hardwarekomponenten für das Messsystem  
(siehe Abbildung 4.13 und 4.14):

- Echolot: Atlas® Deso 14
- Wandler: 210 kHz, 3° Öffnungswinkel
- GPS: Leica® System 500 (IVFL)
- Laptop: Panasonic® CF-25
- Stromversorgung, Haltevorrichtungen



Abbildung 4.13 Messsystem für Echolotvermessung

### Messprinzip

Die Bestimmung der zur Gewässervermessung benötigten Koordinatentripel erfolgt unter der Ausnutzung der Satellitenvermessung. Die Z-Koordinate wird aufgrund ihrer Unschärfe über gleichzeitige Wasserstandsmessung (Pegel) erhalten. Durch die Verwendung eines Differentiellen GPS (DGPS) bei der die Referenzstation (Basis) auf koordinativ bekannten Punkten positioniert wird, werden durch die Ermittlung der anfallenden Koordinatendifferenzen bei der Übertragung zu einer zweiten Station (Rover), die sich am Messboot befindet, zahlreiche Fehlereinflüsse unwirksam. Somit ist eine auf wenige Dezimeter genaue Positionsbestimmung (X,Y) des Messbootes in Echtzeit möglich, die für Messzwecke an einem Gewässer als ausreichend genau angesehen wird. Das Maß für die Wassertiefe wird durch das Echolot erhalten, wobei sich der Wandler direkt unterhalb der Empfängereinheit des Rovers befindet. Die Software ermöglicht es nun, die Positions- und Tiefenwerte zum exakt selben Zeitpunkt in einer Datenbank abzuspeichern. Im Postprocessing werden dann unter Berücksichtigung des Wandlertiefganges und des Wasserstandes auf rasche Weise die Geometriedaten aus der Vermessung erhalten.

Das System bietet weiters den Vorteil, dass bereits vor der Vermessung im Feld Fahrlinien (z.B. Querprofile) für das Aufnahmegebiet definiert werden können, die dann vom Bootslenker über Onlinevisualisierung am Laptop in einfacher Weise nachgefahren werden können. Da auch alle aufgenommenen Daten direkt online abrufbar sind, kann schon während der Vermessung auf etwaige Fehlmessungen reagiert werden (NACHTNEBEL et al., 2001).

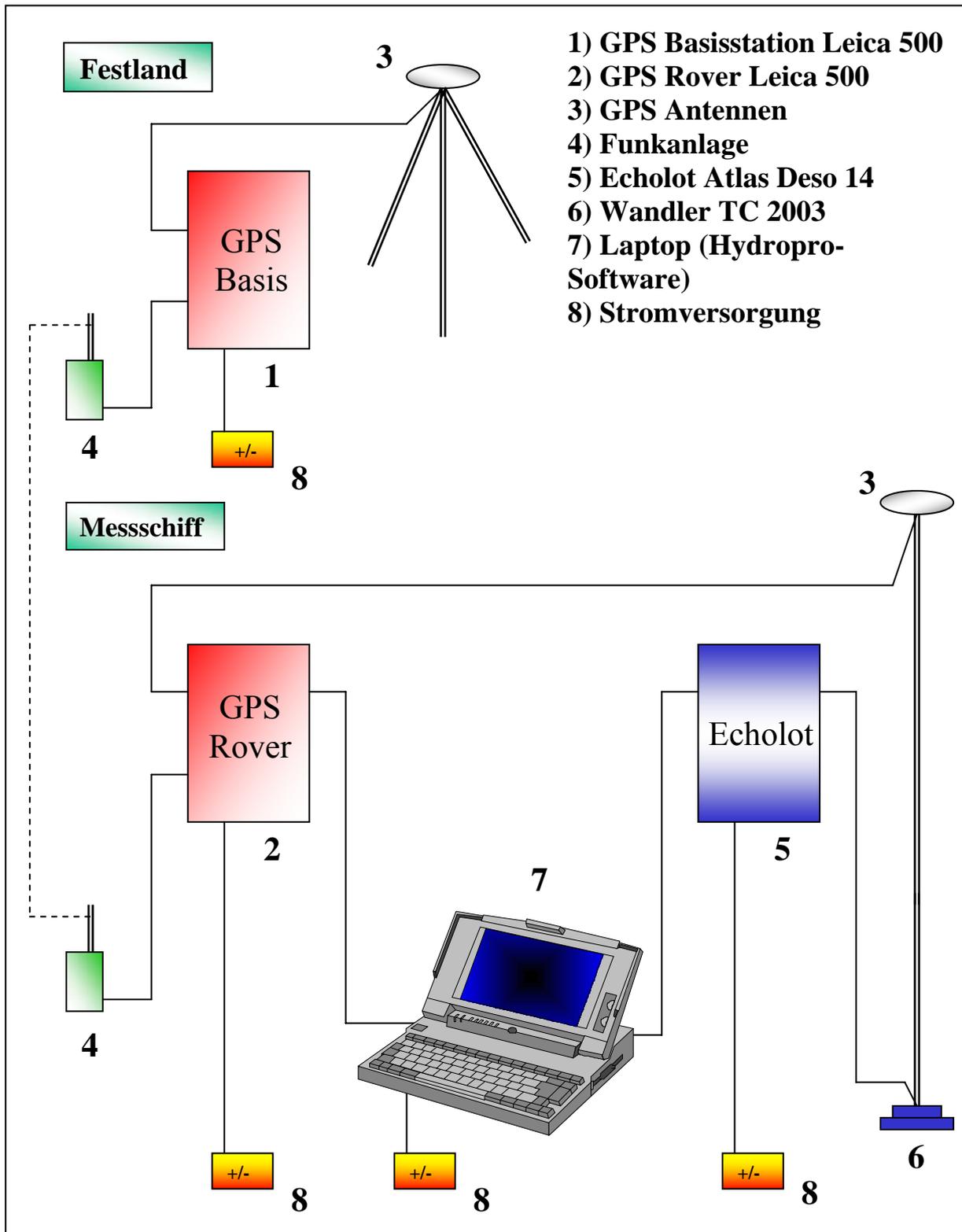


Abbildung 4.14 Aufbau des Messsystems (Prinzipskizze)

## 5 Ergebnisse

Das Kapitel Erosion beschäftigt sich mit dem Bodenabtrag durch Starkregen im Einzugsgebiet der Sölk. Der Begriff Bodenerosion bezieht sich hier auf flächige Abspülung von Boden.

### 5.1 Erosion

#### 5.1.1 Allgemeines

Das Errechnen eines Bodenabtrags mittels einzeln gemessener, erosionsbeeinflussender Faktoren stößt auf große Schwierigkeiten. Nicht nur die Erfassung durch Messung der einzelnen Parameter, sondern auch die charakteristischen Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen den Faktoren sind schwer in eine Gleichung zu zwängen.

DYCK und PESCHKE (1995) beschreiben als auslösende Faktoren für Bodenerosion durch Wasser den Starkregen, Schneeschmelze, zu intensive Beregnung und die mit dem Quadrat der Fließgeschwindigkeit (Geschwindigkeitshöhe  $h_v$ ) wachsende Stoßkraft des Wassers.

$$h_v = \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (11)$$

In der Literatur werden verschiedene Formeln zur Errechnung des Bodenabtrags angegeben. Die am häufigsten angewendete Formel ist die „USLE“ (Universal Soil Loss Equation) oder Allgemeine Bodenabtragungsgleichung und wurde zur quantitativen Ermittlung des Bodenabtrags entwickelt. Sie verwendet verschiedene Parameter, um den Bodenabtrag zu beschreiben (WISHMEIER, SMITH, 1978): Eigenschaften des Bodens, Charakteristik des Regengeschehens, Länge des Hanges, Bedeckung und Bearbeitung des Bodens, Art der Erosionsschutzmaßnahmen.

In adaptierter Form wird sie auch in Österreich angewendet. BLÜHBERGER und HÄUSLER (1997) entwickelten eine Isoerodentenkarte, die als Basis für eine Abschätzung des Bodenabtrags für gesamt Österreich dient. Der  $R_v$ -Faktor, der für die Erosivität der Niederschläge steht, ergibt sich aus der Aufsummierung der Produkte aus kinetischer Energiedichte und maximaler Niederschlagsintensität für alle erosionsrelevanten Einzelregen während eines Jahres (als erosionsrelevant werden Niederschläge gerechnet, die mindestens 10 mm erbringen oder eine Intensität von mehr als 10 mm/h aufweisen) (NACHTNEBEL et al., 1998). Hinzu kommt ein Schneeschmelzfaktor.

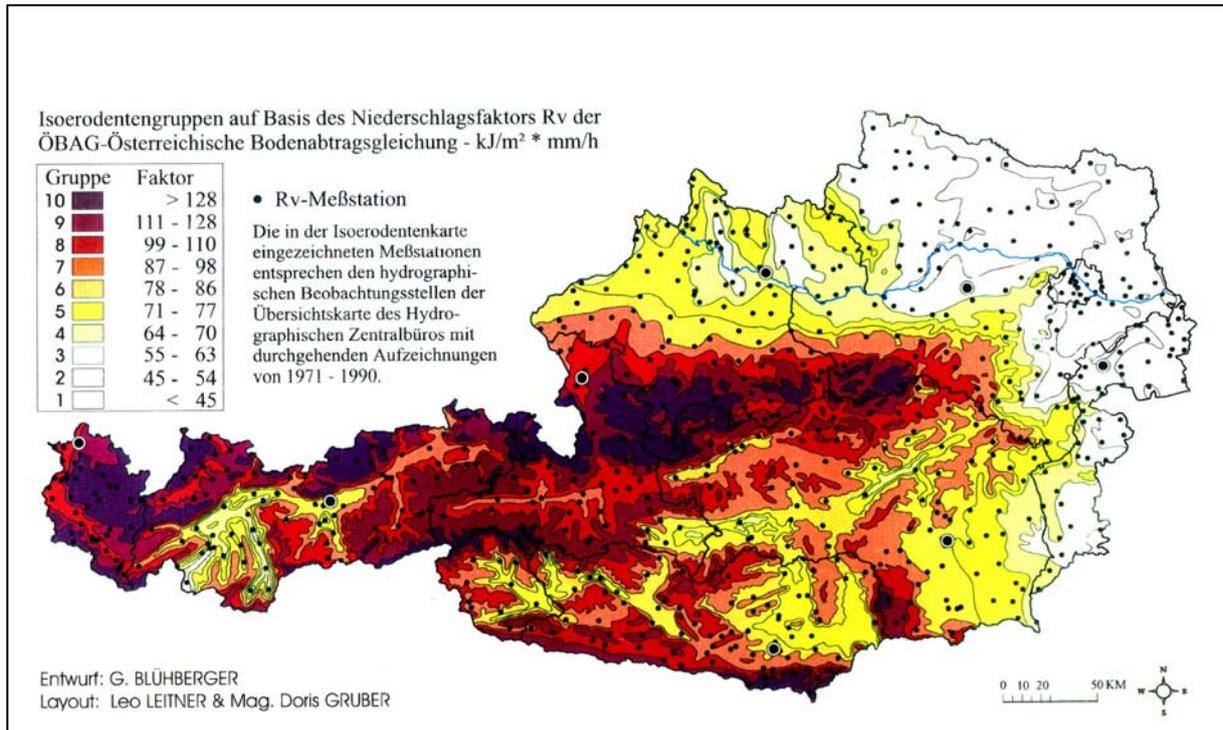


Abbildung 5.1 Isoerodentenkarte für Österreich

Die Allgemeine Bodenabtragsgleichung wurde nicht zur aktuellen Vorhersage der Starkregenerosion entwickelt, sie ist jedoch für die Ermittlung des Stoffeintrags notwendig. Folgende Parameter gehen in die Gleichung ein: Eigenschaft des Bodens, Charakteristik des Regengeschehens, Länge des Hanges, Neigung des Hanges, Bedeckung des Bodens und Art der Erosionsschutzmaßnahmen.

Die „Modifizierte Bodenabtragsgleichung“ wurde durch WILLIAMS (1975) aus der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung entwickelt. Mit dieser Gleichung kann die Feststofflieferung eines Einzelregens berechnet werden. Die Österreichische Bodenabtragsgleichung, kurz ÖBAG, basiert ebenfalls auf der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (Abbildung 5.1).

Auch wurden Modelle, wie das „Hillslope profile erosion model“ (LANE, 1989) oder das „SWRRB – Simulator for Water Resources in Rural Basins“ (ARNOLD, 1990) entwickelt. Die Modelle werden durch grundlegende Komponenten beschrieben, die die Elemente Klima, Hydrologie, Boden, Erosion, etc. beinhalten und bereits PC-orientierte Modelle darstellen. Sie wurden für ländliche Einzugsgebiete entwickelt.

Mit dem physikalischen Modell KINEROS werden die Prozesse der Interzeption, Infiltration Oberflächenabfluss und Erosion beschrieben (FENICIA, 2001). Dieses Modell wird im Rahmen des Projektes WARMICE angewandt (KOBOLTSCHNIG, in print).

### 5.1.2 Beregnungsversuche im Großsölketal, August – September 2000

(aus MARKAT, KOHL, BAUER, 2001)

Im Gebiet wurden sieben ausgewählte Versuchsflächen mit Hilfe einer transportablen Großregenanlage beregnet, die wichtigsten bodenphysikalischen Parameter untersucht und die Flächen vegetationskundlich aufgenommen.

Die folgenden Beschreibungen des Beregnungsversuches und der Beregnungsflächen sowie der Ergebnisse sind knappe Zusammenfassungen. Ausführliche Beschreibungen finden sich in MARKAT, KOHL und BAUER (2001).

#### **Versuchsanordnung und Bodenabtragsmessung**

Mit der eingesetzten Großregenanlage werden Flächen im Ausmaß von  $5 \times 16 \text{ m}$ , das entspricht einer Fläche von  $80 \text{ m}^2$ , beregnet. Die Wasserversorgung erfolgt über eine Rosenbauer RK 75 Tragkraftspritze mit angeschlossener Steigleitung aus lokalen Wasserquellen. Die Steuerung der Auftragsmenge erfolgt über den Betriebsdruck sowie Art und Anzahl der Düsen. Es kommen Flachstrahldüsen der Fa. PIPELIFE in Viertel-, Halb- und Vollkreisausführung zum Einsatz. Die Niederschlagsintensität wird über einen Wasserzähler mit digitalem Aufnehmer kontrolliert. Um Verluste durch laterale Abdrift, besonders im unteren Bereich zu vermeiden, werden auch die Außenseiten mit einer definierten Niederschlagsmenge versorgt. Der oberflächennahe Abfluss wird über Regenrinnen und Rohre zu Auffangbehältern (je 300 Liter) geleitet, dort gesammelt und gemessen. In fünfminütigen Intervallen werden Proben des abfließenden Wassers zur Messung der Abtragsmenge gezogen. Die Versuchsdauer beträgt mindestens 60 min. Eine exakte Beschreibung der Beregnungsanlage geben MARKAT und KOHL (1995).

Neben den Bodenabtragsmessungen werden Bodenfeuchtemessungen durchgeführt. Auf den Versuchsflächen werden jeweils acht  $20 \text{ cm}$  lange TDR-Sonden zur Messung der Volumsfeuchte vertikal an der Bodenoberfläche installiert. Auf diese Weise können die Ausgangsfeuchte (Bodenfeuchte vor der Beregnung) und das Aufsättigungsverhalten der obersten Bodenmatrix ( $0\text{-}20 \text{ cm}$ ) während der Beregnung dokumentiert werden. Zusätzliche Proben (Zylinderproben, Lockermaterial) werden in Hinblick auf die gesättigte Wasserleitfähigkeit ( $K_s$ -Wert) analysiert.

### Vegetationsaufnahmen (von Mag. Bernhard Kohl)

Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen folgt FISCHER (1994), die der Moose FRAHM/FREY (1992). Die Vegetationsaufnahmen wurden in Anlehnung an BRAUN-BLANQUET (1964) nach der Methode von WESTHOFF & VAN DER MAAREL (1978) durchgeführt. Die Zeigerwertlisten von ELLENBERG (1991) bzw. LANDOLT (1977) dienten als Grundlage zur Berechnung der mittleren ökologischen Zeigerwerte. Zusätzlich zu den von Ellenberg bewerteten ökologischen Faktoren gibt Landolt einen Wert für die Humuszahl und die Dispersität des Bodens an. Diese Dispersitätszahl gibt den Grad der Bodendurchlässigkeit und der Bodendurchlüftung an und ist daher gerade im Zusammenhang mit den Beregnungsversuchen von Interesse. Zur Ermittlung der mittleren Feuchtezahl wurde, aufgrund der größeren Amplitude, auch auf die Zeigerzahlen von Ellenberg zurückgegriffen.

### Standortbeschreibungen der Beregnungsflächen

Im Einzugsgebiet des Seifriedbaches wurden fünf Versuchsstandorte gewählt, zwei Waldstandorte und zwei Weiderasen in unmittelbarer Nähe der Seifriedalm. Direkt am Seifriedbach, nördlich der Seifriedalm liegt die Beregnungsfläche 5, ein abschmelzender Lawinenkegel. Am orographisch linken Ufer des Sölkbaches wurden zu einem späteren Zeitpunkt zwei Blaikenstandorte unterhalb einer geschütteten Forststraße beregnet (Abbildung 5.2).

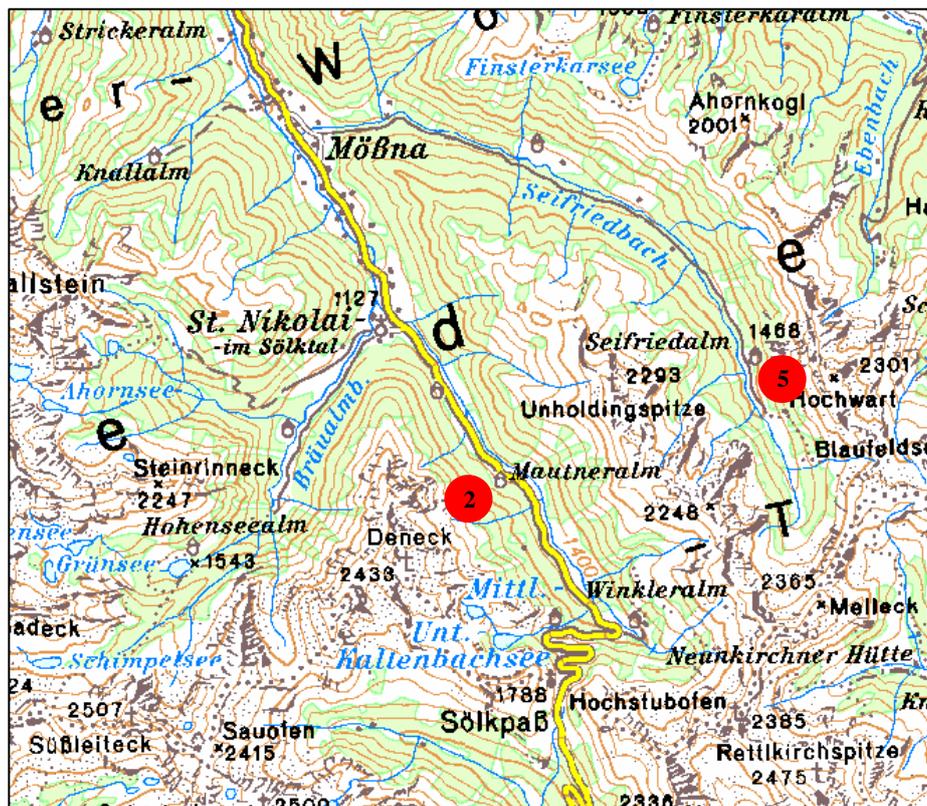


Abbildung 5.2 Lage der Versuchsflächen am Sölkbach (2 Standorte) und Seifriedbach (5 Standorte)

Die folgenden Flächen werden abgekürzt mit BF1 bis BF7 beschrieben.

*Sauerklee Fichtenwald auf pseudovergleyter Moderbraunerde (BF1)*

**Standort:**

Lage: ca. 500 m südlich der Seifriedalm oberhalb der Forststraße, Exposition: WSW, Neigung: ~ 20°.

Vegetation: *Sauerklee-Fichtenwald*; Gesellschaft mit Feuchtezeigern in den Tiefenlinien zwischen Wurzeltellern und Blöcken (z.B. *Caltha palustris*); Überschirmungsgrad der Baumschicht: 80 %; Deckungsgrad an der Bodenoberfläche: 55 %.

Boden: Pseudovergleyte Moderbraunerde, geringer Grobanteil, bis in 30 cm Tiefe mittlere Durchwurzelung.

(a)



Abbildung 5.3a Beregnungsfläche BF1 - *Sauerklee-Fichtenwald* Gesellschaft mit Feuchtezeigern; pseudovergleyte Moderbraunerde

(b)

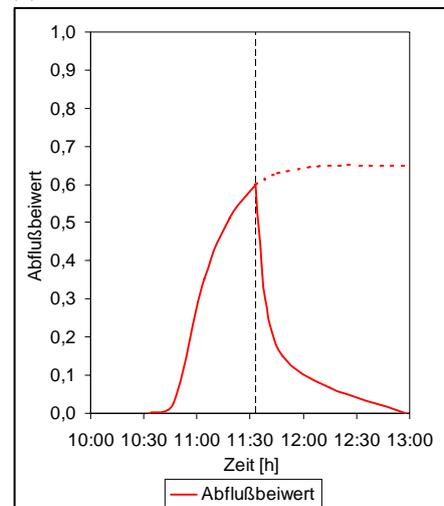


Abbildung 5.3b Abflussentwicklung: Beregnungsversuch BF1; 1.Aug. 2000 Großsölk – Seifriedbach; Intensität: 97,9 mm/h; Abflussbeiwerte (Verhältnis der Abflussspende zur Niederschlagspende):  $AK_{(ges)}$ : 42,3%  $AK_{(max)}$ : 65,0%

**Sauerklee Fichtenwald auf Braunerde (BF2)****Standort:**

Lage: ca. 400 m südlich der Seifriedalm unterhalb der Forststraße, Exposition: W, Neigung:  $\sim 45^\circ$ .

Vegetation: sehr artenarmer *Sauerklee-Fichtenwald*; Im Unterwuchs der Fichte dominiert der Sauerklee (*Oxalis acetosella*), die Bodenoberfläche ist zur Hälfte unbewachsen, die Fichtennadelstreu liegt frei; Überschirmungsgrad der Baumschicht: 60 %; Deckungsgrad an der Bodenoberfläche: 50 % hiervon 10 % Moosdeckung.

Boden: Braunerde, ca. 7 cm Rohhumusauflage, sehr skelettreich in 10–20 cm Tiefe, schwach durchwurzelt.

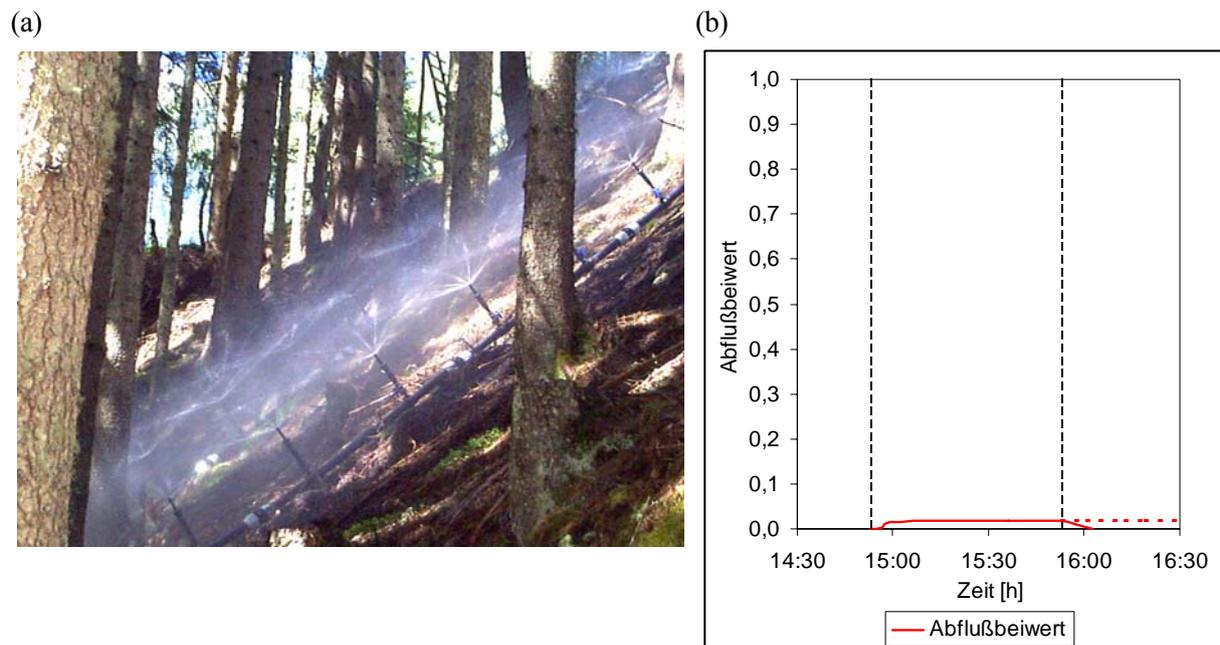


Abbildung 5.4a Beregnungsfläche BF2 - *Sauerklee-Fichtenwald*; stark geneigt, geringe Bodendeckung (50%); Braunerde auf Hangschutt, skelettreich.

Abbildung 5.4b Abflussentwicklung: Beregnungsversuch BF2; 01. Aug. 2000 Großsölk – Seifriedbach; Intensität: 99,0 mm/h  $AK_{(ges)}$ : 1,7%  $AK_{(max)}$ : 1,8%

**Borstgrasrasen, mittel bis stark beweidet (BF3)****Standort:**

Lage: ca. 300 m südlich der Seifriedalm unterhalb der Forststraße, Exposition: W, Neigung: 10-15°.

Vegetation: Borstgrasrasen (*Nardetum*); Die Fläche zeigt ein wechselndes Mosaik von Buckeln und Senken und einen dementsprechenden Wechsel von Trocken- und Feuchtezeigern (z.B. *Carex nigra* in den Senken und *Thymus pulegioides* an den Kuppen). Ein hoher Anteil an Milchkräutern ist festzustellen (z.B. *Leontodon hispidus*); Deckungsgrad an der Bodenoberfläche: 95 %, hiervon nimmt die Moosschicht einen Deckungsgrad von 5 % ein.

Boden: Rasenbraunerde (leicht pseudovergleyt), hoher Grobanteil in 7–11 cm Tiefe, sehr stark durchwurzelter  $A_h$ -Horizont.

(a)



(b)

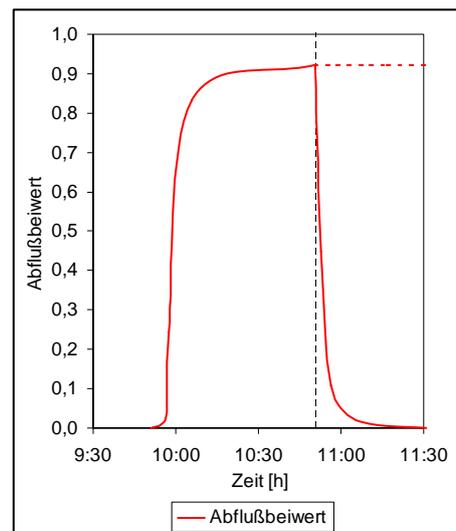


Abbildung 5.5a Beregnungsfläche BF3 – *Nardetum*; mittlere Beweidungsintensität, hoher Oberflächenabfluss; Rasenbraunerde

Abbildung 5.5 b Abflussentwicklung: Beregnungsversuch BF3; 02. Aug. 2000 Großsölk – Seifriedbach; Intensität: 98,1 mm/h  $AK_{(ges)}$ : 84,1%  $AK_{(max)}$ : 92,2%

**Borstgrasrasen, mäßig beweidet (BF4)****Standort:**

Lage: unmittelbar neben BF3 unterhalb des Weidezaunes gelegen, Exposition: NW, Neigung: 10°.

Vegetation: Borstgrasrasen (*Nardetum*); Die Artengarnitur dieser Beregnungsfläche ist jener von BF3 ähnlich. Die geringere Beweidungsintensität äußert sich in einer größeren durchschnittlichen Bestandeshöhe (Krautschicht ca. 25 cm) und einem höheren Deckungsgrad. Die Fläche ist annähernd geschlossen bewachsen, nur etwa 2 Prozent liegt als offener Boden vor. Zu den Elementen der Borstgrasrasen gesellen sich auch hier etliche Feuchtezeiger (z.B. *Juncus effusus*, *Carex nigra* u.a.). Deckungsgrad an der Bodenoberfläche: 98 %, hiervon nimmt die Moosschicht einen Deckungsgrad von 5 % ein.

Boden: Rasenbraunerde, mäßiger Grobanteil, stark durchwurzelter  $A_h$ -Horizont.

(a)



(b)

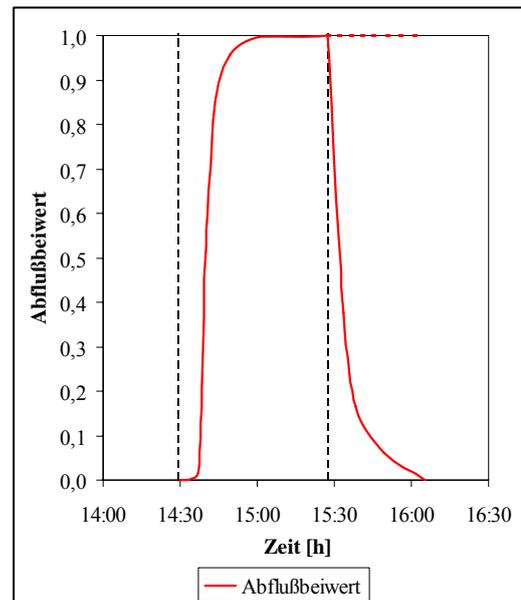


Abbildung 5.6a Beregnungsfläche BF4 – *Nardetum*; mäßig beweidet; Rasenbraunerde

Abbildung 5.6b Abflussentwicklung: Beregnungsversuch BF4; 02. Aug. 2000 Großsölk – Seifriedbach; Intensität: 99,1 mm/h  $AK_{(ges)}$ : 97,7%  $AK_{(max)}$ : 100%

### Waldsimsen -Wiese auf einem Lawinenkegel (BF5)

#### Standort:

Lage: ca. 1 km nördlich der Seifriedalm, 10 Höhenmeter oberhalb des orographisch rechten Ufers des Seifriedbaches; Exposition: SSW, Neigung: 15°.

Vegetation: Waldsimsen-Wiese (*Scirpetum sylvatici*); Zum Zeitpunkt der Beregnung, Anfang August ist ein Drittel der Fläche eisbedeckt, der übrige Teil, gerade erst eisfrei geworden, von einer mehrere Zentimeter dicken Sedimentschicht bedeckt. Die vorhandene Pflanzendecke wurde durch das von der Lawine erodierte und abgelagerte Material begraben. Zwei Monate später, zum Zeitpunkt der Vegetationsaufnahme, zeigt sich die Fläche in sattem Grün, annähernd die Hälfte des Lawinenkegels wird vor allem von üppig wachsenden Simsen, Binsen und Schachtelhalmen eingenommen. Sehr viele Feuchte- und Nässezeiger dominieren den Bestand. Deckungsgrad an der Bodenoberfläche: 45 %, die Moosschicht nimmt einen Deckungsgrad von etwa 20 % ein.

Boden: hochorganischer Auftragsboden, begrabener  $O_p$ -Horizont, mäßiger Grobanteil, stark durchwurzelt.

(a)



(b)

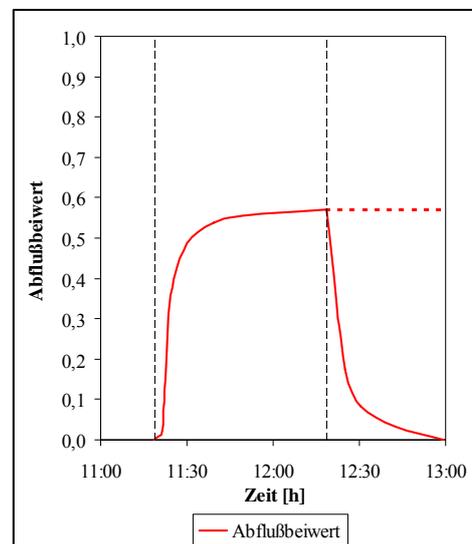


Abbildung 5.7a Beregnungsfläche BF5 – *Lawinenfächer*; Waldsimsen-Wiese; hochorganischer Auftragsboden.

Abbildung 5.7b Abflussentwicklung;: Beregnungsversuch BF5: 03. Aug. 2000 Großsölk – Seifriedbach; Intensität: 99,0 mm/h;  $AK_{(ges)}$ : 54,5%;  $AK_{(max)}$ : 57,3%; Ableitung des Abflusses in eine Regenrinne

**Blaike, Forststraßenschüttung (BF6)**

**Standort:**

Lage: linksufrig des Sölbaches, unterhalb einer Forststraße, im Einhang zum Gerinne eines kleinen Zubringers zum Sölbach; Exposition: ENE, Neigung: 35°.

Vegetation: Die geschüttete Straßenböschung befindet sich im Zustand beginnender Wiederbesiedelung, es wurden 21 Arten krautiger Pflanzen und zwei Straucharten (Himbeere und Grünerle) aufgenommen. Deckungsgrad an der Bodenoberfläche ist noch sehr gering: 20 %, viele Moose stellen als Rohbodenpioniere den Hauptanteil der Bodendeckung dar. Die krautigen Pflanzen selbst kommen auf einen Deckungsgrad von höchstens 10 Prozent, den Hauptanteil trägt die Weiß-Pestwurz (*Petasites albus*).

Boden: Rohboden, geschüttet.

(a)



(b)

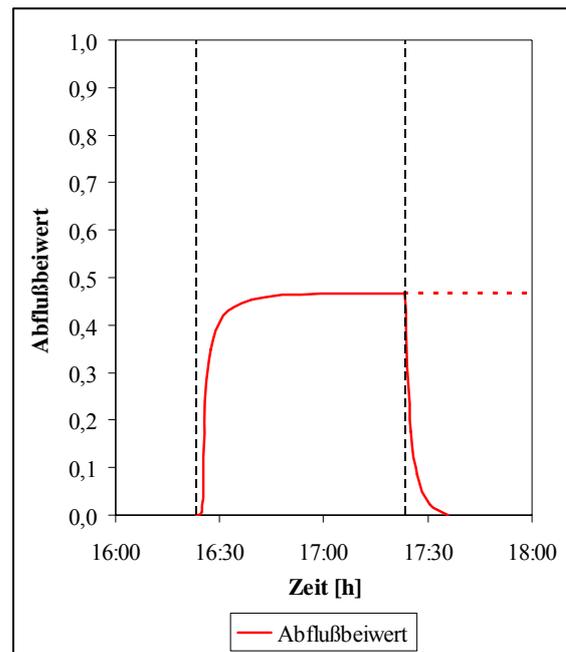


Abbildung 5.8a Beregnungsfläche BF6 – Blaike; geschütteter Rohboden

Abbildung 5.8b Abflussentwicklung: Beregnungsversuch BF6: 26. Sep. 2000 Großsölk – Sölbach; Intensität: 94,9 mm/h;  $AK_{(ges)}$ : 42,7 %;  $AK_{(max)}$ : 46,6 % Ableitung des Abflusses in eine Regenrinne

**Blaike, Forststraßenschüttung (BF7)****Standort**

Lage: Zehn Meter anschließend an die Versuchsfläche BF6, unterhalb einer Forststraße, im Einhang zum Gerinne eines kleinen Zubringers zum Sölkbach; Exposition: ENE, Neigung: 35°.

Vegetation: Diese Straßenböschung befindet sich bereits in einem fortgeschritteneren Zustand der Wiederbesiedelung, es wurden 16 krautige Pflanzen und eine strauchige Pflanze aufgenommen. Hinzu kommen die ersten Keimlinge und Jungpflanzen der Fichte (*Picea abies*). Der Deckungsgrad an der Bodenoberfläche ist bereits beträchtlich höher als an der Versuchsfläche BF6: die krautige Arten erreichen eine Bodendeckung von 50 Prozent, die Moosschicht gar 65 %. Nur mehr ein Viertel der Bodenoberfläche ist als offener Boden anzusprechen.

Boden: Rohboden, geschüttet.

(a)



(b)

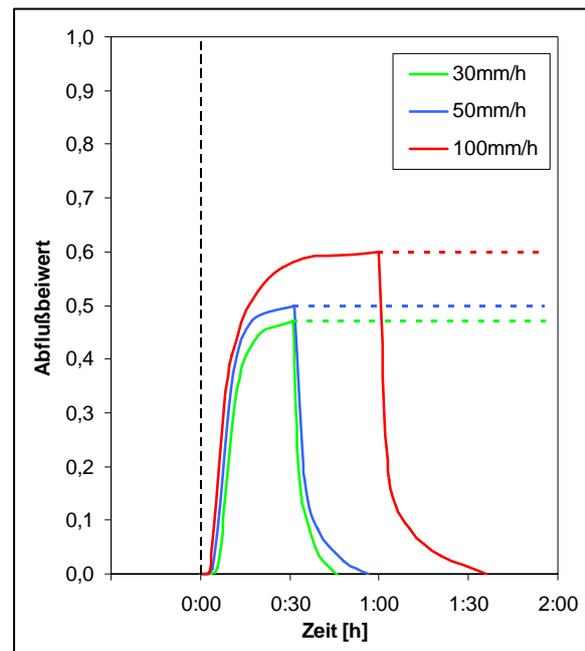


Abbildung 5.9a Beregnungsfläche BF7 –Blaike; Rohboden (auf Braunerdebasis).

Abbildung 5.9b Abflussentwicklung dreier unterschiedlicher Niederschlagsintensitäten; Beregnungsversuche BF7: 27. Sep. 2000 Großsölk – Sölkbach; Intensität: 95,5 mm/h;  $AK_{(ges)}$ : 51,3%  $AK_{(max)}$ : 59,9%; Intensität: 51,7 mm/h  $AK_{(ges)}$ : 42,3%  $AK_{(max)}$ : 49,6%; Intensität: 31,4 mm/h;  $AK_{(ges)}$ : 35,9%;  $AK_{(max)}$ : 45,2%

### 5.1.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

#### Korngrößenverteilung

Wie aus Abbildung 5.10 und Tabelle 5.1 ersichtlich, streuen die Tongehalte der beobachteten Standorte nur in einem geringen Bereich. Die Böden sind vorwiegend sandig bis schluffig-sandig, mit stark wechselndem Skelettanteil. Die Schluffgehalte streuen beträchtlich, zwischen 17 und 40 Prozent. Abweichend davon findet sich in BF1 eine Sandschicht in 10 bis 20 cm Bodentiefe, sowie eine sehr schluffreiche Probe im obersten Bodenhorizont des Profils BF3.

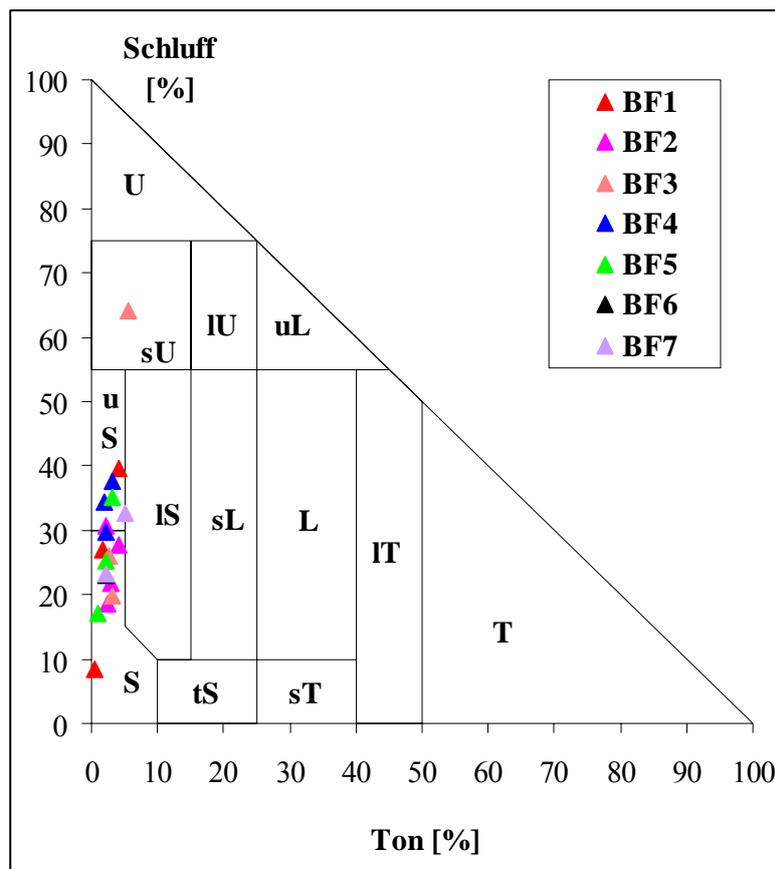


Abbildung 5.10 Bodenart aller untersuchten Standorte (österr. Texturdreieck)

Tabelle 5.1 Auflistung der wichtigsten bodenphysikalischen Kennwerte der Versuchsflächen

Organische Substanz [Gew. %]

TS	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5	31,37	31,56	27,65	23,26	15,52	1,06	2,30
5-10	23,29	12,09	8,69	19,78	12,65		0,60
10-20	12,27	3,89	8,76	12,09	4,95		

Lagerungsdichte [g/cm<sup>3</sup>]

TS	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5	0,34	0,41	0,44	0,32	0,69	1,83	1,44
5-10	0,54	1,04	0,75	0,63	0,71		
10-20	0,80						

Feststoffdichte [g/cm<sup>3</sup>]

TS	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5	2,01	2,06	2,07	2,20	2,39	2,72	2,64
5-10	2,15	2,42	2,54	2,26	2,39		2,72
10-20	2,51	2,66	2,57	2,44	2,64		

Gesamtporenvolumen [Vol. %]

TS	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5	82,91	79,83	78,72	85,29	71,26	31,65	45,59
5-10	74,75	57,13	70,41	72,33	70,56		
10-20	67,98						

Gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm/d]

TS	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-5	774	1879	135	171	506	231	1326
5-10	236	47	31	28	191		
10-20	596						

Korngrößenverteilung [Gew. %]

Anteil [%]	TS	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
Sand		56,2	67,1	30,5	59,2	72,5	74,9	74,4
Schluff	0-5	39,7	30,8	64,0	37,7	25,3	22,9	23,3
Ton		4,1	2,1	5,5	3,1	2,2	2,2	2,3
Sand		71,5	68,2	71,5	63,8	61,7		62,1
Schluff	5-10	26,9	27,6	25,9	34,3	35,2		32,7
Ton		1,6	4,2	2,6	1,9	3,1		5,2
Sand		91,0	79,0	77,0	68,2	81,8		
Schluff	10-20	8,5	18,5	19,9	29,6	17,2		
Ton		0,5	2,5	3,1	2,2	1,0		

Bodenart

TS	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
0-10	u S	u S	sU	u S	S	S	S
10-20	S	S	S	u S	u S		IS
20-40	S	S	S	S	S		

### Ergebnisse der Bodenabtragsmessungen

Beurteilt man die Erodierbarkeit (*k-Faktor*) der untersuchten Böden nach der Bodenart, dem Humusgehalt, der Aggregatstabilität und der Wasserleitfähigkeit (nach SCHLICHTING und BLUME, 1995), so ist der größte Teil der Proben als sehr niedrig bzw. niedrig erodierbar anzusehen (vgl. Abbildung 5.11). Lediglich BF7 zeigt sich in 5 – 10 cm Tiefe als mäßig hoch bis hoch erodierbar, darüber jedoch ist der k-Faktor wiederum sehr niedrig. Im Vergleich weist BF6 in der obersten Tiefenstufe mit knapp unter 0,2 den höchsten Erodierbarkeitsfaktor auf, dieser ist jedoch nach der oben erwähnten Einteilung als niedrig einzustufen. Unter 5 cm Tiefe war eine ungestörte Beprobung dieses Standortes nicht möglich, ein Anstieg der Erodierbarkeit ähnlich der benachbarten Beregnungsfläche BF7 ist jedoch auch hier zu erwarten.

Die im allgemeinen geringe berechnete Erodierbarkeit der untersuchten Standorte hat ihren Ursprung in der sandigen Textur, höheren Gehalten an organischer Substanz, der hohen Aggregatstabilität und den hohen  $K_f$ -Werten.

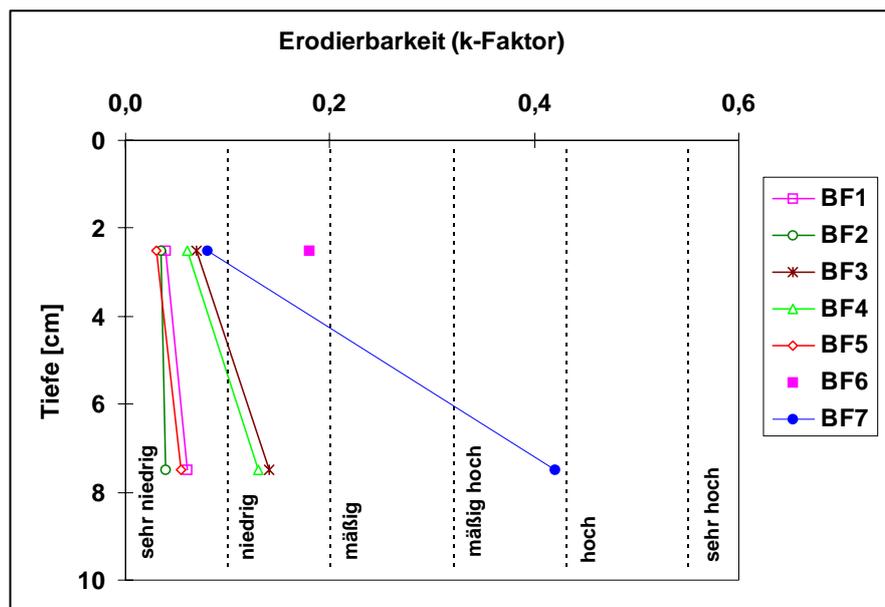


Abbildung 5.11 Erodierbarkeit (*k-Faktor*) der untersuchten Böden nach der Bodenart, dem Humusgehalt, der Aggregatstabilität und der Wasserleitfähigkeit (nach SCHLICHTING und BLUME 1995)

Die in den Beregnungsexperimenten ermittelten Abtragsfrachten werden jedoch von den, anhand von Labordaten bestimmten k-Faktoren nicht bzw. nur eingeschränkt bestätigt. In Abbildung 5.12 ist der zeitliche Verlauf des Bodenabtrags während der Niederschlagssimulation dargestellt. Abbildung 5.13 stellt einen durchschnittlichen Bodenabtragswert eines fünfminütigen Starkregens dar. Während BF2 auf Grund

der hohen Infiltrationskapazität erwartungsgemäß einen vernachlässigbaren Abtrag liefert, ist auf den untersuchten Weiderasen trotz der extrem hohen Abflusswerte ( $AK_{(max)} > 90 \%$ ; vgl. Tabelle 5.1) nur geringer Bodenabtrag festzustellen. Das durch Schneeschurf und Lawine erodierte, im schmelzenden Lawinenkegel frei werdende Abtragsmaterial, bildet den Hauptbestandteil des Abtrags auf Beregnungsfläche 5. Die Abtragsrate liegt an dieser Fläche im Bereich zwischen 5 und 20  $kg$  pro Hektar und Minute. Die teilweise offene Straßenböschung (BF6) weist die höchste Bodenerosion auf. KUNTZE et al. (1994) geben die Schwelle der Bodenabträge, ab welcher die Erosionsgefährdung als sehr hoch einzustufen ist und Erosionsschutzmaßnahmen erforderlich wären, mit 30  $t$  pro Hektar und Jahr an. Rechnerisch würden 30 fünfminütige Starkregenereignisse ( $100 \text{ mm/h}$ ) pro Jahr zu etwa diesem Abtrag führen, was keiner unrealistischen Vorstellung entspricht. Trotz der deutlich höheren maximalen Abflussspende der Fläche BF7, die einen bereits fortgeschritteneren Wiederbesiedlungsgrad aufweist, beobachtet man an diesem Standort im Starkregenexperiment einen wesentlich geringeren Bodenabtrag. Dieser liegt mit einem Fünfminutenwert von etwa  $10 \text{ kg/ha}$  im Bereich zwischen jenen Werten, die für die Weidefläche BF4 und den Waldstandort BF1 gemessen wurden. Der Wert von etwa  $2 \text{ kg*ha}^{-1}*min^{-1}$  stellt, verglichen mit der benachbarten Fläche BF6, eine Reduktion des Bodenabtrags um zwei Zehner Potenzen dar. Die abtragsmindernde Funktion der Moosschicht kommt in diesem Falle besonders deutlich zur Geltung.

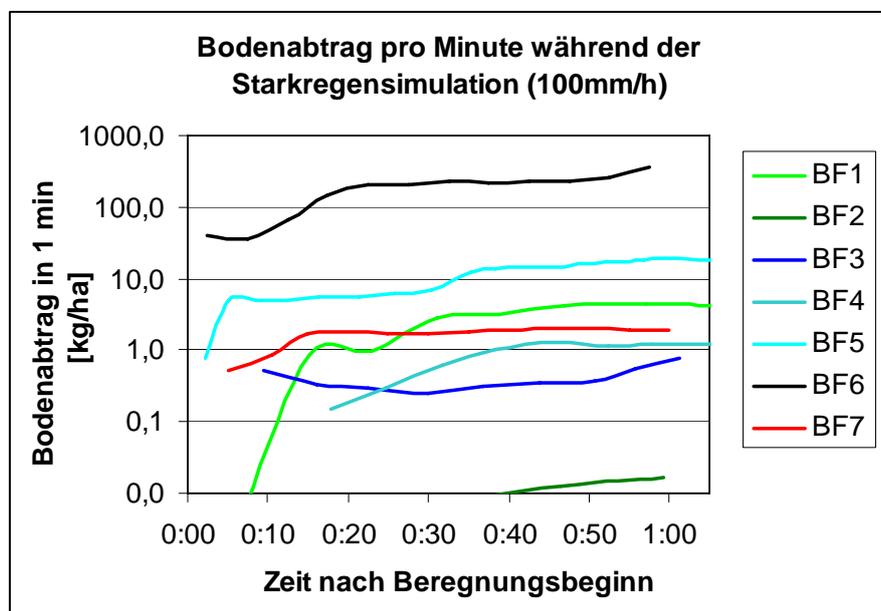


Abbildung 5.12 Zeitlicher Verlauf des minütlichen Bodenabtrags während der Starkregensimulation

### Zusammenhang Oberflächenabfluss, Bodenabtrag und Vegetationsbedeckung

In Abbildung 5.13 sind zusammenfassend die in der Starkregensimulation ermittelten Abflussbeiwerte und die dazugehörigen Bodenabträge gegenübergestellt. Augenfällig ist die Beregnungsfläche 2, wo ein vernachlässigbarer Oberflächenabfluss zu eben solchen Abtragsraten führt. Bei weiterer Betrachtung fallen die beiden untersuchten Weiderasen (BF3 und BF4) auf. Im Starkregenfall führt hier extrem hoher Abfluss an der Bodenoberfläche nur relativ geringe Abtragsfrachten mit sich.

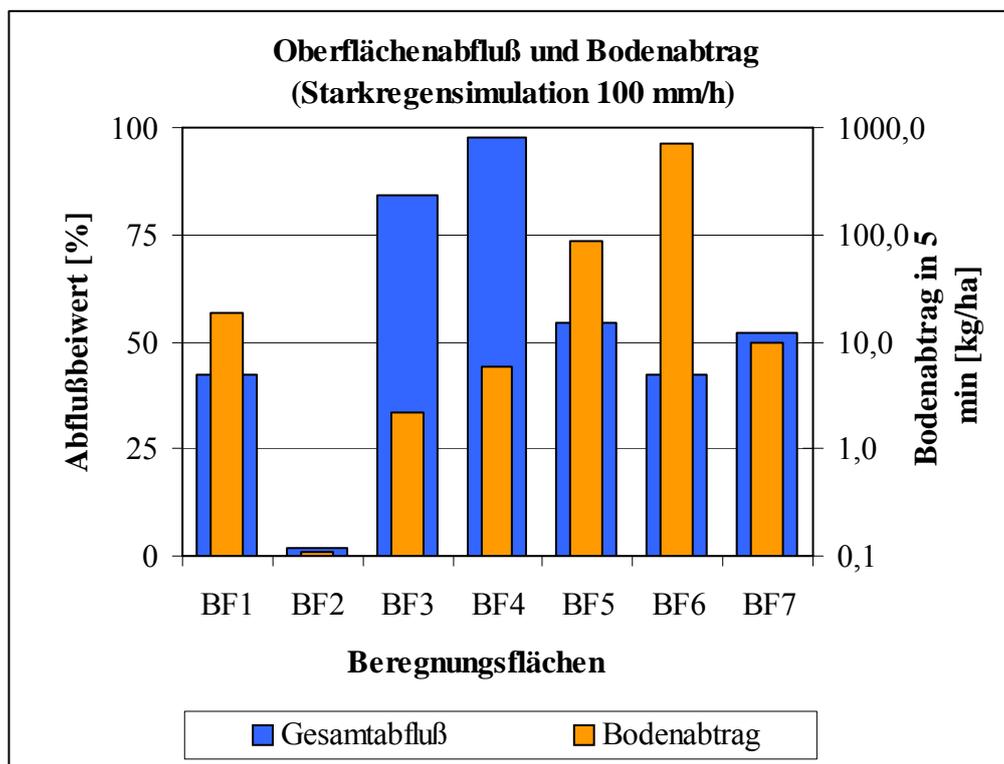


Abbildung 5.13 Gegenüberstellung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag

Aus Tabelle 5.2 ist zu entnehmen, dass gerade diese beiden Flächen den höchsten Deckungsgrad der Bodenvegetation und somit dadurch einen sehr hohen Erosionsschutz aufweisen. Gerade das Borstgras (*Nardus stricta*) ist immer wieder durch seine dichte Wuchsform und seine Akkumulation toter Blattscheiden ein Garant für hohe Abflussbeiwerte (Strohdacheffekt, Benetzungswiderstände). Dieses Weideunkraut bietet im Gegenzug jedoch dem Boden einen sehr hohen Stabilitätsgrad und kann ihn vor der erosiven Kraft des Wassers schützen.

Die zwei untersuchten Waldflächen (BF1 und BF2) unterscheiden sich zwar im Deckungsgrad der Vegetation nur unwesentlich, weisen jedoch erhebliche Unterschiede im Abfluss- und Abtragsverhalten auf. Die große Differenz der Infiltrationskapazität lässt sich auf den ersten Blick auch nicht anhand der

bodenphysikalischen Daten erklären, BF1 besitzt beispielsweise sogar ein höheres Gesamtporenvolumen im Oberboden. Die Analyse der Bodenfeuchtemessung während der Beregnungsexperimente (TDR- Daten) liefert eine plausible Erklärung: Bei ähnlichen Witterungsbedingungen im Vorfeld der Versuche (die Experimente wurden an zwei aufeinander folgenden Tagen durchgeführt) liegt die Ausgangsfeuchte des Bodens an BF1 bei ca. 40 % hingegen an BF2 nur bei etwa 10 %. Während des Versuchs steigt die Bodenfeuchte beider Flächen auf einen mittleren Wert um 50 Volumsprozents an. Daraus lässt sich ableiten, dass BF1 im Vergleich zu BF2 eine wesentlich bessere Dränporenausstattung aufweist. Etwa die Hälfte der Bodenoberfläche beider Standorte ist nicht durch eine Pflanzendecke vor Erosion geschützt. Diese Barflächen setzen sich jedoch an BF2 aus einer reinen Fichtennadel-Streuaufgabe zusammen, wogegen BF1 großflächig freiliegenden mineralischen Oberboden aufweist. Daraus begründet sich das deutlich höhere Erosionspotential der Waldfläche BF1. Obwohl mit vorliegender Versuchsanordnung die Wirkung des Waldes auf das Abtragsgeschehen nicht exakt nachvollziehbar ist - der Baumbestand kann nicht mit in den Beregnungsversuch einbezogen werden - sind die natürlichen und im Wald simulierten Verhältnisse doch recht gut vergleichbar. Die Interzeption eines Fichtenwaldes im Starkregeneignis liegt bei 4 - 5 mm, 4 - 5 Prozent der simulierten Niederschlagsintensität. Die kinetische Energie eines Starkregens wird im Bestand gebrochen und ist an der Bodenvegetation mit jener des simulierten Starkregens vergleichbar. Es ist daher anzunehmen, dass auf nicht mit Wald bestockten Flächen der Bodenabtrag eher unterschätzt wird, als dass Waldflächen überschätzt werden.

Tabelle 5.2 Deckungsgrade der Vegetation und Barflächen – nicht vegetationsbedeckte Stellen an der Bodenoberfläche

Deckungsgrade der Vegetation [%]

Schicht	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
Baumschicht	80	60	-	-	-	-	-
Strauchschicht	1	-	-	-	-	1	1
Krautschicht	40	40	95	98	40	10	50
Moosschicht	5	10	5	5	20	20	75
Gesamtdeckung	90	80	95	98	45	20	75
Barflecken	55	50	5	2	55	80	25

Der berechnete Lawinenkegel weist im Vergleich dazu bei fehlender Baumschicht ähnliche Deckungswerte der Vegetation auf. Die Moosschicht ist aber deutlich ausgeprägter. Es wurden an dieser Fläche eine 10 % höhere Gesamtabflussmenge registriert, der Abfluss ist mit 57 % annähernd gleich hoch. Die deutlich höhere Abtragsrate wird jedoch am Lawinenkegel aus dem schmelzenden Lawinenschnee freigesetzt.

Die geringe Vegetationsbedeckung bedingt die sehr hohe Abtragsfracht der Berechnungsfläche 6, der geschütteten Böschung eines Forstwegs. Mit fortlaufender Sukzession besiedeln mehr und mehr Pionierpflanzen, vor allem Moose, derartige Standorte. Die abtragsmindernde Funktion einer solchen Moosschicht kommt in der Regensimulation am benachbarten Standort BF7 besonders deutlich zur Geltung, eine Reduktion des Bodenabtrags im Bereich zweier Zehner-Potenzien war messbar.

Aus diesen Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass der Bodenabtrag im Gebiet Großsölk nur zu einem geringen Teil aus den Weideflächen zu erwarten ist. Im Waldbereich können Flächen mit offenem freiliegendem Mineralboden und einer Prädisposition für oberflächlichen Abfluss (anhand von Zeigerpflanzen und ihren ökologischen Zeigerzahlen erkennbar; KOHL 2000) mit den Weideflächen vergleichbare Mengen zum Gesamtabtrag des Gebietes beitragen. Ein relativ hoher Anteil an Abtragsfrachten ist jedoch auf unbegrünt, nur spärlich bewachsenen Flächen, wie frische Straßenböschungen oder Rutschungen zu erwarten. Ebenso wird aus den Lawinenkegeln ein Großteil des in der Hochlage erodierten Materials im Starkregenfall in den Vorfluter verfrachtet.

### 5.1.3 Visualisierung von Erosionspotentialen mit einem GIS

Bodenbeschaffenheit, Hangneigungen, Charakteristik und Intensität des Niederschlags, sowie Hanglängen und Landnutzung bestimmen den Oberflächenabfluss und den Sedimenttransport in einem Einzugsgebiet (WISHMEIER & SMITH, 1978). Die Landnutzung und der anthropogene Einfluss durch Bodenbearbeitung und Bewirtschaftung haben maßgeblichen Einfluss auf die Erodierbarkeit des Bodens.

#### Grundlagen zur Datenverarbeitung

Die Grundidee der folgenden Überlegungen ist, das Erosionspotential eines Niederschlagsereignisses in einem Einzugsgebiet darzustellen. Ein GIS bildet die geeignete Oberfläche für die Berechnungen bzw. Darstellungen. Es dient als Datenbank und verbindet einzelne Datengrundlagen miteinander. Als Basis wird ein Niederschlagsereignis (Abbildung 5.14) im Einzugsgebiet Seifriedbach herangezogen. Aufgezeichnet wurden die Niederschlagsdaten von der Regenwippe Seifriedbach.

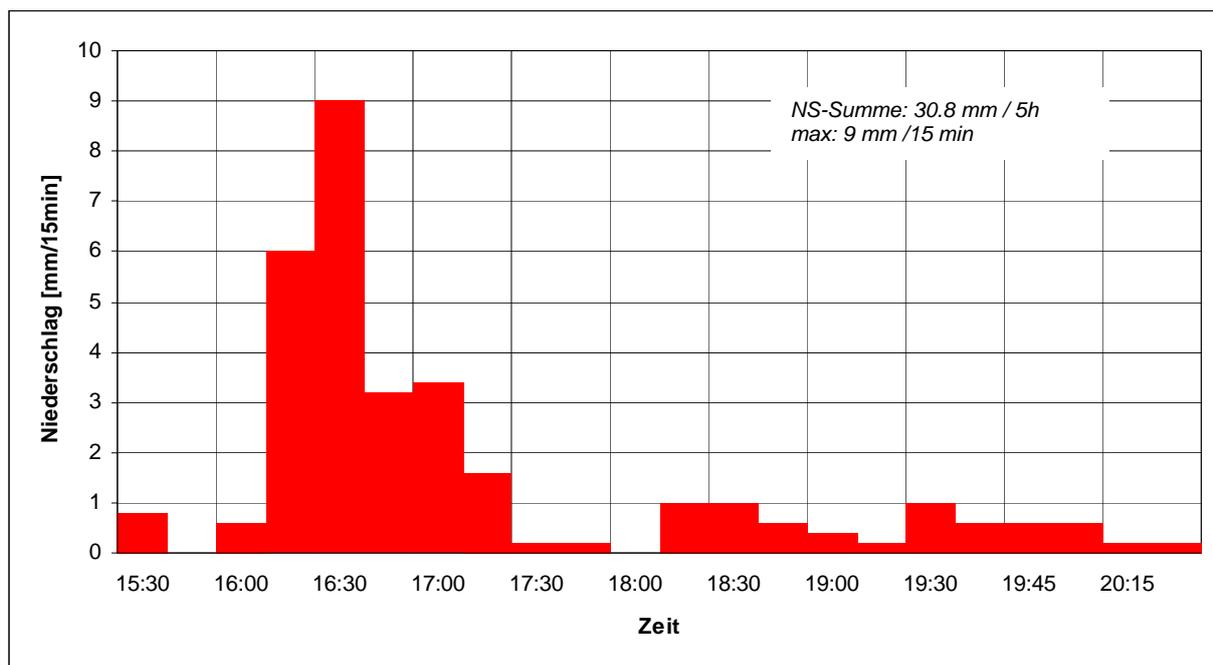


Abbildung 5.14 Niederschlag im Seifriedtal am 16.9.2000

Mit den Messungen am Gebietsauslass ist weiters der Abfluss und der Schwebstofftransport bekannt (siehe Abbildung 5.15).

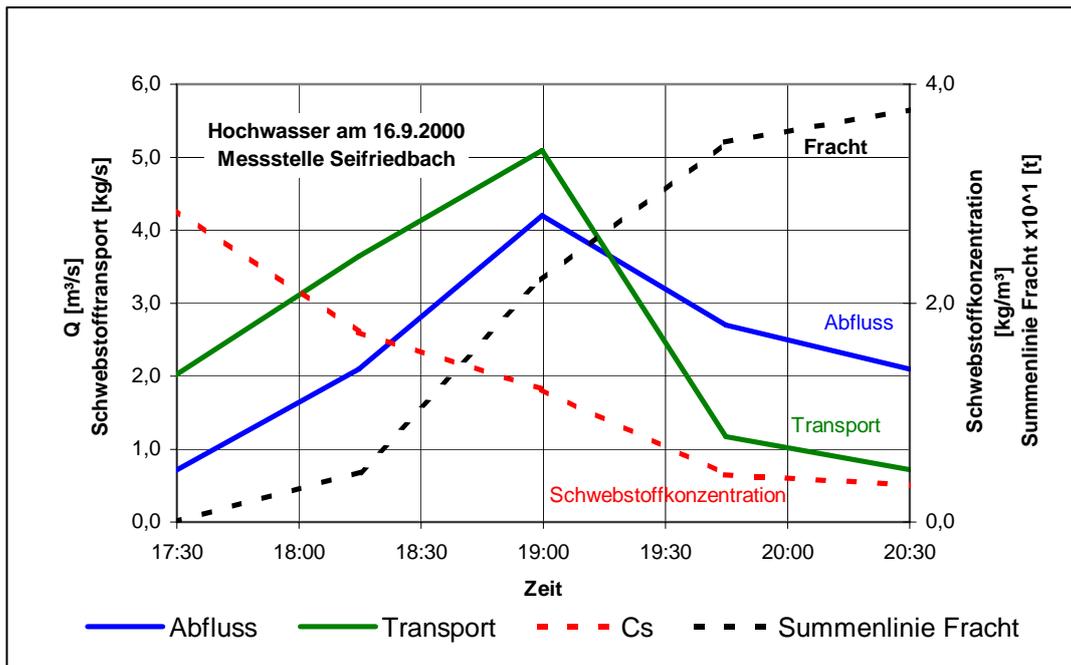


Abbildung 5.15 Abfluss, Schwebstoffkonzentration, Schwebstofftransport und Schwebstoffsummenlinie am 16.9.2000

Die Landnutzungen (siehe Abbildung 3.3, Kapitel 3.3) des Sölktales werden aus dem Orthofoto digitalisiert (KOBOLTSCHNIG, in print) und in das GIS (ArcView GIS, Version 3.1) übertragen. Die hohe Auflösung des Orthofotos ( $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ ) ermöglicht auch das digitalisieren von unbefestigten Wegen (Forstwege).

### Einbezug des Erosionsmodells KINEROS

Aus den Beregnungsversuchen sind die Charakteristika der vorkommenden Bodentypen und Landnutzungen bekannt. Um die berechneten Flächen auf die vorkommenden Hangneigungen im Einzugsgebiet zu beziehen, wurde von FENICIA (2001) das Erosionsmodell KINEROS anhand der Ergebnisse aus den Beregnungsversuchen kalibriert und eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt

### Berechnung (FENICIA, 2001)

Es wird angenommen, dass ausgehend von den aufgezeichneten Regendaten, der Niederschlag über das gesamte Einzugsgebiet gleichverteilt ist. Mit dem Ergebnis der Kalibrierung von KINEROS ist es nun möglich, jede berechnete Fläche mit unterschiedlichen Niederschlagsintensitäten durchzurechnen. Ein weiterer, entscheidender Vorteil ist die Möglichkeit, alle Flächenelemente auf verschiedene Hangneigungen zu beziehen. Das Berechnungsergebnis für das Niederschlagsereignis am 16.9.2000 zeigt die Abbildung 5.16.

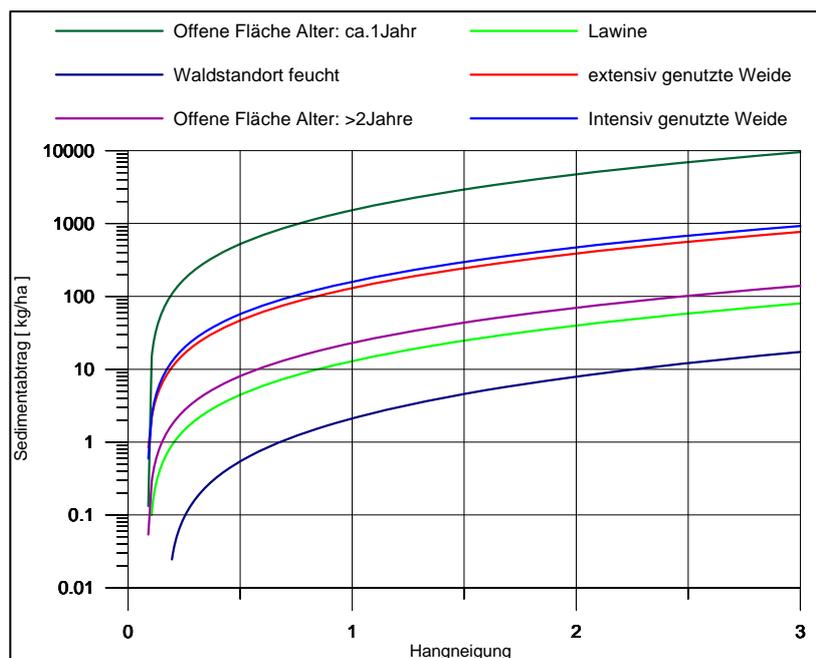


Abbildung 5.16 Änderung des Sedimentabtrags mit der Hangneigung (Hangneigung: Verhältnis H/L)

Jede Beregnungsfläche ist somit einer Landnutzung zuzuordnen (Tabelle 5.3). Jedes Flächenelement einer Landnutzung erhält eine bestimmte Neigung. Die Voraussetzung, den Sedimentabtrag in Rasterauflösung für das gesamte Einzugsgebiet zu berechnen, ist damit gegeben.

Die Beregnungsflächen BF6 und BF7 dienen als Grundlage für das Erosionspotential der Forstwege im Seifriedtal.

Tabelle 5.3 Zuordnung der Berechnungsstandorte zu den Landnutzungen

<b>Berechnungsstandort</b>	<b>Landnutzung</b>
Feuchter Wald (BF1) →	Wald
Weide Extensiv (BF4) →	Kampfbzone
Weide Extensiv (BF4) →	Gras
Feuchter Wald (BF1) →	Hochstauden
Weide Intensiv (BF3) →	Weiden

Die Hangneigungen werden aus dem Digitalen Höhenmodell (DHM) der Sölk berechnet. Die Auflösung für den Raster im GIS ist vom DHM vorgegeben und beträgt  $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ . Alle anderen Kartenwerke (Landnutzungen, Masken) beziehen sich auf diese Rastergröße. Eine schematische Darstellung der Vorgehensweise zeigt Abbildung 5.17.

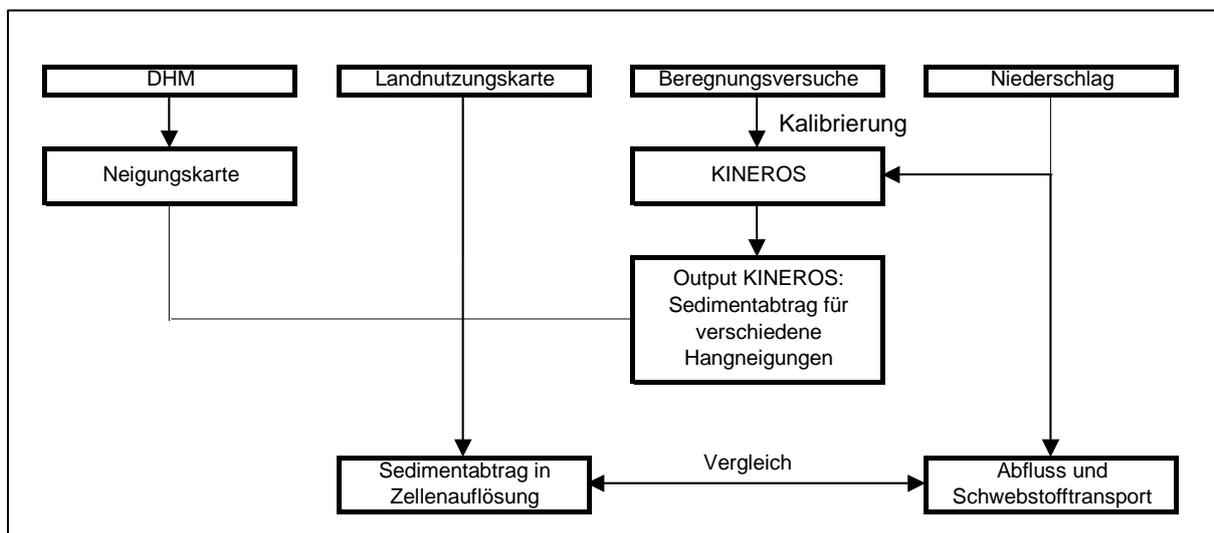


Abbildung 5.17 Schema der Ermittlung des Sedimentabtrags

Das Ergebnis des Bodenabtrags für das Regenereignis vom 16.9.2000 ist in Abbildung 5.18 dargestellt. Jede Landnutzung ist durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet, die Farbintensität soll die Stärke des Bodenabtrags kennzeichnen. Weiße Stellen bedeuten entweder keinen Bodenabtrag, oder es handelt sich um Fels bzw. Schuttflächen, die nicht in die Berechnung miteinbezogen wurden. Es wird deutlich, dass speziell im Bereich des Talbodens kaum oder nur wenig Erosion stattfindet, was sich einerseits durch die Landnutzung erklärt. Im Talboden finden sich vorwiegend Weideflächen bei denen der Bodenabtrag in Relation zum Oberflächenabfluss gering ist. Andererseits treten Hangneigungen bis maximal  $15^\circ$  auf. In der Kampfbzone, wo nur wenig Vegetation und nur geringe Bodenmächtigkeiten auftreten, ist der Bodenabtrag hoch. Es treten Hangneigungen bis über  $70^\circ$  auf. Wald und Hochstauden tragen am meisten zum Sedimentrückhalt bei.

Da es sich um eine Summe einzelner Gridzellen handelt, bleiben Sedimentsenken unberücksichtigt. Das „Routing“ eines Modells fehlt, daher liegt das Ergebnis naturgemäß über der im Vorfluter transportierten Schwebstoffmenge und kann daher als Erosionspotential gewertet werden.

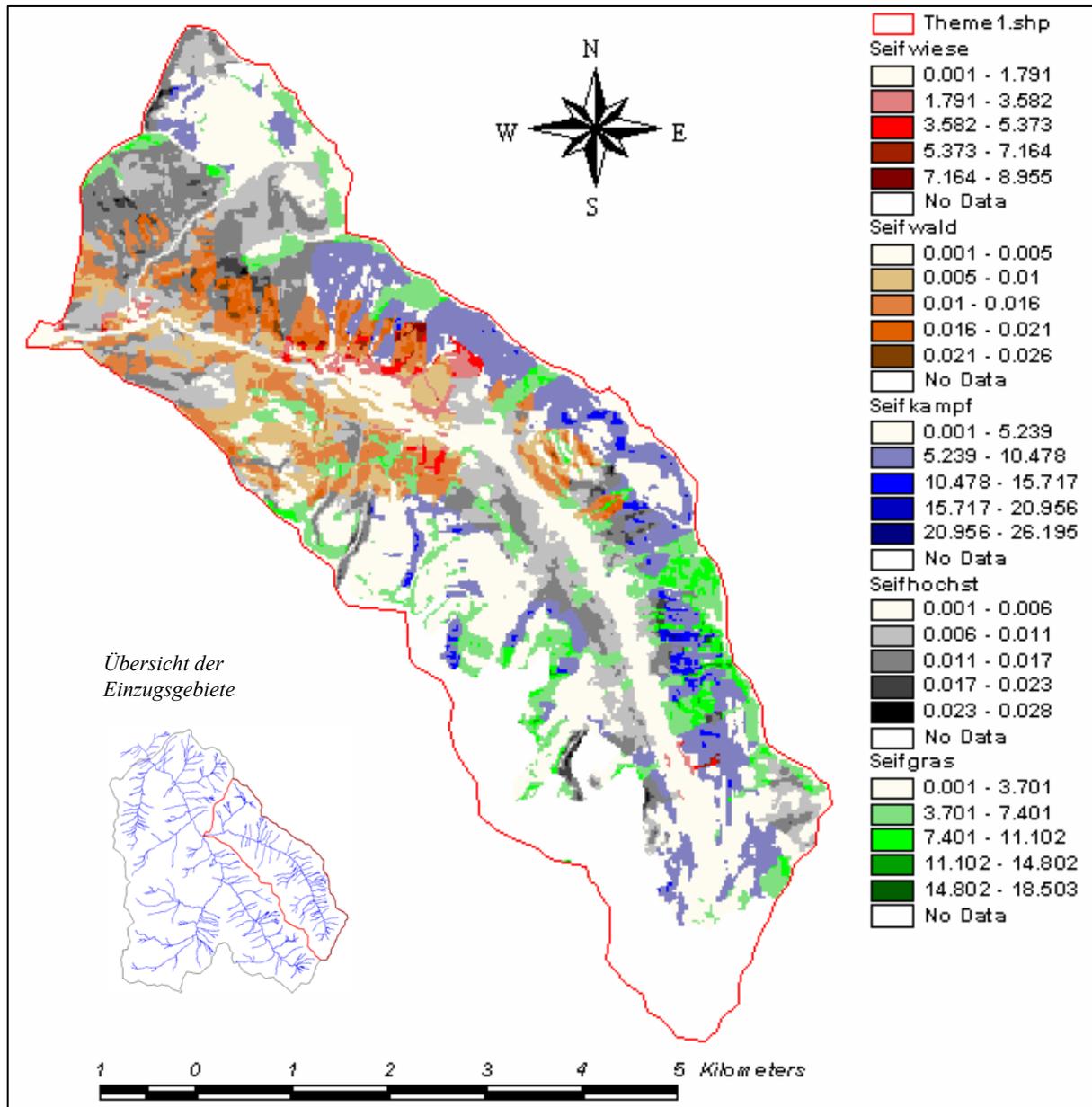


Abbildung 5.18 Bodenabtragskarte vom Regenereignis am 16.9.2000 im Seifriedtal

Bodenabtrag in kg / Zelle; Aufgliederung in Landnutzungstypen;

Begriffserklärung der Legende: Theme1: Einzugsgebietsgrenze; Seifwiese: Landnutzung Wiese; Seifwald: Landnutzung Wald; Seifkampf: Landnutzung Kampfzone; Seifhochst: Landnutzung Hochstauden; Seifgras: Landnutzung Grasfluren.

Eine Übersicht des Bodenabtrags bietet die Karte der Abbildung 5.19. Die Zonen mit mäßigem (blau dargestellt) und hohem Bodenabtrag (rote Darstellung) sind deutlich zu erkennen. Im südlichen und östlichen Teil des Einzugsgebiets ist die Erosion weit höher als im Bereich des Gebietsauslasses. Letzteres liegt am vermehrten Vorkommen des Landnutzungstyps Hochstauden und des geringeren Gefälles als im hinteren Teil des Einzugsgebietes.

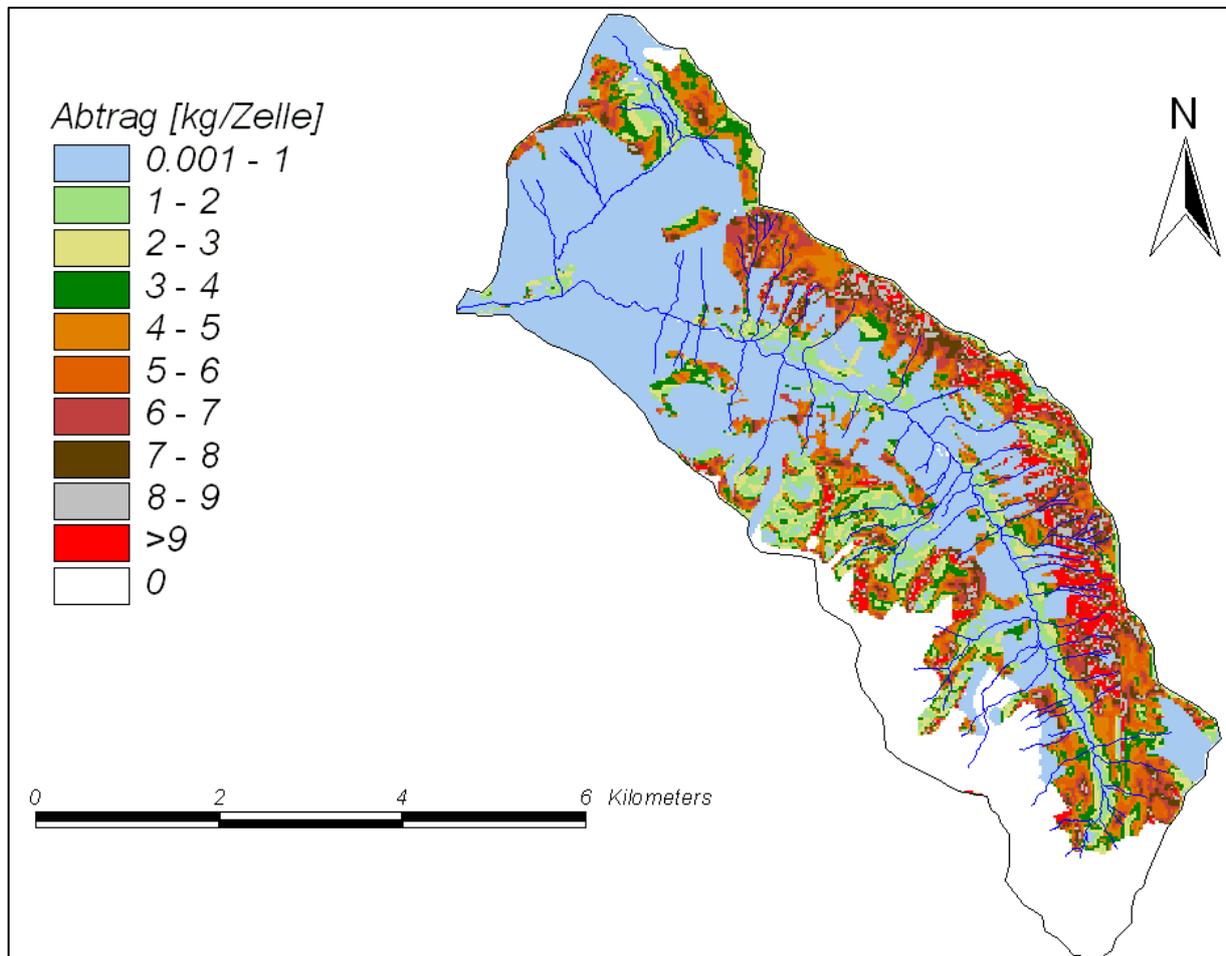


Abbildung 5.19 Übersichtliche Karte über den Bodenabtrag im Einzugsgebiet Seifried für das NS-Ereignis am 16.9.2000

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Abtragssummen der einzelnen Nutzungstypen sehr unterschiedlich sind (Tabelle 5.1). Wald und Hochstauden schützen den Boden vor Erosion. Die Kampfzone und die Grasfluren bringen am meisten Sediment. Weiden tragen zum Sedimentrückhalt bei, sind durch einen großen Oberflächenabfluss gekennzeichnet. Sie kommen vorwiegend im Bereich des Talbodens vor und tragen möglicherweise zu einem verstärkten Sedimenttransport bis in den Vorfluter bei. Die berechnete Schwebstofffracht am Gebietsauslass beträgt 37,65 t und liegt damit unter der errechneten Abtragssumme von 111,15 t.

Tab 5.1 Aufschlüsselung der Abtragssumme nach Landnutzungstypen

<b>Zone</b>	<b>Abtrag [t]</b>
Weiden	3.66
Wald	0.08
Kampfzone	65.70
Hochstauden	0.13
Grasfluren	41.58
<b>Summe</b>	<b>111.15</b>

### Erosionspotential von Forstwegen

In der obigen Berechnung wurden die Forstwege im Seifriedtal nicht berücksichtigt (Abbildung 5.20a und 5.20b). Es stellte sich als schwierig heraus, sie in die Berechnungen einzubeziehen. Einerseits stellen Einschnitte wie Wege im steilen Gelände Sedimentquellen durch vermehrt offene Flächen (Abschnitt 5.1.1) an den Flanken dar, andererseits verkürzen sie die Hanglänge und dienen als Sedimentsenke, da in den unbefestigten Drainagen die Schleppspannung durch hohe Rauigkeiten herabgesetzt wird.

Im Folgenden wird das Erosionspotential der durch die Wege entstandenen Böschungen (Einschnitte und Schüttungen) für das in Abbildung 5.14 dargestellte Niederschlagsereignis quantifiziert.

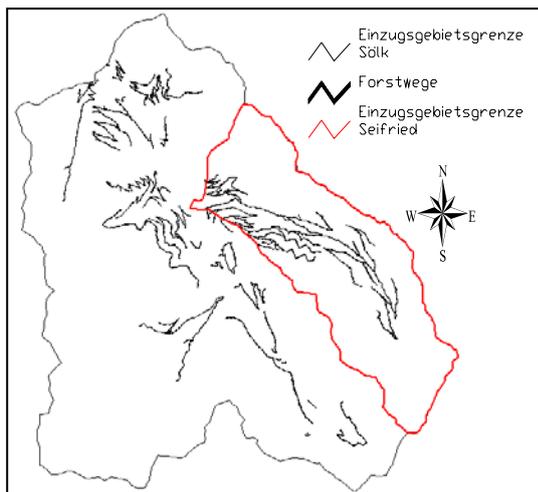


Abbildung 5.20a Forstwege in der Sölk



Abbildung 5.20b Forstweg im Seifriedtal

Die Digitalisierung der Forststrassen aus dem Orthofoto beinhaltet die Wege mit den entstandenen Einschnitten und Schüttungen. Werden die Flächen mit der Neigungskarte (9 Klassen zwischen 0° - 86°)

überlagert, ergibt sich eine Darstellung wie in Abbildung 5.21. Es ist zu sehen, dass die zum Wegebau benötigte Fläche mit der Hangneigung steigt und umgekehrt. Das ist auch durch das Verhältnis Weglänge zu Wegfläche für das gesamte Einzugsgebiet in Tabelle 5.4 belegt. Die gesamte Weglänge im Seifriedtal beträgt 46,1 km. Die Fläche mit Böschungen 47,3 ha, das entspricht 1,58 % des Einzugsgebiets. Ungefähre Fläche ohne Böschungen: 23,05 ha.

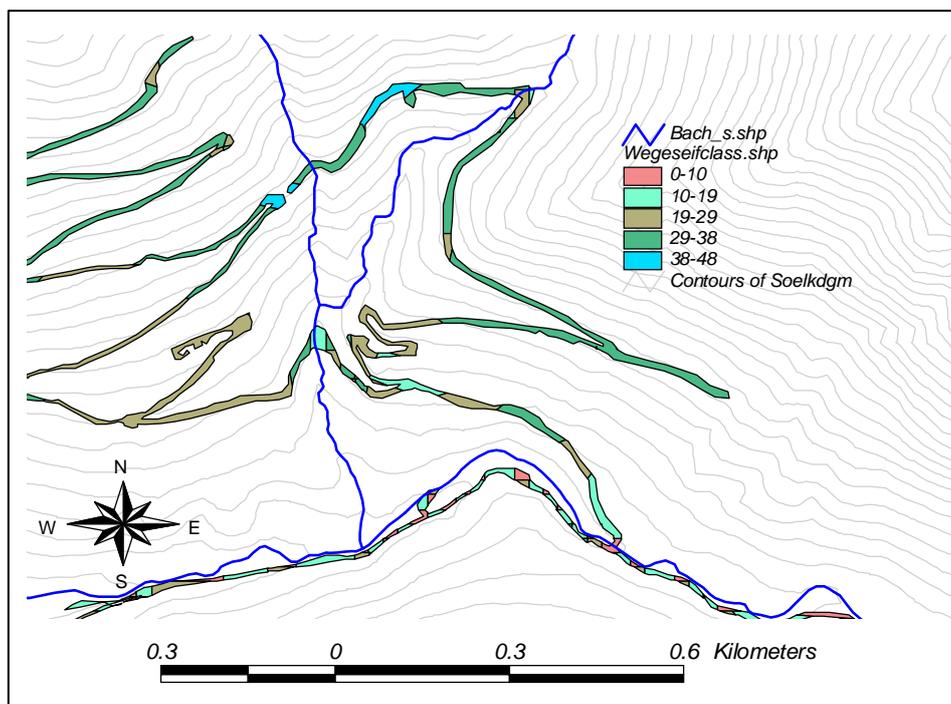


Abbildung 5.21 Ausschnitt der digitalisierten Forstwege mit der Einteilung in Neigungsklassen in[°]

Tabelle 5.4 Aufstellung der Neigungsklassen, Anteile der Weglänge und der Wegfläche

Klasse	Grad [°]	Weglänge für Klassen [km]	Wegflächen mit Böschungen [km <sup>2</sup> ]	Weglänge/ Wegfläche [m/m <sup>2</sup> ]	Wegfläche ohne Böschung [km <sup>2</sup> ]
1	0 – 10	3,29	0,0273	0,120	0,0165
2	10 – 19	8,95	0,0861	0,104	0,0448
3	19 – 29	17,34	0,1844	0,094	0,0867
4	29 – 38	16,17	0,1704	0,095	0,0808
5	38 – 48	0,35	0,0048	0,073	0,0017
6	48 – 57	-	-	-	-
7	57 – 67	-	-	-	-
8	67 - 77	-	-	-	-
9	77 - 86	-	-	-	-
<b>Summe</b>		<b>46,1</b>	<b>0,473</b>		<b>0,2305</b>

**Berechnungsgrundlage**

Als grober Richtwert gilt eine Böschungsneigung von 1:1,5; bei gewachsenen bindigen Böden auch 1:1,25 (PREGL, 1998). Bei den Böden im Sölkatal handelt es sich um Böden mit hohen Sandanteilen (siehe Tabelle 5.1, LUIS Steiermark – Bodenschutz). Die Werte der Tabelle nach den „Empfehlungen für den Bau und Sicherung von Böschungen“ (1962) geben Böschungsneigungen für nicht bindige (Tabelle 5.5) und bindige Böden an. Im Gegensatz zu bindigen Böden ist die Böschungsneigung unabhängig von der Böschungshöhe (keine Kohäsion).

Tabelle 5.5 Tabellwerte für Dämme und Einschnitte im Verkehrswegebau (nicht bindige Böden)

<b>Bodenart</b>	<b>Böschungsneigung</b>	<b>Φ [°]</b>
Feiner Sand	1:2	30,0
Grober Sand	1:1,7	34,0
Kiessand und Steine	1:1,5	37,5

Maßgeblich für die Berechnungen sind zwei offene Flächen (BF6 und BF7), die im Zuge der Beregnungsversuche (Kapitel 5.1.2) beprobt wurden. BF6 und BF7 sind Flächen mit unterschiedlichem Bewuchs (altersabhängig) unterhalb einer Forststrasse mit derselben Hangneigung. Das Modell KINEROS wurde mit den Simulationsergebnissen kalibriert und das Ereignis vom 16.9.2000 für verschiedene Hangneigungen durchgerechnet (FENICIA, 2001). Das Ergebnis ist in den Abbildungen 5.22 und 5.23 dargestellt.

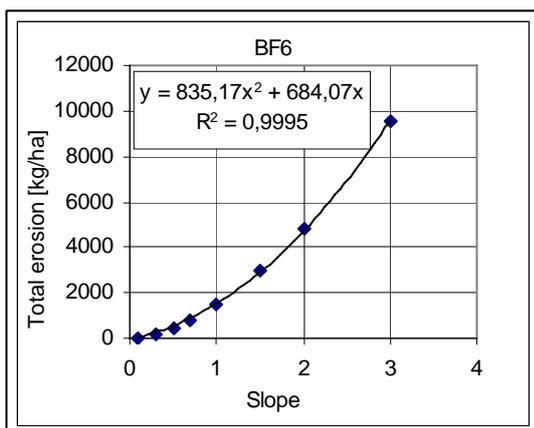


Abbildung 5.22 BF6 (Forststrassenschüttung mit beginnender Pflanzenwiederbesiedelung)

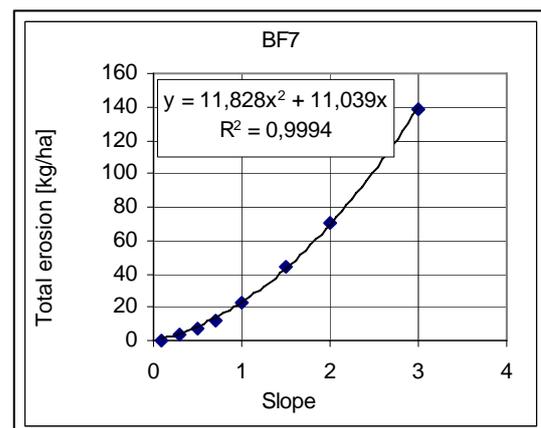


Abbildung 5.23 BF7 (Forststrassenschüttung mit fortgeschrittener Pflanzenwiederbesiedelung)

**Berechnungsergebnisse**

Beide Modellergebnisse wurden auf die maßgeblichen Flächen bezogen. Das sind die Flächen der Einschnitte und Schüttungen ohne den Flächen der Wege. Für verschiedene Böschungsneigungen wird die Berechnung durchgeführt. In den Tabellen 5.6 und 5.7 sind die Ergebnisse jeweils für die verschiedenen Böschungsneigungen angeführt.

Tabelle 5.6 Berechnungsergebnisse auf Datenbasis BF6

<b>Böschungsneigung</b>	<b>Böschungsfläche [ha]</b>	<b>Bodenabtrag [kg/ha]</b>	<b>Σ Bodenabtrag (gerundet) [kg]</b>
1:2	27,1	550,8	14930
1:1,7	28,1	691,0	19420
1:1,5	29,2	803,2	23450

Tabelle 5.7 Berechnungsergebnisse auf Datenbasis BF7

<b>Böschungsneigung</b>	<b>Böschungsfläche [ha]</b>	<b>Bodenabtrag [kg/ha]</b>	<b>Σ Bodenabtrag (gerundet) [kg]</b>
1:2	27,1	8,5	230
1:1,7	28,1	10,6	300
1:1,5	29,2	12,6	370

Mit der Datenbasis der BF6 ergeben sich in Relation zum Gesamtergebnis (Tabelle 5.1) sehr hohe Werte zwischen 14,93 t und 23,45 t, das sind 16,6 % bzw. 26,0 % des Gesamtabtrags.

Für BF7 hingegen liegen die Werte zwischen 230 kg und 370 kg (0,3 % bzw. 0,4 % des Gesamtabtrags).

## 5.2 Transfer

Die Messstelleneinrichtungen im Einzugsgebiet liefern grundlegende Daten für den Stofftransport im Sölkbach. Aufzeichnungen von Niederschlagsschreibern und Pegel gehen in die Berechnungen der Schwebstoffbilanz ein und werden für die Kalibrierung von Niederschlag–Abflussmodellen weiterverwendet.

Schwebstofftransportgleichungen basieren auf den Abflussdaten der Sölk und ihrer Zubringer. Die Zuflüsse der Beileitungen sind wichtige Anhaltspunkte für die Auswertung der Trübstoffsonden.

### 5.2.1 Niederschlag

Daten von sechs Niederschlagsschreibern im Einzugsgebiet Großsölk und Donnersbach geben Aufschluss über den Niederschlagsverlauf im Jahr 2000.

**St. Nikolai** (Seehöhe 1127 m ü. A.)

Abbildung 5.24 zeigt die Tagessummen im Jahr 2000 in St. Nikolai. Der Jahresniederschlag beträgt 1423 mm, das Tagesmaximum 40 mm am 8.10.2000. Trotzdem keine besonderen Spitzen zu beobachten waren, liegt die Jahressumme weit über dem langjährigen Durchschnitt (siehe Abschnitt 3.4.1).

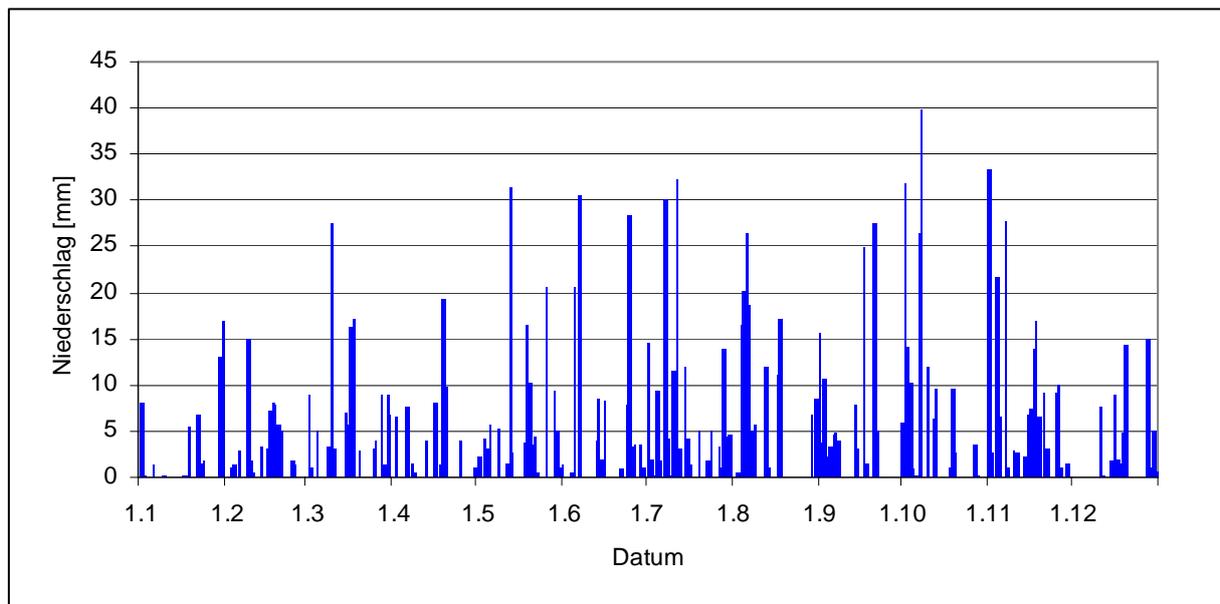


Abbildung 5.24 Tagessummen Niederschlag St. Nikolai Jahr 2000; Niederschlagsstation: NL1070 (Hydrographischer Dienst Steiermark)

### Sperre Sölk (Seehöhe 902 m ü. A.)

Durch die topographischen Verhältnisse im Einzugsgebiet sind Niederschläge teilweise räumlich sehr begrenzt und nur durch ein gutes Messnetz erfassbar. Im Vergleich zu St. Nikolai im Süden ist die Niederschlagsintensität an der Sperre Großsölk im Norden geringer (Höhenunterschied 225 m). An der Sperre beträgt das Tagesmaximum 24,9 mm im Zeitraum April bis Dezember (Abbildung 5.25).

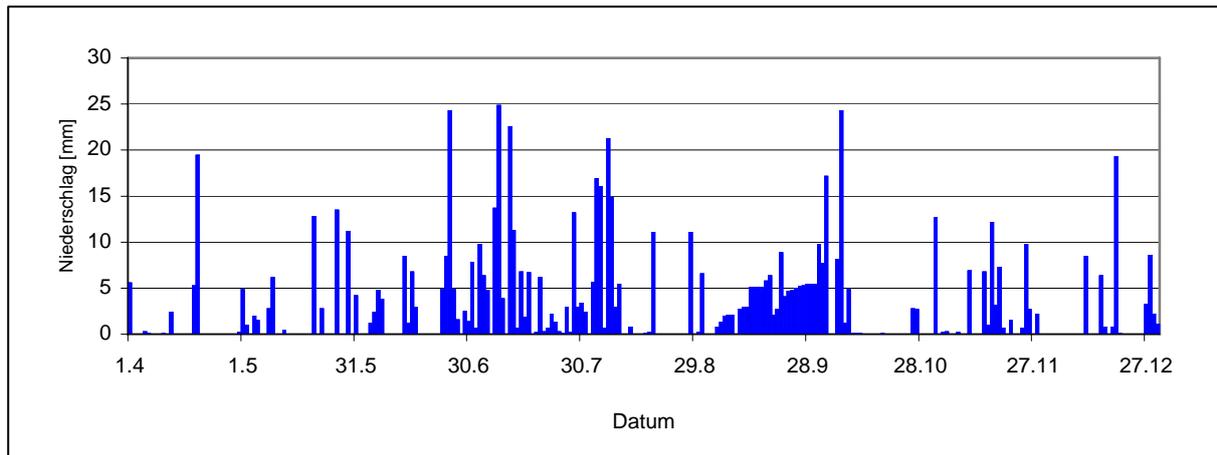


Abbildung 5.25 Tagesniederschläge an der Sperre Sölk im Untersuchungszeitraum (STEWEG)

### Donnersbach

Der Donnersbach gehört ebenso wie der Kleinsölkbach zum Einzugsgebiet des Stausees. Der Niederschlag gibt Aufschluss über die hydrologischen Verhältnisse am Donnersbach und dient als weiterer Anhaltspunkt für N-A-Modellierungen (Abbildung 5.26).

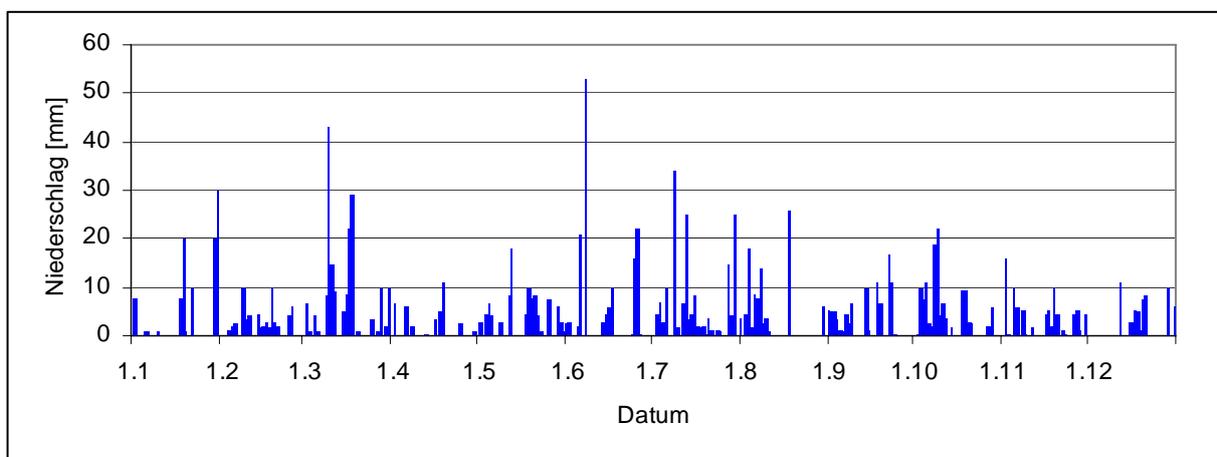


Abbildung 5.26 Tagessummen Niederschlag Donnersbach Jahr 2000; NS-Station: NL1150  
(HYDROGRAPHISCHER DIENST STMK) Abflussverhältnisse im GroßsölktaI im Jahr 2000

**Seifriedbach** (Seehöhe 1360 m ü.A.)

Die Niederschlags-Tagessummen des im Westen gelegenen Teileinzugsgebiets Seifriedbach sind in Abbildung 5.27a dargestellt. Der Niederschlagsschreiber befindet sich etwa in der Mitte des nach Nord-Süd gerichteten Einzugsgebiets (Abbildung 5.27b).

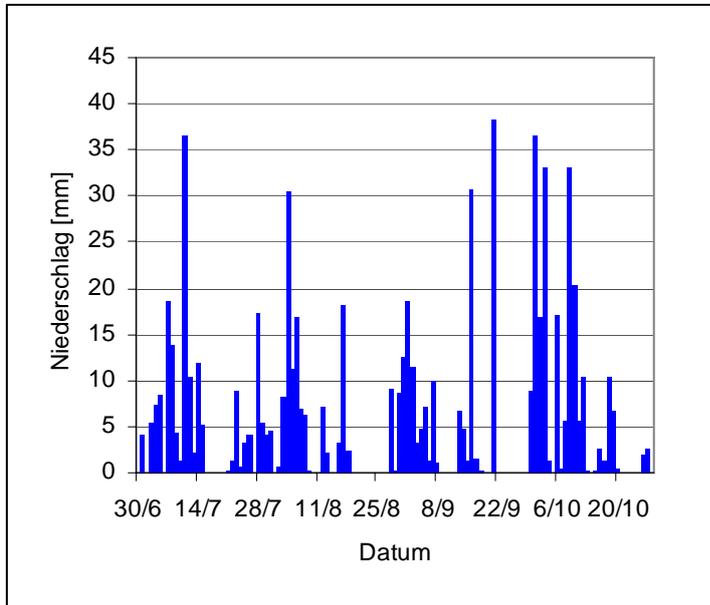


Abbildung 5.27a Niederschlag im Seifriedtal



Abbildung 5.27b Niederschlagschreiber

## 5.2.2 Abfluss Sölkbach

### Schneesmelze

Mit Hilfe des Sternpyranometers der Klimastation St. Nikolai (Messtellenübersicht siehe Kapitel 4) konnte der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf den Schneesmelzvorgang genau beobachtet werden. Beginn und Dauer bzw. Ende der Schneesmelze können abgeschätzt werden. Im Frühjahr 2000 setzte die Schneesmelze am 20. April ein und dauerte bis Mitte Mai an. Durch die Schönwetterlage in diesem Zeitraum und den vielen Niederschlägen im Winter fiel die Schneesmelze besonders stark aus (Abbildung 5.28).

Da Schneesmelze und Sommerhochwässer auf unterschiedlichen hydrologischen Vorgängen basieren, ist es in Bezug auf die Schwebstoffmessungen wichtig, die beiden Abflussvorgänge getrennt zu betrachten.

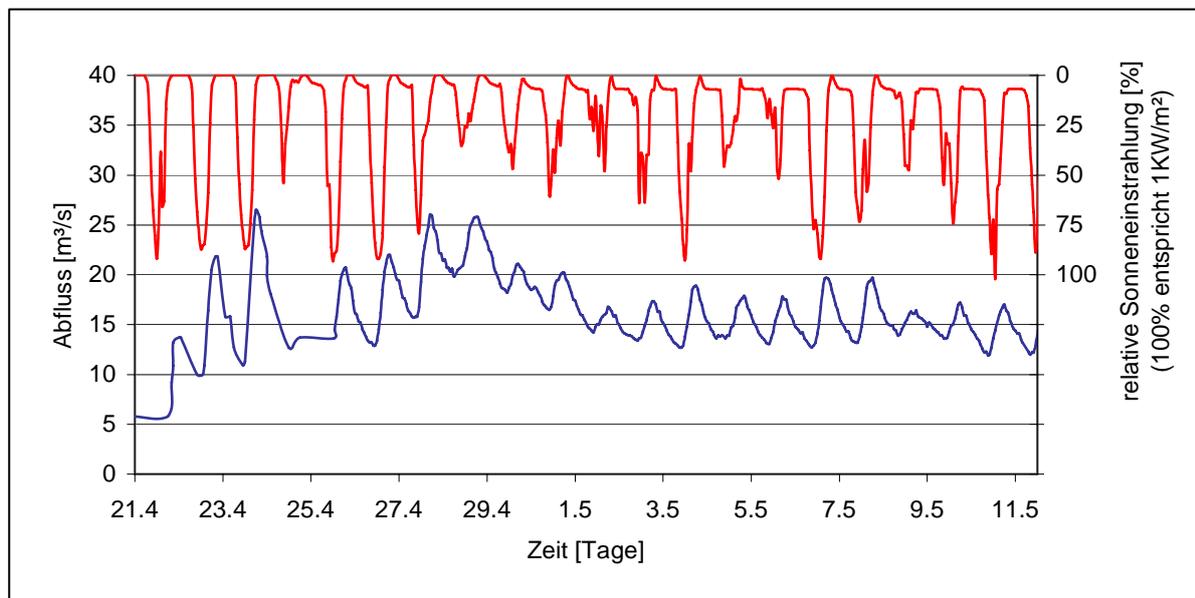


Abbildung 5.28 Zusammenhang der Schneesmelze mit der Sonneneinstrahlung am Beispiel Pegel Ödwirt und der Klimastation St. Nikolai

### Pegel Ödwirt

Die Aufzeichnungen des Druckpegels Ödwirt beginnen im April und enden im Dezember. Fehlende Daten wurden durch die Streifen des Schreibpegels Ödwirt ergänzt (Abbildung 5.29). Das  $HQ_I$ , berechnet durch die HYDROLOGISCHE LANDESABTEILUNG, (1975), wurde mit  $42 \text{ m}^3/\text{s}$  nicht erreicht.

Der Pegelschlüssel wird von der STEWEAG übernommen und für die Druckmesssonde adaptiert. Die Pegelschlüssel für Druck- und Schreibpegel sind in WAKONIG (2000) ausführlich beschrieben.

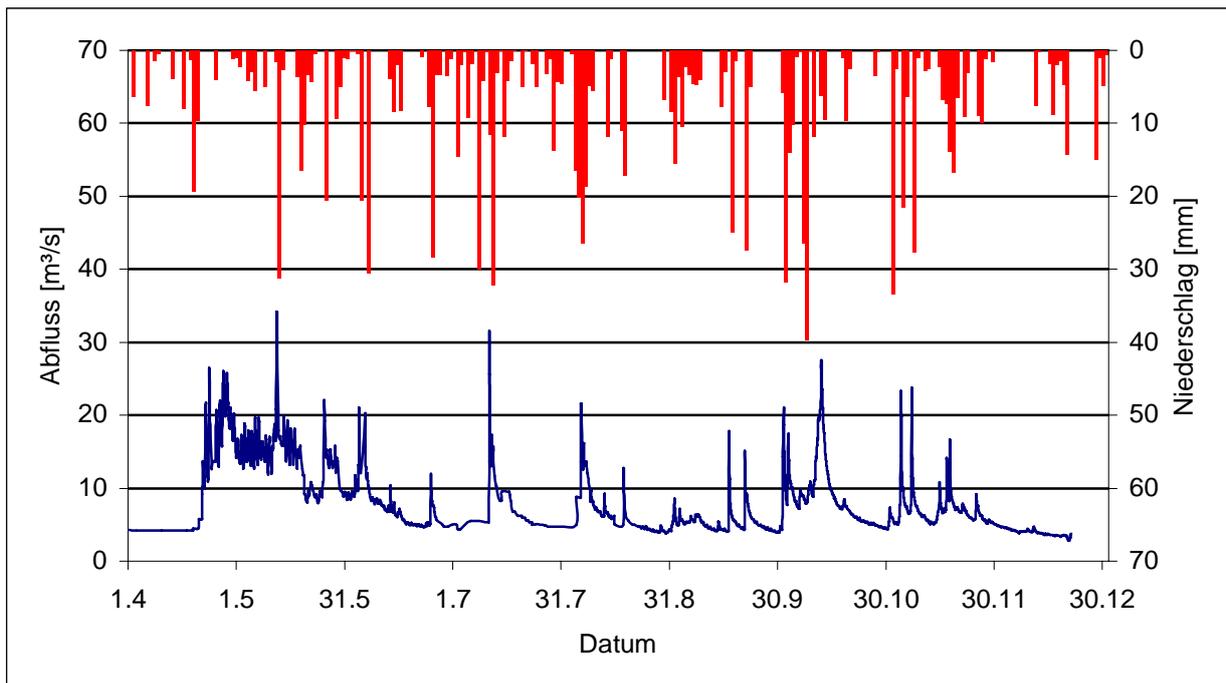


Abbildung 5.29 Ganglinie Sölkbach (Stundenmittelwerte) - Niederschlag St. Nikolai (Tagessummen), April bis Dez. 2000

Der maximale Abfluss liegt bei  $34,2 \text{ m}^3/\text{s}$  am 12.5.2000 um 20.00 Uhr. Die Tagessumme des Niederschlags in St. Nikolai beträgt an diesem Tag  $32 \text{ mm}$ , an der Sperre Großsölk  $0,4 \text{ mm}$ . Dieses Ereignis wird von der Schneeschmelze beeinflusst und ist daher nicht eindeutig den Sommerhochwässern im Sölkatal zuzuordnen. Weitere, kleinere Hochwasserspitzen folgen,  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$  wird ein weiteres Mal,  $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$  wird an zehn Tagen überschritten.

### Teileinzugsgebiete

Gemeinsam mit den Schwebstoffmessungen wurden die Lattenpegel an den Zubringern zur Sölk abgelesen. Die Erstellung der Pegelschlüssel mit dem Wasserspiegellagenprogramm HEC – RAS ist für die einzelnen Bäche in Abschnitt 4.2.5 ausführlich beschrieben.

Am Druckpegel Strickerbach wurde mit Geschwindigkeits-Abflussmessungen ein Pegelschlüssel erstellt. Die berechneten Abflüsse aus den Messungen mit dem P-EMS - Delft sind mit den zugehörigen Wasserständen (gemessen und Druckpegel) aus der Abbildung 5.30 ersichtlich.

Eine lineare Funktion ergab die beste Regression für den Pegel Strickerbach bis zu Abflüssen von  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$$y = 0,1401x \quad r^2 = 0,86 \quad (12)$$

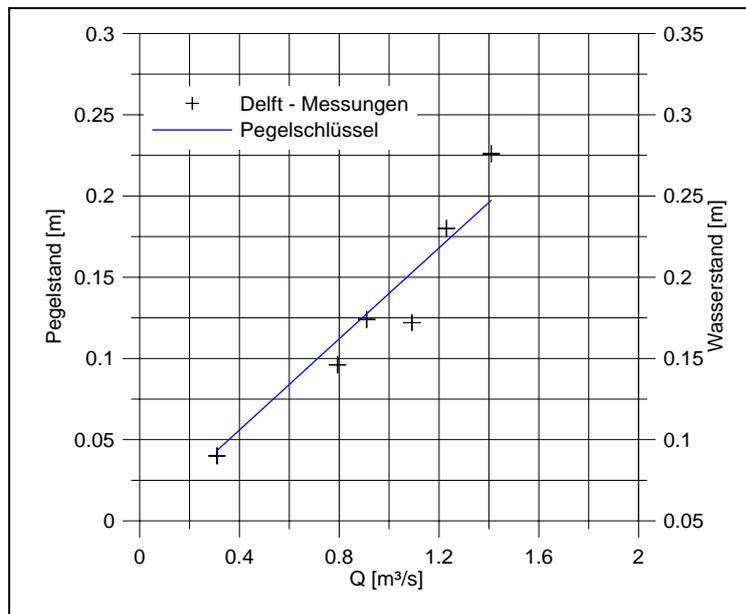


Abbildung 5.30 Pegelschlüssel Strickerbach

Abbildung 5.31 zeigt einen Ausschnitt des Abflusses am Strickerbach. Die Ganglinie ist durch kurze Abflussspitzen geprägt. Vom Beginn bis zur Spitze eines Ereignisses vergehen im Schnitt 3 Stunden. Der rasche Anstieg des Wasserstandes ist kennzeichnend für kleine Einzugsgebiete. Durchschnittlich liegt der Abfluss in den Sommermonaten bei  $Q = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

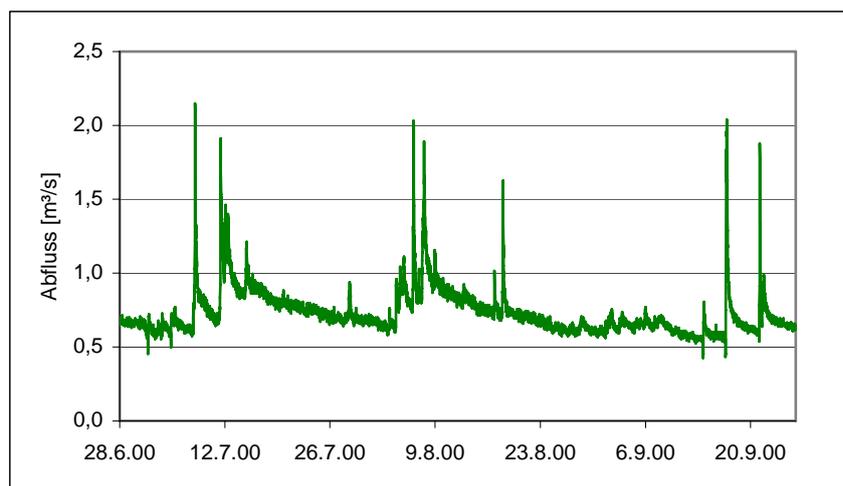


Abbildung 5.31 Ganglinie Strickerbach

Im Zuge des Projekts wurde für die Einzugsgebiete im Sölketal ein Niederschlag - Abflussmodell erstellt. Mit den Regendaten der Niederschlagsstationen konnten mit dem „Watershed Modelling System“ WMS<sup>®</sup> (HEC-1) die anteiligen Abflüsse für das Hochwasser am 22.9.1999 für die

Teileinzugsgebiete ermittelt werden. Die Niederschlagsaufteilung erfolgt nach der Thyssen – Polygon Methode und das synthetisches Gewässernetz wird aus dem digitalen Höhenmodell der Sölk erstellt.

Wie aus der Abbildung 5.32 ersichtlich, gibt das N-A-Modell den Abfluss der Einzugsgebiete in  $Q=1 \text{ m}^3/\text{s}$  - Schritten aus.

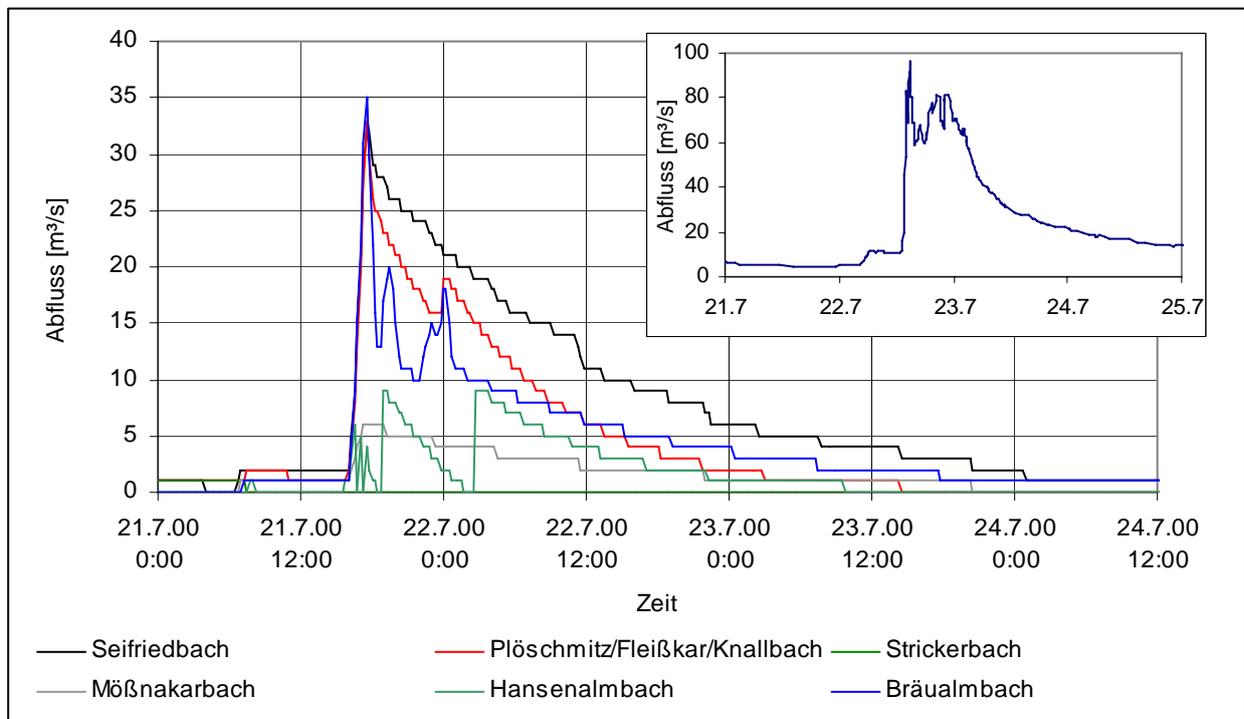


Abbildung 5.32 Ganglinien der Teileinzugsgebiete für das Regenereignis 21.7.99; rechts oben: Abfluss am Sölkbach

Die Tabelle 5.8 soll die Abflussverteilung in den Einzugsgebieten verdeutlichen. Die relative Größe der Einzugsgebiete wird mit den relativen Abflusssummen verglichen. Daraus wird ersichtlich, dass das Abflussgeschehen hauptsächlich vom südlichen und westlichen Teil des EGs beeinflusst wird.

Tabelle 5.8 Vergleich relative Einzugsgebietsgröße – relativer Abflussanteil

<b>Einzugsgebiet</b>	<b>Einzugsgebietgröße [%]</b>	<b>Abflussanteile [%]</b>
Seifriedbach	20,1	38,5
Hansenalmbach	17,3	8
Bräualmbach	24,9	22
Mößnakarbach	3,6	8
Fleißkar/Plöschmitz/Knallbach	24,9	23
Strickerbach	9,2	0,5

### 5.2.3 Abflussverhältnisse am Speicher Sölk

Von der STEWEAG wurden die Halbstundenwerte der Zu- und Abflüsse des Speichers Sölk zu Verfügung gestellt (Abbildung 5.33). Die Daten gehen in die Ermittlung der Schwebstofffracht im Triebwasser und der Beleitungen ein. Die Jahresfracht des Gesamtzuflusses zum Sölkspeicher beträgt im Jahr 2000 478,5 Mio.  $m^3$ , die mittlere Jahreswasserfracht liegt nach Angaben der STEWEAG bei 451,9 Mio.  $m^3$ .

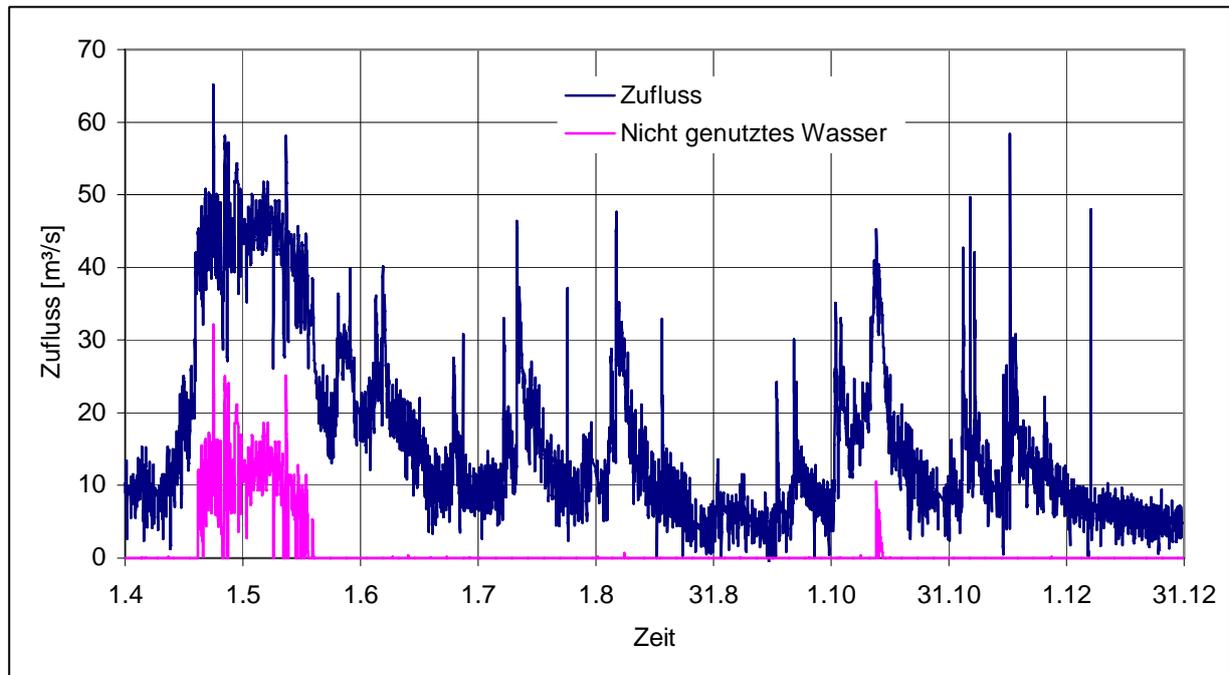


Abbildung 5.33 Zuflussganglinie zum Sölkspeicher; Nicht genutztes Wasser (Hochwasserentlastung)

Der maximale Zufluss wurde in der Schneeschmelze am 23.4.2000 mit  $Q = 65 m^3/s$  erreicht, die Hochwasserentlastung (Überfall am Sperrbauwerk) sprang insgesamt acht mal im Untersuchungszeitraum an.

#### Beleitungen

Im Sommer wurden Instandsetzungsarbeiten der Einlaufbauwerke ebenso wie eine Automatisierung der Einlaufbauwerke durchgeführt. Im Zuge der Arbeiten wurde die Beileitung Kleinsölk im Zeitraum von 25. August bis 19. September stillgelegt.

Die Zuflussdaten der Beleitungen sind nicht extra aufgeschlüsselt. Die Ganglinie der Sölk ist bekannt, damit wurden näherungsweise die Zuflüsse der Beleitungen Donnersbach und Kleinsölk prozentuell aufgeteilt. In Abbildung 5.34 sind die Speicherzuflüsse aus den Beleitungen dargestellt:

- Beileitung Donnersbach: 37,8 %,  $\max Q = 14 m^3/s$
- Beileitung Kleinsölk: 62,2 %;  $\max Q = 8,5 m^3/s$

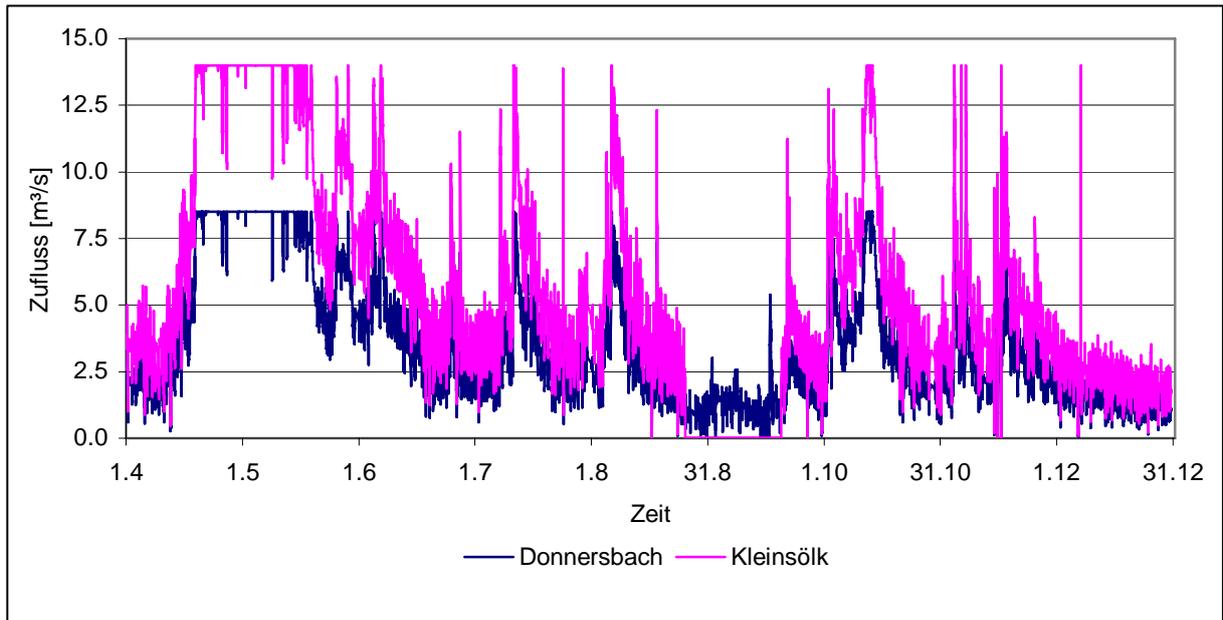


Abbildung 5.34 Prozentuelle Aufteilung der Ganglinien (Beleitungen Kleinsölk und Donnersbach)

## 5.2.4 Schwebstoff

Die folgenden Ausführungen und Abbildungen sind die Voraussetzung zur Erstellung einer Schwebstoffbilanz im Untersuchungszeitraum April bis Dezember 2000.

### 5.2.4.1 Sölkbach

Das Ziel der Messungen am Sölkbach ist es, eine Schwebstoffschlüssel zu entwickeln. Es war notwendig, viele Proben bei kleinen, mittleren und großen Abflüssen zu sammeln, um eine bestmögliche Anpassung der Regression zu erreichen. Die Proben wurden teilweise automatisch durch den Pumpeprobennehmer, teilweise durch Einzelprobenahme gezogen. In Abbildung 5.35 sind die beprobten Hochwässer mit roten Pfeilen gekennzeichnet.

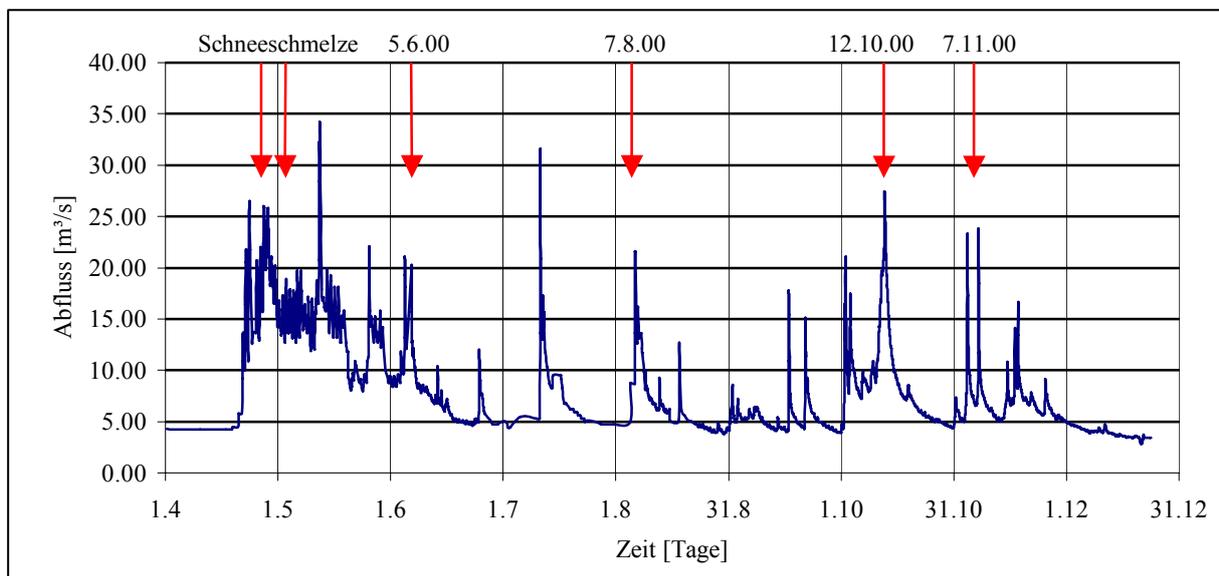


Abbildung 5.35 Ganglinie Sölkbach und beprobte Hochwässer

### Schwebstoff in der Schneeschmelze

Für die Schneeschmelze lieferte der Pump-Probennehmer 20 Proben innerhalb von 3 Tagen bei Abflüssen über  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Auswertung der Proben liefert unterschiedliche Ergebnisse. Der Schwebstoffgehalt weist eine geringe Korrelation ( $R^2 = 0,0829$ ) zum Abfluss auf und streut zwischen  $0,04 \text{ g/l}$  und  $0,51 \text{ g/l}$ . Im Mittel sind  $0,24 \text{ g/l}$  enthalten. Es liegt somit kein Zusammenhang zwischen Abfluss und Schwebstoffkonzentration vor. Wie sich zeigt, ist die Schwebstoffkonzentration niedriger als in den Sommerhochwässern. Für die Berechnung der Schwebstofffracht im Untersuchungszeitraum wird die Schneeschmelze gesondert behandelt. Eine lineare Regression ist in Abbildung 5.36 dargestellt.

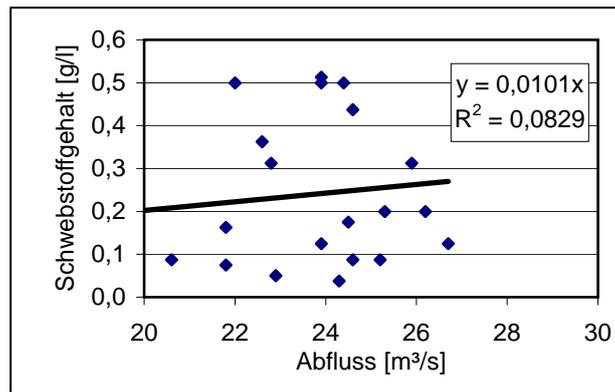


Abbildung 5.36 Schwebstoffkonzentration – Abfluss der Schneeschmelze

### Schwebstoffbeziehung für die Sommerhochwässer

Vier Hochwasserspitzen wurden mit dem Pumpeprobennehmer und der Einzelprobenahme am Sölkbach erfasst. Die Wasserstände sind aus dem Aufzeichnungen des Druckpegels Ödwirt entnommen und die Abflüsse mit dem in WAKONIG (2000) beschriebenen Pegelschlüssel berechnet. Als Beispiel der Schwebstoffmessungen wird das Hochwasser vom 12.10.2000 herangezogen (Abbildung 5.37).

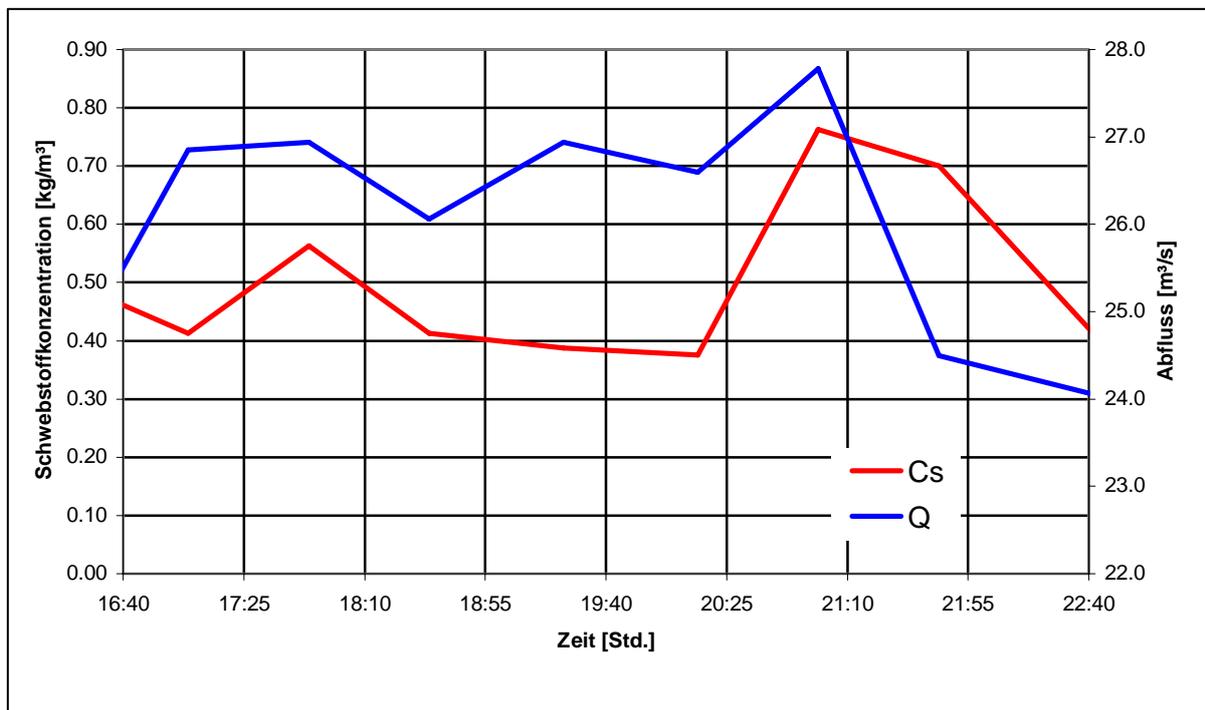


Abbildung 5.37 Abfluss - Schwebstoffkonzentration Hochwasser 12.10.2000

Einzelprobenahmen erfolgen bei Niederwasserperioden und Mittelwasser. Es wurden 85 Proben im Jahr 2000 am Sölbach gezogen, 74 im Jahr 2001 (ÖHLBÖCK, in print) Feststofftransport und –management im Einzugsgebiet des Sölspeichers). Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Abfluss und Schwebstoffgehalt wurde die in Gleichung 12 angegebene Funktion ermittelt. In Abbildung 5.38 sind die Schwebstoffdaten und die Regressionsfunktion grafisch dargestellt. Es zeigt sich ein deutlicher Anstieg. Die höchste Konzentration wurde beim 10-jährlichen Ereignis im Sommer 1999 gemessen (bei 68 m<sup>3</sup>/s, 9,46 g/l Schwebstoff).

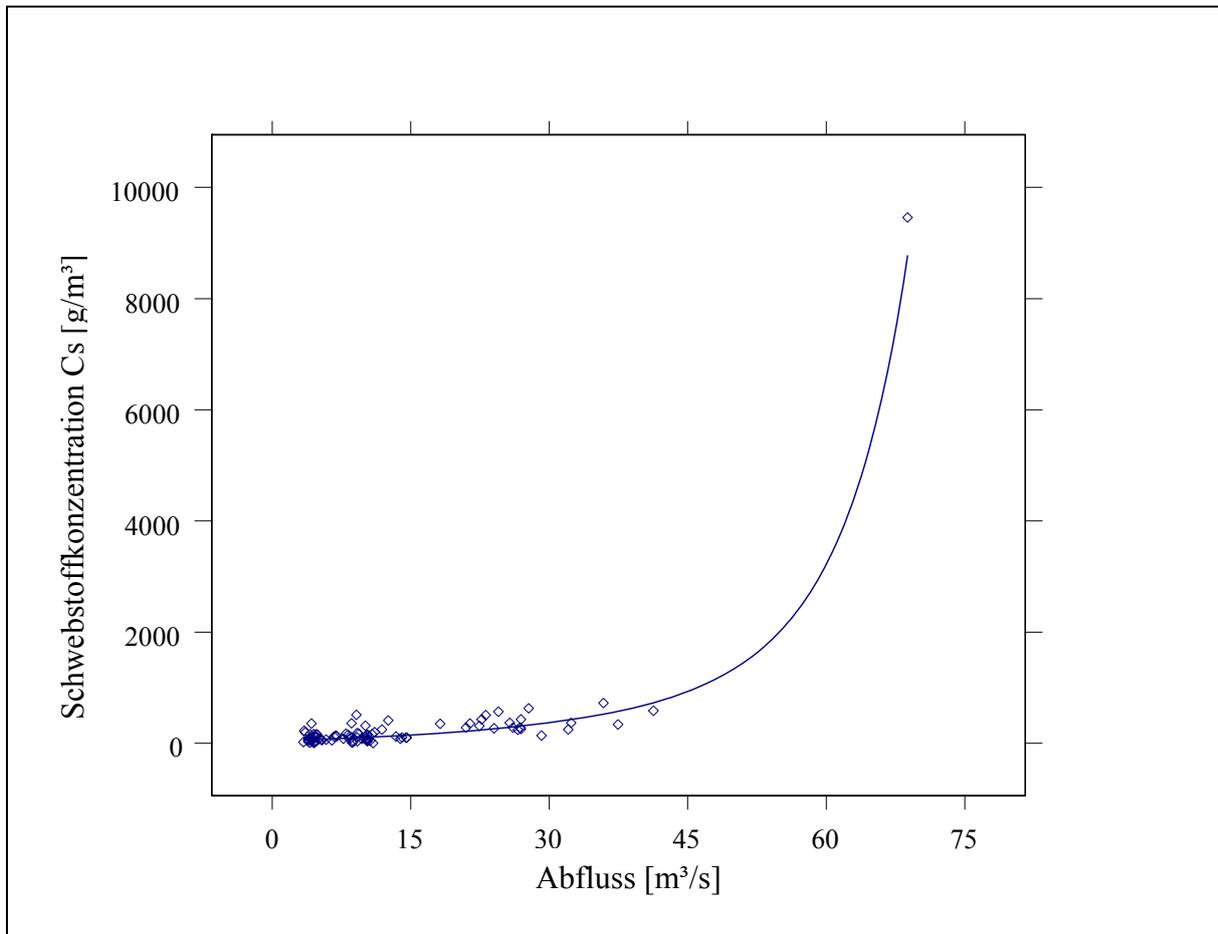


Abbildung 5.38  $Q - C_s$  Beziehung für den Sölbach

$$C_s = 42,48 * e^{(0.1002*Q - 0.001405*Q^2 + 1.562E-005*Q^3)} \quad R^2 = 0.9801 \quad (13)$$

Die hohe Korrelation ( $R^2 = 0.9801$ ) der Datenpunkte ergibt sich aus der Tatsache, dass zwischen  $Q = 43 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $Q = 68 \text{ m}^3/\text{s}$  keine Schwebstoffmessungen erfolgten.

Im Allgemeinen ist die Streuung der Schwebstoffkonzentrationen sehr hoch. Für einzelne Hochwässer ähnlicher Größe ergeben sich sehr unterschiedliche Frachten. Vergleichsweise wurden für die Abflussspitze beim Hochwasser am 6. Juni 2000 ein Schwebstofftransport von  $m_s = 6,1 \text{ kg/s}$  ( $Q_{max} = 20,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $C_{s,max} = 0,30 \text{ g/l}$ ) errechnet. Für das Hochwasser am 6. August 2000 ein Schwebstofftransport von  $m_s = 37,9 \text{ kg/s}$  ( $Q_{max} \sim 20 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $C_{s,max} = 1,89 \text{ g/l}$ ).

### Ereignis 1999

Am 22. Juli 1999 kam es im Einzugsgebiet des Sölkspeichers zu einem Hochwasserereignis mit ca. 10-jährlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit (vgl. Hydrografische Landesabteilung, 1975). Zu diesem Zeitpunkt war das Messnetz im Untersuchungsgebiet noch nicht vollständig eingerichtet, weshalb nur sehr begrenzt Daten verfügbar sind. Abbildung 5.40 zeigt den Verlauf der Abflussganglinie. Die Spitze wurde am Nachmittag mit  $Q = 96 \text{ m}^3/\text{s}$  erreicht.

Mit dem Bekanntsein der Abflussganglinie und den gemessenen Schwebstoffgehalt beim Ereignis ( $C_s = 9,48 \text{ g/l}$  bei  $Q = 68 \text{ m}^3/\text{s}$ ), kann durch Einbezug der Schwebstoffgleichung für den Pegel Ödwirt die Gesamtfracht des Ereignisses rückgerechnet werden. Die damalige errechnete Schwebstoffmenge ergab eine Gesamtfracht von  $55397 \text{ t}$  (WAKONIG, 2000). Bei Anwendung der Schwebstoffgleichung liegt der Wert mit  $49900 \text{ t}$  deutlich darunter (Abbildung 5.39).

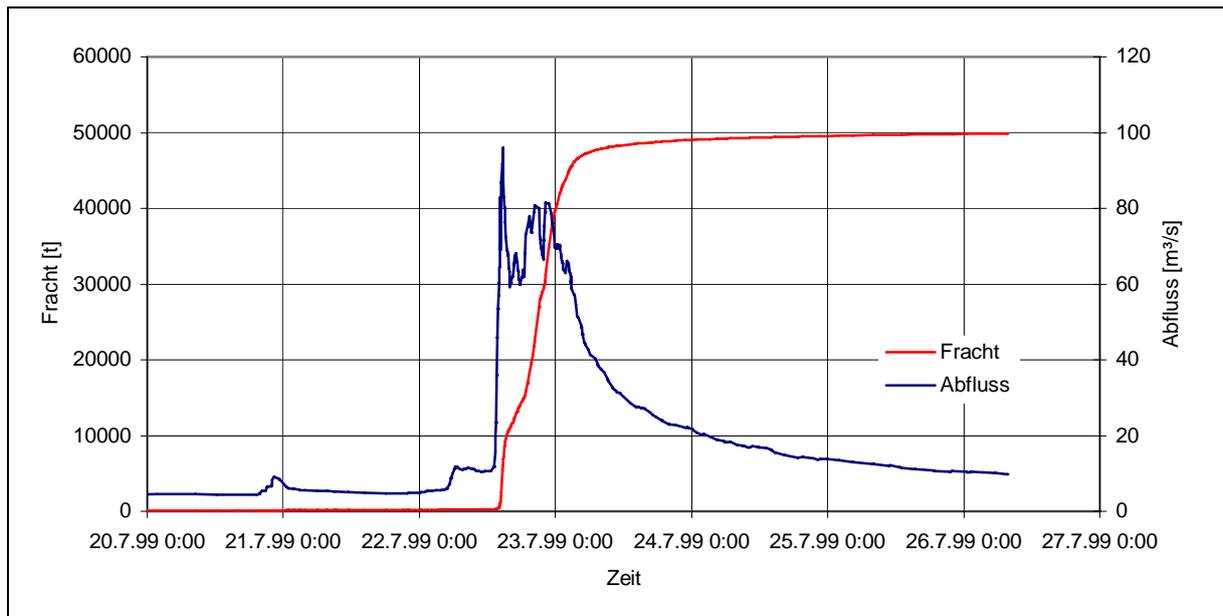


Abbildung 5.39 10-jährliches Ereignis vom 22.9.1999; Fracht – Summenlinie

Der Schwebstoffgehalt in den Beileitungen wird mit den Kalibrierungen der Trübungssonden berechnet. Die Sonde in der Beileitung Donnersbach ist vor dem Überlauf der ersten Entsanderkammer installiert. Die Vorteile dieses Standorts sind eine ruhige Strömung, kaum Turbulenzen, kein Fremdlichteinfluss und kaum Messfehler aufgrund von Störungen durch Schwimmstoffe (z.B. Äste).

In der Beileitung Kleinsölk wurde ebenfalls eine Sonde eingebaut. Durch hohe Fließgeschwindigkeit und große Wassertiefe im Hangkanal wurde die Sonde samt Halterung beschädigt und musste entfernt werden. Der Schwebstofftransport der Beileitung wird näherungsweise durch bestehende Messungen berechnet. Die Abbildung 5.40 zeigt einen Ausschnitt der Trübungsganglinie in der Beileitung Donnersbach.

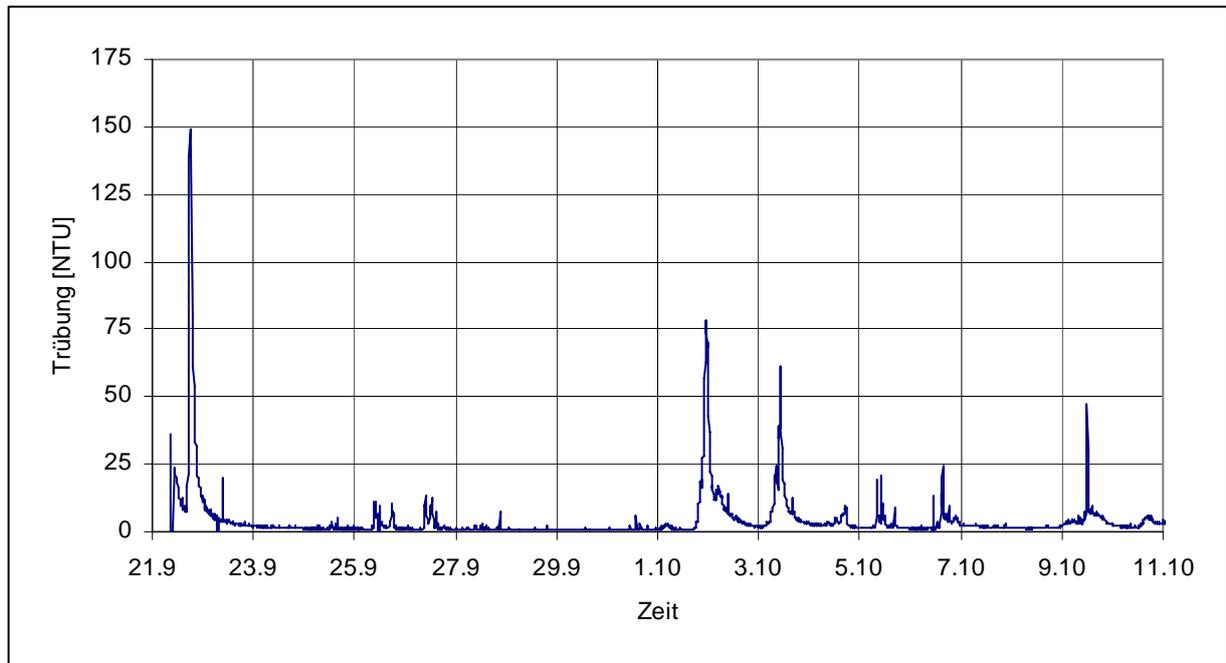


Abbildung 5.40 Trübungsganglinie Beileitung Donnersbach

Der Abfluss der Beileitung ist nach oben hin begrenzt ( $Q_{\max} = 8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und durch die Wehranlagen beeinflusst. Bei maximalem Abfluss können unterschiedlichste Trübungen bzw. Schwebstoffkonzentrationen auftreten, die Werte sind stets abhängig von den Abflussverhältnissen und dem Schwebstofftransport im Donnersbach.

Als Vergleich zur Trübung werden in Abbildung 5.41 die Abflussdaten vom Pegel Irdning (ca. 13 km flussab) herangezogen (HYDROGRAPHISCHER DIENST STEIERMARK). Die Ganglinien weisen eine ähnliche Charakteristik auf.

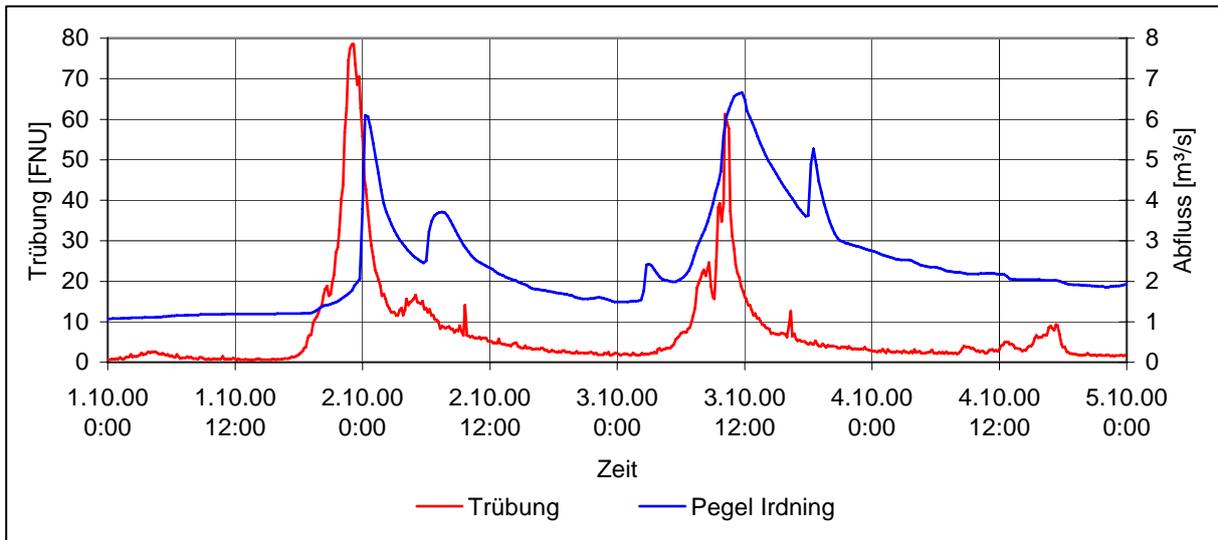


Abbildung 5.41 Trübungsganglinie der Beileitung im Vergleich zum Abfluss Donnersbach

**5.2.4.2 Grundablass**

Am 3.10.2000 wurde der Grundablass für eine Stunde geöffnet. Nach Angaben der STEWEAG bestand eine Gefahr, dass der Grundablass zur Gänze zusedimentiert. Der Durchfluss wurde mit ca.  $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$  angegeben, das entspricht einer Halböffnung des Grundablasses.

Eine Probe wurde am Sölkbach in Stein an der Enns entnommen, die Messstelle liegt ca. sieben Flusskilometer nördlich der Sperre. Es wurde eine mittlere Schwebstoffkonzentration von  $2,05 \text{ g/l}$  errechnet, damit beträgt die Gesamtfracht  $59 \text{ t}$ .

Aufgrund des großen Abstandes zwischen Messstelle und Sperre setzten sich möglicherweise Sedimente an der Fließstrecke ab. Der Messzeitpunkt lag am Ende der Freispülung, daher wird die Schwebstoffkonzentration der Probe unter dem gesamten mittleren Schwebstoffgehalt liegen (Tabelle 5.9).

Tabelle 5.9 Protokoll der Schwebstoffmessungen am Grundablass

SCHWEBSTOFFMESSUNG Grundablass								
3.10.00 20:00 - 21:00		Durchfluss ca. $8\text{m}^3/\text{s}$ (halb geöffnet) Nach Angaben der STEWEAG						
Messstelle: UW - Maschine								
Messzeitpunkt: 3.10.00 um 21:00								
Datum	Uhrzeit	Probennummer	Filternr.:	Entnahmemenge	Masse			Schwebstoffgehalt
					Filter	Filter + Schwebst.	Schwebstoff	
				[l]	[g]	[g]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]
3.10.2000	21:00	1	1	1.50	3.1	3.29	0.19	2.05
			2	1.50	3.1	5.75	2.65	
			3	1.50	3.1	3.38	0.28	
			4	1.50	3.1	4.08	0.98	
			5	1.50	3.1	4.62	1.52	
			6	1.00	3.1	14.92	11.82	
Gesamt:				8.50	SUMME:			17.44
<b>berechnete Fracht [t]:</b>								<b>59</b>

### 5.2.4.3 Triebwasser

Da Feinsedimente im Speicher Sölk zum Teil über den Triebwasserweg abgedriftet werden (tiefer Stau, Beileitungen aktiv, ÖWAW, 2000) ist es notwendig, den Triebwasserweg in die Sedimentbilanz einzubeziehen.

Die Schwebstoffmessungen wurden im Unterwasser der Kraftwerksanlage durchgeführt. Jeweils zwei 1,5 Liter Flaschen wurden pro Messung mit dem IWHW – Schwebstoffsammler abgefüllt und im Labor ausgewertet. Die Schwebstoffkonzentrationen schwanken zwischen 0,03 g/l und 0,14 g/l bei Durchflüssen zwischen  $Q = 15,80 \text{ m}^3/\text{s}$  bis  $Q = 31,10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 5.2.4.4 Schwebstoffmessungen in den Teileinzugsgebieten

Vier Einheimische betreuten die Schwebstoffmessstellen (Abbildung 5.42) im Sölktaal und sollten Einzelproben bei Hochwasser entnehmen. Das Erfassen von seltenen Ereignissen, die größtenteils bei Nacht auftraten, gestaltete sich schwierig. Pegelraten und Schwebstoffproben wurden vom Plöschmitzbach und Seifriedbach gesammelt.

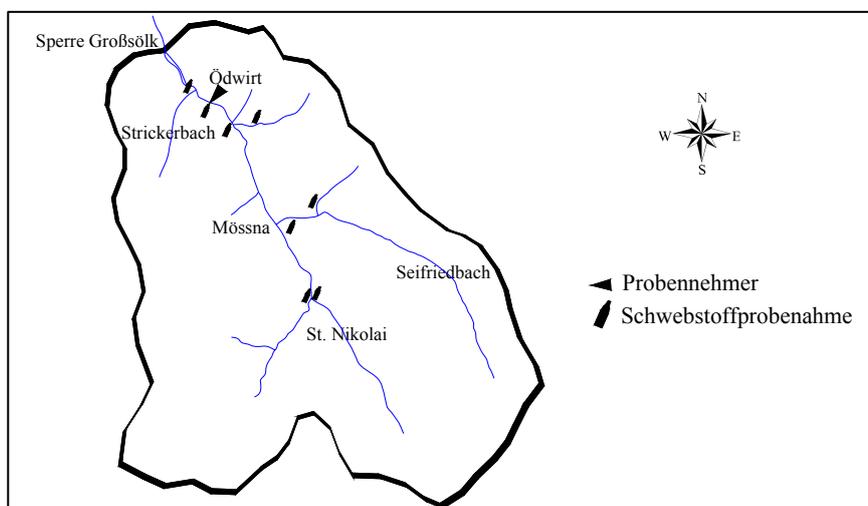


Abbildung 5.42 Schwebstoffmessungen im Einzugsgebiet

### Plöschmitzbach

Am Plöschmitzbach konnte am 6.6.2000 ein Hochwasser erfasst werden. Der maximale Pegelstand betrug 65 cm, die Schwebstoffkonzentrationen waren sehr hoch und erreichten ihre Spitze bei 8,09 g/l und 60 cm Wasserstand. Die Tabelle 5.10 dokumentiert die Messungen.

Tabelle 5.10 Schwebstoff Plöschnitzbach am 6.6.2000

Datum	Uhrzeit	Wasserstand [cm]	Schwebstoffgehalt [g/l]
6.6.2000	15:45	65	5,15
6.6.2000	16:15	60	8,09
6.6.2000	16:45	55	5,32
6.6.2000	17:15	50	6,49

### Seifriedbach

Am Seifriedbach konnten zwei Ereignisse mit Probenahmen erfasst werden. Am 6.6.00 vier, am 16.9.00 fünf Proben. Letzteres ist besonders in Bezug auf den Feststofftransport interessant (Tabelle 5.11).

Tabelle 5.11 Schwebstoff Seifriedbach am 6.6.2000 und 16.9.2000

Datum	Zeit	Pegelstand [cm]	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]	C <sub>s</sub> [g/l]
6.6.2000	16:00	50	2,1	0,27
6.6.2000	16:35	70	3,6	1,58
6.6.2000	17:15	70	3,6	0,63
6.6.2000	18:00	50	2,1	0,25
16.9.2000	17:30	20	0,7	2,87
16.9.2000	18:15	50	2,1	1,73
16.9.2000	19:00	80	4,2	1,21
16.9.2000	19:45	60	2,7	0,43
16.9.2000	20:30	50	2,1	0,34

Während einer Hochwasserwelle weist der Hochwasseranstieg größere Schwebstoffgehalte auf als der Hochwasserabfall. Da dem gleichen Durchfluss  $Q$  im Anstieg ein höheres  $C_s$  zugeordnet ist als im Abfall, entstehen Feststoffschleifen (DYCK und PESCHKE, 1995). Dieser Effekt (Hysteresiseffekt) ist aus den Abflussschleifen bekannt. Die Form der Feststoffschleifen hängt einerseits vom Einzugsgebiet ab (Fließ- und Feststofftransportzeiten), andererseits wird der Feststofftransport am Wellenanstieg durch das höhere Energieniveau und damit eine höhere Schleppkraft  $\tau$  begünstigt.

In Abbildung 5.43 fällt das Maximum von  $m_s(t)$  am 16.9.00 mit dem Durchflussscheitel zusammen. Deutlich erkennbar ist der schnelle Abfall der Transportrate nach dem Abflussscheitel.

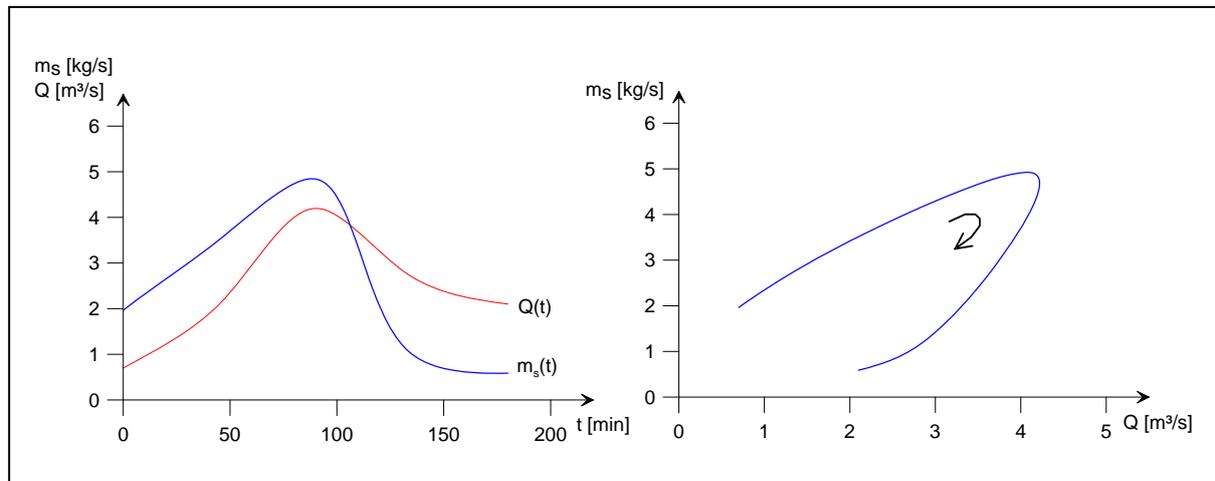


Abbildung 5.43 Schwebstofftransport und Abfluss, Feststoffschleife - Hysterisis

Der Stoffeintrag erfolgt nicht nur durch die Starkregeneration, sondern auch durch Aufnahme und Remobilisierung von Sediment aus Stauhaltungen und aus dem Bachbett durch erhöhte Schleppspannungen.

Die Geschwindigkeiten und Schleppspannungen in Tabelle 5.12 gelten für stationäre Abflussverhältnisse am Seifriedbach und wurden mit dem Wasserspiegellagenprogramm HEC - RAS ermittelt.

Tabelle 5.12 Abfluss, Geschwindigkeit und Schleppspannung am Seifriedbach

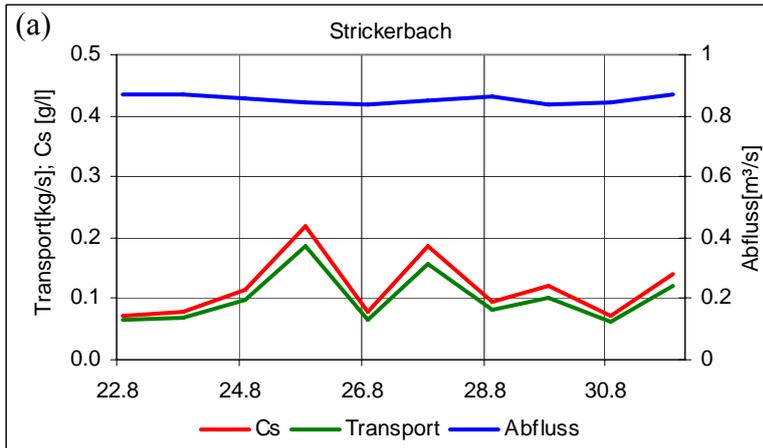
Abfluss [m³/s]	Geschwindigkeit [m/s]	Schleppspannung [N/m²]
0.8	0.44	1.86
1.5	0.63	3.45
2.0	0.73	4.5
2.7	0.85	5.87
3.5	0.96	7.25
5.0	1.13	9.56
7.0	1.31	12.21
9.0	1.45	14.51
13.0	1.68	18.39

### Vergleich der Schwebstoffmessungen an den Bächen

Durch zeitliche Absprache unter den Betreuern wurde es möglich, elf Tage hintereinander zur selben Uhrzeit Schwebstoffproben an den Hauptzubringern des Sölkbaches zu entnehmen. Die Proben wurden zwischen 22. August bis einschließlich 1. September entnommen. Damit können die Ergebnisse der Auswertungen untereinander verglichen und analysiert werden.

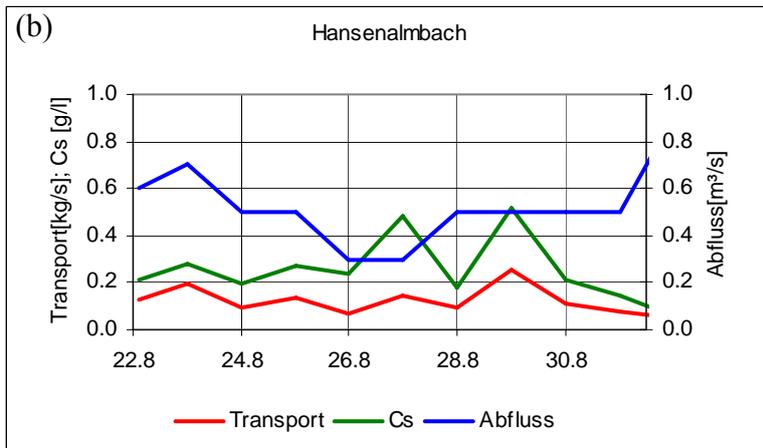
In der folgenden Abbildung 5.44 sind die Schwebstoffkonzentrationen  $C_s$ , Abfluss  $Q$  und Transport  $m_s$  der wichtigsten Zubringer getrennt dargestellt. Am Seifriedbach, Strickerbach und Hansenalmbach sind die Abflüsse annähernd konstant. Einer Zunahme der Abflüsse am 30. August folgt ein Anstieg der Schwebstoffkonzentration und somit des Transports.

Eine Ausnahme bildet der Hansenalmbach. Trotz der Tage ohne Niederschlag schwanken Abfluss und Schwebstoffkonzentration über den gesamten Zeitraum stark, es ist keine eindeutige Beziehung feststellbar.

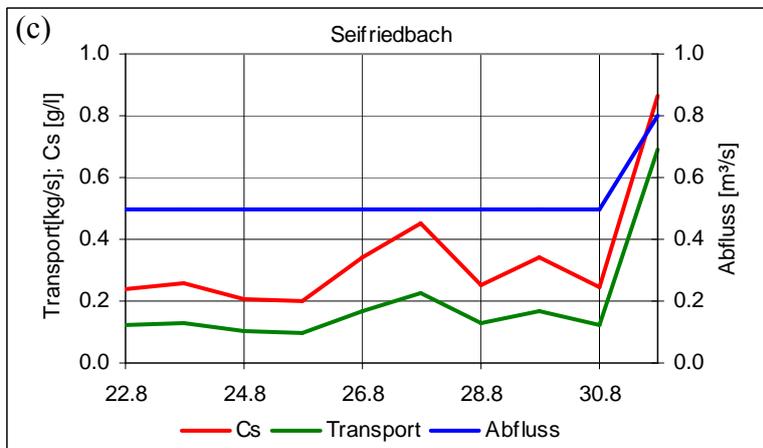


Abbildungen 5.44 Abfluss, Schwebstoffgehalt und Transportraten an den wichtigsten Zubringern zur Sölk.

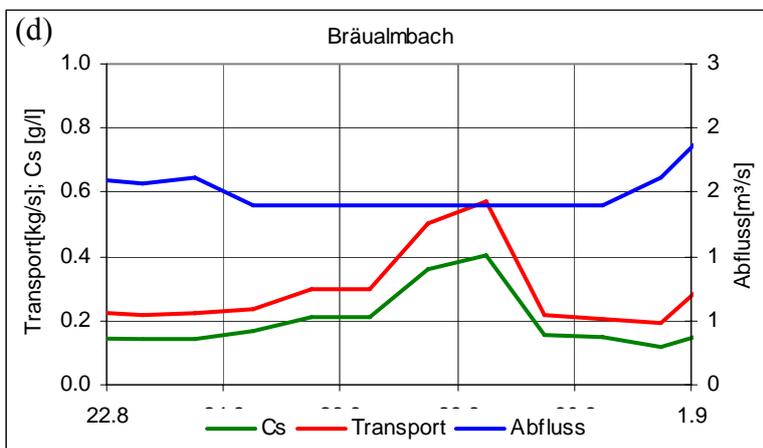
(a) Strickerbach:  
22.8.2000 – 31.8.2000, 19:00



(b) Hansenalmbach:  
22.8.2000–1.9.2000, 12:00



(c) Seifriedbach:  
22.8.2000 – 31.8.2000, 12:00



(d) Bräualmbach:  
22.8.2000 – 1.9.2000; 12:00

### Vergleichsmessung Sölkbach

Am Sölkbach wurden zur selben Zeit Messungen durchgeführt. Die Messstelle liegt 200 Meter vor der Mündung des Zubringers Plöschnitzbach und bietet einen Vergleich zu den Transportraten der Zubringer. In der Abbildung 5.45 ist die Lage der Messstelle im EG eingezeichnet.

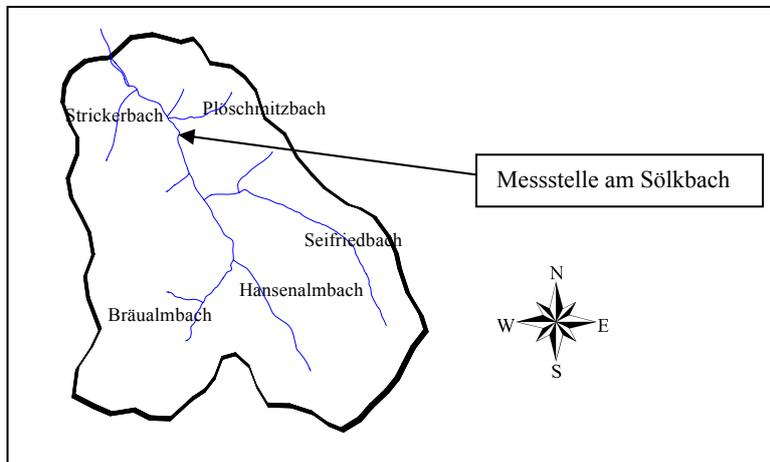


Abbildung 5.45 Lage der Vergleichsmessung am Sölkbach

Verglichen mit dem Sölkbach (Probenahme vor der Mündung Plöschnitzbach) ist der Schwebstoffgehalt der Bäche teilweise höher. Der Schwebstoffgehalt variiert über die Tage bei nahezu gleichbleibendem Abfluss (Abbildung 5.46).

Nach pers. Mitteilung der Messstellenbetreuerin Lotte Pilz hatte in diesen Tagen das Wasser eine auffallend hohe Trübung. Teilweise dürfte der schwankende Schwebstoffgehalt auf Kanalbauarbeiten am Ufer der Sölk zurückzuführen sein, im Seifriedtal wurden zu dieser Zeit Forstwege gebaut und instandgesetzt.

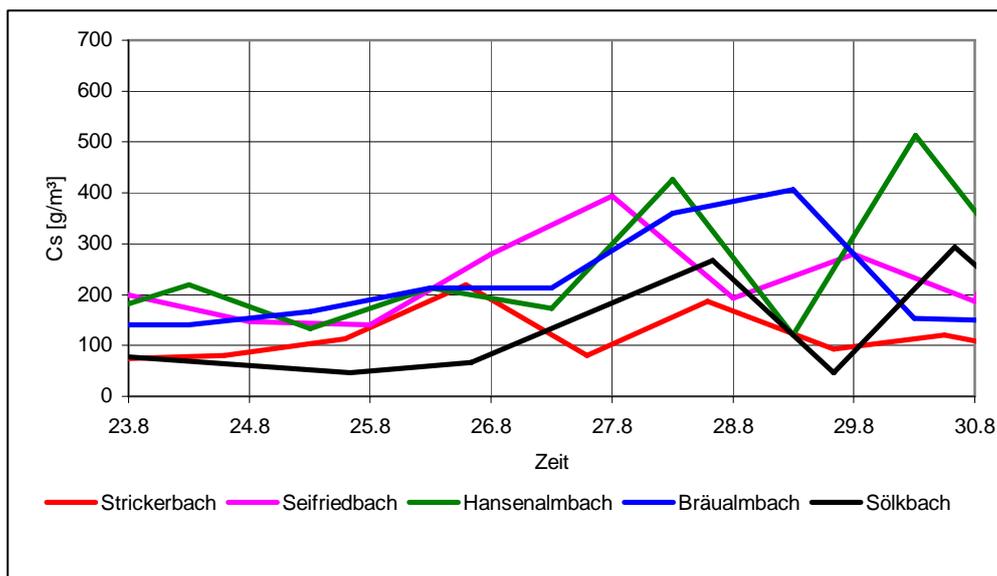


Abbildung 5.46 Schwebstoffgehalt der Zubringer und am Sölkbach im Vergleich

#### **5.2.4.5 Schwebstoff – Längenschnitt Mößnakarbach**

Als Schwebstoff - Längenschnitt wird die Darstellung von Einzelprobennahmen im Längenschnitt eines Bach- oder Flusslaufes genannt. Das Ziel ist, Sedimentquellen zu lokalisieren, einzugrenzen und zu dokumentieren. Solche Sedimentquellen können sein: Baustellen, Forstwegebau, vermehrter Schwebstoffeintrag durch Zubringer oder Abschmelzvorgang von Lawinen.

#### **Voraussetzungen**

Voraussetzung für solche Messungen sind stationäre Abflussbedingungen am Fließgewässer. Ändert sich der Wasserstand innerhalb des Messzeitraums, sind die Messungen nicht vergleichbar.

Die Änderung des Abflusses mit einem Zubringer und damit die Veränderung der Schwebstoffkonzentration nach der Mischungsstrecke muss berücksichtigt werden. Da speziell an Gebirgsbächen nur maximal ein Pegel besteht, können nur Schwebstoffmessungen an Fließstrecken ohne Änderung der Schwebstoffkonzentration durch Einmündungen von Bächen verglichen werden.

#### **Vorgehensweise**

Das Gewässer wird in Abschnitte eingeteilt (Kartierung). Als erste Orientierungshilfen und Hilfsmittel dienen Kartenwerke. An Gebirgsbächen werden geomorphologische Aspekte miteinbezogen, damit können sedimentlimitierte Gerinneabschnitte wie z.B. Felsabstürze, ausgeschlossen werden.

Vor und nach Einmündungen von großen Zubringern werden Schwebstoffmessungen durchgeführt. Kleine Zubringer, anthropogene und natürliche Schwebstoffquellen werden nach Trübung des Wassers beurteilt, ob sie in die Messungen miteinbezogen werden.

#### **Mößnakarbach**

Der Schwebstoffsammler des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau wurde als Messgerät eingesetzt. Der Längsschnitt am Mößnakarbach am 6.9.2000 dient der Dokumentation des Sedimentbeitrags der Grundlawinen durch Schneeschmelze. Die Abschmelzvorgänge der Lawinen im Mößnakar dauerten den gesamten Sommer über an (Abbildung 5.47, Abbildung 5.48). Ausführlich beschäftigt sich SANTNER (in print) mit Lawinen im Sölkeinzugsgebiet.



Abbildung 5.47 Wassertrübung durch Abschmelzvorgänge im Mößnakar

Abbildung 5.48 Gegenhangfoto einer Lawine im Mößnakar

Die folgende Abbildung wurde in einem GIS erstellt. Der Lawinenkegel (gelb) hat eine Gesamtlänge von 530 m, größte Breite ca. 100 m, die größte Mächtigkeit liegt zwischen 15 m und 20 m. Die folgende Übersichtskarte in Abbildung 5.49 soll die Lage der Lawine verdeutlichen.

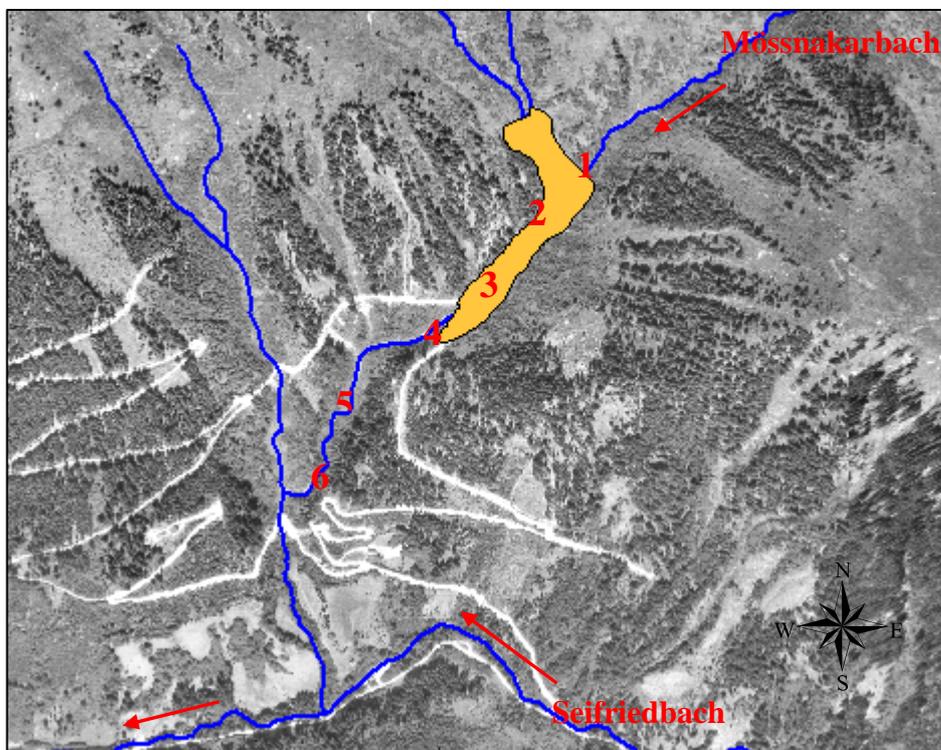


Abbildung 5.49 Darstellung des beprobten Lawinenkegels im Mößnakar (Hintergrund: Orthofoto)

Die Stellen der Probenahme sind so ausgewählt, dass eine Schwebstoffprobe vor dem Lawinenkegel gezogen wurde (1), zwei weitere Proben im bereits freigelegten Bachbett (2, 3). Nummer 2 liegt zwischen zwei Zubringern vom Nordwesten, die weiteren drei Proben nach der Lawine (4, 5, 6).

In der Abbildung 5.50 sind die Messstellen im Höhenlängsschnitt sowie die Schwebstoffkonzentrationen dargestellt. Es kann durch die Auswertung der ersten Probe festgestellt werden, dass keine messbare Konzentration im Gebirgsbach vorliegt. Ein schneller Anstieg der Konzentrationen ist bereits bei der zweiten Probe festzustellen. Bei Nummer 4 erreicht die Konzentration ihren Scheitelpunkt (0,29 g/l). Nach der Lawine nimmt der Schwebstoffgehalt durch einfließende kleinere Zubringer stetig ab. Die letzte gemessene Konzentration der Probe 6 liegt bei 0,05 g/l.

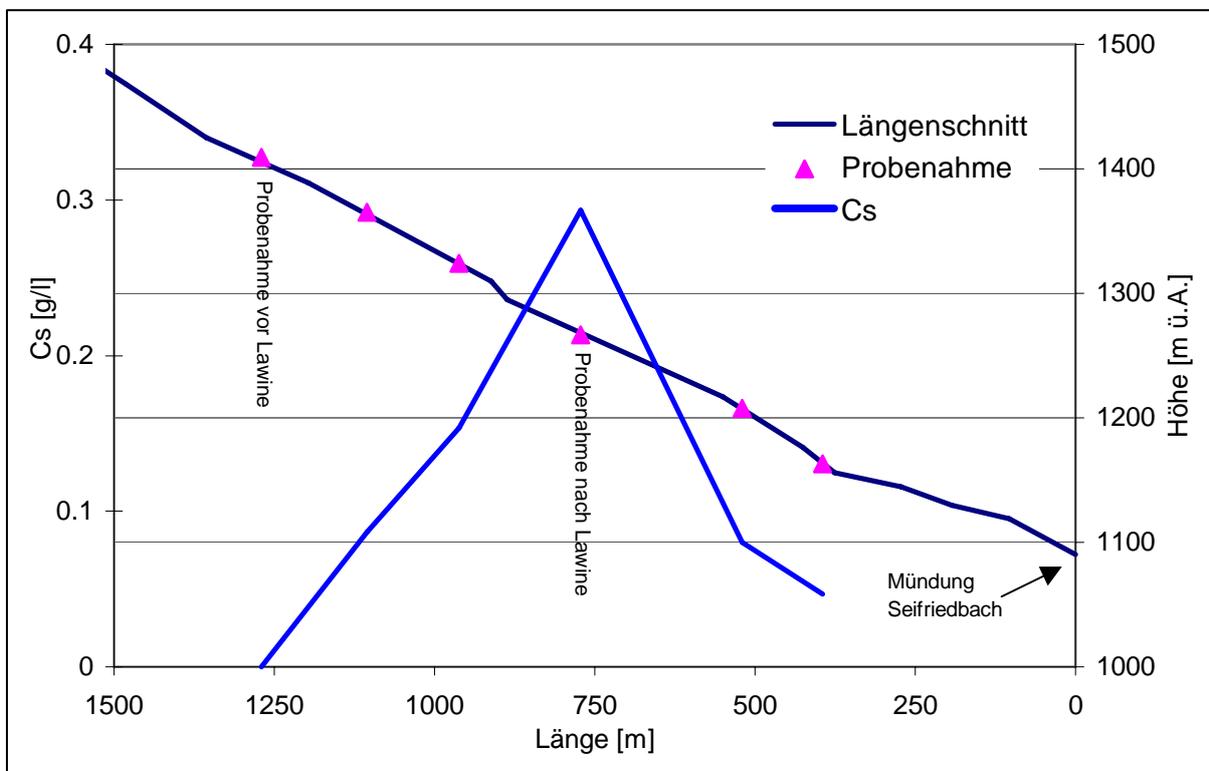


Abbildung 5.50 Längenschnitt und Schwebstoffkonzentration im Mößnakarbach

### 5.3 Deposition / Remobilisation

Die Schwebstoffe aus dem Einzugsgebiet werden zum Teil im Speicher Sölk sedimentiert. Herabgesetzte Fließgeschwindigkeiten im Stausee und tägliche Stauspiegelschwankungen sind die Hauptursachen für Verlandungserscheinungen.

Mit einem in Abschnitt 4.6 beschriebenen Messsystem wurde der Stausee mehrmals vermessen. Im folgenden Kapitel werden für den Untersuchungszeitraum relevante Messungen beschrieben und die Ergebnisse dargestellt sowie verglichen.

Zusätzlich wurden Sedimentanalysen durchgeführt. Kornverteilungen der Sedimente im Speicher geben Aufschluss über Strömungsverhältnisse und belegen den Einfluss der Beileitungen auf das Absatzvermögen der Schwebstoffe im nördlichen Teil des Stausees.

#### 5.3.1 Korngrößenanalyse

Im Jahr 1999 wurden Kornverteilungen aus Stichproben ermittelt. Die Untersuchungen wurden vom Institut für Geo- und Bioanalytik in Mitterberghütten (TAUTERMANN, 1999) durchgeführt.

Die Proben wurden im vorderen und mittleren Teil der Sperre mittels Bodengreifer entnommen. Es wurden Kies- und Sandanteile analysiert. Ergänzend wurde vom IWHW eine weitere Probe im hinteren Teil der Sperre gezogen und im Labor auf Sandanteil und die Schlufffraktion untersucht (Abbildungen 5.51, 5.52).

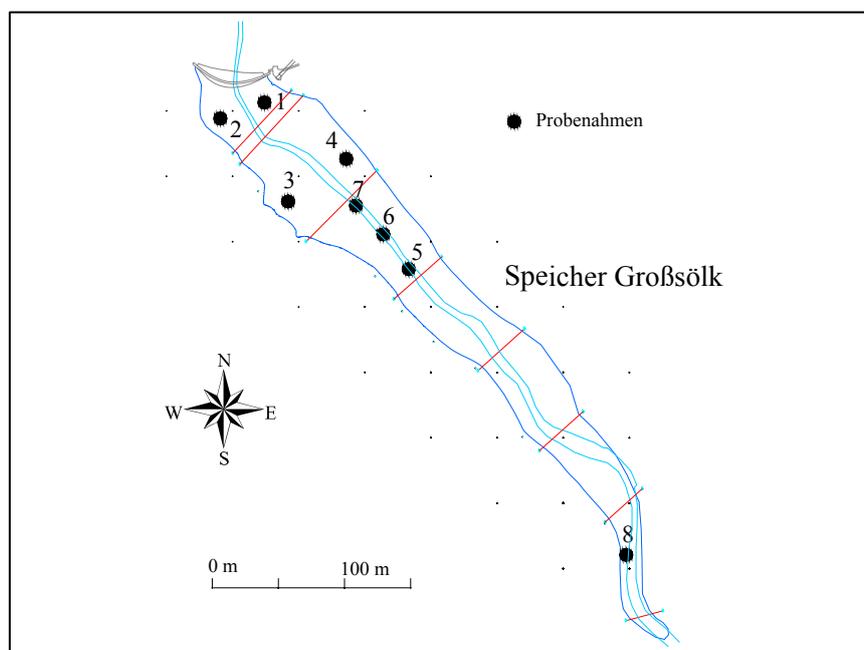


Abbildung 5.51 Probenahmestellen im Speicher: 1 – 7: Institut für Bioanalytik; 8: IWHW

Die Kornverteilungen der Proben 1 und 2 heben sich deutlich von den anderen ab. Der Sandanteil liegt höher als bei den übrigen Probestellen. Der Schluffanteil ist vergleichsweise gering und liegt unter 10%. Die in der ÖWAV (2000) beschriebene Aktivität der Beileitungen wird durch diese Resultate bestätigt. Feines Sediment wird durch Turbulenzen in Sperrennähe in Schwebelage gehalten und zum Teil über den Triebwasserweg abgedriftet.

Im Bereich Grobsand ähneln sich die Kornverteilungen. Kies kommt im Stausee in verschwindenden Anteilen vor. Das ist auf die Vorsperre zurückzuführen. Die durchschnittliche Korngrößenzusammensetzung im Speicher liegt bei 84 % Sand bzw. 15 % Schluff- und 1% Tonfraktion. Die Kornverteilung der Probe 8 besitzt ähnliche Sandanteile wie die Proben 3 bis 7. Die Kornverteilungen bleiben im hinteren und vorderen Teil des Speichers etwa gleich.

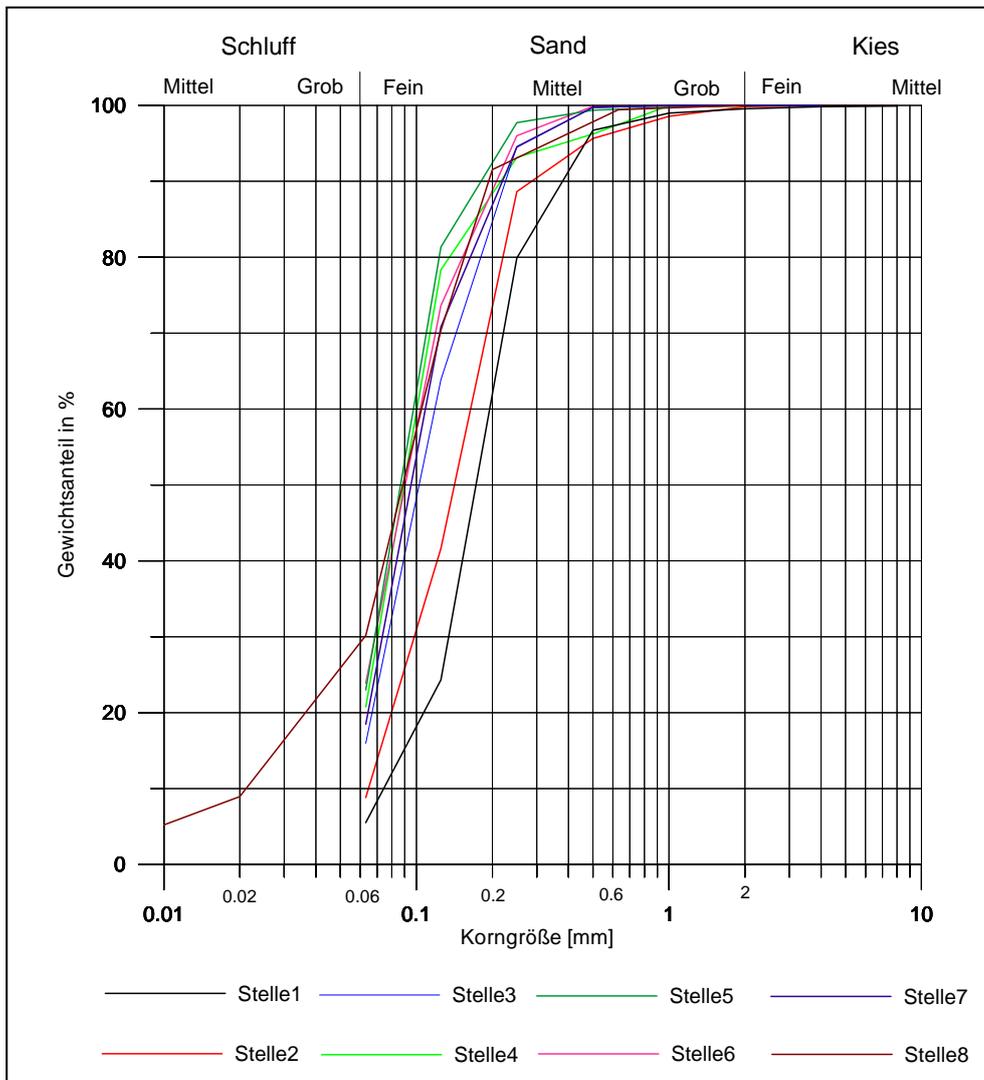


Abbildung 5.52 Kornverteilungen im Speicher

### Für den Schwebstoff relevante Korngrößen im Geschiebeauffangraum (Geschiebesperre)

Bei der Korngrößenanalyse wurden die für den Schwebstoff relevanten Korngrößen<sup>1</sup> unter 2 mm analysiert. Durch die Sedimentanalysen wurde als untere Korngrößengrenze der Mittelschluffbereich bei 0,0063 mm festgestellt. Der Sandanteil ist mit 92,5% zu beziffern, der Schluffanteil liegt bei 7,5 %.

Im Vergleich zum gesamt abgelagerten Sediment kommen Korngrößen unter 2 mm in verschwindenden Anteilen vor. Damit ist das gute Funktionieren der Vorsperre bestätigt, das Grobmaterial bleibt in der Vorsperre liegen, hauptsächlich Schluff- und Tonfraktionen gelangen in den Stausee (Abbildung 5.53).

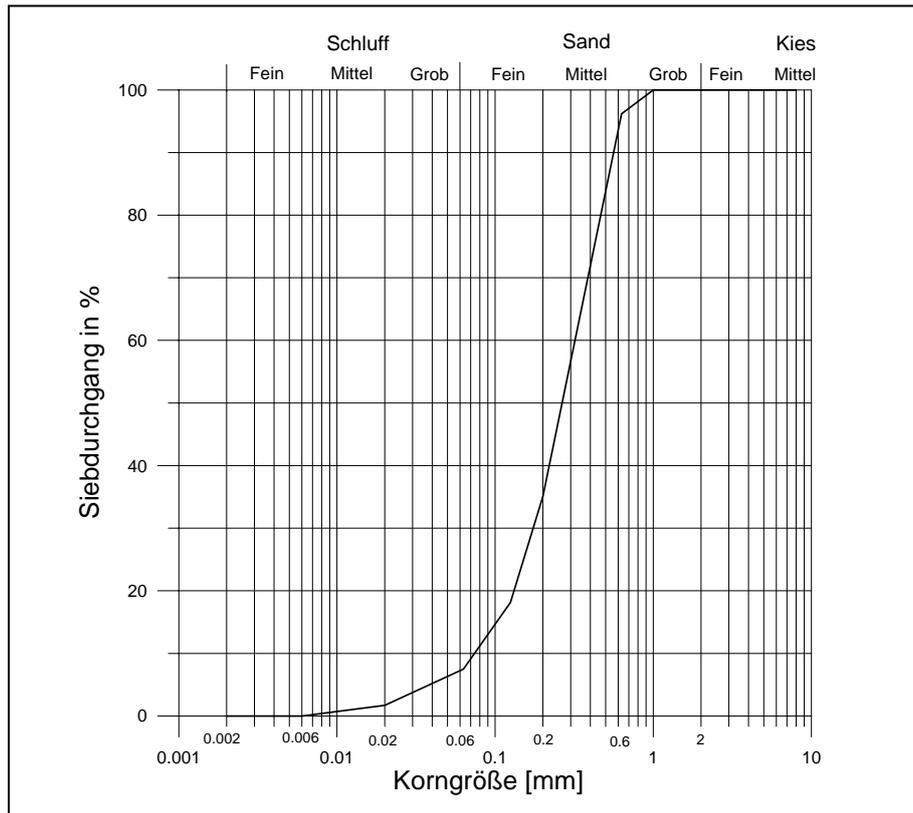


Abbildung 5.53 Korngrößenverteilung der Vorsperre im Schluff- und Sandbereich

### Lagerungsdichte der Sedimente

Zur Abschätzung des Stauraumverlustes müssen die Stauraumzonen und die Veränderung des Raumgewichts des abgelagerten Sediments ermittelt werden. Die Dichte der Ablagerungen hängt von der Gesteinszusammensetzung (Ursprungsgestein), der Ablagerungszone und von dem Alter der Ablagerungen ab (siehe ÖWW, 1989). Für den sich über Jahre erstreckenden Konsolidierungsvorgang ist auch maßgebend, ob die abgelagerten Feststoffe ständig unter Wasser liegen oder während der Absenkphase des Speichers einer längeren jährlichen Austrocknungsphase unterliegen. Die Konsolidierungsvorgänge dauern umso

<sup>1</sup> Geschiebekorngrößenanalysen finden sich in GAMERITH (in print)

länger, je feinkörniger das Sediment ist. Die Zunahme der Dichte mit der Zeit  $T$  kann abgeschätzt werden (MANIAK, 1997), wobei  $\rho_T$  als das Raumgewicht nach  $T$  Jahren und  $\rho_1$  als das Raumgewicht der Ablagerungen nach einem Jahr bezeichnet wird.  $K_S$  ist der Setzungsfaktor ( $K_S = 236,25$  für den Speicher Sölk).

$$\rho_T = \rho_1 + K_S \cdot \log T \tag{14}$$

Als mittlere Dichte gilt annähernd:

$$\bar{\rho}_T = \rho_1 + 0,4343 \cdot K_S \cdot [(T / T - 1) \cdot (\ln T) - 1] \tag{15}$$

Im Falle des Speichers Großsölk sind die Sedimente ständig unter Wasser. Es ergeben sich verschiedene Lagerungsdichten für die Korngrößenklassen (Tabelle 5.13)

Tabelle 5.13 Lagerungsdichten der Korngrößenklassen nach einem Jahr (Sediment ständig unter Wasser, WMO, 1989)

<b>Sand</b> 0,062 < d < 2,0		<b>Schluff</b> 0,004 < d < 0,062		<b>Ton</b> d < 0,004	
$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$K_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$K_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_1$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$K_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1550	0	1120	91	416	265

Aus den Ergebnissen der Korngrößenanalysen setzt sich im Mittel das Sediment im Speicher zu 84 % Sand, 15% Schluff und 1 % Ton zusammen. Jede Kornfraktion wird für sich berechnet. Es ergibt sich 1472 kg/m<sup>3</sup> als durchschnittliche Lagerungsdichte nach einem Jahr.

Mit der Gleichung 14 ist es möglich, die Zunahme der Lagerungsdichten mit den Betriebsjahren darzustellen (Abbildung 5.54). Die mittlere Lagerungsdichte wird aus Gleichung 15 ermittelt und beträgt 1700 kg/m<sup>3</sup>.

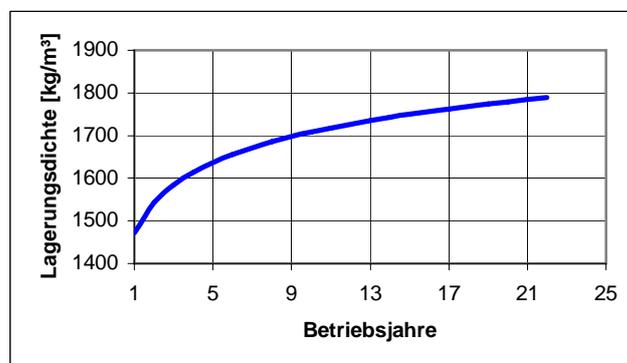


Abbildung 5.54 Zunahme der Lagerungsdichte mit den Betriebsjahren

## 5.3.2 Sohlgrundaufnahme des Speichers

### 5.3.2.1 Grundlegendes zur Speichervermessung

Im Zuge des Projekts WARMICE wird die Sedimentation im Speicher und der Einfluss der Sedimente auf den Speicherinhalt untersucht. Der Speicher wurde 1999 durch ein Ingenieurbüro mithilfe von Senklot und terrestrischer Aufnahme vermessen. Dabei wurden acht Querprofile (siehe Abbildung 5.55) festgelegt, die unverändert übernommen wurden. Der Beibehalt der Profile bietet Vergleichsmöglichkeiten zwischen den Messungen.

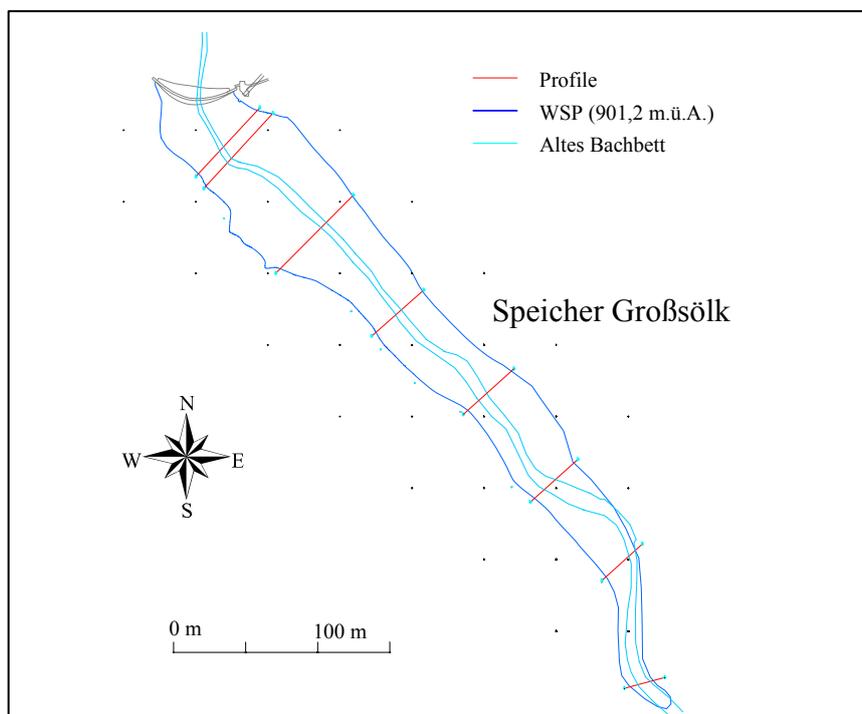


Abbildung 5.55 Profile und ursprüngliches Bachbett

Der Stausee wird nach Süden durch die Rampe zur Geschiebesperre (Vorsperre), nach Norden durch das Sperrbauwerk begrenzt. Die acht Profile werden durch Zwischenprofile verdichtet und linear interpoliert, wobei die Wasserspiegellinie bei 901,20 m. ü. A die Richtung der Interpolation vorgibt. Mit dem Ergebnis der Interpolation wird ein digitales Geländemodell (TIN, engl.: Triangulated Irrregular Network) erstellt.

Die Lagekoordinaten im WGS 84 (GPS) werden bereits während der Messung in das Gauss –Krüger – Koordinatensystem (österreichisches Landeskoordinatensystem) transformiert. Die Genauigkeiten in der Lage liegen im Dezimeterbereich. Die vermessenen Profile werden nachbearbeitet und für die Interpolation vorbereitet. Das Programm HydroPro<sup>®</sup> (Trimble) bietet die geeignete Software, sodass im Postprocessing Veränderungen im Stauspiegel mit Hilfe von Stauspiegeldaten berücksichtigt werden können. Weiters werden die Profile kontrolliert, methodisch bedingte Ausreißer in den Messungen werden eliminiert (siehe Abbildung 5.56).

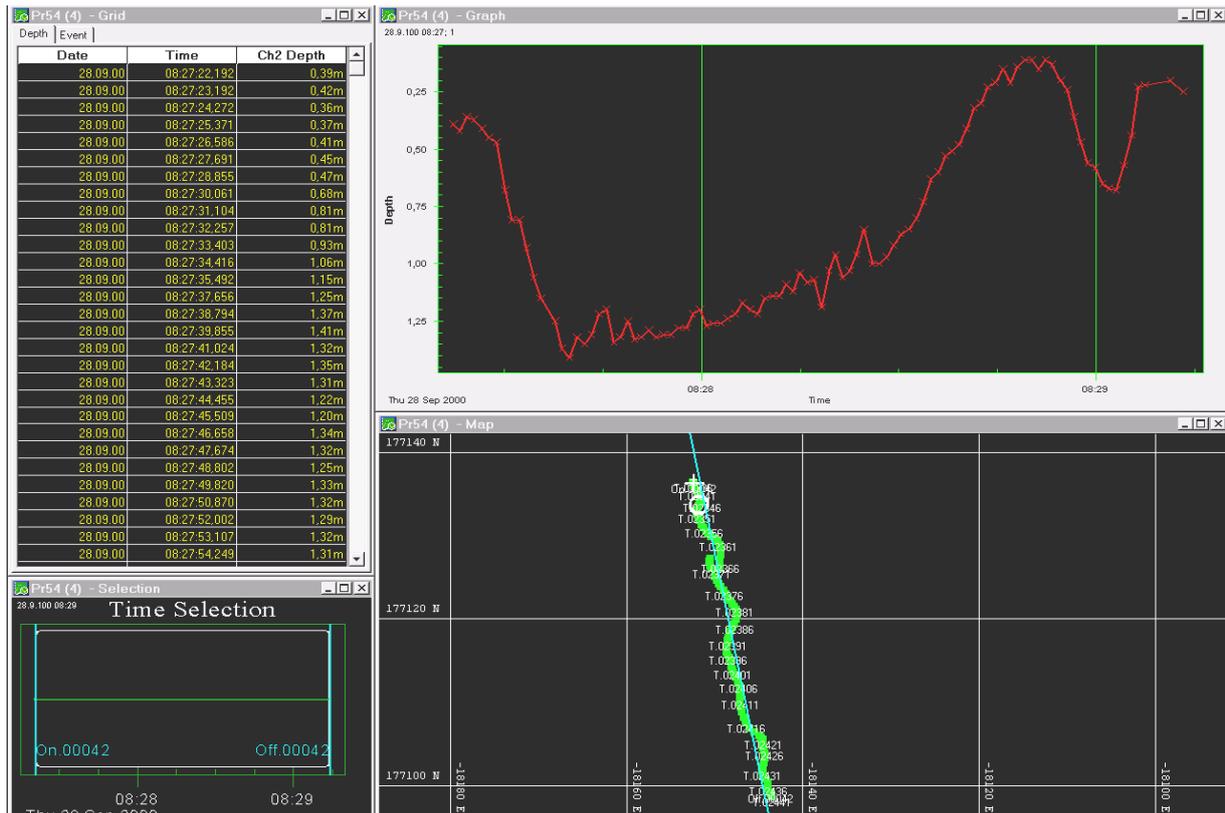


Abbildung 5.56 Beispiel für das Postprocessing in Hydropro<sup>®</sup> (Trimble)

### 5.3.3 Ergebnis der Speichervermessungen

Verglichen werden die Speichervermessungen vom 4.11.2000 und vom 11.4.2001. Für die Zeitspanne zwischen den Vermessungen sind keine Schwebstoffdaten aus den Einzugsgebieten vorhanden. Da die Abflüsse der Wintermonate Dezember, Jänner, Februar und März im Allgemeinen gering sind (nivo – pluviales Abflussregime), sind keine großen Unterschiede der Speichervolumina zu erwarten.

Als Berechnungsgrenzen für den jeweiligen Speicherinhalt dienen die Sohlgrundaufnahme und das Stauziel bei 901,20 m ü.A.

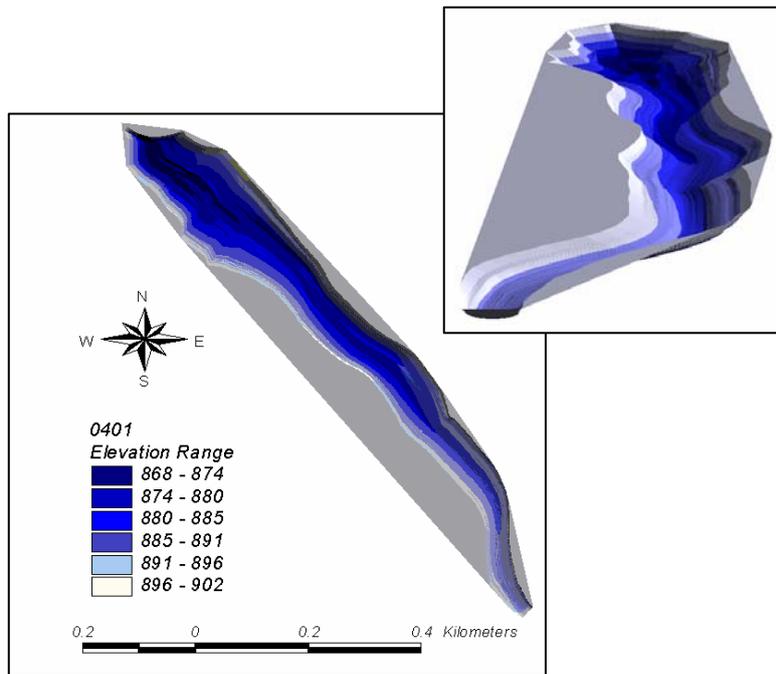


Abbildung 5.57 2D/3D Darstellungen der Speichervermessung im April 2001

Die Abbildung 5.57 zeigt ein Beispiel für die grafische Darstellung der Ergebnisse. Höhenschichtenlinien im 6 Meter Intervall lassen den deutlich Anstieg der Flanken und den Verlauf des ursprünglichen Bachbettes erkennen. Die maximale Wassertiefe liegt bei 34,2 m an der Sperre und bleibt für beide Vermessungen konstant.

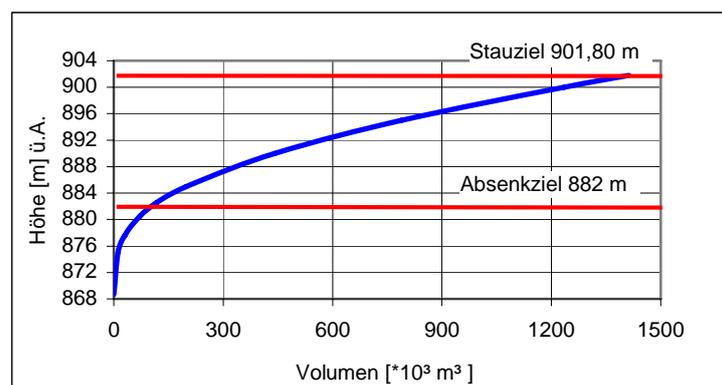
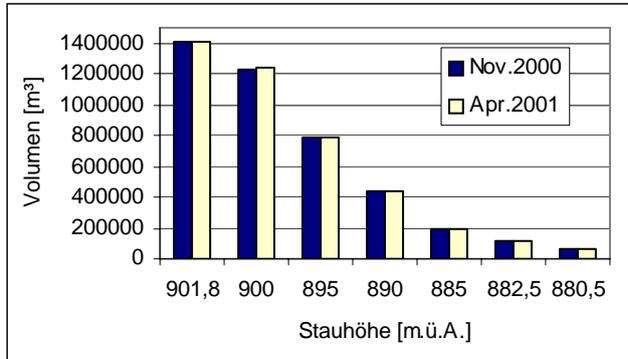


Abbildung 5.58 Speicherinhaltslinie, Absenk- und Stauziel

In Abbildung 5.58 ist die Speicherinhaltslinie eingezeichnet. Das Absenkziel liegt bei 882 m ü.A., das Stauziel bei 901,80 m ü.A.. Der Speicherinhalt beträgt 1,41 Mio.  $m^3$ , der Nutzinhalt 1,31 Mio.  $m^3$ . Wird mit einer mittleren Jahreswasserfracht von 451,9 Mio.  $m^3$  gerechnet (STEWEG), beträgt die mittlere Aufenthaltsdauer 1,14 Tage.

Im Vergleich zur Länge des Speichers ist der Abstand zwischen den Profilen verhältnismäßig groß. Daraus ergeben sich Ungenauigkeiten aus der Interpolation. Die Speichervolumina werden daher auf  $1000\text{ m}^3$  gerundet.

a)



b)

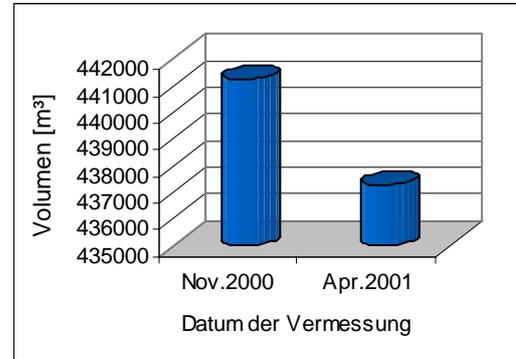


Abbildung 5.59a Vergleich der Speichervolumina

Abbildung 5.59b Vergleich der Speichervolumina bei Stauhöhe 890 m ü. A.

Das Speichervolumen der zweiten Sohlgrundaufnahme nimmt von  $1,413\text{ Mio. m}^3$  um  $2600\text{ m}^3$  ab (Abbildungen 5.59a und 5.59b). Wird diese Kubatur auf die Sohlgrundfläche umgelegt (Sohlgrundfläche aus der Interpolation:  $A = 0,179\text{ km}^2$ ), ergibt das eine mittlere Anlandungshöhe von  $1,45\text{ cm}$ .

Mit einer Lagerungsdichte von  $1,47\text{ t/m}^3$  ergibt das rund  $3800\text{ t}$ , die sich im Speicher abgelagert haben.

## 6 Bilanz

### 6.1 Grundlegendes

Die Schwebstoffbilanz verdeutlicht die Vorgänge der Erosion, des Transfers und der Deposition und fasst diese in Zahlen. Sie bietet eine quantitative Übersicht über Schwebstoffherkünfte im Einzugsgebiet, die Remobilisierung durch Entlandungsmaßnahmen im Speicher sowie den Abtransport von Sedimenten über den Triebwasserweg. Die Differenz der Bilanzkomponenten ergibt die Ablagerungsrate im Speicher.

Die Ergebnisse in Kapitel 5 dienen als Grundlage der Schwebstoffbilanz für den Speicher Großsölk. Es stehen für den Zeitraum von 1. April 2000 bis 31. Dezember 2000 Abfluss- und Schwebstoffmessdaten zur Verfügung, die in die Bilanz einbezogen werden. Die Grundüberlegung zu einer Schwebstoffbilanz für den Speicher zeigt das folgende Schema der Abbildung 6.1.

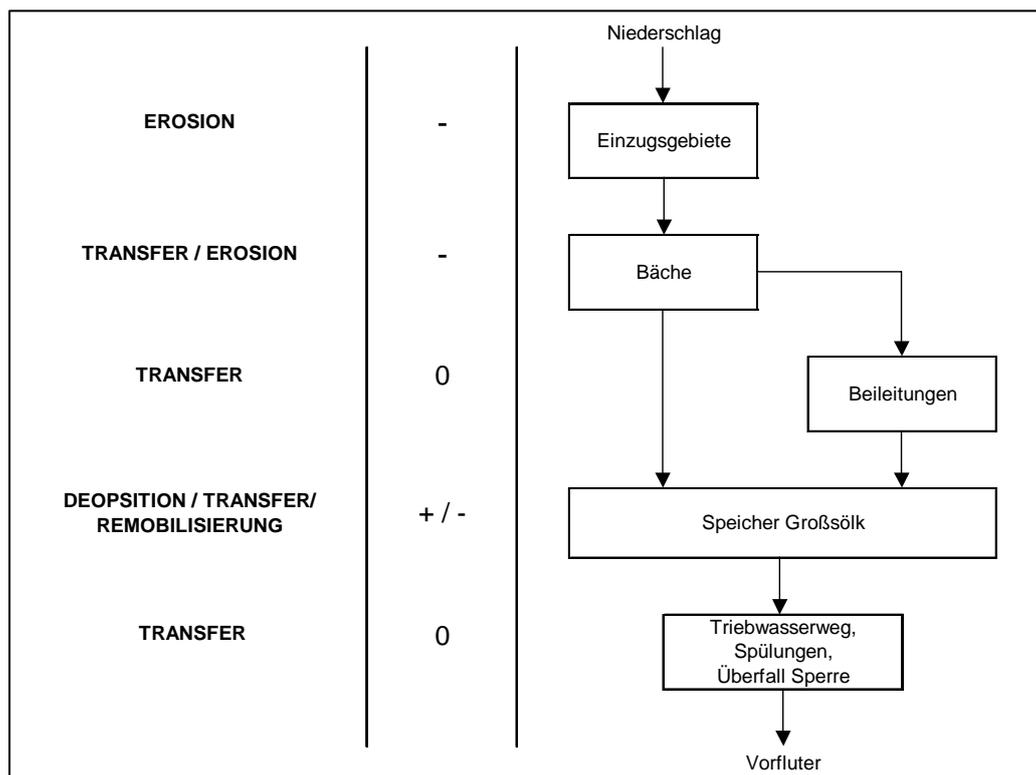


Abbildung 6.1 Schwebstoffherkunft im Sölspeicher

Zeichenerklärung: - Defizit  
+ Überschuss  
0 Transport

## 6.2 Bilanzkomponenten

Schwebstoffmessungen an folgenden Messstellen gehen in die Bilanzrechnung ein:

- Großsölkbach; Messstelle: Ödwirt
- Beileitung Kleinsölk; Messstelle: Einlaufbauwerk
- Beileitung Donnersbach; Messstelle: Geschiebeauffangraum
- Triebwasser; Messstelle: Unterwasser Krafthaus Sölk
- Öffnung Grundablass, Messstelle: Krafthaus Sölk

### 6.2.1 Sölkbach

Der durch den Niederschlag erodierte Boden wird von den Vorflutern abtransportiert. Zusätzliche Seitenerosion an den Bächen bei Hochwasser verstärkt den Sedimenttransport. Im Einzugsgebiet Großsölk werden die Sedimente direkt in den Speicher geleitet, das Geschiebe wird im Auffangraum (Vorsperre) zurückgehalten. Der Schwebstofftransport, berechnet am Pegel Ödwirt, wird mit dem Faktor 1,13 hochgerechnet. Dieser Faktor impliziert das Einzugsgebiet des Strickerbaches sowie der Bäche, die in den Stausee direkt münden (siehe 6.3.1.1).

### 6.2.2 Beileitungen

Aus den Einzugsgebieten Kleinsölk, Donnersbach und Walchenbach gelangen über Beileitungsstollen ebenfalls Schwebstoffe in den Speicher. Das Geschiebe wird entweder im Geschiebeauffangraum (Kleinsölk) oder über Entsanderkammern (Donnersbach, Walchenbach) zurückgehalten und bei erhöhter Wasserführung durchgeleitet (ÖWAW, 2000).

### 6.2.3 Speicher

Die für die Schwebstoffe relevanten Kornfraktionen werden teils im Speicher abgelagert, teils gelangen sie direkt über den Triebwasserweg in den Vorfluter.

Bei einer Speicherspülung werden Teile der abgelagerten Sedimente im Speicher remobilisiert und durch den Grundablass abgeführt. Um eine Verklausung zu verhindern, wurde der Grundablass im Untersuchungszeitraum einmal geöffnet (siehe 5.2.3.3).

Bei Hochwasser springt die Hochwasserentlastung des Speichers an. Im Jahr 2000 war dies mehrmals der Fall, 6,5 % des Zuflusses zwischen April und Dezember 2000 wurden über den Überfall entlastet. Die Schwebstofffracht der Hochwasserentlastung geht nicht in die Bilanzrechnung ein.

## 6.3 Frachten

### 6.3.1 Sölkbach

Für den Untersuchungszeitraum im Jahr 2000 werden mit der Gleichung (12) 17200 t, Bezugspunkt Pegel Ödwirt, errechnet.

#### 6.3.1.1 Korrekturfaktoren

Da die Einzugsgebiete Strickerbach und die Bäche, die direkt in den Speicher Sölk münden, an der Messstelle Ödwirt nicht erfasst werden (gesamt 13 %), wird am Ergebnis der Korrekturfaktor 1,13 angebracht. Der Korrekturwert bezieht sich auf die Einzugsgebietsgröße.

Aus Gleichung 12 und dem Korrekturwert ergibt sich eine Schwebstofffracht von 19400 t.

Die Summenlinie des Schwebstofftransports  $m_s$  wurde mit Hilfe der entwickelten Abfluss-Schwebstoffgehaltsbeziehung für den Pegel Ödwirt ermittelt (Kapitel 5.2.3). Dabei wurden die Frachten der Schneeschmelze, Sommerhochwässer und der wenigen Winterhochwässer getrennt behandelt.

Als Sommerabfluss wird der Abfluss vom Ende der Schneeschmelze bis zur ersten dauerhaften Schneedecke im Herbst gerechnet. 2000 war dies vom 12. Mai bis 1. November. Die meiste Schwebstofffracht ist den Sommerhochwässern zuzuordnen. 55 % der Gesamtfracht von 19400 t entfallen auf die Sommermonate. Die das Einzugsgebiet prägende Schneeschmelze trägt im Vergleich dazu wenig zur gesamten Schwebstofffracht  $m_s$  bei und liegt bei rund 6200 t (Abbildung 6.2).

Auf Grund der Schneedecke und den geringen Abflüssen ( $MJNQ = 0,84 \text{ m}^3/\text{s}$ ) in den Wintermonaten reduziert sich der Schwebstofftransport auf nahezu null. Die letzten beiden Hochwasserspitzen wurden am 17. November mit  $Q = 13,6 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $16,7 \text{ m}^3/\text{s}$  verzeichnet. Für das Einzugsgebiet des Großsölkbaches ergibt sich daher ein mittlerer Schwebstoffabtrag von  $138 \text{ t}/\text{km}^2$ .

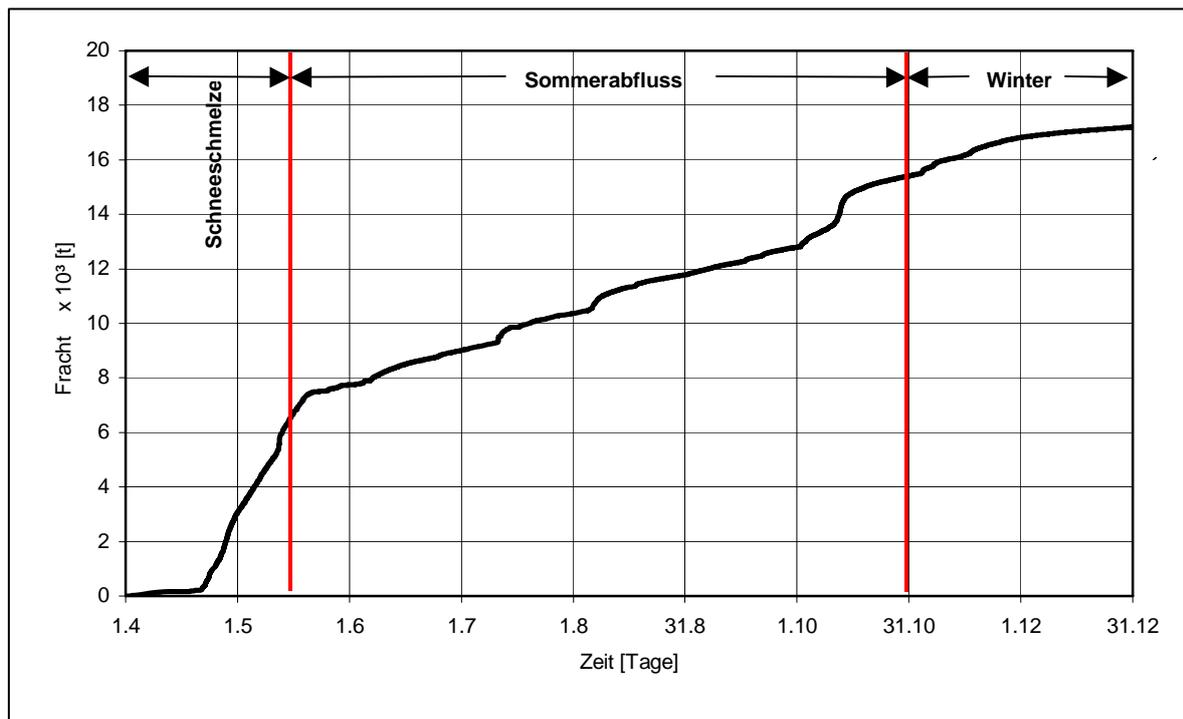


Abbildung 6.2 Schwebstofffracht am Sölkbach (Bezugspunkt Pegel Ödwirt)

### Maßgeblicher Abfluss für den Schwebstofftransport im Sommer

Durch Klassifizierung der Abflüsse in  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  –Schritten (Abbildung 6.3) wird der Zusammenhang Abfluss – Schwebstofffracht verdeutlicht. Eine Analyse der Schwebstofffrachten zeigt den wesentlichen Anteil der Klasse 2 ( $Q = 5 - 10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) mit mehr als  $3700 \text{ t}$  oder  $35 \%$ . Die Klassen 3 und 4 liegen zwischen  $1800 \text{ t}$  und  $2100 \text{ t}$ . Damit ist der am meisten zur Schwebstofffracht beitragende Abfluss der Klasse 2 zuzuordnen.

Vergleicht man die Tagesanzahl der Abflussklassen mit der Schwebstofffracht, so ist festzustellen, dass bei hohen Abflüssen eine wesentlich geringere Tagesanzahl notwendig ist, um dieselbe Schwebstoffmenge zu transportieren als bei geringeren Abflüssen.

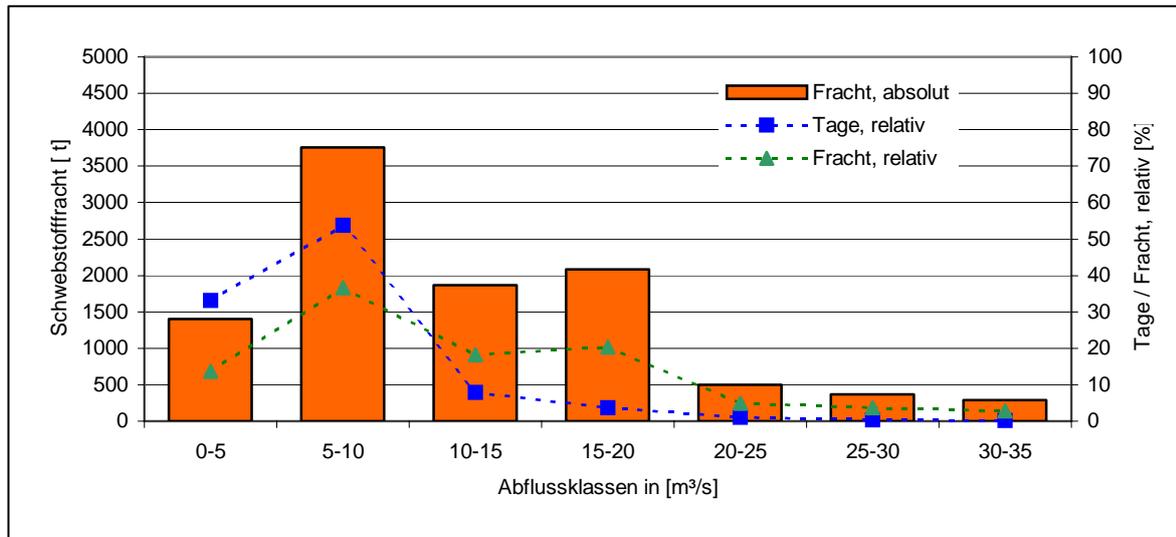


Abbildung 6.3 Schwebstofffrachten der Sommerhochwässer (Bezugspunkt Pegel Ödwirt), eingeteilt in Abflussklassen

### 6.3.2 Einzugsgebiet Strickerbach

Die Mündung des Strickerbaches in den Großsölkbach liegt flussabwärts der Schwebstoff- und Pegelmesssstelle Ödwirt. Die zusätzliche Schwebstofftransportkapazität des Strickerbachs wird in der Bilanzrechnung berücksichtigt. Da die Schwebstoffdaten nicht für eine Schwebstoff – Abflussbeziehung reichen, wird die relative Einzugsgebietsgröße des Strickerbachs (9,5 %) als Berechnungsgrundlage herangezogen.

### 6.3.3 Beileitungen

Die Beileitungen tragen wesentlich zum Schwebstoffeintrag in den Speichersee bei, sind aber durch ihre günstige Lage für eine gute Durchmischung des Wassers verantwortlich und halten einen großen Teil der Sedimente in Schwebelage (vgl. 5.3.1). Dadurch kann ein beträchtlicher Teil der Schwebstoffe im Speicher durch den Triebwasserweg abgezogen werden (Kapitel 6.3.3).

Über die Trübungssonden (siehe 4.5 und 5.2.3.2) konnte der Schwebstoffeintrag in den Stausee ermittelt werden. Für die Beileitung Donnersbach ergibt sich ein Summe von 9000 t, für die Beileitung Kleinsölk 20600 t. Durch den frühen Ausfall der Trübungssonde in der Kleinsölk konnte nur ein ungefähre Wert ermittelt werden.

### 6.3.4 Triebwasser

Das Triebwasser des Kraftwerks Sölk zeichnet sich durch Durchflussspitzen von  $34 \text{ m}^3/\text{s}$  aus. Die im Kapitel 6.3.2 angesprochene Turbulenz am Triebwassereinlaufbereich durch die Beileitungen erhöht die Schwebstoffkonzentrationen bis auf  $0,14 \text{ g/l}$  (maximal gemessene Konzentration). Wird die Höchstkonzentration mit dem maximalen Turbinendurchfluss multipliziert, ergibt sich eine Transportrate von  $m_s = 4,4 \text{ kg/s}$ .

Die errechnete Schwebstofffracht in neun Monaten beläuft sich auf  $m_{sf} = 32700 \text{ t}$ .

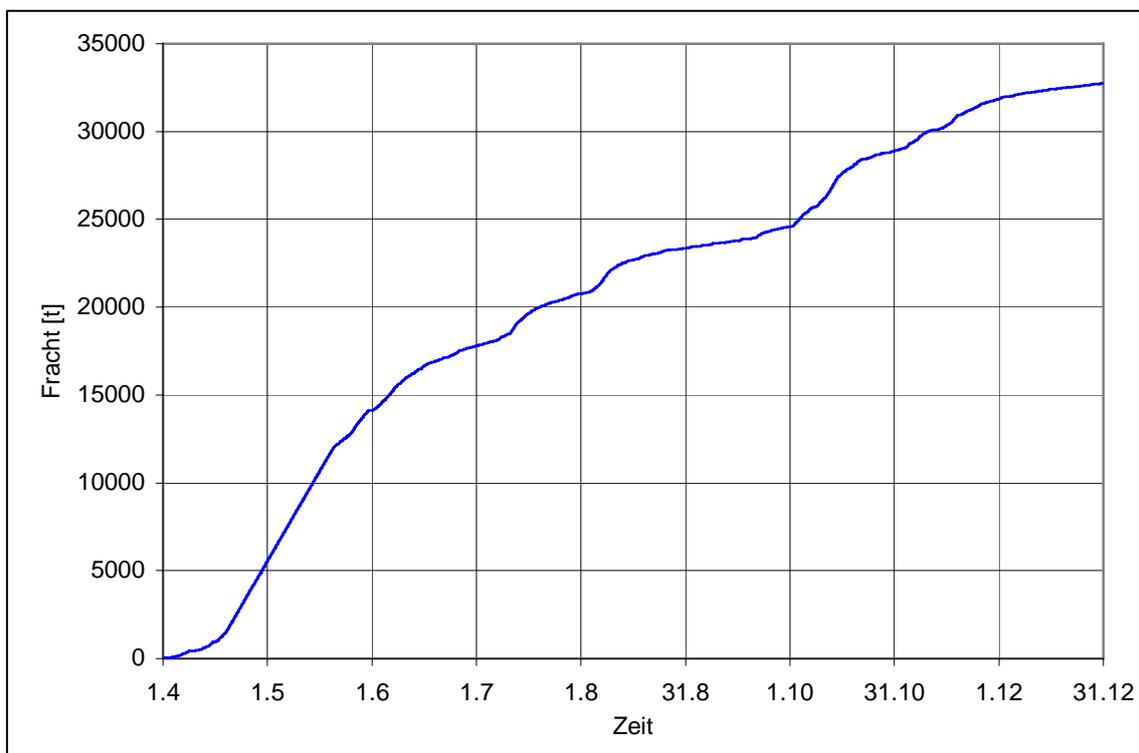


Abbildung 6.4 Schwebstofffracht im Triebwasser

## 6.4 Schwebstoffbilanzrechnung

In den nachfolgenden Tabellen 6.1 – 6.3 wird die Schwebstoffbilanz dargestellt. Die Schwebstoffe aus dem Großsölkbach und den Beileitungen (Teile der Einzugsgebiete Kleinsölk, Donnersbach und Walchenbach) ergeben den Eintrag in den Speicher mit einer Fracht von 49000 *t*.

Triebwasser und Grundablass tragen zum Sedimentabtrag mit einer Gesamtfracht von etwa 29 600 *t* bei. Die Differenz des Sedimentein- und -abtrags setzt sich am Speichergrund ab und beträgt ca.18 000 *t*.

Tabelle 6.1 Sedimenteintrag

<b>Schwebstoffherkunft</b>	<b>x 10<sup>3</sup> [t]</b>	<b>Prozent [%]</b>
EG Großsölk	19.4	39.6
Beileitung Kleinsölk	20.6	42.0
Beileitung Donnersbach	9.0	18.4
<b>Σ Eintrag</b>	<b>49.0</b>	<b>100</b>

Tabelle 6.2 Sedimentabtrag

<b>Position</b>	<b>x 10<sup>3</sup> [t]</b>	<b>Prozent [%]</b>
Triebwasser	32.7	99.7
Grundablass	0.1	0.3
<b>Σ Abtrag</b>	<b>32.8</b>	<b>100</b>

Tabelle 6.3 Deposition

<b>Position</b>	<b>x 10<sup>3</sup> [t]</b>	<b>Prozent [%]</b>
Sedimenteintrag	49.0	100
Sedimentabtrag	32.8	66.9
<b>Deposition</b>	<b>16.2</b>	<b>33.1</b>

Im Kapitel 5.3.1 wurde eine Lagerungsdichte der Sedimente nach einem Jahr mit 1472 *kg/m<sup>3</sup>* ermittelt. Damit ergibt sich eine rechnerische Kubatur von 11000 *m<sup>3</sup>* für den Zeitraum von 1. April bis 31. Dezember 2000.

Um einen möglichen Vergleich (und eine Kontrolle) des Ergebnisses zu erreichen, wird der Auffangwirkungsgrad des Speichers nach BRUNE (1953) herangezogen. Die Abbildung 6.5 gibt den Auffangwirkungsgrad eines Speichers über das Verhältnis Stauinhalt zur mittleren Jahresfracht in einem Jahr an.

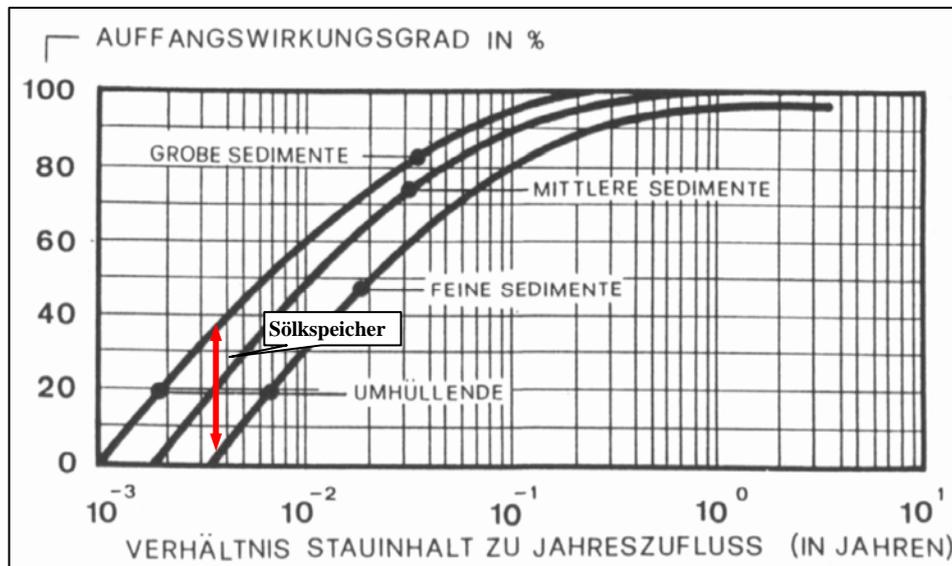


Abbildung 6.5 Auffangwirkungsgrad (nach BRUNE, 1953)  
(Verhältnis von Staurauminhalt zum mittleren Jahreszufluss)

Die Verteilung der Ablagerungen im Speicher und die Menge des zurückgehaltenen Sediments hängt von der Korngrößenverteilung des Sediments, von der Größe und Form des Speichers, der Zu- und Abflussrate, der Lage des Zu- und Abflusses sowie der Art der Abflusskonstruktion ab (RAUDKIVI, 1993).

Die Jahreswasserfracht des Sölkspeichers beträgt im Jahr 2000 ca. 420 Mio.  $m^3$ , der Stauinhalt ca. 1,4 Mio.  $m^3$ .

Der Auffangwirkungsgrad nach Abbildung 6.5 liegt zwischen 5 % (feine Sedimente) und 35 % (grobe Sedimente). Der errechnete Auffangwirkungsgrad nach Tabelle 6.3 beträgt 33,1 % für den Untersuchungszeitraum und liegt somit im angegebenen Bereich nach BRUNE (1953).

## 7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Basierend auf umfangreichen Naturmessungen in den Einzugsgebieten der Sölk­täler wurde eine Schwebstoffbilanz im Zuge des Projektes WARMICE für das Speicherkraftwerk Großsölk erstellt. Bereits im Jahr 1999 wurden Schwebstoffmessungen durchgeführt, diese wurden auf das gesamte Einzugsgebiet des Speichers ausgedehnt um raum – zeitliche Variabilitäten im Sedimenthaushalt besser verstehen und erklären zu können. Die Schwebstoffprobenahmen erfolgten als Einzelprobenahmen von Brücken oder Ufern aus, Vielpunktmessungen als Schwebstoffquerprofile mit einem geeigneten Schwebstoffsammler oder mit Pump-Probenemer an der fix eingerichteten Messstation „Ödwirt“.

Mit den Schwebstoffmessungen wurden gleichzeitig Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Für fünf Zubringer des Großsölk­baches wurden Pegelschlüssel erstellt, um detaillierte Abflüsse bei ereignisbezogenen Schwebstoffmessungen zu erhalten. Die Geschwindigkeitsmessungen gingen entweder direkt in die Pegelschlüssel ein oder dienten als Kalibrierungswerte für das eindimensionale Wasserspiegellagen-programm HEC-RAS. Mit diesem Programm ist es möglich, Wasserspiegellagen zu simulieren, Pegelschlüsselkurven darzustellen sowie Geschwindigkeiten und Schleppspannungen zu berechnen.

Das hydrologische Jahr wird in den Sölk­tälern durch intensive Schneeschmelze und Sommerhochwässer geprägt. Bei beiden Abflussvorgängen variieren die Schwebstoffkonzentrationen unabhängig vom Abfluss sehr stark. Die Anwendung einer Schwebstoffgehalt - Abflussbeziehung ist nicht unbedenklich. Ein Vergleich der Konzentrationen von Hochwässern ähnlichem Abflusses im Abschnitt 5.2.4.1 zeigt die große Schwankungsbreite der Konzentrationen. Wird die Streuung durch Mittelwertbildung und Anpassung einer Ausgleichsgeraden eliminiert, ist die  $Q - C_s$ -Beziehung ein gutes Mittel Schwebstofffrachten abzuschätzen. Die gesamte Schwebstofffracht in einem Jahr ist größtenteils von der Jährlichkeit und Häufigkeit von Hochwässern abhängig. So wurde die Schwebstofffracht für das Ereignis 1999 mit dem Wiederkehrintervall von 10 mit 49900 t berechnet. Im Jahr 2000 wurde ein  $HQ_1$  beobachtet, weitere Ereignisse mit geringerer Jährlichkeit folgten. Die Gesamtfracht im Jahr 2000 liegt unter dem des  $HQ_{10}$  von 1999. Den Großteil der Schwebstofffracht im Jahr 2000 lieferten Abflüsse zwischen  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\sim MQ$ ). Im Jahr 2000 traten nur Hochwässer unter einer Einjährlichkeit ( $HQ_1 = 42 \text{ m}^3/\text{s}$ ) auf. Aufgrund dieser Tatsachen ist es sehr wahrscheinlich das in Jahren mit größeren Abflussspitzen der Anteil an der gesamten Schwebstofffracht für Hochwässer wesentlich größer ist.

Im Zuge der Messkampagnen stellte sich heraus, dass speziell im Seifriedbach hohe Schwebstoffkonzentrationen auftreten. Dies ist nicht nur auf große Abflussspitzen zurückzuführen, es wurde auch in Schönwetterperioden ein starker Schmelzvorgang der Grundlawinen und somit ein erhöhter Schwebstoffgehalt auch bei Niederwasser speziell in diesem Einzugsgebiet beobachtet. Das konnte durch einen Schwebstofflängsschnitt im Teileinzugsgebiet Mößnakarbach festgehalten werden. Es wurden Schmelzvorgänge bis Mitte August beobachtet. Forststrassenbau im Einzugsgebiet, sowie Kanalbauarbeiten am Ufer des Sölkbaches erhöhten den Schwebstoffgehalt in den Bächen.

Der Seifriedbach und der Bräualmbach sind die größten Zubringer des Sölkbaches und tragen im Einzugsgebiet am meisten zum Schwebstofftransport bei. Mit ereignisbezogenen Schwebstoffmessungen konnten zwei Hochwässer am 6.6.2000 und am 16.9.2000 im Seifriedtal gut erfasst werden, letzteres dient als Vergleichsereignis für eine GIS - bezogene Bodenabtragskarte.

Neben den Schwebstoffmessungen wurden Beregnungsversuche in Zusammenarbeit mit der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Innsbruck durchgeführt, die die Variabilität des Bodenabtrags der einzelnen Boden- und Vegetationstypen im Einzugsgebiet zeigten. Die daraus gewonnenen Daten wurden im Erosionsmodell KINEROS weiterverarbeitet und in einem GIS dargestellt. Das Ergebnis liefert eine ereignisbezogene Bodenabtragskarte für ein Teileinzugsgebiet (siehe Abschnitt 5.1.3). Der Vergleich der Karte mit den Schwebstoffmessungen ergab eine höhere Schwebstofffracht, da die Darstellung der Bodenabtragskarte als Erosionspotential bei einem sommerlichen Niederschlagsereignis zu werten ist.

Mit dieser einfachen Methode zur Berechnung eines Bodenabtrags ist es nicht nur möglich, verschiedene Niederschlagsintensitäten zu simulieren, sondern bietet auch die Möglichkeit, die Landnutzung in einem Einzugsgebiet zu verändern (als Folge z.B. durch vermehrte Almwirtschaft oder durch Klimaänderung) und in Bezug auf den Bodenabtrag zu interpretieren.

Der hohe flächenmäßige Anteil an unbefestigten Wegen im Einzugsgebiet lässt eine Berücksichtigung in der Kartendarstellung als sinnvoll erscheinen, obwohl das Erosionsverhalten der Wege nicht restlos geklärt ist. Daher wurden die durch den Forstwegebau entstandenen Böschungen im Seifriedtal ebenfalls auf das Erosionspotential untersucht. Zwei Flächen aus den Regensimulationen dienten als Datenbasis. Die deutlichen Unterschiede im Oberflächenabtrag zeigen die große Bandbreite der Erodierbarkeit von Wegböschungen. Das Erosionsverhalten ist wesentlich vom Alter der offenen Flächen und somit hauptsächlich vom Pflanzenbewuchs und Pflanzenbestand abhängig. Für ein Niederschlagsereignis und einer einjährigen, offenen Böschung wurde ein Erosionspotential von 23,45 t auf die Forstwege im Einzugsgebiet

Seifriedtal hochgerechnet. Die untere Potentialgrenze wurde mit einer bereits mehrjährigen und damit von Pflanzen wiederbesiedelten Böschung ermittelt und liegt bei 0,37 t.

Um die Schwebstofffrachten in den Beileitungen Donnersbach und Kleinsölk quantifizieren zu können wurden Trübungssonden installiert. Mit einer zeitlich kontinuierlichen Aufzeichnung der Trübung des Wassers und mittels Kalibrierungskurven wurden die Trübungsganglinien auf den Schwebstoffgehalt umgelegt. Aus den zu Verfügung gestellten Zuflussdaten zum Sölksee und dem jeweiligen Schwebstoffgehalt konnten somit die Schwebstofffrachten der Beileitungen für den Untersuchungszeitraum berechnet werden.

Ergänzend zu den Schwebstoffmessungen konnte der Sohlgrund des Speichersees zweimal mittels Echolot vermessen werden. Da die beiden Aufnahmen jeweils vor und nach dem Winter 2000/2001 erfolgten, war keine große Veränderung der Sohle zu erwarten. Die Abnahme um 2600 m<sup>3</sup> des Speicherinhalts (und damit eine Auflandung) liegt innerhalb der Mess- und Interpolationsgenauigkeit.

Die Schwebstoffbilanz wird mit den Messungen im Triebwasser und durch Spülungen (Schwebstoffremobilisierung) vervollständigt. Das Endergebnis mit 16200 t Ablagerungsrate stimmt mit den in der Literatur befindlichen Angaben über Sedimentrückhaltevermögen von Speicherkraftwerken überein.

Für den Sölksee werden Spülungen in regelmäßigen Abständen angestrebt. Das Weiterführen der Messungen im Speichereinzugsgebiet beinhaltet die Möglichkeit ein sinnvolles Sedimentmanagement für den Speicher zu erarbeiten und weiters die Zahl von kostenintensiven Entlandungsmaßnahmen zu minimieren.

Wie sich Landnutzungen auf den ereignisbezogenen Schwebstofftransport durch flächenhafte Erosion im Einzugsgebiet auswirken wird ebenfalls behandelt. Speziell Weiden im Almenbereich sowie offenen Flächen an Forstwegböschungen tragen zur vermehrten Oberflächenerosion bei, Waldflächen wirken der Erosion entgegen. Mit der erarbeiteten GIS- basierten Methode ist es möglich, die räumliche Verteilung von Zonen starker bzw. geringer Flächenerosion in Einzugsgebieten zu visualisieren.

## 8 Literaturverzeichnis

- ARNOLD J.G., WILLIAMS J.R., NICKS A.D., SAMMONS N.B., 1990, SWRRB - *A basin scale simulation model for soil and water resource management*, Texas A&M University Press
- AXELSSON, V., 1967, *The Laitaure delta. A study of deltaic morphology and processes*, Geografiska Annaler
- ALLEN, J.R.L., 1985, *Principles of Physical Sedimentology*, George Allen & Unwin, London
- BARSCHE, D., MÄUSBACHER, R., PÖRTGE, K.-H., SCHMIDT, K.-H., 1994, *Messungen in fluvialen Systemen*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 216 S
- BAIER, V., 1996, *Bestimmung und Beschreibung der Form von Schwebstoffpartikeln mittels Unterwasservideomikroskop und digitaler Bildverarbeitung*, Institut für Wasserwesen, Mitteilungen, Heft 57, 180 S
- BAUER, F., *Der Geschiebehaushalt der bayrischen Donau im Wandel wasserbaulicher Maßnahmen*, Wasserwirtschaft (4/5)
- BECKER, L. P., 1989: *Die Geologie der Sölkäler – 500 Millionen Erdgeschichte*, In Naturparkführer Sölkäler. Andritzer, Graz, 100 S.
- BIERINGER, B., 1983: *Der Wald im Naturpark. In Führer durch den heimischen Wald – Die Bedeutung des Waldes im Naturpark Sölkäler*, Wallig, Gröbming, 74 S.
- BLANCHARD, B.J., and LEAMER, R.W., 1973, *Spectral reflectance of Water containing suspended sediment*, Remote Sensing and Water Resour. Mgmt.
- BLÜHBERGER, G UND HÄUSLER, H. (1997), *Die Isoerodentenkarte- Beurteilungsgrundlage des niederschlagsbedingten Gefahrenpotentials von Österreich*, Inst. F. Geologie, Geozentrum, Universität Wien (unveröff.)
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): „Pflanzensoziologie“, Springer - Verlag, Wien, New York, 3. Auflage; 865 S.
- BRUNE, G. M., 1953: *Trap efficiency of reservoirs*, Transaction of American Geophysical Union, 34 (3), S. 407-418.
- CRAWFORD, A.M. AND HAY, A.E., 1993, *Determining suspended sand size and concentration from multifrequency acoustic backscatter*, J. Acoustic Soc. of Am.
- DIN Deutsches Institut für Normung, 1996, DIN-Taschenbuch 211: Wasserwesen. Beuth Verlag, Berlin
- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 1999: *Digitale Karte Österreichs auf CD-Rom*.
- DVWK, 1986: DVWK Regeln. *Schwebstoffmessungen*, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 38 S.
- DVWK, 1993: *Verlandung von Flußstauhaltungen – Morphologie, Bewirtschaftung, Umweltaspekte und Fallbeispiele*, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau Heft 105, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 300 S.
- DYCK, S. und PESCHKE, G., 1995: *Grundlagen der Hydrologie*, Verlag für Bauwesen, Berlin, 535 S.
- EINSTEIN H.A., 1950, *The bed-load function for Sediment transportation in open channel flows*
- EISMA, D., 1993 *Suspended Matter in the Aquatic Environment*, Springer Verlag, Berlin
- ELLENBERG H., WEBER H.E., DÜLL R., WIRTH V., WERNER W. und D. PAULISSEN (1991): „*Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*“ Scripta Geobotanica, Verlag Erich Goltze KG, Göttingen, Vol. 18; 248 S.
- EVRARD; J. 1985: *Technical and Economic Impact of Reservoir Sedimentation*, Aus BRUK,S., 1985: *Methods of Computing Sedimentation in Lakes and Reservoirs*. A contribution to the International Hydrological Programme, IHP-II Project, Unesco, Paris, 1-10.
- FENICIA, F., 2001, *Distributed hydrological model for runoff and erosion simulation*, Corso di laurea in Ingegneria per l' Ambiente e il Territorio
- FISCHER M.A., ADLER W. und OSWALD K. (1994): *Exkursionsflora von Österreich*, Ulmer - Verlag, Stuttgart; 1180 Seiten.
- FRAHM, J.P. und W. FREY (1992): *Moosflora*, Ulmer - Verlag, Stuttgart, 3. Auflage; 528 S.
- GAMERITH, B., in print, *Geschiebetransport im Einzugsgebiet des Speichers Großsölk*, Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Wien
- GEALOG, *Benutzerhandbuch für den Datensammler Gealog S*
- GRAF, W. H., 1981: *Storage loss*, In Mitteilung Nr. 53 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie: *Verlandung von Stauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum*, ETH Zürich, 27-40.
- HABERSACK, H., 1997, *Raum-zeitliche Variabilität im Geschiebehaushalt und dessen Beeinflussung am Beispiel der Drau*, Wiener Mitteilungen, Band 144, 295 S
- Firma HAIDER, Hoch und Tiefbau, *Bauzeitplan und Pläne über Kanalbauarbeiten im Sölkatal*
- HARTUNG, F., 1959: *Ursache und Verhütung der Stauraumverlandung bei Talsperren*, Wasserwirtschaft, 49, S. 3-13.
- HÖLLRIEGL, R. und MAYRHOFER, H., 1989: *Der Alpenraum – Lebensraum für Pflanze, Tier und Mensch*, In Naturparkführer Sölkäler. Andritzer, Graz, 9-12.
- HYDROGRAPHISCHE LANDESBTEILUNG DES AMTS DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1975: *Hydrologisches Gutachten für den Großsölkbach*, 2 km ober der Einmündung des Feistabaches.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH: *Hydrographische Jahrbücher* der Jahre 1971, 1977, 1978, 1981-1996. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Eigenverlag, Wien.
- ISCO, *Bedienungsanleitung für Probenahmegerät ISCO 3700*
- ISCO, *Bedienungsanleitung für Auswertesoftware ISCO Flowlink*
- JANSSON M. B. and ERLINGSSON U., 2000, *Measurement and quantification of Sedimentation budget for a reservoir with regular flushing*, Copyright by Wiley&Sons, Uppsala, Sweden
- KERN, U., 1997, *Transport von Schweb- und Schadstoffen in staugeregelten Fließgewässern am Beispiel des Neckars*, Universität Stuttgart, 209 S
- KOBOLTSCHNIG, G.R., in print, *GIS - basierte Modellierung im Einzugsgebiet des Speichers Großsölk in der Stmk.*, Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Wien
- KOHL B. (2000): *Vegetation als Indikator für die Abflussbildung*, Beitrag Symposium Interpraevent; Villach, Juni 2000, Tagungspublikation, 2: 41-51.
- KRONEIS, A. u. W., 1994, *Starlog – Software Kurzanleitung*, Ausgabe: 9.94 mit Ergänzung für den Starlogger, Wien
- KRUMDIEK, A. und CHAMOT, P., 1981: *Spülung von Sedimenten in kleinen und mittleren Speicherbecken*. In Mitteilung Nr. 53 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie: *Verlandung von Stauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum*, ETH Zürich, 255-270.
- KUNTZE, H., J. NIEMANN, G. ROESCHMANN und G. SCHWERDTFEGER (1994): *Bodenkunde*, 5. Auflage, Ulmer, Stuttgart.
- LANDOLT, E. (1977): „*Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora*“ Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Stiftung Rübel, Zürich, 64; 208 S.
- LANE, L.J., NEARING, M.A., 1989, *NSERL Report No.2*, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette
- LANGE, *Bedienungsanleitung Solitax*

- LANGE, Technische Daten der der Streulicht-Fotometer
- LAW,D.J., BALE, A.J.,JONES, S.E., 1997, *Adaptation of focused beam reflectance measurement to in-situ particle sizing in estuaries and coastal waters*, Marine Geol., Amsterdam
- MANIAK, U., 1997: *Hydrologie und Wasserwirtschaft – Eine Einführung für Ingenieure*, Springer-Verlag, Berlin, 650 S.
- MARKAT G. und KOHL B., BAUER, W., 2001, *Abflussmenge und Sedimentfracht unterschiedlich genutzter Boden-Vegetationskomplexe bei Starkregen im Sölkta/Steiermark*, Institut für Lawinen und Wildbachforschung, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Innsbruck
- McHENRY, J.R.,et al.,1967, *Performance of nuclear-sediment concentration gauges*, Proc., Isotopes in Hydrology SY mp., International Atomic Energy Agency, Vienna, S 207-225
- MAYR, P., 1999, *Mehrdimensionale Abflussmodellierung am Beispiel der Lafnitz*, Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Universität für Bodenkultur
- MORRIS, G. L. und FAN, J., 1998: *Reservoir Sedimentation Handbook,Design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use*, McGraw-Hill, New York.
- NACHTNEBEL, H. P., SEIDELMANN, R., MÜLLER, H. W., SCHWAIGHOFER, B., 1998: *Herkunft und Zusammensetzung der Schwebstoffe in der Donau und ihren wichtigsten Zubringern*, Schriftenreihe der Forschung im Verbund. Band 45. 151 S.
- NACHTNEBEL et al, 1999, *WARMICE –Report*, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
- ÖWAW, 2000, *Feststoffmanagement an Kraftwerksketten*. Schriftenreihe des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Heft 137
- ÖHLBÖCK, K, in print, *Feststofftransport und –management im Einzugsgebiet des Sölkseichers*, Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Wien.
- PHILLIPS J.M., and WALLING,D.E., 1995, *An assessment of the effect of sample collection, storage and resuspension on the representativeness of measurements of effective particle size distribution of fluvial suspended sediment*, Water Research, 29(11), 298-2508 S
- Praktikum zur landeskulturellen Wasserwirtschaft, *Korngrößenanalyse*, Studienbehelf, Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur
- PREGL, O., 1998, *Handbuch der Geotechnik Band 10 Böschungen*, Eigenverlag des Instituts für Geotechnik, Univ. für Bodenkultur, Wien.
- RAUDKIVI, A., 1993: *Exclusion and removal of sediment from diverted water*, A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield
- SANTNER, P., in print, *Untersuchung der Sedimentquellen im oberen Einzugsgebiet des Speichers Großsölk*, Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Wien
- SCHLICHTING, E. und H.P. BLUME (1966): *Bodenkundliches Praktikum*, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- SCHMUTZ, S., 1996, *Anthropogene Eingriffe in Fließgewässern und deren Einfluss auf Lebensgemeinschaften*, Habilitationsschrift an der Universität für Bodenkultur
- SCHRÖFELBAUER, H., DRAXLER, A., 1998, *Vorwort zur Herkunft und Zusammensetzung der Schwebstoffe in der Donau und ihren wichtigsten Zubringern*. Schriftenreihe der Forschung im Verbund. Band 45. 151 S.
- SEQUOIA Scientific, *Operating Principle of Liss-25 constant calibration sediment sensor*
- SHARPE, G.J., 1994, , Longmann Scientific and Technical, Malaysia, 1994
- STEWEG, 2000: *KW-Sölk Jahresbericht 2000*. Hiefalau
- STEWEG, 2000: *Stau- und Zuflussdaten zum KW-Sölk*. Hiefalau
- STEWEG, 1999b: *Bericht Stauraumpülung Großsölk vom 30.4. – 2.5.1999*. Graz, 4 S.
- STEWEG, o. J.: „*STEWEG Kraftwerk Sölk*“. Informationsbroschüre, Eigenverlag der Steirischen Wasserkraft- und Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, Graz.
- STRASSER, M., 1998, *Vergleichende Untersuchungen von Geräten zur Bestimmung der Korngrößenverteilung von Schwebstoffen*, Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau, Univ. für Bodenkultur, Wien.
- SUNDBORG, Å., 1992, *Sedimentation in the Cachi Reservoir illustrated by mathematical modeling*. In *Sedimentological Studies in the Cachi Reservoir*, Costa Rica, UNGI Rapport 81, Jaansson MB, Rodríguez A (eds). Department of Physical Geography, Uppsala University, Uppsala
- TAUTERMANN, G., 1999: *Sedimentuntersuchung im Speicher Großsölk vom 19.3.1999*. Institut für Geo- und Bioanalytik, Mitterberghütten, 7 S.
- THORNE, P.D., VINCENT, C.E., HARDCASTLE, P.J., REHMAN, S., and PEARSON, N., 1991, *Measuring suspended sediment concentrations using acoustic backscatter devices*. Marine Geol., Amsterdam
- TÖDTEN, H., 1987, *Das Absetzverhalten poröser Partikel im ruhenden Medium*. Wasserwirtschaft
- TRIMBLE, *Manual HydroPro*
- VAN LEUSSEN, W., 1994, *Estuarine Macrobioses and their role in Fine-grained Sediment Transport*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate- General of Public Works and Water Management, National Institute for Coastal and Marine Management
- VISCHER, D., 1981: *Verlandung von Flußstauhaltungen und Speicherseen*, In Mitteilung Nr. 53 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie: Verlandung von Stauhaltungen und Speicherseen im Alpenraum, ETH Zürich, 9-25.
- WAKONIG, B., 2000, *Grundlagen zur Erstellung einer Feststoffbilanz hinsichtlich der Verlandungsproblematik des Speichers Sölk*, Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Universität für Bodenkultur
- WESTHOFF, V. und E. van der MAAREL (1973): *The Braun- Blanquet approach*, in: R.H. WHITTAKER (ed), *Ordination and classification of communities*. Handbook of Vegetation Science 5: 617-726.
- WIESBAUER, H., BAUER, T., JAGSCH, A., JUNGWIRTH, M., und UIBLEIN, F., 1991, *Fischökologische Studie mittlere Salzach, Studie im Auftrag der Tauernkraftwerke AG*
- WILLIAMS, J.R., BERNDT H., 1972, *Sediment yield computed with universal equation*, Journal of Hydraulic Divisions, Proceeding of the American Society of civil Engineers
- WISHMEIER, W.F., SMITH, D., 1978, *Predicizing rainfall erosion losses – a guide to the conservation planning*, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No.537
- WMO, 1989, *Manual on operational methods the measurement of Sediment Transport*, Operatinal Report No. 29, Genf,
- WREN, D.G., BARKDOLL, B.D., KUHNLE, R.A., DERROW, R.W., 2000, *Field Techniques for suspended-sediment measurement*, Journal of Hydraulic Engineering, February 2000, 97-104 S
- ZANKE, U.,1982, *Grundlagen der Sedimentbewegung*, Springer Verlag, Berlin

## ANHANG 1

Geschwindigkeits- Abflussmessungen  
Pegelprofile  
Pegelschlüssel

**DELFT - Messung Strickerbach vom Mittwoch, dem 26.4.00 ab 9.25 Uhr**

Messlotrechte:		1		2		3		4		5	
Abst.v.l.Ufer [m]:		0,3		1		2		2,9		3,7	
Wassertiefe [m]:		0,15		0,19		0,19		0,19		0,14	
Abstand	V	0,03	1,67	0,03	1,59	0,03	1,76	0,03	2,09	0,03	1,73
von	[m/s]	0,1	1,79	0,1	1,78	0,1	1,82	0,1	1,83	0,1	2,29
Sohle[m]		0,13	0	0,13	1,97	0,13	2,09	0,13	2,02	0,13	1,88
Geschw.Fl.[m <sup>2</sup> /s]:		0,17		0,32		0,34		0,35		0,25	
Mittlere V.[m/s]:		1,15		1,66		1,77		1,83		1,77	

**Breite(m): 3,9**

**Fläche[m<sup>2</sup>]: 0,65**

**Q[m<sup>3</sup>/s]: 1,09**

**vm[m/s]: 1,69**

**DELFT - Messung Strickerbach vom Mittwoch, dem 26.4.00 ab 9.55 Uhr**

Messlotrechte:		1		2		3		4		5	
Abst.v.l.Ufer [m]:		0,2		1		2		3		4	
Wassertiefe [m]:		0,21		0,23		0,22		0,26		0,25	
Abstand	V	0,03	1,122	0,03	0,817	0,03	0,934	0,03	1,820	0,03	1,160
von	[m/s]	0,1	0,492	0,1	0,563	0,1	0,776	0,1	1,850	0,1	1,463
Sohle[m]		0,14	0,283	0,17	0,878	0,17	1,89	0,23	1,600	0,18	1,510
Geschw.Fl.[m <sup>2</sup> /s]:		0,11		0,16		0,26		0,43		0,33	
Mittlere V.[m/s]:		0,52		0,71		1,19		1,65		1,34	

**Breite(m): 4,2**

**Fläche[m<sup>2</sup>]: 0,94**

**Q[m<sup>3</sup>/s]: 1,09**

**vm[m/s]: 1,16**

### DELFT - Messung Strickerbach vom Mittwoch, dem 25.4.00 ab 9.25 Uhr

Pegelstand:291,5 mmWs

Messlotrechte:		1		2		3		4		5	
Abst.v.l.Ufer [m]:		0,2		1,1		1,9		3		3,9	
Wassertiefe [m]:		0,22		0,22		0,25		0,25		0,21	
Abstand	V	0,03	1,58	0,03	1,31	0,03	1,12	0,03	1,25	0,03	0,65
von	[m/s]	0,1	1,4	0,1	1,14	0,1	1,36	0,1	1,79	0,1	1,2
Sohle[m]		0,2	0,96	0,2	1,23	0,2	1,83	0,2	1,91	0,2	1,56
<b>Geschw.Fl.[m<sup>2</sup>/s]:</b>											
		0,27		0,25		0,35		0,41		0,23	
<b>Mittlere V.[m/s]:</b>											
		1,21		1,13		1,42		1,62		1,09	

**Breite(m):** 4,1

**Fläche[m<sup>2</sup>]:** 0,91

**Q[m<sup>3</sup>/s]:** 1,23

**vm[m/s]:** 1,34

**DELFT - Messung Strickerbach vom Mittwoch, dem 28.4.00 von 13.25 -13.45 Uhr**

Messlotrechte:		1		2		3		4		5	
Abst.v.l.Ufer [m]:		0,2		1,1		1,9		3		3,9	
Wassertiefe [m]:		0,25		0,28		0,23		0,36		0,26	
Abstand	V	0,03	1,49	0,03	0,85	0,03	1,01	0,03	1,43	0,03	1,01
von	[m/s]	0,1	1,63	0,1	1,51	0,1	1,27	0,1	1,46	0,1	1,45
Sohle[m]		0,19	1,92	0,19	1,35	0,19	2,07	0,19	1,93	0,19	1,73
				0,25	1,01			0,3	1,82		
Geschw.Fl.[m <sup>2</sup> /s]:			0,41		0,33		0,33		0,38		0,37
Mittlere V.[m/s]:			1,63		1,16		1,43		1,05		1,41

**Breite(m): 4,2**

**Fläche[m<sup>2</sup>]: 1,11**

**Q[m<sup>3</sup>/s]: 1,41**

**vm[m/s]: 1,27**

**DELFT - Messung Strickerbach vom Mittwoch, dem 18.5.00 ab 14.20 Uhr**

Messlotrechte:		1		2		3		4		5	
Abst.v.l.Ufer [m]:		0,2		1,05		1,9		2,75		3,6	
Wassertiefe [m]:		0,13		0,17		0,21		0,2		0,16	
Abstand	V	0,03	1,61	0,03	1,44	0,03	1,13	0,03	1,51	0,03	1,48
von	[m/s]	0,1	1,33	0,1	1,83	0,1	1,44	0,1	1,52	0,1	1,39
Sohle[m]		0,1	1,33	0,14	1,56	0,18	1,29	0,18	2,54	0,13	1,15
Geschw.Fl.[m <sup>2</sup> /s]:		0,17		0,25		0,25		0,34		0,20	
Mittlere V.[m/s]:		1,28		1,47		1,21		1,71		1,22	

**Breite(m): 3,8**

**Fläche[m<sup>2</sup>]: 0,65**

**Q[m<sup>3</sup>/s]: 0,91**

**vm[m/s]: 1,41**

**DELFT - Messung Strickerbach vom Mittwoch, dem 4.10.2000 von 13:15 - 14:30**

Pegelstand: 40 mm

Messlotrechte:		1		2		3		4	
Abst.v.l.Ufer [m]:		0,05		1,27		2,49		3,70	
Wassertiefe [m]:		0,07		0,10		0,09		0,10	
Abstand	V	0,03	1,12	0,03	0,50	0,03	1,25	0,03	1,06
von der Sohle[m]	[m/s]	0,04	1,25	0,07	1,13	0,06	1,28	0,07	1,26
<b>Geschw.Fl.[m<sup>2</sup>/s]:</b>		0,07		0,07		0,10		0,10	
<b>Mittlere V.[m/s]:</b>		0,95		0,74		1,06		1,00	

**Breite[m]: 3,75**

**Fläche[m<sup>2</sup>]: 0,34**

**Q[m<sup>3</sup>/s]: 0,31**

**vm[m/s]: 0,92**

### DELFT - Messung Seifriedbach 29.6.00 um 16.25 Uhr

Pegelstand: 18 cm

Messlotrechte:		1		2		3		4		5		6	
Abst.v.l.Ufer [m]:		0,35		1,45		2,55		3,65		4,75		5,85	
Wassertiefe [m]:		0,13		0,16		0,16		0,16		0,14		0,15	
Abstand	V	0,03	0,72	0,03	1,205	0,03	1,003	0,03	1,357	0,03	1,177	0,03	0,851
von	[m/s]	0,1	0,576	0,12	0,805	0,12	1,425	0,1	1,472	0,12	0,978	0,1	0,477
Sohle[m]						0,14	0,86						
<b>Geschw.Fl.[m<sup>2</sup>/s]:</b>													
			0,07		0,14		0,16		0,21		0,13		0,08
<b>Mittlere V.[m/s]:</b>													
			0,56		0,88		1,03		1,30		0,96		0,55

**Breite(m):** 6,2

**Fläche[m<sup>2</sup>]:** 0,89

**Q[m<sup>3</sup>/s]:** 0,83

**vm[m/s]:** 0,93

**Seifriedbach**

**Aufnahmedatum: 03.Okt.00**

Messbeginn  
14:00  
Messende  
15:00  
Pegelstand:  
30cm

**Profilbreite B = 10,10 m**

Messlotrechte		1	2	3	4	5	6						
Abst.v.l.Ufer [m]		0,42	1,68	3,79	6,31	8,42	9,68						
Wassertiefe [m]		0,21	0,23	0,39	0,42	0,43	0,11						
Abstand von der Sohle [m]	V [m/s]	0,18	0,69	0,20	1,08	0,36	1,14	0,39	1,12	0,40	0,81	0,08	0,41
		0,10	0,68	0,10	0,93	0,20	1,01	0,20	0,96	0,20	0,73	0,03	0,30
		0,03	0,64	0,03	0,77	0,03	0,81	0,03	0,69	0,03	0,47	0,00	0,00
f <sub>vi</sub> [m <sup>2</sup> /s]		0,131	0,203	0,372	0,381	0,286	0,034						
v <sub>mi</sub> [m/s]		0,626	0,885	0,955	0,907	0,665	0,313						

A = 3,256 m<sup>2</sup>

v<sub>m</sub> = 0,832 m/s

Q = 2,708 m<sup>3</sup>/s = 2708 l/s

**Bräualmbach**

**Aufnahmedatum:** 04.Okt.00

Messbeginn  
10:00  
Messende  
11:30  
sonstige  
Bemerkungen:

**Profilbreite B =** 6,90 m

Messlotrechte		1		2		3		4		5		6		
Abst.v.l.Ufer [m]		0,30		1,40		2,50		3,60		4,70		5,80		
Wassertiefe [m]		0,11		0,25		0,37		0,41		0,68		0,76		
Abstand von der Sohle [m]	v [m/s]	0,09	0,01	0,22	0,63	0,34	0,97	0,38	1,20	0,65	1,02	0,73	1,42	
		0,05	0,11	0,12	0,61	0,18	0,53	0,20	1,14	0,34	0,92	0,38	1,36	
		0,03	0,12	0,03	0,55	0,03	0,44	0,03	0,96	0,03	0,85	0,03	0,95	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
f <sub>vi</sub> [m <sup>2</sup> /s]		0,007		0,141		0,228		0,439		0,619		0,947		
v <sub>mi</sub> [m/s]		0,062		0,564		0,616		1,070		0,910		1,246		

A = 2,794 m<sup>2</sup>

v<sub>m</sub> = 0,936 m/s

Q = 2,616 m<sup>3</sup>/s = 2616 l/s

Ödwirt

Aufnahmedatum: 05.Okt.00 14:30

Profilbreite B = 15,60 m

Messlotrechte	1	2	3	4	5	6							
Abst.v.r.Ufer [m]	0,50	3,42	6,34	9,26	12,18	15,10							
Wassertiefe [m]	0,24	0,45	0,43	0,66	0,44	0,33							
Abstand von der Sohle [m]	v [m/s]	0,21	0,23	0,42	0,60	0,40	1,74	0,63	1,87	0,41	0,68	0,30	1,24
		0,12	0,37	0,23	0,62	0,22	1,71	0,33	1,74	0,22	0,88	0,16	1,26
		0,03	0,04	0,03	0,96	0,03	0,18	0,03	0,14	0,03	0,67	0,03	0,50
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$f_{vi}$ [m <sup>2</sup> /s]	0,053	0,307	0,544	0,880	0,327	0,334							
$v_{mi}$ [m/s]	0,219	0,683	1,265	1,333	0,743	1,011							

$$A = 6,756 \text{ m}^2$$

$$v_m = 0,987 \text{ m/s}$$

$$Q = 6,669 \text{ m}^3/\text{s} = 6669 \text{ l/s}$$

Hansenalmbach

Aufnahmedatum: 04.Okt.00

Bemerkung: Messbeginn 13:15

Messende 14:30

Profilbreite B = 6,50 m

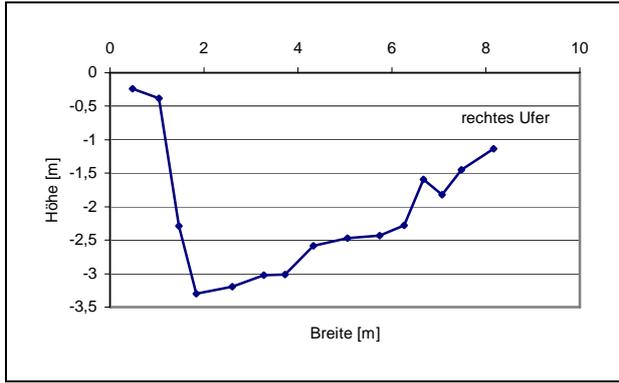
Pegelstand 0.40 m

Messlotrechte		1	2	3	4	5	6						
Abst.v.l.Ufer [m]		0,20	1,42	2,64	3,86	5,08	6,30						
Wassertiefe [m]		0,28	0,27	0,28	0,29	0,28	0,24						
Abstand von der Sohle [m]	v [m/s]	0,25	1,05	0,24	1,02	0,25	0,98	0,26	1,36	0,25	1,03	0,21	1,23
		0,14	1,09	0,14	1,08	0,14	1,13	0,15	1,45	0,14	0,99	0,12	1,23
		0,03	0,93	0,03	1,22	0,03	1,07	0,03	0,97	0,03	0,92	0,03	0,11
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
f <sub>vi</sub> [m <sup>2</sup> /s]		0,274	0,280	0,283	0,354	0,260	0,210						
v <sub>mi</sub> [m/s]		0,977	1,038	1,010	1,222	0,929	0,874						

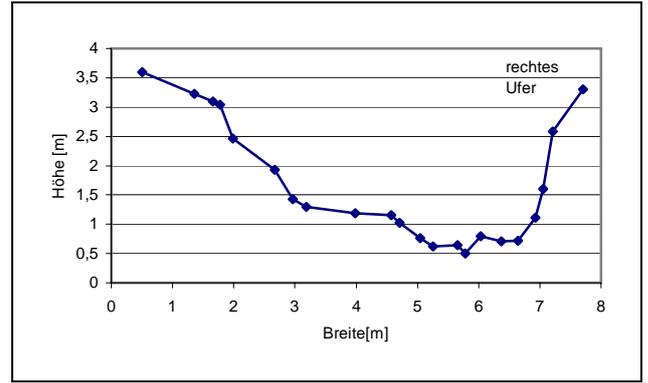
$$A = 1,736 \text{ m}^2$$

$$v_m = 1,025 \text{ m/s}$$

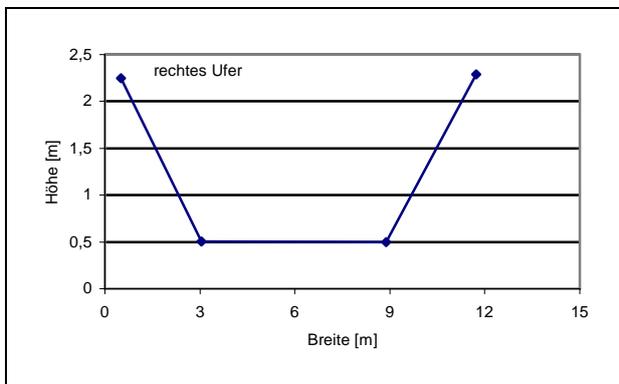
$$Q = 1,779 \text{ m}^3/\text{s} = 1779 \text{ l/s}$$



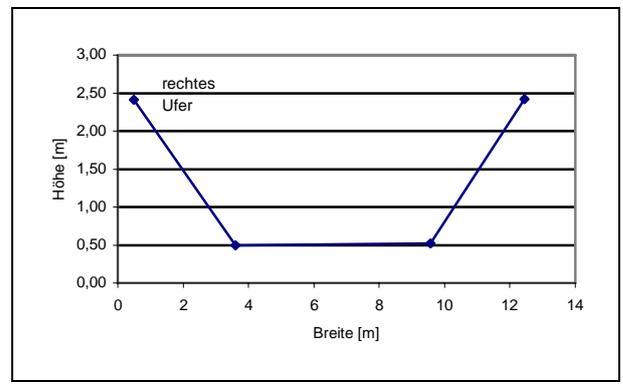
**Pegelprofil Bräualmbach**



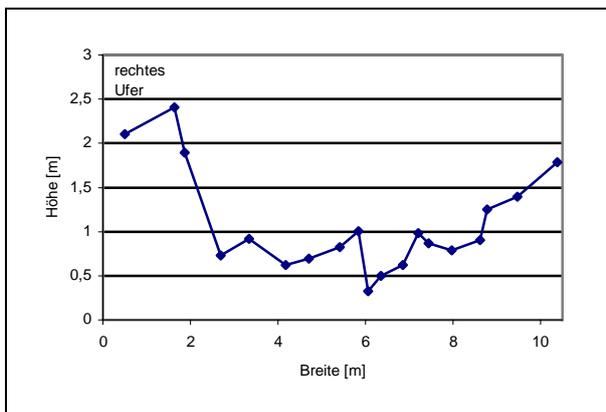
**Pegelprofil Plöschmitzbach**



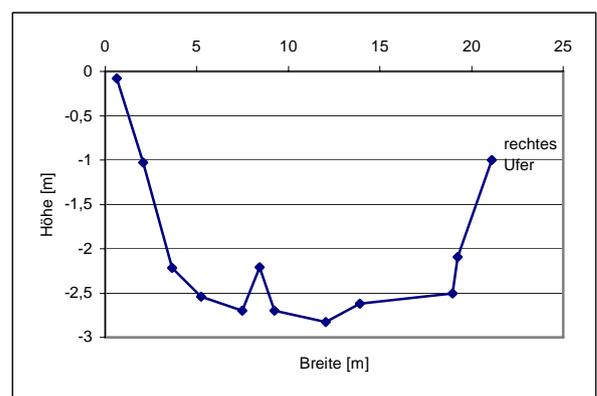
**Pegelprofil Hansenalmbach**



**Pegelprofil Seifriedbach**

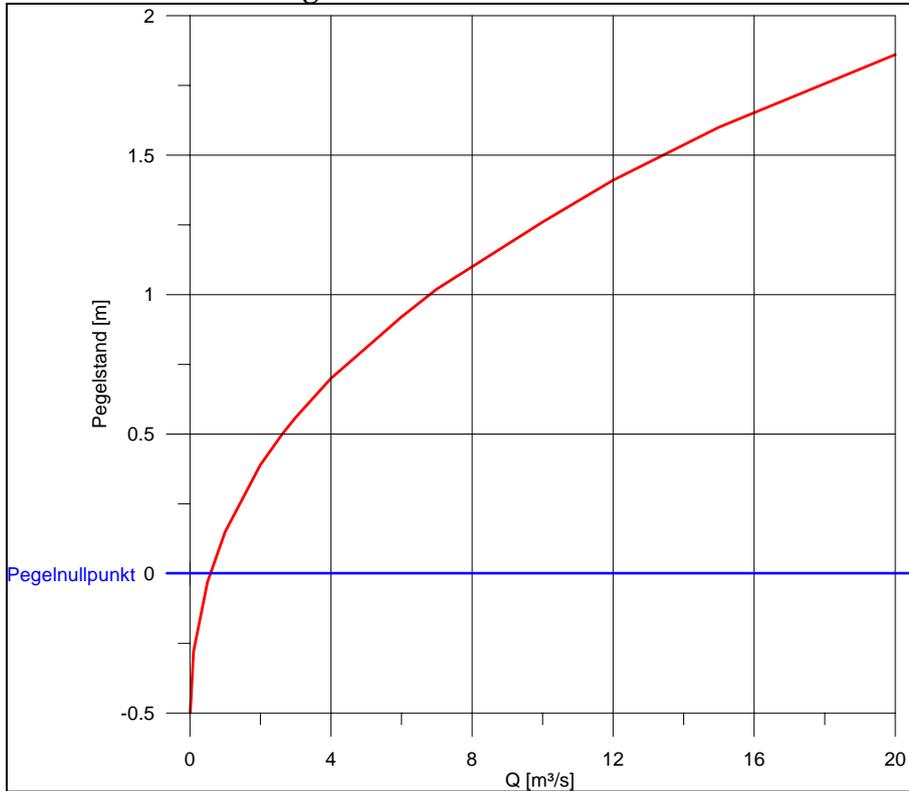


**Pegelprofil Mössnakarbach**



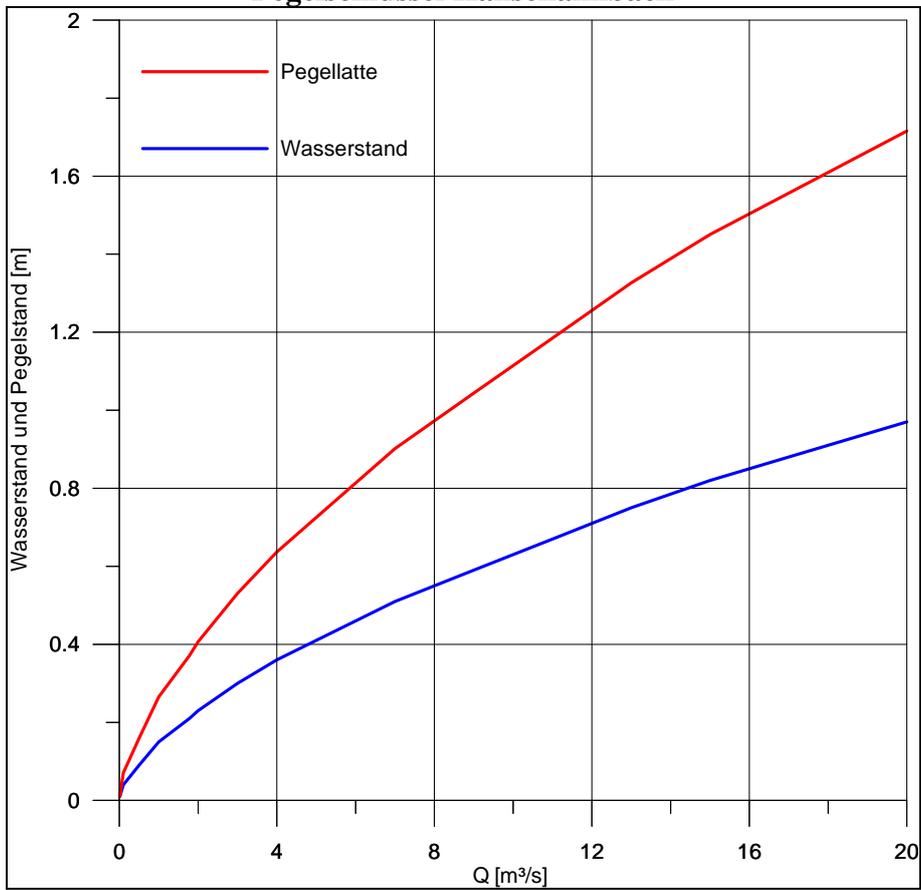
**Pegelprofil Ödwirt**

### Pegelschlüssel Bräualmbach



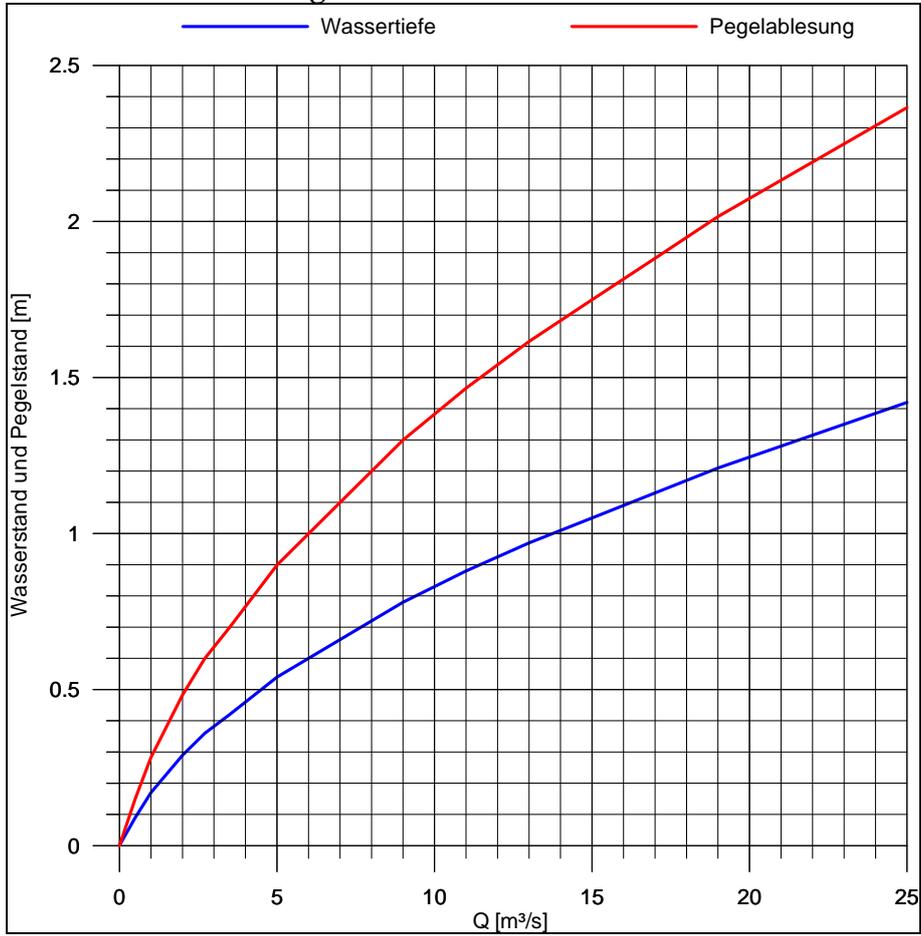
Bereich [m]	Pegelablesung [m]
-0,50 - 0,50	$Q = 3,0687x^2 + 2,5923x + 0,558$
0,50 - 1,86	$Q = 4,9178x^2 + 1,0908x + 0,8108$

### Pegelschlüssel Hansenalmbach



Bereich [m]	WSP [m]	Bereich [m]	Pegelablesung [m]
0.00 - 0.30	$Q = 7,727x^{1,4944}$	0.00 - 0.53	$Q = 22,607x^{1,6632}$
0,30 - 0,97	$Q = 8,3374x^{1,6021}$	0,53 - 1,72	$Q = 20,787x^{1,6021}$

### Pegelschlüssel Seifriedbach



**Pegelschlüssel**

$$y = 11,075x^{1,3443}$$

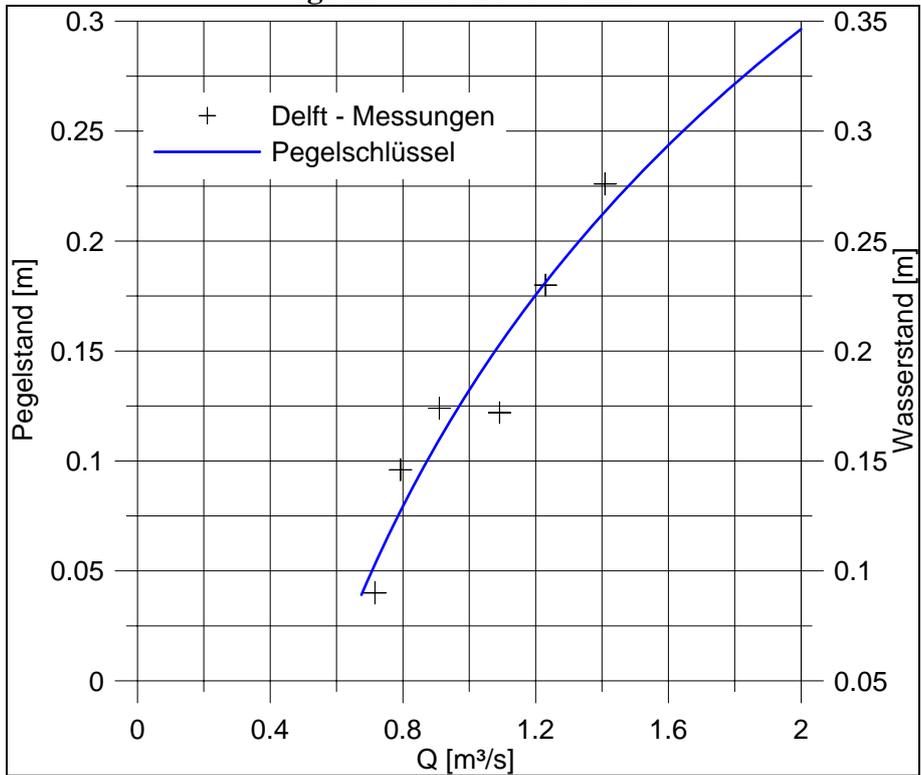
$$y = 13,822x^{1,6252}$$

**Wasserstand**

bis 0,4 m

von 0,4m bis 1,4m

### Pegelschlüssel Strickerbach



**Pegelschlüssel**

$$y = 0,2369 \cdot \ln(x) + 0,1322$$

## ANHANG 2

### Schwebstoffmessungen

SCHWEBSTOFFMESSUNG

Messstelle: Sölk

Datum	Uhrzeit	Proben- nummer	Abfluss	Entnahme- menge	Filter- nummer	Masse			Schweb- stoff- gehalt
						Filter	Filter+ Schwebst.	Schweb- stoff	
			m³/s	[l]		[g]	[g]	[g]	[g/m³]
06.6.2000	15:45	11	20,0	1,50	17	6,2	9,04	2,84	1893
06.6.2000	16:00	17	19,6	0,80	18	3,1	3,96	0,86	1075
06.6.2000	16:10	18	19,0	0,80	11	3,1	4,05	0,95	1188
04.8.2000	12:00	1	8,7	1,50	1	3,1	3,14	0,04	27
06.8.2002	9:25	2	21,0	0,80	2	3,1	3,34	0,24	300
08.8.2000	19:00	4	8,2	1,50	4	3,1	3,34	0,24	160
08.8.2000	20:00	1	8,0	1,50	1	6,2	6,42	0,22	147
09.8.2000	20:00	2	7,7	1,50	2	3,1	3,30	0,2	133
10.8.2000	20:00	3	6,9	1,50	3	3,1	3,10	0	0
12.8.2000	20:00	4	9,2	1,50	4	6,2	6,49	0,29	193
13.8.2000	20:00	5	6,7	1,50	5	3,1	3,21	0,11	73
14.8.2000	20:00	6	5,8	1,50	6	6,2	6,18	-0,02	0
15.8.2000	20:00	7	5,0	1,50	7	6,2	6,32	0,12	80
16.8.2000	20:00	8	5,0	1,50	8	6,2	6,39	0,19	127
17.8.2000	20:00	9	5,0	1,50	9	3,1	3,07	-0,03	0
21.8.2000	20:00	10	5,0	1,50	10	3,1	3,11	0,01	7
22.8.2000	20:00	11	4,7	1,50	11	3,1	3,13	0,03	20
24.8.2000	20:00	12	4,5	1,50	12	3,1	3,08	-0,02	0
25.8.2000	20:00	13	4,2	1,50	13	3,1	3,11	0,01	7
27.8.2000	20:00	14	4,1	1,50	14	3,1	3,41	0,31	207
28.8.2000	20:00	15	4,8	1,50	15	3,1	3,08	-0,02	0
29.8.2000	20:00	16	4,0	1,50	16	3,1	3,45	0,35	233
30.8.2000	19:00	17	3,9	1,50	17	3,1	3,15	0,05	33
31.8.2000	20:00	18	4,7	1,50	18	3,1	3,25	0,15	100
01.9.2000	20:00	19	6,2	1,50	19	3,1	3,20	0,1	67
02.9.2000	19:00	20	5,2	1,50	20	3,1	3,12	0,02	13
03.9.2000	19:00	1	5,5	1,50	1	3,1	3,36	0,26	173
04.9.2000	19:00	2	5,3	1,50	2	3,1	3,29	0,19	127
05.9.2000	19:00	3	5,3	1,50	3	3,1	3,15	0,05	33
06.9.2000	19:00	4	5,5	1,50	4	3,1	3,28	0,18	120
07.9.2000	19:00	5	6,1	1,50	5	3,1	3,22	0,12	80
08.9.2000	19:00	6	5,6	1,50	6	3,1	3,35	0,25	167
09.9.2000	19:00	7	4,9	1,50	7	3,1	3,65	0,55	367
10.9.2000	19:00	8	4,7	1,50	8	3,1	3,36	0,26	173
11.9.2000	19:00	9	4,5	1,50	9	3,1	3,21	0,11	73
12.9.2000	13:00	10	4,5	1,50	10	3,1	3,16	0,06	40
20.9.2000	13:00	10	4,5	1,50	10	3,1	3,16	0,06	40
20.9.2000	14:00	10	4,7	1,50	10	3,1	3,16	0,06	40
12.10.2000	15:50	1	22,7	0,80	1	3,1	3,46	0,36	450
12.10.2000	17:05	2	26,8	0,80	2	3,1	3,34	0,24	300
12.10.2000	17:50	3	26,9	0,80	3	3,1	3,46	0,36	450
12.10.2000	18:35	4	26,1	0,80	4	3,1	3,34	0,24	300
12.10.2000	19:25	5	26,9	0,80	5	3,1	3,32	0,22	275
12.10.2000	20:15	6	26,6	0,80	6	3,1	3,31	0,21	263
12.10.2000	21:00	7	27,8	0,80	7	3,1	3,62	0,52	650
12.10.2000	21:45	8	24,5	0,80	8	3,1	3,57	0,47	588
12.10.2000	22:45	9	24,0	0,80	9	3,1	3,33	0,23	288
12.10.2000	23:50	10	22,4	0,95	10	3,1	3,41	0,31	326
13.10.2000	1:10	11	23,1	0,80	11	3,1	3,52	0,42	525
04.12.2000	11:05	19	4,5	1,05	19	3,1	3,29	0,19	181
04.12.2000	11:05	20	4,5	1,05	20	3,1	3,29	0,19	181
?	?	?	8,4	1,50	?	3,1	3,23	0,13	87

**SCHWEBSTOFFMESSUNG Schneeschmelze**

Messstelle: Großsölk, Pegel Ödwirt

Messstellenbetreiber: IWHW

Datum	Uhrzeit	Probennummer	Abfluss	Entnahmemenge	Filternummer	Masse			Cs
						Filter	Filter + Schwebstoff	Schwebstoff	
			[m³/s]	[l]		[g]	[g]	[g]	[g/m³]
26.04.2000	19:55	1	22,6	0,8	1	3,01	3,30	0,29	363
27.04.2000	15:00	2	24,5	0,8	2	3,01	3,15	0,14	175
27.04.2000	16:30	3	24,6	0,8	3	3,01	3,08	0,07	88
27.04.2000	17:40	4	23,9	0,8	4	3,01	3,42	0,41	513
27.04.2000	18:40	5	26,2	0,8	5	3,01	3,17	0,16	200
27.04.2000	20:40	6	23,9	0,8	6	3,01	3,41	0,40	500
27.04.2000	21:55	7	22,9	0,8	7	3,01	3,05	0,04	50
27.04.2000	23:45	8	22	0,8	8	3,01	3,41	0,40	500
28.04.2000	03:35	9	21,8	0,8	9	3,01	3,07	0,06	75
28.04.2000	14:30	10	24,3	0,8	10	3,01	3,04	0,03	38
28.04.2000	16:15	11	25,3	0,8	11	3,01	3,17	0,16	200
28.04.2000	17:30	12	25,9	0,8	12	3,01	3,26	0,25	313
28.04.2000	18:45	13	25,2	0,8	13	3,01	3,08	0,07	88
28.04.2000	19:50	14	26,7	0,8	14	3,01	3,11	0,10	125
28.04.2000	20:50	15	24,4	0,8	15	3,01	3,41	0,40	500
28.04.2000	21:55	16	23,9	0,8	16	3,01	3,11	0,10	125
28.04.2000	23:00	17	22,8	0,8	17	3,01	3,26	0,25	313
29.04.2000	00:10	18	24,6	0,8	18	3,01	3,36	0,35	438
29.04.2000	01:35	19	20,6	0,8	19	3,01	3,08	0,07	88
29.04.2000	03:00	20	21,8	0,8	20	3,01	3,14	0,13	163

**SCHWEBSTOFFMESSUNG**

Messstelle: Bräualmbach

Datum	Uhrzeit	Probennummer	Wasserstand	Entnahmemenge	Filternr.:	Masse			Schwebstoffgehalt
						Filter	Filter+ Schwebst.	Schwebstoff	
			[cm]	[l]		[g]	[g]	[g]	[g/m³]
10.08.2000	17:00	13	40	1,5	13	3,1	3,35	0,25	167
22.08.2000	14:50	7	29	1,5	7	3,1	3,31	0,21	140
23.08.2000	12:00	1	30	1,5	1	3,1	3,31	0,21	140
24.08.2000	12:00	2	25	1,5	2	3,1	3,35	0,25	167
25.08.2000	12:00	3	25	1,5	3	3,1	3,42	0,32	213
26.08.2000	12:00	4	25	1,5	4	3,1	3,42	0,32	213
27.08.2000	12:00	5	25	1,5	5	3,1	3,64	0,54	360
28.08.2000	12:00	6	25	1,5	6	3,1	3,71	0,61	407
29.08.2000	12:00	7	25	1,5	7	3,1	3,33	0,23	153
30.08.2000	12:00	8	25	1,5	8	3,1	3,32	0,22	147
31.08.2000	12:00	9	30	1,5	9	3,1	3,28	0,18	120
01.09.2000	12:00	10	40	1,5	10	3,1	3,36	0,26	173

## SCHWEBSTOFFMESSUNG

M = Mössnakarbach

S = Seifriedbach

Z = nach Mischung

Messstelle: Mössnakarbach/Seifriedbach

Datum	Uhrzeit	Proben- nummer	Wasser- stand	Entnahme- menge	Filternr.:	Masse			Schweb- stoff- gehalt
						Filter	Filter+ Schwebst.	Schweb- stoff	
			[cm]	[l]		[g]	[g]	[g]	[g/m <sup>3</sup> ]
5.6.00	18:00	M14	22	1,5	14	3,1	3,2	0,1	67
5.6.00	18:00	S13	-	1,5	13	3,1	3,07	-0,03	0
5.6.00	18:00	Z15	14	1,5	15	3,1	3,24	0,14	93
26.7.00	12:30	M1	7	1,5	1	3,1	3,24	0,14	93
26.7.00	12:30	S2	-	1,5	2	3,1	3,19	0,09	60
26.7.00	12:30	Z3	14	1,5	3	3,1	3,14	0,04	27
26.7.00	13:30	M4	7	1,5	4	3,1	3,43	0,33	220
26.7.00	13:30	S5	-	1,5	5	3,1	3,26	0,16	107
26.7.00	13:30	Z6	14	1,5	6	3,1	3,11	0,01	7
26.7.00	14:30	M7	7	1,5	7	3,1	3,16	0,06	40
26.7.00	14:30	S8	-	1,5	8	3,1	3,03	-0,07	0
26.7.00	14:30	Z9	14	1,5	9	3,1	3,38	0,28	187
26.7.00	15:30	M10	7	1,5	10	3,1	3,66	0,56	373
26.7.00	15:30	S11	-	1,5	11	3,1	3,27	0,17	113
26.7.00	15:30	Z12	14	1,5	12	3,1	3,1	0	0
26.7.00	16:30	M13	6	1,5	13	3,1	3,6	0,5	333
26.7.00	16:30	S14	14	1,5	14	3,1	3,11	0,01	7
26.7.00	16:30	Z15	15	1,5	15	3,1	3,4	0,3	200
26.7.00	17:30	M16	6	1,5	16	3,1	3,28	0,18	120
26.7.00	17:30	S17	-	1,5	17	3,1	3,14	0,04	27
26.7.00	17:30	Z18	15	1,5	18	3,1	3,12	0,02	13
27.7.00	08:30	M19	5	1,5	19	3,1	3,2	0,1	67
27.7.00	08:30	S20	-	1,5	20	3,1	3,17	0,07	47
27.7.00	08:30	Z21	14	1,5	21	3,1	3,15	0,05	33
10.8.00	15:00	M12	12	1,5	12	6,2	6,56	0,36	240
22.8.00	15:00	M4	0	1,5	4	6,2	6,43	0,23	153
22.8.00	14:40	S	11	1,5	S	3,1	3,16	0,06	40
Längsprofil Mössnakarbach		M1		1,5	M1	3,1	3,08	-0,02	0
		M2		1,5	M2	3,1	3,01	-0,09	0
		M3		1,5	M3	3,1	3,1	0	0
		M4		1,5	M4	3,1	3,32	0,22	147
		M5		1,5	M5	3,1	3,02	-0,08	0
		M6		1,5	M6	6,2	6,33	0,13	87
		M7		1,5	M7	3,1	3,33	0,23	153
		M8		1,5	M8	6,2	6,64	0,44	293
		M9		1,5	M9	3,1	3,22	0,12	80
		M10		1,5	M10	3,1	3,17	0,07	47

SCHWEBSTOFFMESSUNG									
Messstelle: Seifriedbach									
Datum	Uhrzeit	Proben- nummer	Wasser- stand	Entnahme- menge	Filternr.:	Masse			Schweb- stoff- gehalt
						Filter	Filter+ Schwebst.	Schweb- stoff	
			[cm]	[l]		[g]	[g]	[g]	[g/m <sup>3</sup> ]
06.6.2000	16:00	1	50	1,5	1	3,1	3,5	0,4	267
06.6.2000	16:35	2	70	1,5	2	6,2	8,57	2,37	1580
06.6.2000	17:15	3	70	1,5	3	3,1	4,05	0,95	633
06.6.2000	18:00	4	50	1,5	4	6,2	6,57	0,37	247
22.8.2000	18:00	5	10	1,5	5	3,1	3,37	0,27	180
23.8.2000	18:00	6	10	1,5	6	3,1	3,4	0,3	200
24.8.2000	18:00	7	10	1,5	7	3,1	3,32	0,22	147
25.8.2000	18:00	8	10	1,5	8	3,1	3,31	0,21	140
26.8.2000	18:00	9	10	1,5	9	3,1	3,52	0,42	280
27.8.2000	18:00	10	10	1,5	10	3,1	3,69	0,59	393
28.8.2000	18:00	11	10	1,5	11	3,1	3,39	0,29	193
29.8.2000	18:00	12	10	1,5	12	3,1	3,52	0,42	280
30.8.2000	18:00	13	10	1,5	13	3,1	3,38	0,28	187
31.8.2000	18:00	14	20	1,5	14	3,1	4,31	1,21	807
31.8.2000	19:00	15	20	1,5	15	3,1	3,75	0,65	433
31.8.2000	20:00	16	10	1,5	16	3,1	3,53	0,43	287
Längsprofil Seifriedbach		s1		1,5	s1	3,1	3,1	0	0
		s2		1,5	s2	3,1	3,43	0,33	220
		s3		1,5	s3	3,1	3,1	0	0
		s4		1,5	s4	3,1	3,41	0,31	207
		s5		1,5	s5	3,1	3,1	0	0
		s6		1,5	s6	3,1	3,26	0,16	107
		s7		1,5	s7	3,1	3,01	-0,09	0
		s8		1,5	s8	3,1	3,25	0,15	100
		s9		1,5	s9	3,1	3,05	-0,05	0
16.9.2000	17:30	17	0,2	1,5	17	3,1	7,31	4,3	2867
16.9.2000	18:15	18	0,5	1,5	18	3,1	5,61	2,6	1733
16.9.2000	19:00	19	0,8	1,5	19	3,1	4,83	1,82	1213
16.9.2000	19:45	20	0,6	1,5	20	3,1	3,66	0,65	433
16.9.2000	20:30	21	0,5	1,5	21	3,1	3,52	0,51	340

SCHWEBSTOFFMESSUNG									
Messstelle: Hansenalmbach									
Datum	Uhrzeit	Proben- nummer	Pegel stand	Entnahme- menge	Filternr.:	Masse			Schweb- stoff- gehalt
						Filter	Filter+ Schwebst.	Schweb- stoff	
			[cm]	[l]		[g]	[g]	[g]	[g/m <sup>3</sup> ]
10.08.2000	16:00	12	24	1,5	12	3,1	3,27	0,17	113,33
22.08.2000	14:45	6	18	1,5	6	3,1	3,33	0,23	153,33
23.08.2000	12:00	1	20	1,5	1	3,1	3,43	0,33	220,00
24.08.2000	12:00	2	15	1,5	2	3,1	3,3	0,2	133,33
25.08.2000	12:00	3	15	1,5	3	3,1	3,42	0,32	213,33
26.08.2000	12:00	4	10	1,5	4	3,1	3,36	0,26	173,33
27.08.2000	12:00	5	10	1,5	5	3,1	3,74	0,64	426,67
28.08.2000	12:00	6	15	1,5	6	3,1	3,28	0,18	120,00
29.08.2000	12:15	7	15	1,5	7	6,2	6,97	0,77	513,33
30.08.2000	12:00	8	15	1,5	8	3,1	3,42	0,32	213,33
31.08.2000	12:00	9	15	1,5	9	3,1	3,32	0,22	146,67
01.09.2000	12:00	10	25	1,5	10	3,1	3,19	0,09	60,00

SCHWEBSTOFFMESSUNG									
Messstelle: Plöschmitzbach									
Datum	Uhrzeit	Proben- nummer	Pegel- stand	Entnahme- menge	Filternr.:	Masse			Schweb- stoff- gehalt
						Filter	Filter+ Schwebst.	Schweb- stoff	
			[cm]	[l]		[g]	[g]	[g]	[g/m <sup>3</sup> ]
06.06.2000	15:45	1	65,00	1,50	1	9,3	17,03	7,73	5153
06.06.2000	16:15	2	60,00	1,50	2	9,3	21,43	12,13	8087
06.06.2000	16:45	3	55,00	1,50	3	9,3	17,28	7,98	5320
06.06.2000	17:15	4	50,00	1,50	4	9,3	19,04	9,74	6493
10.08.2000	17:15	14	-5,00	1,50	14	3,1	3,29	0,19	127
01.09.2000	13:00	1	-5,00	1,50	1	3,1	3,41	0,31	207
02.09.2000	13:00	2	-5,00	1,50	2	3,1	3,57	0,47	313
03.09.2000	13:00	3	-5,00	1,50	3	3,1	3,51	0,41	273
04.09.2000	13:00	4	-5,00	1,50	4	3,1	3,29	0,19	127
05.09.2000	13:00	5	-5,00	1,50	5	3,1	3,44	0,34	227
06.09.2000	13:00	6	-5,00	1,50	6	3,1	3,25	0,15	100
07.09.2000	13:00	7	-5,00	1,50	7	3,1	3,12	0,02	13
08.09.2000	19:00	8	-5,00	1,50	8	3,1	3,22	0,12	80
09.09.2000	13:00	9	-5,00	1,50	9	6,2	6,54	0,34	227
10.09.2000	19:00	10	-5,00	1,50	10	3,1	3,25	0,15	100
16.09.2000	18:00	11	0,00	1,50	11	3,1	3,52	0,42	280

SCHWEBSTOFFMESSUNG									
Messstelle: Strickerbach									
Datum	Uhrzeit	Proben- nummer	Wasser- stand	Entnahme- menge	Abfluss	Masse			Schwebst.- gehalt
						Filter	Filter+ Schwebst.	Schweb- stoff	
			[cm]	[l]		[g]	[g]	[g]	[g/m <sup>3</sup> ]
22.08.2000	19:00	1	95	1,5	0,87	3,1	3,21	0,11	73
23.08.2000	19:00	2	95	1,5	0,87	3,1	3,22	0,12	80
24.08.2000	19:00	3	90	1,5	0,85	3,1	3,27	0,17	113
25.08.2000	19:00	4	86	1,5	0,84	3,1	3,43	0,33	220
26.08.2000	19:00	5	85	1,5	0,84	3,1	3,22	0,12	80
27.08.2000	19:00	6	88	1,5	0,85	3,1	3,38	0,28	187
28.08.2000	20:00	7	92	1,5	0,86	3,1	3,24	0,14	93
29.08.2000	18:00	8	85	1,5	0,84	3,1	3,28	0,18	120
30.08.2000	19:00	9	86	1,5	0,84	3,1	3,21	0,11	73
31.08.2000	19:15	10	95	1,5	0,87	3,1	3,31	0,21	140
?	?	?	40	1,5	0,70	3,1	3,09	0,08	53

MESSPROTOKOLL SCHWEBSTOFFLÄNGSPROFIL									
Messstelle: HANSENALMBACH									
Datum	Uhrzeit	Proben- nummer	Wasser- stand	Entnahme- menge	Filter- Nr.:	Masse			Schweb- stoff- gehalt
						Filter	Filter+ Schwebst.	Schweb- stoff	
			[cm]	[l]		[g]	[g]	[g]	[g/m <sup>3</sup> ]
3.10.00	10:25	10	60,00	1,50		3,1	3,23	0,22	147
Messstellenbeschreibung:				Brücke St.Nikolai					
3.10.00	10:31	4		1,50		3,1	3,16	0,15	100
Messstellenbeschreibung:				Wildbachsperre					
3.10.00	10:39	6		1,50		3,1	3,12	0,11	73
Messstellenbeschreibung:				Passstrasse km 22,6					
3.10.00	10:45	8		1,50		3,1	3,15	0,14	93
Messstellenbeschreibung:				Jausenstation Maier					
3.10.00	10:50	7		1,50		3,1	3,17	0,16	107
Messstellenbeschreibung:				Nebenstrasse km 23,8					
3.10.00	10:56	9		1,50		3,1	3,48	0,47	313
Messstellenbeschreibung:				Nebenstrasse km 25,1 (Furt)					
3.10.00	11:05	5		1,50		3,1	3,09	0,08	53
Messstellenbeschreibung:				Winkelalmbrücke					

## Trübungssonden - Kalibrierungen

<b>Walchenbach</b>		<b>10 l Leitungswasser</b>	
Schwebstoff[g]	FNU	Schwebstoff[g/l]	
0	1,5		0
1	2,3		0,1
2	5,4		0,2
3	7,9		0,3
4	13		0,4
5	18		0,5
10	25		1
15	35		1,5
20	44		2
25	54		2,5
30	78		3
35	118		3,5
50	170		5
75	260		7,5
100	330		10
125	550		12,5
150	660		15
175	750		17,5
200	795		20

<b>Kleinsölk</b>		<b>10 l aqua dest.</b>	
Schwebstoff[g]	FNU	Schwebstoff[g/l]	
0	0,333		0,0001
1	5,07		0,1
2	18,5		0,2
3	12,3		0,3
5	20,5		0,5
10	26,5		1
15	33,3		1,5
20	49,5		2
25	74		2,5
30	74,5		3
35	84,5		3,5
50	102,5		5
75	129,5		7,5
100	164		10
125	200		12,5
150	209		15
175	240		17,5
200	260		20
250	300		25

<b>Donnersbach</b>		<b>10 l Leitungswasser</b>	
Schwebstoff [g]	FNU	Schwebstoff [g/l]	
0	0		0
1	1		0,1
2	11		0,2
3	10,5		0,3
4	14		0,4
5	45		0,5
10	33		1
15	70		1,5
20	65		2
25	67		2,5
30	76		3
35	89		3,5
50	105		5
75	131		7,5
100	197		10
125	240		12,5
150	277		15
175	311		17,5
200	348		20
250	400		25



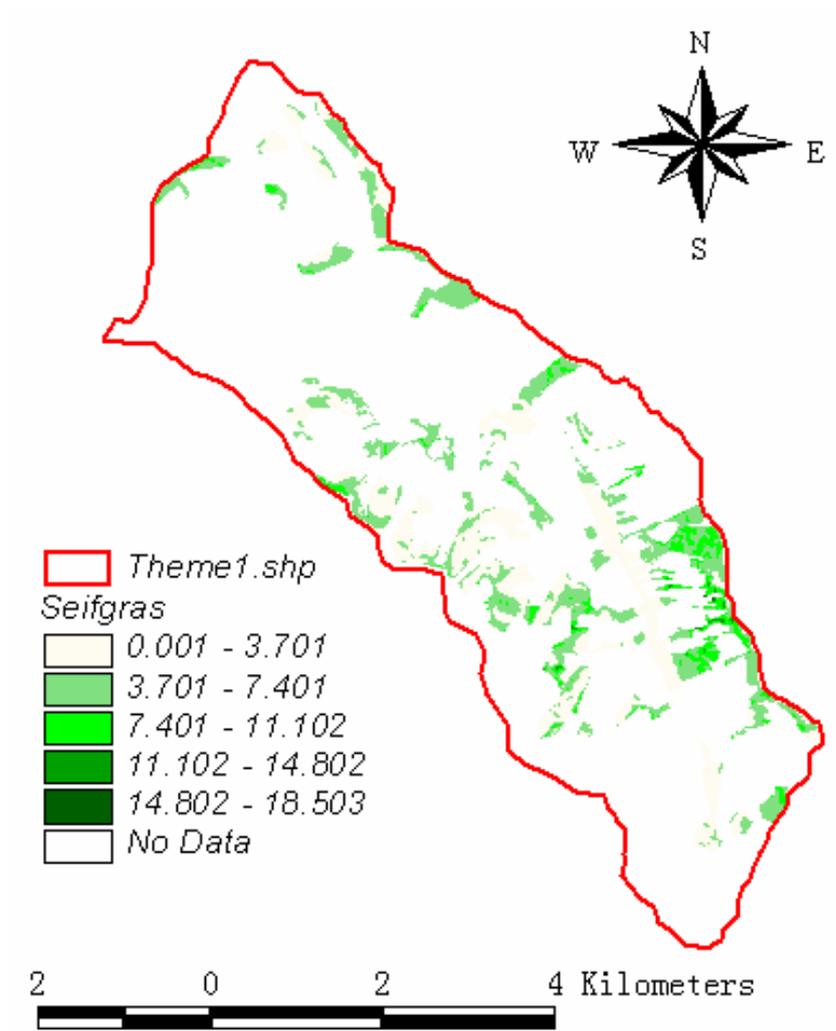




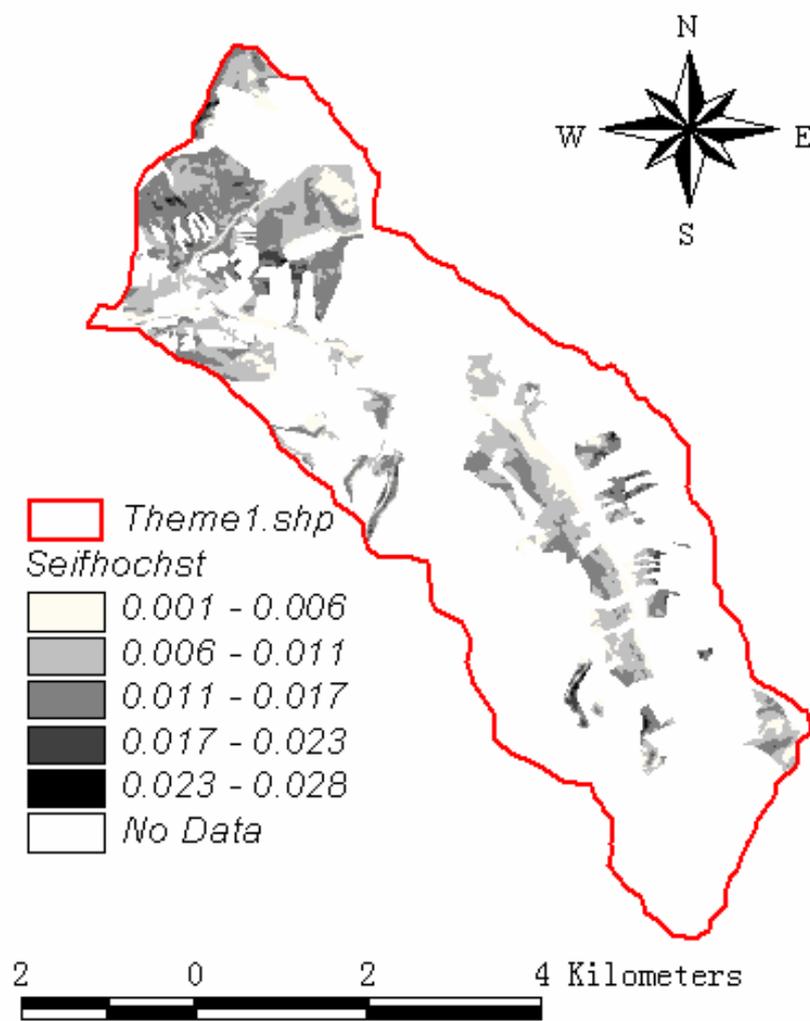


### Anhang 3

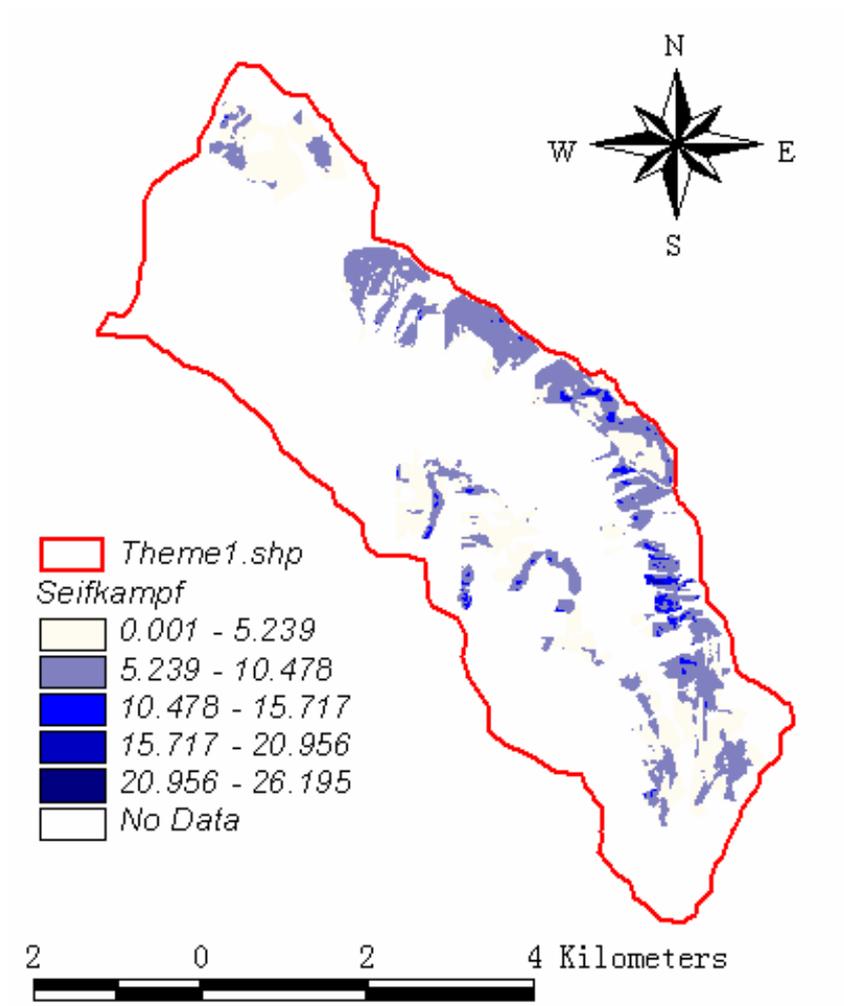
Getrennte Darstellung der der Bodenabtragsraten für das Niederschlagsereignis am 16.9.2000 im Seifriedtal (Dimensionen: [kg/625m<sup>2</sup>]).



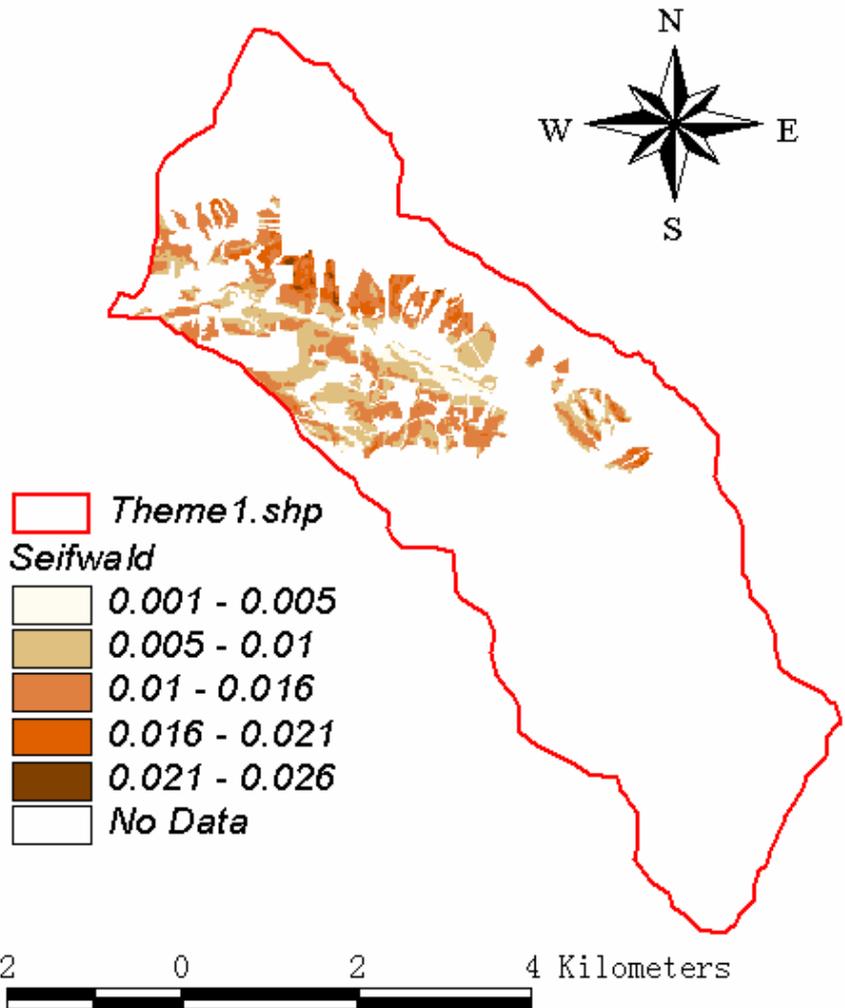
Landnutzungstyp Grasfluren



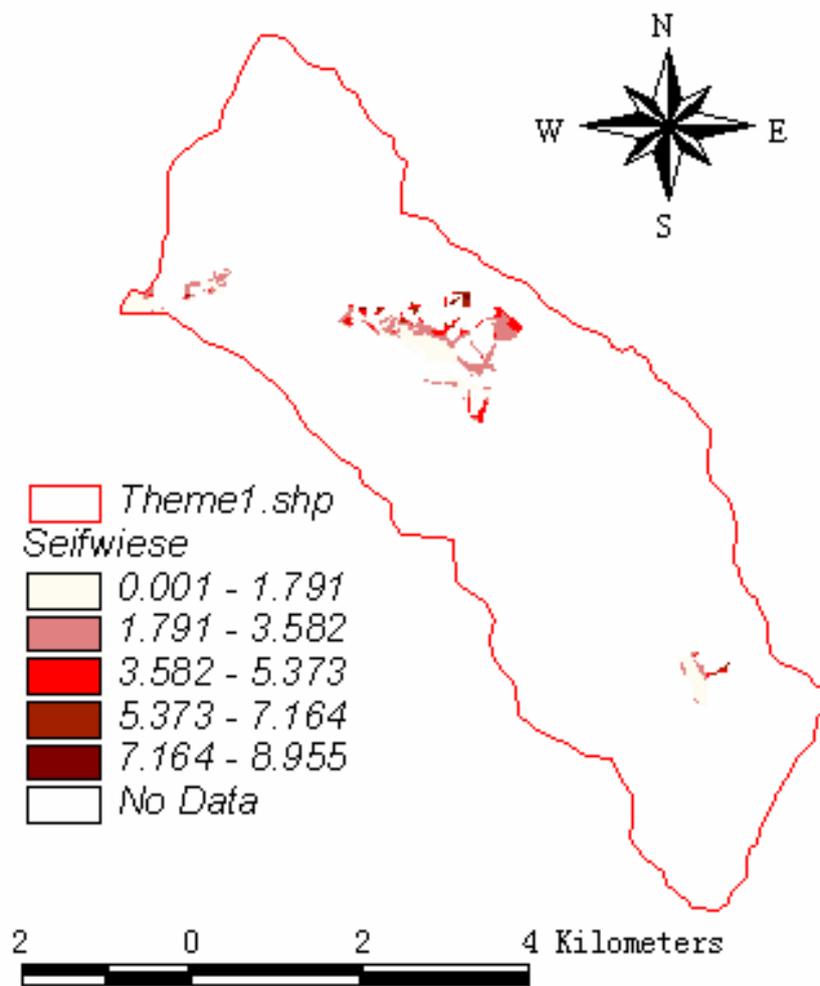
Landnutzungstyp Hochstauden



Landnutzungstyp Kampzone



Landnutzungstyp Wald



Landnutzungstyp Wiese