

# Auswirkungen des Schwellbetriebes auf die aquatische und terrestrische Fauna in ufernahen Bereichen<sup>1</sup>.

## Teilbereich Methodik, Abiotik

*Christian Moritz\*, Rüdiger Kaufmann\*\**

\* ARGE Limnologie, Innsbruck

\*\* Universität Innsbruck, Institut für Zoologie und Limnologie, Innsbruck

### 1. Einleitung

Von den größeren Flüssen Österreichs sind die meisten in ihrem Abflussregime durch die Wasserkraftnutzung beeinflusst. Einen wesentlichen Eingriff stellen dabei kurzfristige Abflussschwankungen durch den Schwellbetrieb größerer Kraftwerksanlagen dar. Die negativen Auswirkungen auf die aquatische Fauna sind bereits in zahlreichen Arbeiten dokumentiert, die grundsätzlichen Schädigungsmechanismen von Schwall und Sunk sind beispielsweise in Moog (1993) aufgelistet. Bisher vorliegende limnologische Untersuchungen beschäftigen sich jedoch fast ausschließlich mit den Schwallauswirkungen in tiefergelegenen Bereichen des Flussbettes. Auf die Beeinträchtigung der trockenfallenden Uferbereiche und ufernaher Randbereiche im Gewässer wird zwar manchmal verwiesen, es finden sich jedoch kaum einmal Angaben, in welchem Ausmaß dort Schädigungen erfolgen.

Neben den aquatischen Lebensräumen werden bei der Beurteilung eines Schwellbetriebes etwa in naturschutzrechtlichen Verfahren auch die Auswirkungen auf die hochspezialisierte terrestrische Uferfauna berücksichtigt. Diesbezüglich gab es aber noch keine genaueren Befunde über derartige Zusammenhänge, keine einzige Untersuchung beschäftigte sich mit diesem Aspekt.

Im Zeitraum Herbst 1999 – Spätwinter 2001 wurde daher eine von der Abteilung Umweltschutz des Amtes der Tiroler Landesregierung finanzierte Studie durchgeführt, um diese Wissenslücken zu schließen (Moritz et al. 2001). Zielsetzung war die Dokumentation der Schädigung der aquatischen und terrestrischen Fauna im Einflussbereich der wechselfeuchten Zonen zwischen Schwall und Sunk.

In der vorliegenden Teildarstellung wird zuerst die Gesamtkonzeption des Projektes kurz vorgestellt, bevor näher auf die Ergebnisse der abiotischen Parameter eingegangen wird. Die biologischen Befunde werden in 2 weiteren Teilen des vorliegenden Tagungsbandes zusammengefasst (Moritz & Pfister, Schatz et al.)

---

<sup>1</sup> Studie im Auftrag der Abteilung Umweltschutz des Amtes der Tiroler Landesregierung

### 2.1 Allgemeines

Die Verhältnisse in **schwallbeeinflussten Flussabschnitten** (Inn Pettnau, Lech Weisshaus) wurden einer geeigneten **Referenzsituation** (Lech Johannesbrücke) gegenübergestellt. Der Einfluss des Flussprofils wurde erfasst, indem **jeweils ein flacher und ein steilerer Bereich** einer geeigneten Schotterbank vergleichend untersucht wurden.

Bei den biologischen Parametern erfolgten die Untersuchungen **mehrmals in charakteristischen Zeiten**, um den ausgeprägten Entwicklungszyklen der Organismengemeinschaften und allfällige jahreszeitlich unterschiedliche Schwallauswirkungen zu erfassen.

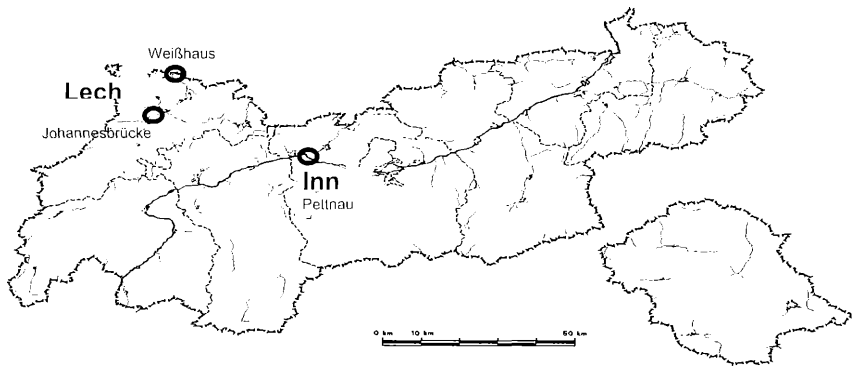


Abb. 11: Überblick: Lage der Untersuchungsabschnitte am Inn und Lech.

Generell erfolgte die Untersuchung aller Parameter **entlang von Querprofilen** von den höhergelegenen Landzonen in Richtung Flussmitte, um mögliche Schädigungsgradienten in den schwallbeeinflussten Zonen möglichst gut zu erfassen.

Eine Grundvoraussetzung war die möglichst gute Verknüpfung und Darstellung des räumlichen Zusammenhanges zwischen den abiotischen Rahmenbedingungen (Wasseranschlagslinien bei verschiedenen Wasserständen etc.) und den biologischen Daten. Die Untersuchungsstrecken und einzelnen Probenpunkte wurden daher genau **vermessen**, in einem geografischen Informationssystem (**GIS**; verwendet wurde ARC-View 3.1) erfasst und weiterbearbeitet.

Zusammenfassend wurden die folgenden Untersuchungsblöcke bearbeitet:

### **Abiotik**

Vermessung der Untersuchungsstrecken  
Kartierung Strömungsmuster und Korngrößen, Uferlinien bei unterschiedlichen Durchflüssen  
Sedimentstruktur, Versandung  
Registrierung abiotischer Parameter Terrestrik (Feuchte, T)

### **Biotik**

Bodenfauna  
Aufwuchsalgen  
Semi-/terrestrische Arthropoden  
Ergänzende Aspekte (Embryonalentwicklung Fische)

## 2.2 Korngrößen, Siebanalysen

Mit den Sedimentuntersuchungen sollten vor allem die unmittelbar für die Zönosen wirksamen Parameter erfaßt werden. Es wurden verschiedene Vorgangsweisen angewandt:

Linienzahlanalysen (Anastasi 1984; Fehr 1987) im trockenen Bereich der untersuchten Schotterbänke.

- Siebanalysen aus Zoobenthosproben und Vibert-Kästen

Für die statistische Auswertung der Siebanalysen wurden gleich wie beim Zoobenthos verschiedene Strata (mehrere Parallelproben in vergleichbarer Entfernung von der Uferlinie) gebildet. Feinste Partikel (kleiner 0,1 mm) wurden nicht mehr quantitativ erfaßt. Die getrockneten Sedimente wurden maschinell gesiebt. Die Maschenweite der Siebe richtet sich nach der in der Sedimentologie gebräuchlichen Phi-Skala, die den negativen 2er-Logarithmus der Korngröße in mm darstellt.

## 2.3 Registrierung abiotischer Parameter (Feuchte, Temperatur, Wasserstand)

An den Untersuchungsabschnitten am Lech und Inn wurden jeweils **Pegelmessstellen** sowohl zur Erfassung des Grundwasserstandes als auch des Wasserspiegels der fließenden Welle eingerichtet.

Grundwasserpegel wurden mindestens 4 m tief (in jedem Fall unter die Höhe des Niederwasserspiegels) eingeschlagen, der 2 m über die Oberfläche ragende Teil wurde zum Schutz vor Geschiebe und Treibgut mit einem kräftigen Schutzrohr ummantelt. An allen Pegeln wurde zusätzlich die Wassertemperatur gemessen, eine Messstelle je Standort registrierte außerdem Klimadaten (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Globalstrahlung) zur groben Beurteilung von Wärmeflussbilanzen.

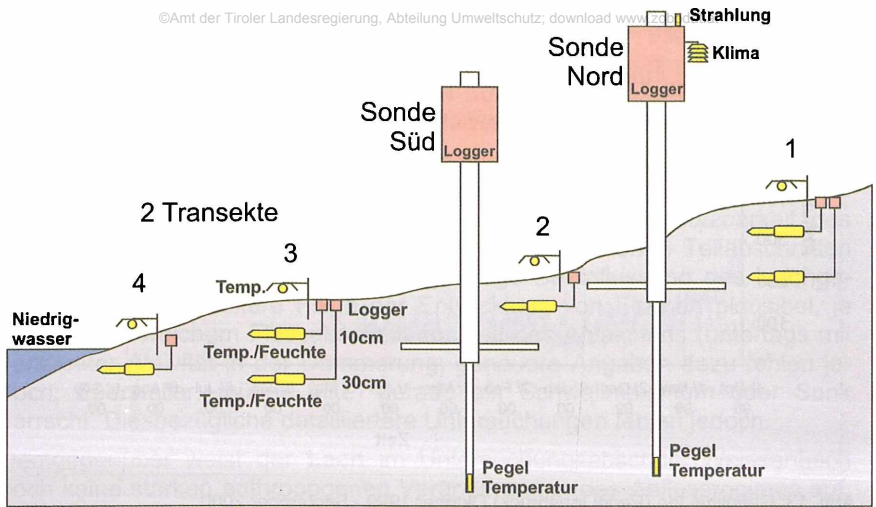


Abb. 12: Schema der Registrierung abiotischer Parameter am Beispiel Inn/Pettnau.

Ebenfalls an beiden Flüssen wurden je zwei quer zur Fließrichtung verlaufende **Messprofile** zur Erfassung der Temperatur und Feuchtigkeit des Untergrundes eingerichtet. Sie bestanden aus je 4 Messstellen in gleichmäßigen Abständen. Diese wurden jeweils mit Temperatur/Bodenfeuchte-Sensoren in 10 cm Tiefe bestückt, 2 davon erhielten weitere Sensoren in 30 cm Tiefe und eine Registrierung der bodennahen Lufttemperatur.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Abflussgeschehen

Auffallend ist am **Inn** die starke anthropogene Überformung des Jahresganges durch die energiewirtschaftliche Nutzung. Insbesondere im Winterhalbjahr von Mitte Oktober bis Mitte April sind die täglichen Abflussschwankungen mit einer längeren ausgeprägten Sunkphase an den Wochenenden markant. Im abflussschwächsten Monat Februar schwanken die Wasserstände schwallbedingt zwischen 40 m<sup>3</sup>/s und rund 120 m<sup>3</sup>/s (Sunk/Schwallverhältnis ca. 1:3).

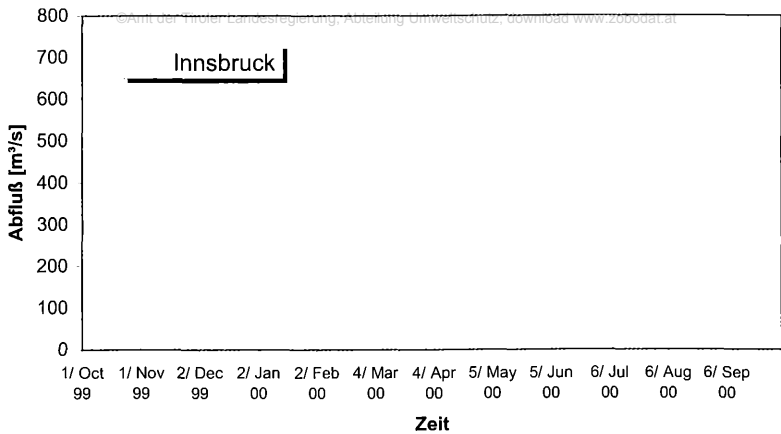


Abb. 13: Ganglinie Inn (Pegel Innsbruck) Oktober 1999 - September 2000.

Der folgende Ausschnitt ausgewählter Pegelganglinien im Längsverlauf des Inn zeigt deutlich, dass der stärkste Schwall bereits beim Eintritt nach Tirol gegeben ist, verursacht durch Kraftwerksgruppen in der Schweiz mit der Rückgabe bei Martina/Martinsbruck. Weitere kleinere peaks werden durch Spitzenkraftwerke in Tirol (v.a. Kraftwerksgruppe Sellrain-Silz, Zillertaler Kraftwerke) erzeugt.

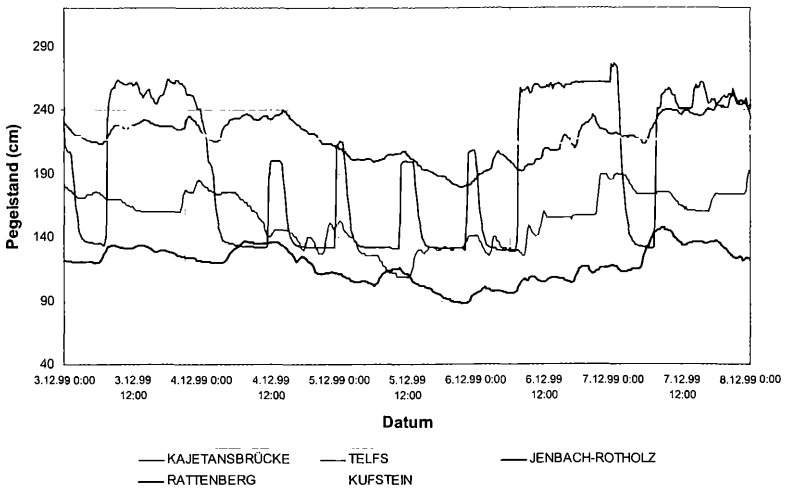


Abb. 14: Charakteristische Ganglinien im Längsverlauf des Inn. Wochenausschnitt Freitag-Dienstag. Datenquelle: Abt. Vlh, Wasserwirtschaft – Hydrographie. Vorläufige, unkorrigierte Rohdaten.

Die Schwallamplitude schwächt sich im Längsverlauf deutlich ab. Das Schwallmaximum verschiebt sich zeitlich entlang der Fließstrecke. Beispielsweise tritt der höchste Wasserstand im Bereich Telfs bzw. der Untersuchungsstelle Pettnau um Mitternacht auf, bei Jenbach/Rotholz tritt die gleiche Spitze erst am folgenden Vormittag auf.

Diese zeitliche Verschiebung des Schwall hat vermutlich auch Auswirkungen auf die tageszeitliche Rhythmik verschiedener Organismengruppen. Beispielsweise kann sich dadurch eine unterschiedliche Nutzbarkeit des Ufersaums als Nahrungsquelle für Vögel in verschiedenen Teilabschnitten des Inn ergeben. Ebenso ist eine ungünstige Beeinflussung des Laichgeschehens und in weitere Folge der Entwicklung von Fischen plausibel, je nachdem in welchem Flussabschnitt zur Zeit des Ableichens (untertags mit verstärkter Aktivität in der Dämmerung; genauere Angaben dazu fehlen jedoch; Eberstaller, mündl. Mitt.) gerade ein Schwallmaximum oder Sunk herrscht. Diesbezügliche detailliertere Untersuchungen fehlen jedoch.

Demgegenüber weist der **Lech** im Untersuchungsabschnitt Weissenbach noch keine starken anthropogenen Veränderungen des Abflussregimes auf. Zeitweise Wasserentnahmen für Beschneigungsanlagen im Oberlauf fallen in quantitativer Hinsicht im Mittel- und Unterlauf kaum ins Gewicht.

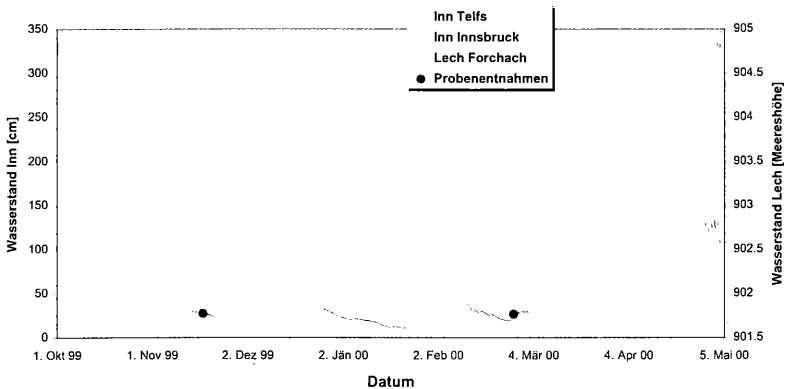


Abb. 15: Winterliche Niederwasserperiode 1999/2000 an Inn und Lech. Die genauen Probenentnahmetermine (Makrozoobenthos, Phytobenthos, vgl. auch Tagungsbeitrag MORITZ & PFISTER) sind durch rote Punkte gekennzeichnet.

In Abb. 5 ist die winterliche Niedrigwassersituation von Inn und Lech vergleichend gegenübergestellt. Auf den ersten Blick auffallend ist der starke Schwellbetrieb im Inn mit den bereits erwähnten kurzfristigen Abflussschwankungen. Im Gegensatz zum Inn verläuft die winterliche Ganglinie im Lech abgesehen von wenigen kurzen Abflussspitzen relativ konstant. Die winterlichen Hochwasserereignisse bewirken jedoch, am Lech zeitweise

ähnliche Extremwerte wie im Inn erreicht werden. Der Unterschied, der in weiterer Folge ausschlaggebend dafür ist, wie die Lebewelt mit diesen Abflussschwankungen zurandekommt, liegt in der Häufigkeit, mit der diese Ereignisse auftreten. Im Gegensatz zur hohen Frequenz am Inn sind am Lech auch in Perioden mit mehreren natürlichen Hochwasserereignissen nur relativ kurze Zeiten erhöhter Wasserführung gegeben. Die Lebewelt wird hier wesentlich seltener beeinträchtigt bzw. hat deutlich längere Phasen relativ konstanter Wasserführung für eine Erholung zur Verfügung.

### 3.2 Strömungsmessungen

Aus der Vielzahl der Messserien werden im folgenden ausgewählte charakteristische Profile dargestellt.

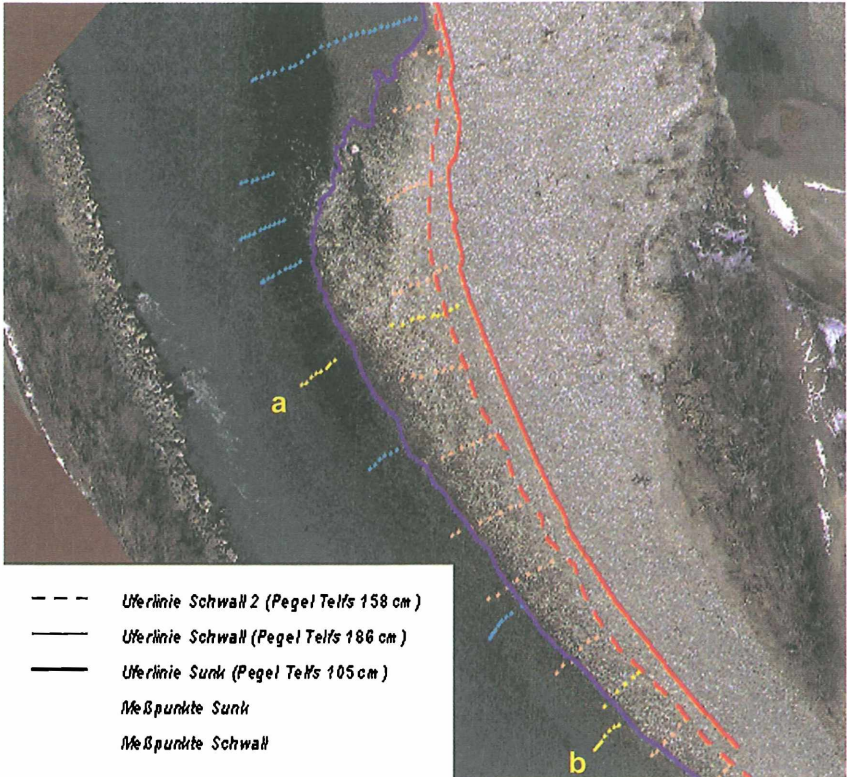


Abb. 16: Uferlinien bei charakteristischen winterlichen Wasserständen von Schwall und Sunk (Pegelstände vgl. Ganglinie in Abb. 5) sowie Lage der dazugehörigen Messprofile/-punkte (Strömungsgeschwindigkeiten). Gelbe Messpunkte: In der folgenden Abb. 17 dargestellte Strömungsprofile a und b.

Erwartungsgemäß verschiebt sich die Uferlinie in den flacheren Bereichen des oberen Untersuchungsabschnittes bei Schwall wesentlich weiter landeinwärts (rund 21 m beim ausgewählten, in Abb. 17 dargestellten Profil a) als bei den tieferen Abflussquerschnitten bzw. steileren Uferneigungen im unteren Untersuchungsbereich (rund 7 m beim dargestellten Profil b).

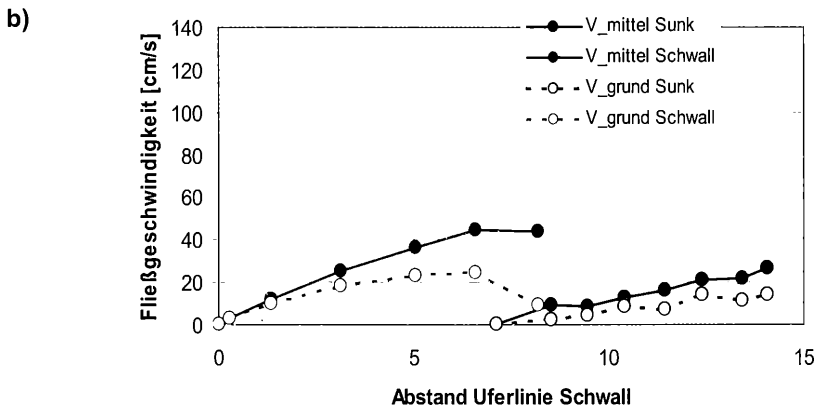
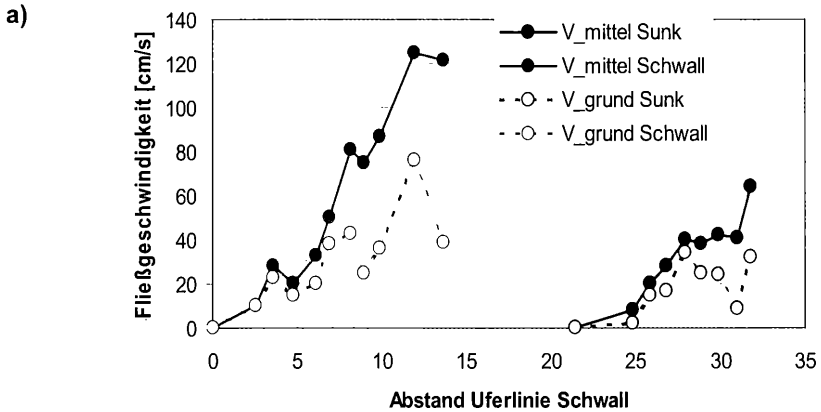


Abb. 17: Schwallbedingte Veränderung der mittleren und bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten an 2 charakteristischen Profilen am Inn. a) flach überströmtes Profil im oberen Abschnitt b) tieferes Profil im unteren Abschnitt des Untersuchungsbereiches (Lage der Profile: vgl. auch gelbe Messpunkte der Abb. 6).

Die Strömungsgeschwindigkeiten in den ufernahen Bereichen ändern sich drastisch, insbesondere in den flacheren Abschnitten: Bereiche, die bei Sunk bereits trockenfallen, werden bei Schwall mit mittleren Fließge-



schwindigkeiten von deutlich über 1 m/s überströmt. Geringere Werte werden naturgemäß bei der bodennahen Strömung erreicht, wenngleich Geschwindigkeiten von über 40 cm/s bei Schwall bereits rund 10 m landeinwärts von der Sunk-Uferlinie gegeben sind.

Weniger dramatisch ist die Situation in den tieferen, langsamer durchströmten Bereichen (Gleitufer im unteren Untersuchungsbereich). Hier werden mittlere Fließgeschwindigkeiten von 40 cm/s bzw. bodennahe Geschwindigkeiten von 20 cm/s in Bereichen, die bei Sunk ebenfalls schon überströmt sind, noch nicht wesentlich überschritten.

Diese Befunde haben weitreichende Konsequenzen für Organismen, die an niedrige Strömungsgeschwindigkeiten gebunden sind. Besonders augenscheinlich bzw. auf Grundlage bekannter Strömungspräferenzen gut darstellbar ist dies am Beispiel von Jungfischen. Der extreme Anstieg der Geschwindigkeiten in den von diesen Entwicklungsstadien bevorzugten flachen Uferbereichen bedingt zwangsläufig einen ständig wiederkehrenden, langfristige wohl nicht durchzuhaltenden Standortwechsel über grössere Entfernungen bzw. Ausweichstrategien, die mit anderen Nachteilen verbunden sind).

### 3.3 Benetzte Flächen

Das Ausmaß der betroffenen Gesamtfäche in Relation zur gesamten Flussbreite ist aus Abb. 6 bereits deutlich ersichtlich. Entsprechend den untersuchten Profilen ist die gesamte Ausdehnung dieser Verödungszone in flachen Abschnitten am grössten und reduziert sich bei steileren Uferneigungen. Eine darüberhinausgehende Quantifizierung der betroffenen Flächen auf der Strecke Innsbruck-Telfs ist durch zusätzliche Erhebungen im Rahmen eines anderen Projektes (Murrer 2001) möglich. Die ca. 30 km lange Strecke wurde bei Sunk- und bei Schwall-Wasserstand beflogen und durchgehend fotografisch dokumentiert.

Die Auswertung zeigte, dass durchschnittlich **61-67 % der Fläche aller Schotterbänke** (je nach Lage innerhalb oder ausserhalb von Bühnenfeldern) in diesen wechselfeuchten Bereich zwischen Sunk und Schwall fallen und **ökologische Verödungsbereiche** darstellen.

### 3.4 Korngrößen, Kolmation

Aus der Vielzahl der Untersuchungen lassen sich 3 wesentliche Ergebnisse hinsichtlich des Schwellbetriebes ableiten (ohne hier auf grundsätzliche Unterschiede wie die gröbere Sohlstruktur im Inn aufgrund der Regulierungen und Einengungen des Fließquerschnittes einzugehen):

1) Sowohl am Inn als auch am Lech weisen die **Tiefenrinnen eine deutlich geringere mittlere Korngröße als die ufernäheren Bereiche** auf. Es ist davon auszugehen, dass eine oberflächliche Auflage leicht beweglicher

Körner über einer allenfalls darunterliegenden stabileren Deckschicht liegt (vgl. auch die Befunden am Alpenrhein, Moritz & Pfister 2001). Wie die Befunde am Lech zeigen, ist eine solche Verteilung ein durchaus natürliches Phänomen. Hinsichtlich der Auswirkungen des Schwellbetriebes bedeutsam ist es jedoch, inwieweit das oberflächliche Sediment der Tiefenrinne im Gegensatz zur natürlichen winterlichen Niederwassersituation durch den einsetzenden Schwall erst in Bewegung gerät, wie es derzeit am Alpenrhein durchgehend der Fall ist.

2) Hinsichtlich charakteristischer Häufigkeitsverteilungen der verschiedenen Korngrößenfraktionen weisen im wesentlichen alle Proben am Lech relativ ähnliche Verteilungen auf, am Inn finden sich grundlegende Unterschiede nur zwischen den ufernahen Bereichen und der Tiefenrinne. Daher werden in der folgenden Abb. 8 nur jeweils das erste Stratum am Ufer und am Inn zusätzlich ein airliftbeprobter Bereich der Tiefenrinne dargestellt.

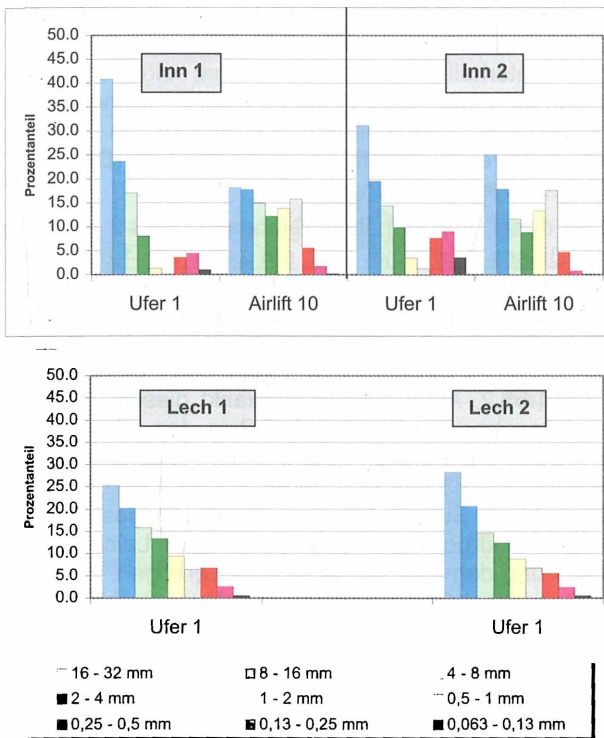


Abb. :18: Charakteristische Korngrößenverteilungen in unterschiedlichen Abschnitten von Inn und Lech. Die Bereiche 1 und 2 stellen jeweils die unterschiedlichen Profile (1: flach überströmt; 2: tieferer Bereich) dar. Nur Korngrößen < 32 mm berücksichtigt.

Alle Strata am Lech weisen eine mehr oder weniger völlig gleichmäßige Abnahme der Fraktionen auf. Anders hingegen die Situation am Inn: Die ufernäheren Bereiche weisen durchwegs eine zweigipfelige Verteilung auf. Neben dem zu erwartenden Maximum bei der grössten in dieser Darstellung berücksichtigten Fraktion (16-32 mm) ist ein Sekundärmaximum im Sandanteil (0,13-0,5 mm) auffällig. Diese Sedimentzusammensetzung dürfte auch morphologisch durch die Regulierung bedingt sein, jedoch wird die innere Kolmation (Eintrag von Feinsedimenten und Verfüllung der Lückenräume) durch den Abfluss- und Trübeschwall deutlich verstärkt (Schälchli 2001).

In der Tiefenrinne hingegen zeigt sich eine mehr oder weniger gleichmäßige Verteilung aller Fraktionen > 5 mm. Im Vergleich zu den ufernahen Hess-Proben fehlen die Korngrößen > 64mm weitgehend (in Abb. 8 nicht berücksichtigt). Auch darin zeigt sich der bereits erwähnte feinkörnige, instabile Charakter der Tiefenrinne.

3) Exponierte Vibertkästen zur Untersuchung der Entwicklung und des Schlüpferschlages von Fischeiern zeigen, dass in den schwallbeeinflussten Flüssen Rhein und Inn deutlich mehr Feinsedimentanteile (Fraktion < 0,63 mm) über das Winterhalbjahr in das Sediment eingetragen werden. Diese innere Kolmation führt in weiterer Folge zu einer deutlichen Verzögerung der Eientwicklung und stark vermindertem Schlüpferschlage, in erster Linie bedingt durch eine schlechtere Sauerstoffversorgung der Eier (Details in Eberstaller & Pinka 2001 bzw. Beitrag Tagungsband).

Maßgebend ist dabei das Verhältnis Grobsand (0,63-2 mm): Feinsediment (< 0,63 mm). Dieses Verhältnis liegt am Lech bei 1:0,5 (relativ geringen Schwankungsbreite 1:0,3 bis 1:0,8 zwischen den verschiedenen Abschnitten). Am Alpenrhein beträgt dieses Verhältnis im Schnitt 1:19,5 (große Unterschiede zwischen den verschiedenen Teststrecken und Untersuchungsbereichen; im Detail in Eberstaller & Pinka 2001 dargestellt) und im Inn durchschnittlich 1:55,2. Auch am Inn schwankt dieses Verhältnis zwischen verschiedenen Bereichen sehr stark (1:5,2 in den unteren Bereichen der Riffel, 1:105 in den Furtbereichen oberhalb der Riffel; die absoluten Mengen der feinen Fraktion < 0,63 mm sind dabei praktisch gleich groß). Im Furtbereich, der hinsichtlich Substratkörnung, Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertiefen den Eindruck eines guten potentiellen Laichplatzes vermittelte, ist die Eientwicklung dementsprechend stark verzögert. Es ist sehr fraglich, ob in diesen Bereichen die Embryonalentwicklung rechtzeitig vor dem Einsetzen der Schmelzwasserabflüsse Mitte April abgeschlossen ist. Jungfische mit ausreichender Schwimmkapazität können sich hier kaum mehr entwickeln, ein Großteil der Eier dürfte damit für die Reproduktion verloren gehen.

Die Unterschiede zwischen den morphologisch unterschiedlichen Teststrecken am Alpenrhein zeigen, dass zum einen auch die Flussmorphologie (mehr oder weniger stark eingengt) eine Rolle spielt. Eine wesentliche Ursache für den stärkeren Feinsedimenteintrag und die schlechtere Durchströmung des Lückenraumsystems sind aber die durch den Schwellbetrieb verursachten Abfluss- und Trübeschwankungen, die die innere Kolmation deutlich verstärken (Schälchli 2001).

## 3.5 Abiotische Parameter (Temperatur, Wasserstand, Bodenfeuchte,)

### 3.5.1 Übersicht

Die Registrierperiode umfasste den Zeitraum Oktober 1999 – September 2000. Ab Mai 2000 fielen im Lech durch hochwasserbedingte Umlagerungen die eingegrabenen Temperatur-/Feuchte-Messprofile größtenteils aus, am Inn waren die Hochwasserschäden wesentlich geringer.

Einen Überblick über die gesamte Registrierdauer und größenordnungsmäßige Darstellung der Ergebnisse, die in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden, gibt die nachfolgende Abb. 9.

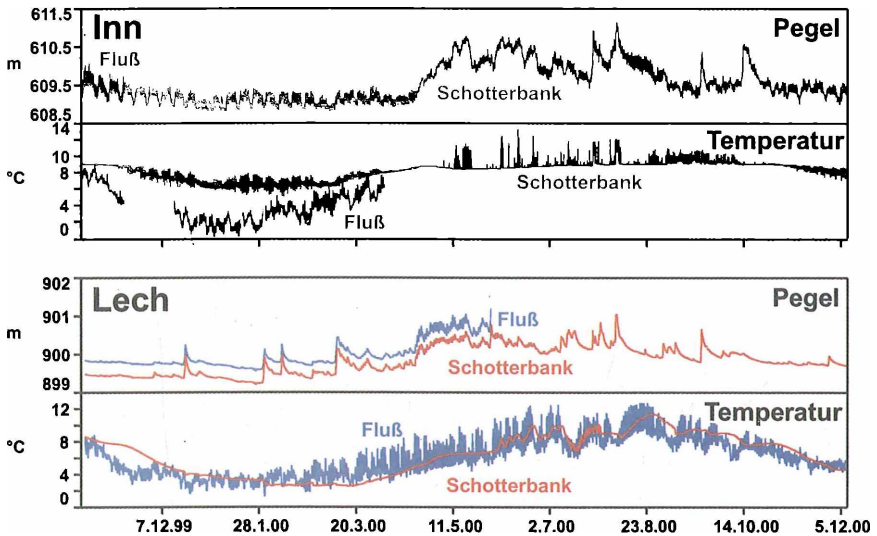


Abb. 9: Abiotische Parameter. Grafische Übersicht über die Registrierperioden und Ergebnisse. Die 2 unterschiedlichen Rottöne bei der Schotterbank am Inn beziehen sich auf die beiden Grundwassersonden in unterschiedlicher Entfernung zur Uferlinie.

### 3.5.2 Wassertemperaturen

#### Oberflächenwasser

Generell wirken schwallartige Abflusserhöhungen in komplexer Weise auf das Temperaturregime ein. Detailliertere Überlegungen dazu finden sich etwa in Eckel (1983). Die wichtigsten Mechanismen sind dabei einerseits die Veränderung der Wärmekapazität als Folge der Veränderung der Abflussmengen (z.B. saisonale Verlagerung des Abflusses vom Sommer- in das Winterhalbjahr durch die großen Jahresspeicher). Dadurch ist generell mit einer geringeren Abkühlung im Winter (Erhöhung des Abflusses) und mit einer stärkeren Erwärmung im Sommer (Verringerung des Abflusses) zu rechnen. Andererseits spielt natürlich auch die Temperatur des abgearbeiteten Wassers eine große Rolle. Nach Eckel (1983) führen die großen Spei-

cher den Flüssen im Winter Wasser von relativ hoher Temperatur (3-3,5 °C), im Sommer dagegen relativ kühles Wasser (4-6 °C) zu.

Die tatsächlichen Temperaturverhältnisse im Längsverlauf eines Gewässers werden durch ein komplexes Zusammenwirken dieser und anderer Faktoren bzw. lokaler Einflüsse bestimmt (z.B. Entfernung von der Rückgabestelle, Einmündung anderer Zubringer, Überlagerung der Einflüsse mehrerer Kraftwerke, ökomorphologische Verhältnisse ...). Die vorliegenden Daten sind nicht ausreichend und es war auch nicht Zweck der Untersuchung, die Auswirkungen des Schwellbetriebes auf den Temperaturhaushalt im Detail darzustellen. Einige Anhaltspunkte bzw. Vergleiche sind jedoch auch mit den vorliegenden Daten möglich. Sowohl Inn als auch Lech weisen am Beginn der Aufzeichnungen Ende Oktober/Anfang November Temperaturen von rund 6-8,5 °C auf (Abb. 9). Mit fortschreitender Jahreszeit erreicht der Inn jedoch deutlich niedrigere Temperaturen (Minima bis knapp über 0 °C) als der Lech, der 1 °C nie unterschreitet und meist über 2 °C liegt (vgl. Abb. 10).

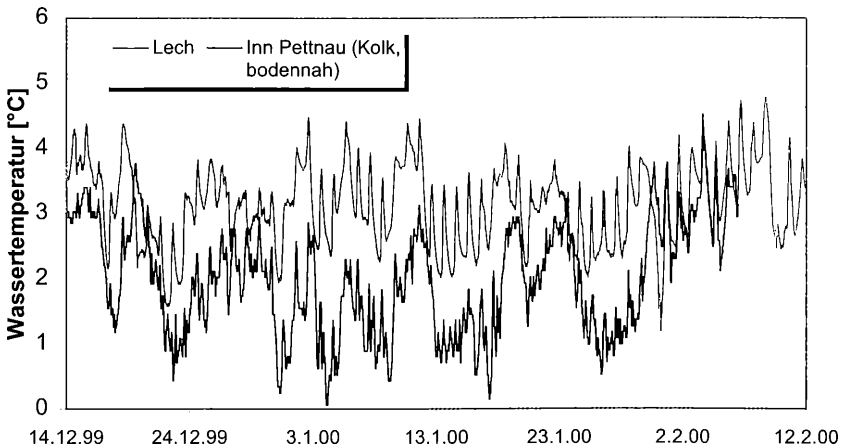


Abb. 10: Wassertemperatur. Vergleich Inn und Lech im Winter.

Wie die Temperaturen im Grundwasserkörper der Schotterbänke zeigen, ist der Temperaturhaushalt von Freiwasser und Grundwasser im Inn entkoppelt, wohingegen am Lech die Grundwassertemperatur träge und verzögert der Flusstemperatur folgt (siehe folgendes Kapitel). Die Ursache für die höheren Wintertemperaturen im Lech dürfte daher auch im verstärkten Austausch mit dem Grundwasserkörper liegen. Voraussetzung dafür ist sicherlich die im Bereich der Untersuchungsstelle gegebene naturnahe Struktur mit den breiten Verzweigungsstrecken.

Um der Frage näher nachzugehen, wie sich der Schwellbetrieb unmittelbar auf die Wassertemperatur auswirkt, sind in der folgenden Abb. 11 der Pe-

gelstand (Pegel Telfs) und die Wassertemperatur für 2 charakteristische Perioden im Winter aufgetragen.

Auffallend sind die höheren Temperaturspitzen bei geringerem Schwall (Wochenende) am 23.-27.3. und 8.-16.2. Im Februar beträgt die Differenz rund 0,5 K, im bereits wärmeren März ca. 1 K. Durch den höheren Abfluss wird offensichtlich die natürliche Tageserwärmung in diesem Ausmaß gedämpft. Darauf weist auch die insbesondere im Februar mit dem gegen Mittag (strichlierte Hilfslinien in Abb. 11) einsetzenden Schwall verbundene Abflachung der Tageserwärmung hin. Von den vielfältigen, vorne angegebenen Faktoren überwiegt daher in diesem Fall die Erhöhung der Wärmekapazität durch die höhere Schwallwassermenge.

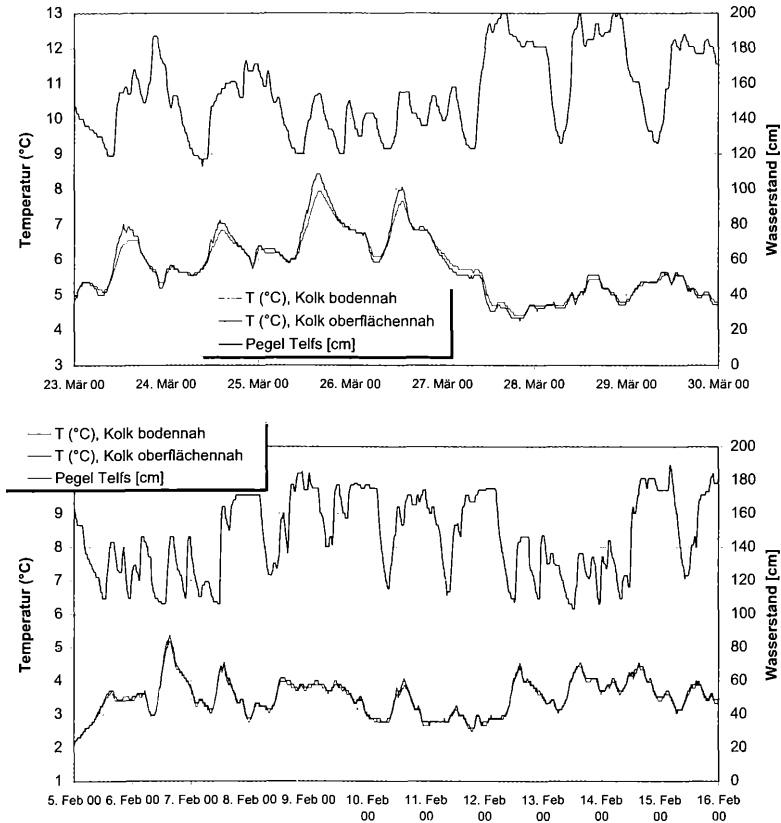


Abb. 11: Wassertemperaturen Inn. Pegelstand (Pegel Telfs) und Temperaturen zweier charakteristischer Winterperioden.

In der Temperaturdynamik der Grundwasserkörper in den Schotterbänken zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen Inn und Lech, die eindeutig auf den Schwellbetrieb am Inn zurückzuführen sind.

Bei der natürlichen Dynamik des Lech folgen die Wassertemperaturen mit einer pegelabhängigen Verzögerung dem Temperaturverlauf des Flusses, die Tagesgänge sind weitgehend gedämpft. Offensichtlich ist der Wasser-austausch bei Niedrigwasser im Winter langsam (zeitliche Verzögerung etwa 2 Wochen; vgl. Beginn der Zeitachse in Abb. 9), bei Hochwasser im Sommer hingegen rasch (einige Tage, in einzelnen Phasen im Juli sogar unter 1 Tag; siehe Abb. 12).

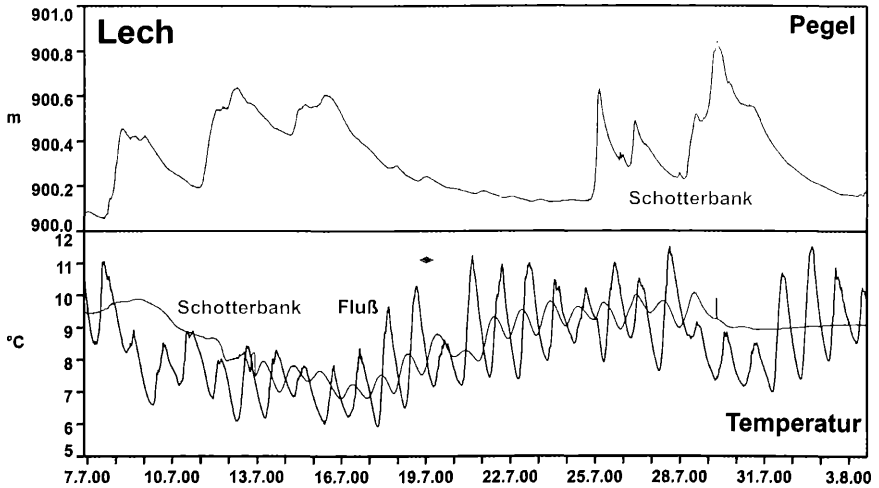


Abb. 12: Temperaturverlauf Lech im Freiwasser und Grundwasserkörper. Sommerliche Hochwasserphase.

Auf der Schotterbank am Inn zeigen sich auffallende Temperatursprünge im Grundwasser, die unmittelbar mit dem täglichen Schwall zusammenhängen (Abb. 13). Der sprunghafte Wechsel um ca. 2 K zwischen zwei Temperaturebenen an der flussnäheren Messstelle weist auf ein Hin- und Herpendeln zwischen verschiedenen Grundwasserkörpern hin. Dabei zeigt sich auch eine Abhängigkeit vom Wasserstand insofern, als bei niedrigsten Wasserständen (z.B. Weihnachten/Silvester) die flussnähere Sonde „Süd“ konstantere Temperaturverhältnisse aufweist als die flussfernere Sonde „Nord“. Bei höheren Abflüssen ist es umgekehrt.

In jedem Fall ist die Temperatur des Frei- und Grundwassers jedoch weitgehend entkoppelt, wie die große Differenz (im Schnitt ca. 5 K) zwischen Fluss und Grundwasser zeigt. Im Vergleich zum Lech dürfte dabei das Zusammenwirken der Regulierungsmassnahmen und Einengung des Fließquer-

schnittes mit der schwallbedingten Verstärkung der inneren Kolmation die wesentliche Ursache für den eingeschränkten Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser sein.

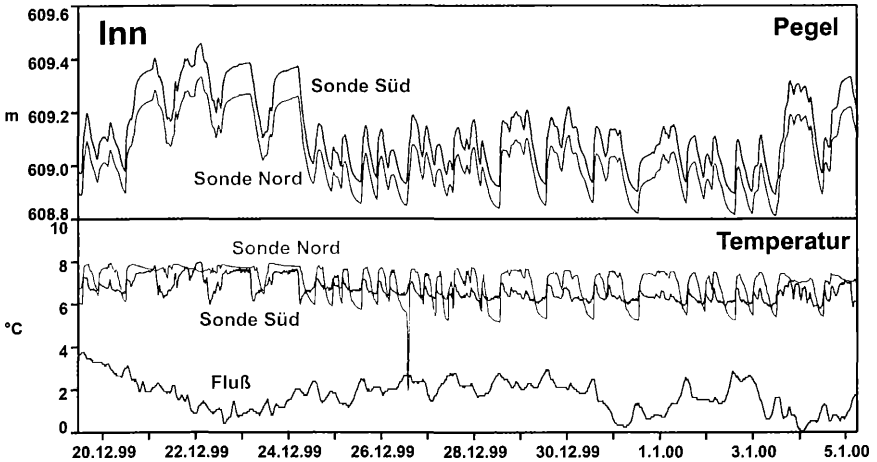


Abb. 13: Grundwasser. Pegel- und Temperaturschwankungen auf der Schotterbank am Inn im Winter.

### 3.5.3 Bodentemperaturen Inn und Lech

Mit der Registrierung der Bodentemperaturen und –feuchtigkeit in verschiedenen Tiefen und Abständen zur Wasserlinie sollte auch der Frage nachgegangen werden, ob mit dem Schwellbetrieb eine nachteilige Beeinflussung des Bodenklimas verbunden ist, etwa durch Eindringen kalter kalte Aussenluft in den Boden niedrigen Aussentemperaturen und sinkendem Wasserstand.

Die Datenaufzeichnungen geben jedoch keinerlei Hinweise, dass der Schwellbetrieb am Inn einen Einfluss auf die Bodentemperaturen der von der Fauna hauptsächlich genutzten obersten 30 cm hat.

Im Winter sind die Temperaturen unter der Schneedecke wie üblich konstant nahe 0 °C. An der Bodenoberfläche sind die starken Aussentemperaturschwankungen von –12 bis 0 °C (z.B. 13.-16. Januar) stark gedämpft, bereits in 10 cm Tiefe ist praktisch kein Tagesgang mehr feststellbar. Auch wenn bei Aufbrechen der Schneedecke Kaltluft bis an die Oberfläche vordringen kann (z.B. nach einer wärmeren Periode am 20. Januar), ist kein mit dem Schwellbetrieb verbundenes Eindringen von Kaltluft in den Boden messbar. Die niedrigen Temperaturen an der Bodenoberfläche (Minimum -10 °C) sind bereits in 10 cm Tiefe stark gedämpft (Minimum -2 °C).



Der nicht nachweisbare Effekt auf die Bodentemperatur ist auch leicht zu erklären, wenn man sich beispielsweise die spezifischen Wärmekapazitäten der Bodenbestandteile bzw. der Luft vor Augen hält (Details in Moritz et al. 2001).

In der schneefreien Zeit ist die Tagesdynamik der Temperatur auf der Schotterbank eindeutig strahlungsdominiert, was typisch für vegetationsfreie Untergründe ist. Die täglichen Temperaturgänge nehmen mit der Tiefe rasch ab. Die Temperaturmittel folgen der Lufttemperatur an der Oberfläche. Eindringendes Regenwasser und aufsteigendes Grundwasser sind aus den Feuchtemessungen deutlich ersichtlich, haben auf die Temperaturdynamik aber keinen Einfluss. Aus den Temperaturkurven ablesbar ist auch die Überströmung der Schotterbank bei sommerlichem Hochwasser (in Abb. 14 durch die horizontalen Balken vom 5.-8. August markiert).

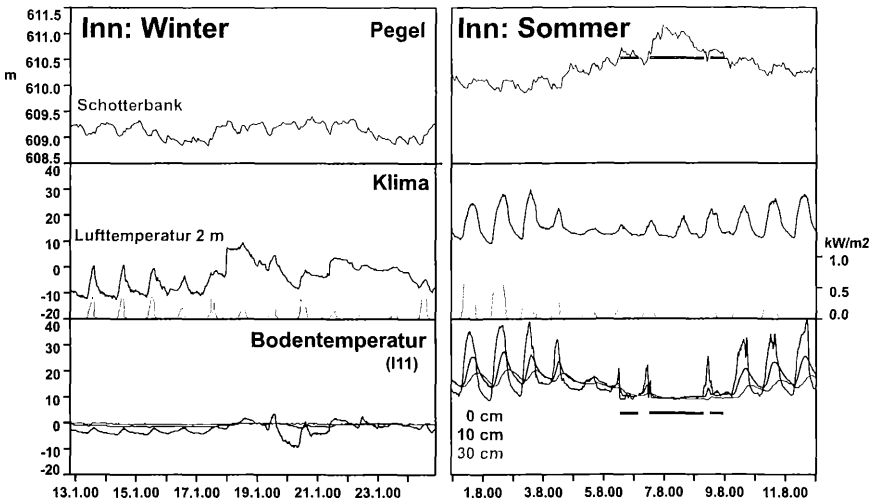


Abb. 14: Bodentemperaturen, Klima und Pegelstände auf der Schotterbank am Inn im Winter und Hochsommer.

### Grundwasserstand der Schotterbänke

Analog zum Abflussregime (vgl. Abschnitt 3.1) verhalten sich hier der naturbellassene Lech und der vom Schwellbetrieb dominierte Inn saisonal sehr unterschiedlich. Im Winter 1999/2000 folgen die Grundwasserpegelstände des Inn ausschließlich dem Kraftwerksbetrieb, während am Lech episodische Abflussereignisse die Niedrigwasserphase unterbrechen. Während der Sommerhochwässer tritt der Schwellbetrieb am Inn etwas in den Hintergrund, insgesamt zeigt er im Vergleich zum Lech gedämpfte Hochwasserspitzen. Am Lech sind im Frühsommer deutlich die täglichen Schmelzwasserabflüsse zu erkennen, sie bleiben aber in der Gesamtdynamik gering.

Im Detail zeigen sich ebenfalls bedeutsame Unterschiede. Wie aus Abb. 9 ersichtlich ist, folgt der Grundwasserstand am Lech dem Flusspegel praktisch 1:1. Am Inn hingegen zeigt der Detailausschnitt vom Oktober/November die doch deutliche Dämpfung der Grundwasserganglinie bereits in geringer Entfernung vom Fluss (Abb. 15). Darin spiegelt sich sicherlich die starke Deckschichtbildung bzw. Kolmation des Schotterkörpers als Folge der Regulierung und Einengung des Fließquerschnittes wieder. Zudem ist davon auszugehen, dass die innere Kolmation durch die Abfluss- und Trübeschwankungen des Schwellbetriebes deutlich verstärkt wird (Schälchli 2001). Diese im Vergleich zum Lech verminderte Durchlässigkeit des Schotterkörpers hat, wie bereits erwähnt, in weiterer Folge auch ökologische Konsequenzen (z.B. Beeinflussung des Temperaturregimes oder Sauerstoffgehaltes im Schotterkörper und damit auch der Embryonalentwicklung von Fischen).

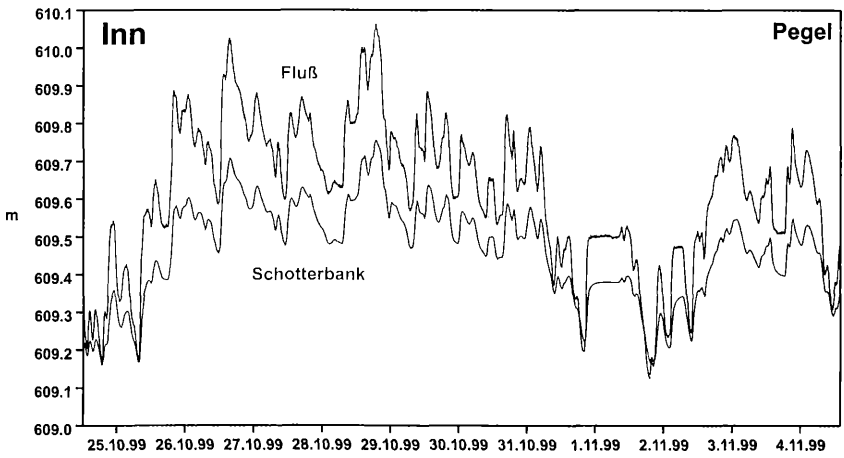


Abb. 15: Pegelganglinien Freiwasser und Grundwasser auf der Schotterbank am Inn.

**4. Zusammenfassung**

Untersuchungsgegenstand war der Einfluss des Schwellbetriebes auf die aquatische und terrestrische Fauna im Einflussbereich der wechselfeuchten Zonen zwischen Schwall und Sunk. Die Verhältnisse in einem schwallbeeinflussten Flussabschnitt (Inn Pettnau, Lech Weißhaus) wurden einer geeigneten Referenzsituation (Lech Johannesbrücke) gegenübergestellt. Die Untersuchungsstrecken wurden vermessen und in einem GIS erfasst. Dadurch konnte ein genauer räumlicher Zusammenhang zwischen den biologischen Daten und wesentlichen abiotischen Rahmenbedingungen hergestellt werden. Generell erfolgte die Untersuchung aller Parameter entlang von Querprofilen von den höhergelegenen Landzonen in Richtung Flussmitte, um

allfällige Schädigungsgradienten in den schwallbeeinflussten Zonen möglichst gut zu erfassen.

Das **Abflussgeschehen** im Inn ist insbesondere im Winterhalbjahr durch täglichen Abflussschwankungen (im Februar an der Untersuchungsstelle in Pettnau zwischen 40 m<sup>3</sup>/s und rund 120 m<sup>3</sup>/s) mit einer längeren ausgeprägten Sunkphase an den Wochenenden gekennzeichnet.

Hinsichtlich der **Ausdehnung der wechselfeuchten Spiegelschwankungszone** zeigte sich ein schwallbedingter durchschnittlicher Flächenverlust aller Schotterbänke zwischen Telfs und Innsbruck von über 60 %.

Die **Strömungsgeschwindigkeiten** in den ufernahen Bereichen ändern sich drastisch, insbesondere in den flacheren Abschnitten: Bereiche, die bei Sunk bereits trockenfallen, werden bei Schwall mit mittleren Fließgeschwindigkeiten von deutlich über 1 m/s überströmt.

Bei der **Korngrößenverteilung** zeigten sich ähnliche Ergebnisse wie am Alpenrhein (vgl. diesbezügliches Referat) mit einem Sekundärmaximum in der Sandfraktion, welches die durch den Schwellbetrieb verstärkte innere Kolmation der Sohle widerspiegelt.

In weiterer Folge hat dies unter anderem auch Auswirkungen auf die stark verzögerte **Eientwicklung der Fische** in den kolmatierten Bereichen sowie auf die im Inn deutlich schwächere **Interaktion zwischen Oberflächen- und Grundwasser**. Dieser bereits in geringer Entfernung vom Fluss abgeschwächte Austausch mit dem Grundwasserkörper dürfte auch zu niedrigeren **Wassertemperaturen** im Inn beitragen. Die Temperaturdaten liefern auch Hinweise, dass durch den höheren Schwallabfluss im Inn die natürliche Tageserwärmung um rund 0,5 K, im bereits wärmeren März um ca. 1 K vermindert wird.

Eine nachteilige Beeinflussung des Bodenklimas durch den Schwellbetrieb konnte nicht beobachtet werden.

## Literatur

- Anastasi, G. (1984): Geschiebeanalysen im Felde unter Berücksichtigung von Grobkomponenten. – Mitt. d. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich. Nr. 70, 99 pp.
- Eberstaller, J. & P. Pinka (2001). Fachbericht Fischökologie. In: Trübung und Schwall Alpenrhein. Einfluss auf Substrat, Benthos und Fische. Untersuchung im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie.
- Eckel, O. (1983). Wärmelastrechnungen für Inn und Salzach. – Wasserwirtschaftskataster Wien, 42 pp. + Anhang.
- Fehr, R. (1987): Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen. - Mitt. d. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich. Nr. 92, 139 pp.
- Moog, O. (1993): Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts. – Regulated rivers: Research & Management, Vol. 8: 5-14.
- Moritz, C. & P. Pfister (2001): Fachbericht Makrozoobenthos, Phytobenthos. In: Trübung und Schwall Alpenrhein. Einfluss auf Substrat, Benthos und Fische. Untersuchung im Auftrag der

- Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie.
- Moritz, C., Pfister, P., Schatz, I., Kopf, T., Steinberger K.-H. & R. Kaufmann (2001): Auswirkungen des Schwellbetriebes auf die aquatische und terrestrische Fauna in ufernahen Bereichen. - Studie im Auftrag des Amtes der Tiroler Landesregierung, Abteilung Umweltschutz.
- Moritz, C., Murrer, A., Forstenlechner, E., Schwarzenberger, R. & C. Vacha (2001): Ökomorphologische Bestandsaufnahme des Inn zwischen Telfs und Innsbruck. – Studie im Auftrag des BMLFUW, AdTLr, Abt. Vlh.
- Murrer, A. (2001): Ökomorphologische Bestandsaufnahme des Inn zwischen Telfs und Innsbruck. Flächenbilanzierung von Sand- und Schotterbänke bei Schwall und Sunk. Ergänzender Bericht. – Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft; Abt. Vlh des Amtes der Tiroler Landesregierung.
- Schächli, U. (2001): Fachbericht Trübung, Strömung, Geschiebetrieb und Kolmation. In: Trübung und Schwall Alpenrhein. Einfluss auf Substrat, Benthos und Fische. Untersuchung im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur in Tirol - Naturkundliche Beiträge der Abteilung Umweltschutz](#)

Jahr/Year: 2005

Band/Volume: [12](#)

Autor(en)/Author(s): Moritz Christian, Kaufmann Rüdiger

Artikel/Article: [Auswirkungen des Schwellbetriebes auf die aquatische und terrestrische Fauna in ufernahen Bereichen1. Teilbereich Methodik, Abiotik 182-201](#)