

* ARGE Limnologie, Innsbruck

**ezb-Eberstaller-Zauner-Büros, Wien

1. Einleitung

Von 1998 bis 2001 wurde im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA) das Projekt „Trübung und Schwall im Alpenrhein“ durchgeführt. Darin wurden die Auswirkungen der Abfluss- und Trübeschwankungen auf Sohlsubstrat, Benthos und Fische untersucht. Das komplexe Themengebiet wurde von einer Arbeitsgemeinschaft bearbeitet, deren vier Partner folgende Fachgebiete bearbeiteten:

Schälchli, Abegg & Hunzinger (Zürich): **Trübung, Strömung, Geschiebetrieb, Kolmation**

- Limnex AG (Zürich): **Trübung, Licht, Bewuchs und Drift**
- ARGE Limnologie (Innsbruck): **Phyto- und Makrozoobenthos**
- Universität für Bodenkultur (Wien): **Fischökologie**

Die umfangreichen Ergebnisse sind im Detail im Schlussbericht dargestellt bzw. einem Syntheseteil zusammengefasst (ARGE Trübung Alpenrhein, 2001), eine weitere komprimierte Zusammenfassung ist im Druck (Baumann & Schälchli, im Druck). Der vorliegende Tagungsbeitrag übernimmt großteils Textteile aus dem Synthesebericht bzw. die Ergebnisse der verschiedenen Fachberichte.

2. Untersuchungskonzept, Methodik

Im Gegensatz zum zeitgleich durchgeführten Schwallprojekt am Tiroler Inn und Lech (vgl. diverse andere Beiträge im vorliegenden Tagungsband) lag der Untersuchungsschwerpunkt nicht auf den graduellen Veränderungen im Uferbereich bzw. dem Spiegelschwankungsbereich, sondern in der Erfassung der Schwallauswirkungen in

- a) Morphologisch unterschiedlichen Flussabschnitten (Teststrecken)
- b) Jeweils verschiedenen Lebensräumen mit unterschiedlicher Sedimentstruktur bzw. Lückenraumdurchströmung (mehr oder weniger starke Kolmation, Infiltration oder Exfiltration)

Die vier **Teststrecken** wurden zu Beginn des Projektes ausgewählt und repräsentieren jeweils einen typischen morphologischen Abschnitt des Alpenrheins (

Abb. 1):

- 1) **Mastrilser Rheinauen**; Fluss-km 19.8 – 23.7; naturnahe, verzweigte Strecke; repräsentativ für zukünftige Aufweitungen;

- 2) **Bad Ragaz;** Fluss-km 25.0 - 27.8; kanalisierte Erosionsstrecke mit Schrägbänken; repräsentativ für den Abschnitt Landquart bis Ellhorn;
- 3) **Buchs/Schaan;** Fluss-km 49.6 - 52.0; kanalisierte Auflandungsstrecke mit alternierenden Kiesbänken; repräsentativ für den Abschnitt Ellhorn bis Illmündung;
- 4) **Diepoldsau/Mäder;** Fluss-km 73.0 - 78.0; kanalisierte, durch das Fehlen von morphologischen Strukturen stark naturfremde Strecke; repräsentativ für die Internationale Rheinestrecke (Illmündung bis Bodensee)

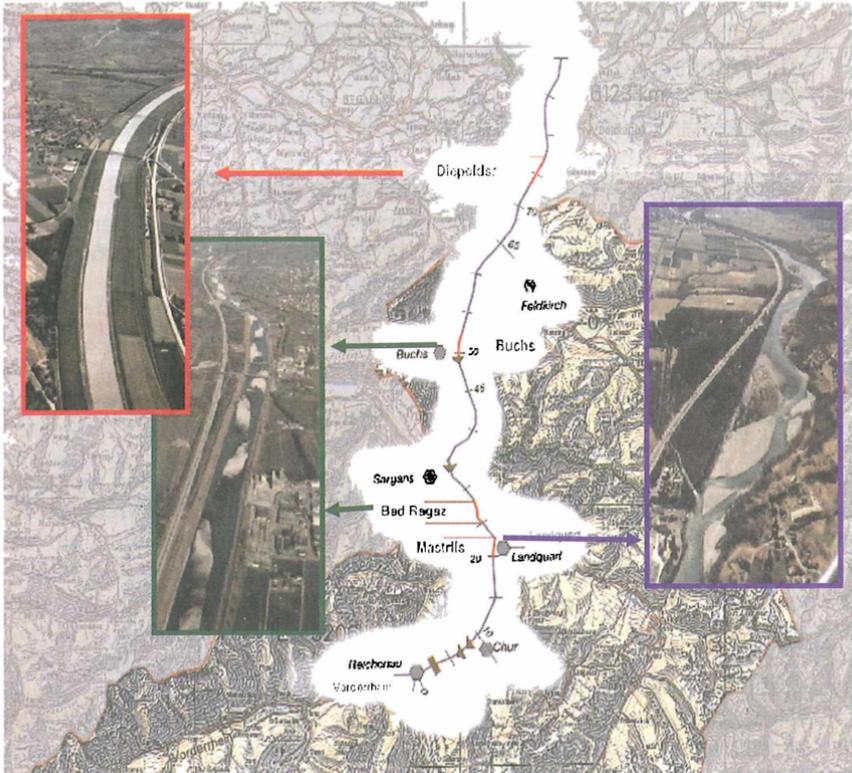


Abb. 1: Übersicht über das Untersuchungsgebiet und charakteristische flussmorphologische Teststrecken.

Im **physikalischen Teil** wurden einerseits alle maßgebenden abiotischen Einflussfaktoren des "fluvialen Systems Alpenrhein" erfasst, andererseits deren Auswirkungen auf die Flusssohle untersucht. Die physikalische Bearbeitung umfasste im Einzelnen:

- Trübequellen und Schwebstoff-Transport im Einzugsgebiet
- Trübefracht, Abfluss und Pegelstände
- Lichtverhältnisse

Im **biologischen Teil** wurden einerseits Bestandesaufnahmen der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaften durchgeführt, andererseits spezielle Untersuchungen zum Einfluss der abiotischen Faktoren auf qualitative und quantitative Aspekte der Besiedlung. Dabei wurden erfasst:

- Algenbewuchs der Flusssohle (Phytobenthos)
- Wirbellosenfauna der Flusssohle (Makrozoobenthos)
- Abschwemmung (Drift) von Wirbellosen in der fließenden Welle bei Untervaz
- Fischbestand in den Teststrecken und in einzelnen Zubringern
- Reproduktionserfolg der See- und Bachforelle in den Teststrecken, in einigen Zubringern und in Vergleichsflüssen (Inn, Lech).

Bezüglich der verschiedenen Lebensräume in den ständig überströmten Bereichen wurden bei den biologischen Untersuchungen (Makrozoobenthos, Exposition Fischeier in Vibert-Kästen) folgende Bereiche beprobt:

- 1) Furtbereich
- 2) Beginn Riffel
- 3) Ende Riffel
- 4) Uferbereich (Rinne) unterhalb des Riffels
- 5) Tiefenrinne (nur Makrozoobenthos)

Auf die Beschreibung detaillierterer methodischer Details zu den einzelnen Untersuchungsblöcken wird hier weitgehend verzichtet, diesbezüglich sei auf die ausführlicheren Darstellungen in den einzelnen Fachberichten verwiesen.

3. Ergebnisse

3.1 Strömung, Schwellbetrieb (Abflussganglinien)

Bei natürlichem Niederwasserabfluss bilden sich in den Streckenabschnitten mit alternierenden Bänken die ausgeprägtesten Strömungsunterschiede aus. Furten und Schnellen (Riffel) zeigen eine hohe Fließgeschwindigkeit bei kleiner Abflusstiefe und Rinnen eine kleine Fließgeschwindigkeit bei großer Abflusstiefe. Bei ansteigendem Abfluss gleicht sich die Fließgeschwindigkeit in der Rinne langsam an diejenige in der Schnelle an, sodass bei erhöhtem Mittelwasserabfluss (oder der Schwallspitze) ein mehr oder weniger ausgeglichenes Geschwindigkeitsprofil zu beobachten ist. Dementsprechend führt der Winterschwall zu einer grundlegenden Veränderung der Strömungsverhältnisse im Alpenrhein. Bei Schwall verschwinden die charakteristischen Strömungsverhältnisse des Niederwasserabflusses. In den Rinnen steigt die mittlere Fließgeschwindigkeit von ca. 0,5 m/s auf 1,6 m/s an, der Wasserspiegel wird um 0,8 – 1,4m angehoben und die benetzte Breite

kann in einzelnen Profilen um bis zu 70m zunehmen (in anderen Profilen um wenige Meter).

Seit den 70-er Jahren hat der Schwall deutlich zugenommen, der Abfluss schwankt heute bei Domat Ems im Oberlauf des Alpenrheins täglich zwischen etwa 20-40 m³/s und 150-190 m³/s. Das gleiche Bild zeigt sich naturgemäß auch im Unterlauf bei Diepoldsau (Abb. 2).

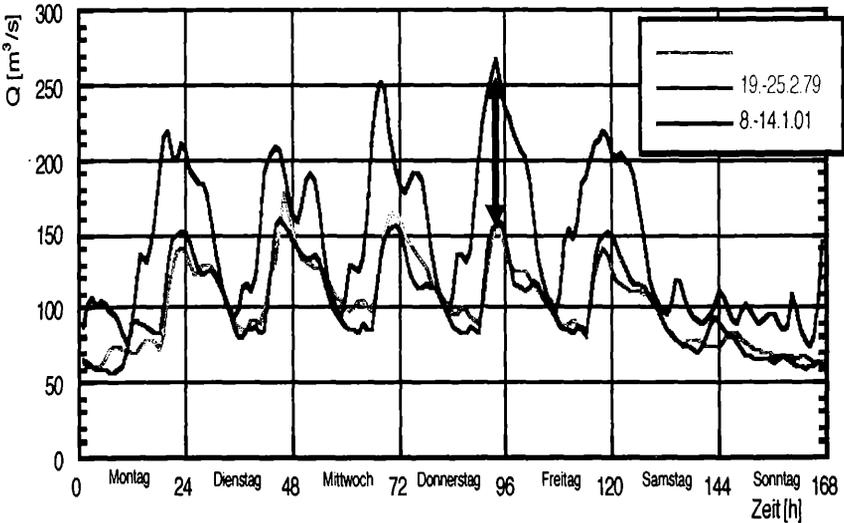


Abb. 2: Typische Wochenganglinie mit Schwall. Rhein Diepoldsau 1978, 1979 und 2001.

3.2 Trübung, Schwebstoffe, Lichtklima

Das Trübeaufkommen im Einzugsgebiet des Alpenrheins ist hauptsächlich natürlich bedingt. Alle Teileinzugsgebiete, deren Gestein aus Flysch oder Bündnerschiefer bestehen, zeigen eine große Verfügbarkeit von Feinsedimenten. Aus Schuttkegeln, Hang-, Uferanrissen und Gräben werden bereits bei geringen Niederschlagsmengen oder bei winterlicher Besonnung bedeutende Schwebstofffrachten mobilisiert. Besonders ausgeprägt zeigt sich dieses Phänomen im unteren Einzugsgebiet der Landquart. Verbliebene Kiesbaggerungen im Rhein führen zu keiner wesentlichen Erhöhung der Schwebstofffracht. Der Transport der Schwebstoffe aus den Hauptzuflüssen in den Rhein wird begünstigt durch den Schwallbetrieb in diesen Zuflüssen (Vorderrhein, Plessur, Landquart, Ill), die eingetragenen Feinsedimente werden praktisch täglich dem Rhein zugeführt.

Der Alpenrhein kann bezüglich Trübung in die zwei Abschnitte Domat Ems - Landquart und Landquart - Bodensee aufgeteilt werden. Die **Strecke bis zur Landquart** ist geprägt durch eine tiefe Basistrübung, die in Fließrichtung, vor allem infolge der Schwebstoffzufuhr aus der Plessur, leicht ansteigt (Schwebstoffkonzentration 1 - 6 mg/l). Während dem Kraftwerkschwall ist eine Erhöhung der Trübung auf 10 - 40 mg/l zu beobachten, wobei die

höchsten Schwebstoffkonzentrationen bei der Abflusszunahme infolge Resuspension abgelagerter Feinsedimente auftreten. In der verzweigten Fließstrecke von Mastrils ist eine deutliche Abnahme der Trübung festzustellen. Bei Niederschlagsereignissen mit Regen in tieferen Lagen sind ebenfalls erhöhte Trübungen mit Konzentrationen um 40 mg/l zu beobachten.

Die **Strecke flussabwärts der Landquart** zeigt eine Basistrübung von 2,5 - 17 mg/l. Mit dem Abflussschwall erreicht die Trübung zwischen der Landquart und der Ill 15 - 30 mg/l und in der Internationalen Rheinrecke 20 - 40 mg/l. Bei den regelmäßigen Trübeschwällen aus der Landquart kann die Schwebstoffkonzentration im Rhein aber auch auf über 200 mg/l ansteigen. Bei diesen Trübeschwällen wird ein Teil der zugeführten Schwebstoffe auf der Rheinsohle abgelagert, womit die Trübung in Fließrichtung bis in die Internationale Rheinrecke auf rund 70 mg/l abnimmt.

In weiterer Folge hat dieser Trübeschwall Auswirkungen auf die Kolmation der Flusssohle (vgl. Kapitel 3.3) und das Lichtklima: Für die mehr oder weniger natürliche Schwebstoffführung bei Niedrigwasser („Basistrübung“) von 1 bis 5 mg/l (Trockengewicht) ergibt sich an den tiefsten untersuchten Stellen des Alpenrheins (in 2,5 m Tiefe) eine Abnahme der Lichtintensität auf 60% bis 25% des Oberflächenwertes. Unter Schwallenfluss nimmt die Schwebstoff-Konzentration auf 5 bis 25 mg/l zu, und der Wasserstand steigt gleichzeitig um mindestens 50 cm. Unter diesen Bedingungen sinkt die Lichtintensität an den tiefsten Stellen auf 20% bis <5% des Oberflächenwertes (Abb. 3). Die durchschnittlichen absoluten Lichtintensitäten an den tiefsten Stellen liegen im oder leicht über dem Bereich der minimalen Lichtansprüche verschiedener substratgebundener (benthischer) Algenarten. Die bei Schwall mit 60 bis 80% des Oberflächenwertes noch am stärksten belichteten Bereiche der Flusssohle fallen bei Sunk trocken (Abb. 3). In diesem Übergangsbereich (Wasserwechselzone) können sich zum vornherein nur jene Arten ansiedeln, die gegen das regelmäßige Austrocknen resistent sind (vgl. auch Kapitel 3.5).

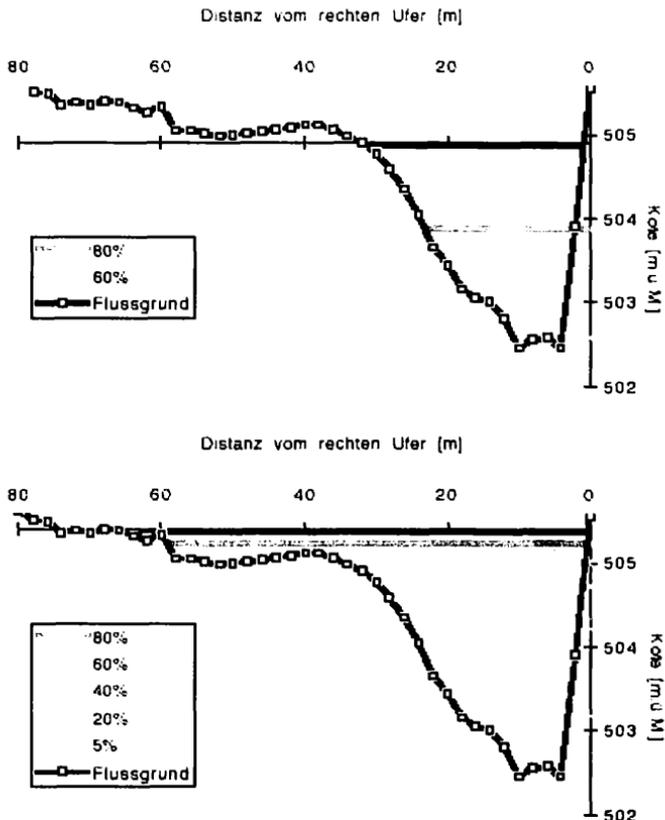


Abb. 3: Auswirkungen der winterlichen Trübung auf das Lichtklima im Alpenrhein bei Niedrigwasser mit einer Schwebstoff-Konzentration von 1 mg/l (oberes Bild) und bei Schwall mit einer Schwebstoffkonzentration von 25 mg/l (unteres Bild). Dargestellt sind die Ebenen innerhalb des Flussquerschnittes mit unterschiedlicher Lichtintensität (in Prozent der Oberflächenintensität).

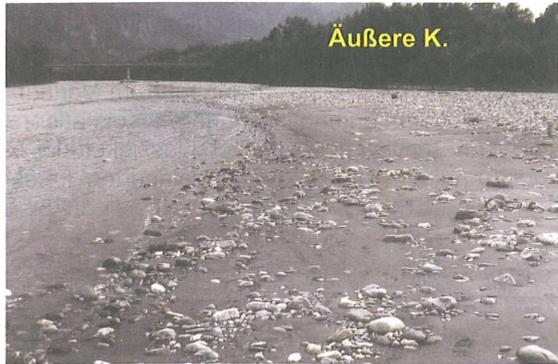
3.3 Kolmation, Sedimentstruktur

Bei der Kolmation wird grundsätzlich zwischen einer **äußeren (Ablagerung)** von Schwebstoffen auf der Gewässersohle) und einer **inneren (Einlagerung)** von Schwebstoffpartikeln in den Lückenraum der Gewässersohle) unterschieden.

Hinsichtlich der **äußeren Kolmation** kann die Flusssohle eingeteilt werden in Bereiche, wo keine äußere Kolmation möglich ist (Transportzonen mit $v > 0.5$ m/s), in solche, wo bei Sunk Schwebstoffe (v.a. Sand) abgelagert und bei Schwall resuspendiert werden (Resuspensionszonen) sowie in Bereiche, wo bei Sunk und Schwall Schwebstoffe abgelagert werden (Ablagerungszonen). Unter natürlichen Abflussverhältnissen dominieren die Transport- und

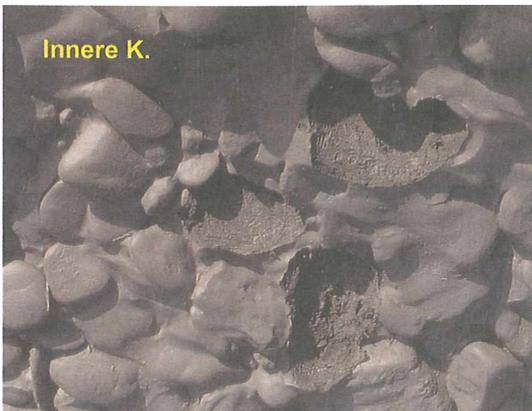
die Ablagerungszonen. Mit dem Schwall werden die Strömungsverhältnisse und damit die äußere Kolmation wesentlich beeinflusst. Insbesondere dehnen sich die Resuspensionszonen weit in die Ablagerungszonen aus. Gleichzeitig verlagern sich die Ablagerungszonen in die bei Schwall neu benetzten Uferbereiche.

Die tägliche Verlagerung von Resuspensions- und Ablagerungszonen führt zu einer beträchtlichen Umlagerung von Schwebstoffen. Für die Fließstrecke zwischen Felsberg und Mastrils etwa wird der Grenzabfluss für den Beginn der Schwebstoff-Mobilisierung aufgrund einer Messkampagne



vom Februar 1999 auf ungefähr 90 bis 100 m³/s geschätzt; dieser Wert wird in der Regel von den winterlichen Schwallen im Oberlauf des Alpenrheins mit Abflussspitzen bis 170 m³/s deutlich übertroffen.

Die gegenüber den natürlichen Verhältnissen erhöhte Schwebstoffzufuhr aus den Hauptzuflüssen (infolge Schwall) führt zu einem höheren Deckungsgrad der Sohle mit Feinsedimenten und zu einer verstärkten äußeren Kolmation.



Für die Durchlässigkeitsabnahme und die Verfestigung der Sohle bei der **inneren Kolmation** maßgebend sind die feinen Schwebstoffpartikel der Silt- und Tonfraktion. Bei einer Exfiltration von Grundwasser ist keine innere Kolmation der Sohle möglich (untere Schnellenbereiche). Für den Winter 99/00 wurden in den Teststrecken Bad Ragaz, Buchs und Diepoldsau

Kolmationsberechnungen durchgeführt. Die Berechnungen basieren auf den gemessenen Ganglinien des Abflusses, der Schwebstoffkonzentration, der Wassertemperatur (LHG Domat Ems und Diepoldsau) sowie verschiedener Grundwasserpegel.

Die Berechnungen zeigen einen maßgebenden Einfluss der Morphologie, der Trübung und in reduziertem Maß des Abflusses auf die Kolmationsentwicklung. In den Furten ist bei hohem Sickerwasservolumen die größte Durchlässigkeitsabnahme und die größte eingelagerte Kolmationsmasse festzustellen. Die Schwallspitzen können zu einer örtlichen Dekolmation der Gewässersohle führen (Freispülen der Filterschicht). Eine eher langsame Kolmation mit geringem Sickerwasservolumen entwickelt sich in den Rinnen.

Der Abfluss- und Trübeschwall führt im Verlauf des Winters zu einer maßgebenden Verstärkung der inneren Kolmation. Gegenüber den Verhältnissen ohne Schwall sinkt die Durchlässigkeit der Rheinsohle um 30% bis über 200% und die Masse der eingelagerten Feinsedimente steigt um durchschnittlich 40%, was einer Abnahme des Porenvolumens um ca. 1,4 l/m² entspricht. Rheinabwärts der Landquartmündung (Teststrecke Bad Ragaz) führt die hohe Trübung im Verlauf des Winters zu einer starken (Rinnen) bis sehr starken (Furten) Kolmation. Vom Ellhorn bis zur Illmündung wechseln sich In- und Exfiltration ab. Bei der Infiltration von Rheinwasser (Abschnitt Triesen - Eschen) stellt sich bis zum Ende des Winters eine mittlere (Rinnen) bis starke (Furten) Kolmation ein. Ebenfalls stark kolmatiert ist die Sohle in der Internationalen Rheinstrecke.

Bezüglich der Grundwasserneubildung führt der Abfluss- und Trübeschwall zu einer Abnahme des Sickerwasservolumens um wenige bis maximal 75%. Eine bedeutende Reduktion der Infiltration ist in Gewässerabschnitten mit hohen Sickergradienten festzustellen (Bad Ragaz). Bei kleinen bis mittleren Sickergradienten ist keine signifikante Änderung des Sickerwasservolumens festzustellen.

In weiterer Folge hat diese verstärkte Kolmation schwerwiegende Folgen für die Organismengemeinschaft (Absterben bzw. verzögerte Entwicklung der Forelleneier; Beeinträchtigungen der Bodenfauna – s.u.)

3.4 Geschiebehaushalt, Korngrößen

Unter natürlichen Abflussverhältnissen ist die Rheinsohle in den Wintermonaten in Ruhe. Feingeschiebeablagerungen bleiben dort liegen, wo sie während den letzten Sommer- oder Herbsthochwasser abgelagert worden sind. Mit den Schwallabflüssen, wie sie in den vergangenen Wintern beobachtet werden konnten, ergeben sich folgende Veränderungen:

In den Schnellen sind lokale Sohlenerosionen festzustellen (vgl. Foto nächste Seite). Das erodierte Material wird zum Teil in den Kolken abgelagert (grobes Material) oder durch die Rinne flussabwärts weitertransportiert. Gleichzeitig können (bei Schwall) Feingeschiebeablagerungen mobilisiert und ebenfalls weitertransportiert werden.

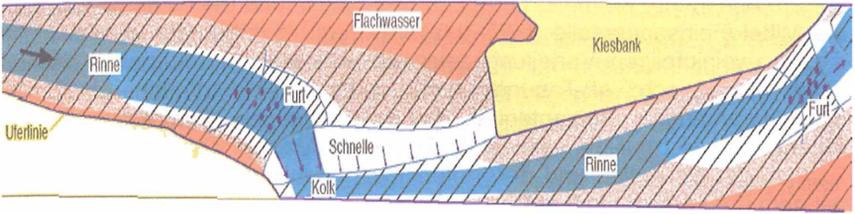


Bei abnehmendem Schwall wird das mobilisierte Geschiebe in Senken als Geschiebezungen oder entlang von Ufern in Form von Längsstreifen abgelagert (vgl. Foto unten). Der nachfolgende Schwall führt wieder zu einer Teilmobilisierung dieses Materials. Dies bedeutet, dass im Hauptstrombereich des Flusslaufs ein in Fließrichtung durchgehender Sohlenbereich mit instabilem Sohlenmaterial (Umlagerung von Geschiebe in Rinnen) oder regelmäßigem Geschiebetransport über die stabile Deckschicht (untere Rinneabschnitte und Furten) vorhanden ist. Vom Geschiebetrieb am wenigsten betroffen sind (neben den Hinterwassern) die Uferbereiche und die Flachwasserzonen. Der bei Schwall einsetzende Geschiebetrieb ist nicht mit den Verhältnissen bei Hochwasserabfluss zu vergleichen, wo ein flächendeckender Geschiebetrieb mit der Verlagerung von Kiesbänken stattfindet. Der Schwallabfluss liegt leicht über dem Grenzwert bezüglich Geschiebetriebbeginn, wo erst im Bereich der Hauptströmung Geschiebe transportiert werden kann.

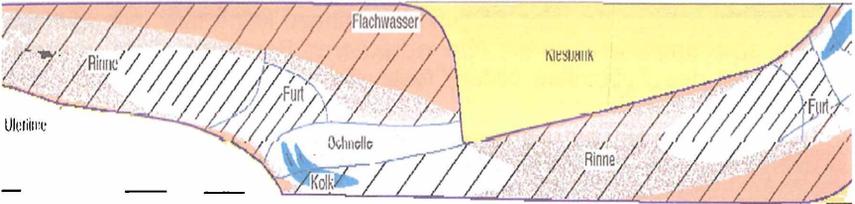


Die vorangegangenen Erläuterungen zu Kolmation und Geschiebetransport bestätigen sich auch in den **Korngrößenanalysen** der Makrozoobenthosproben. Die Auswertungen erfolgten zum Teil ohne die Kornfraktion >32 mm, um entnahmebedingte Zufälligkeiten bei größeren Fraktionen auszuschließen. Es zeigte sich ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der Tiefenrinne und den flacheren Bereichen (Abb. 5):

Mit Schwall



Ohne Schwall



Geschlebetrieb



äußere Kolmation



innere Kolmation



Abb. 4: Änderung der Kolmationsverhältnisse und des Geschlebetriebes durch den Schwall bei alternierenden Bänken. Oben mit, unten ohne Abfluss- und Trübeschwall.

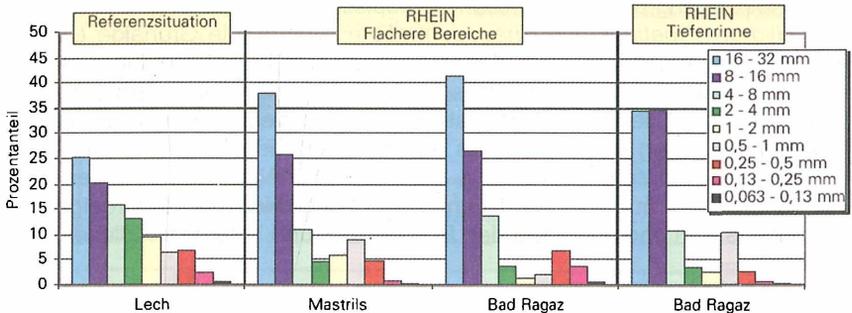


Abb. 5: Charakteristische, ausgewählte Korngrößenverteilungen am Rhein und Lech (ohne Anteile >32mm).

In den **flacheren Zonen** zeigt die Korngrößenverteilung generell eine ausgeprägte zweigipfelige Verteilung mit dem Hauptmaximum erwartungsgemäß bei der größten Fraktion (16-32 mm), ein Defizit zeigt sich ca. um die Klasse 2-4 mm. Das Sekundärmaximum liegt im Sandanteil, im Detail je-

doch je nach Teststrecke unterschiedlich: In Mastrils ist auffallend viel Grobsand (Fraktion 0,5-2 mm) festzustellen, der auch die dort augenscheinliche äußere und innere Kolmation prägt. In Bad Ragaz und Buchs hingegen sind die Mittel-/Feinsandanteile (0,25–0,5 mm) deutlich höher. Im Vergleich zu dieser zweigipfeligen Verteilung zeigt ein verzweigter, naturnaher alpiner Fluss (Tiroler Lech; vgl. Tagungsbeitrag Moritz & Kaufmann) eine gleichmäßige Abnahme der Prozentanteile der verschiedenen Kornfraktionen. Am Alpenrhein weist nur die verzweigte Strecke in Mastrils abschnittsweise (im Bereich der Schnellen und der Tiefenrinne) noch eine größere Ähnlichkeit mit dem naturnahen Lech auf.

In der **Tiefenrinne** weisen die Airlift-Proben durchwegs deutlich weniger grobes Material auf. An allen Stellen sind nahezu keine bzw. nur geringe Anteile an Korngrößen >64mm (die in flacheren Bereichen einen wesentlichen Anteil des Substrates bilden) festzustellen. Gleichzeitig jedoch sind auch weniger Feinsandanteile 0,13 – 0,25 (0,5) mm vorhanden. Unterhalb der Landquartmündung (Stellen Bad Ragaz und Buchs) wird das Sediment in der Tiefenrinne zusehends feinkörniger, die Zunahme erfolgt vor allem in der Grobsand-Fraktion 0,5 - 1mm. Damit ist das oberflächliche Sohlmaterial in der Rinnenstrecke als relativ einheitliches Korn von ca. 4 - 64mm charakterisiert, welches vor allem bei Schwall leicht mobilisierbar ist und einen ständigen Geschiebetrieb bewirkt. Dies hat tiefgreifende Folgen für die (schlechte) Besiedelbarkeit dieses Teils des Flussbettes, wie auch die Ergebnisse der Aufwuchsalgen und Bodenfauna bestätigen.

3.5 Phytobenthos

Die Aufnahme der makroskopischen Algenarten erfolgte anhand einer Flächen-Kartierungsmethode, wobei an jeder Probenstelle 2 – 3 jeweils 1m breite Profile durchgehend aufgenommen wurden.

Folgende Algengruppen traten makroskopisch in Erscheinung: Die Goldalgen *Hydrurus foetidus* und *Phaeodermatium rivulare*, die Grünalge *Ulothrix* spp. (*U. zonata*) sowie nicht näher differenzierte Kieselalgenlager. Alle 3 genannten Arten sind charakteristische Leitformen für diesen Gewässertyp. Die Gesamtzahl der Makroalgen ist damit im Vergleich zu anderen alpinen Flüssen als gering einzustufen. Es ergeben sich jedoch keine zwingenden Hinweise auf ein schwallbedingtes Ausfallen oder Neuauftreten einer Makroalgenart. Die räumliche Verteilung der nachgewiesenen Makroalgen ist charakteristisch und entspricht den Präferenzen und Toleranzen dieser Taxa (Abb. 7):

Die wechselfeuchte Spiegelschwankungszone wird nur von Kieselalgen und der Grünalge *Ulothrix zonata* besiedelt. Beide Formen reichen bis in den obersten Bereich der schwallbeeinflussten (periodisch benetzten) Zone und erreichen ihre stärkste Entwicklung jeweils im Bereich der Sunk-Wasserlinie. Während die Kieselalgen auch im anschließenden ständig überflossenen Uferbereich deutlich in Erscheinung treten, verschwindet *Ulothrix* meist nach einigen Metern flusswärts der Sunk-Wasserlinie. Im Gegensatz zu *Ulothrix* und den Kieselalgen finden sich die beiden strömungsliebenden Goldalgen

Hydrurus foetidus und *Phaeodermatium rivulare* ausschließlich im ständig überflossenen Bereich. Insbesondere *Hydrurus* bildet meist einen richtiggehenden Gürtel (Abb. 6) aus mit den höchsten Dichten bei mittleren Tiefen (20 - 50 cm) und mittleren Strömungsgeschwindigkeiten (25 - 100 cm/s – jeweils bezogen auf die Sunk-Wasserlinie). Im anschliessenden Hauptstromstrich der Tiefenrinne fehlen die Makroalgen praktisch völlig. Auch unter natürlichen Bedingungen sind Makroalgen aufgrund der hydraulischen Belastung bzw. des Geschiebetriebes im Hauptstromstrich oft fehlend oder reduziert. Am Alpenrhein wird dieser Effekt jedoch durch Schwellbetrieb zusätzlich verstärkt.

Diese Makroalgen-Zonation entspricht grundsätzlich auch der Situation, wie sie ohne Schwellbetrieb zu erwarten wäre. Jedoch wäre die räumliche Ausdehnung der amphibischen Spiegelschwankungszone dann deutlich eingeschränkt. Die in der schwallbedingt ausgedehnten Spiegelschwankungszone (in den insgesamt 7 erfassten Transekten zwischen etwa 5 und 35 m breit) dominanten Kieselalgen und *Ulothrix* treten daher überdurchschnittlich stark in Erscheinung. Ihre Biomassen stellen ein Vielfaches dessen dar, was sich unter natürlichen Abflussverhältnissen entwickeln würde.

Abb. 6: Ausbildung eines randlichen "Gürtels" der Goldalge *Hydrurus foetidus* (dunkler Streifen).

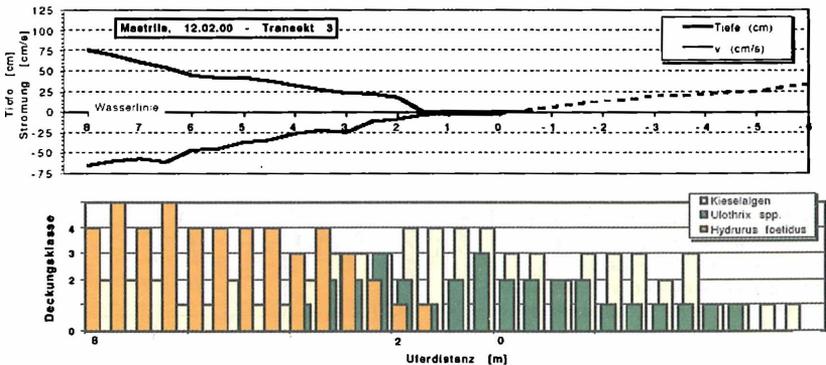
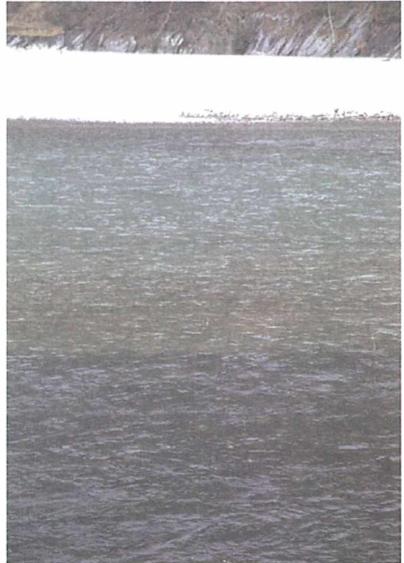


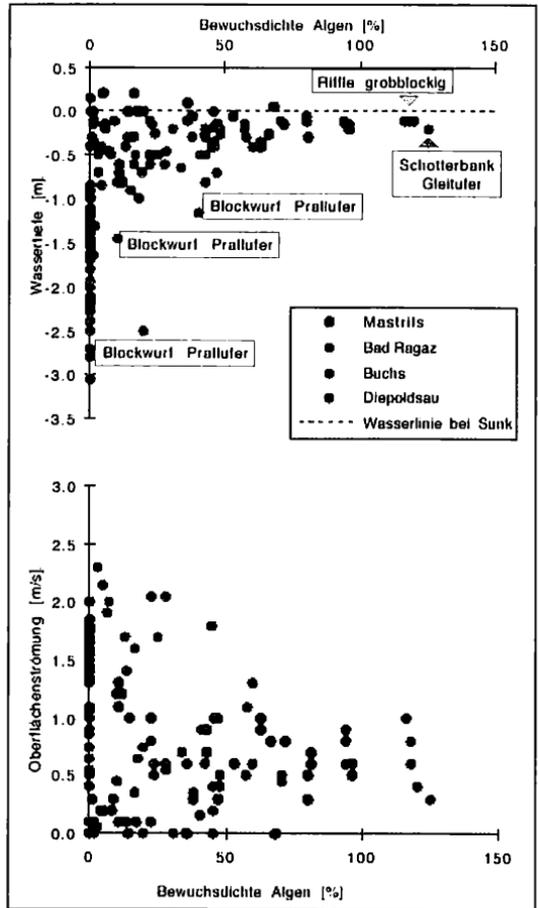
Abb. 7: Charakteristische Zonierung makroskopischer Algenformen (exemplarischer Transekt Mastrils).

Ein weiterer Bearbeitungsschritt umfasste die Aufnahme der prozentualen Anteile verschiedener Substratklassen an der Sohlenoberfläche sowie des Deckungsgrades und die Zusammensetzung des pflanzlichen Bewuchses in insgesamt 10 Querprofilen der verschiedenen Teststrecken. Anhand der Profilaufnahmen wurde der Einfluss von Uferdistanz, Wassertiefe und Strömung auf die Ausprägung des Bewuchses phänomenologisch und statistisch untersucht.

Das Phytobenthos auf den ständig benetzten Teilen der Flusssohle beschränkte sich im Alpenrhein mit wenigen Ausnahmen auf den Bereich zwischen der Uferlinie und 1m Wassertiefe (bezogen auf Niedrigwasser-Verhältnisse). In der internationalen Rheinstrecke flussabwärts der Illmündung, vertreten durch die Teststrecke Diepoldsau, war die gesamte, durchwegs unter 1m Tiefe gelegene Sohle praktisch bewuchsfrei.

Innerhalb der bewachsenen Sohlenbereiche wurden Dichte und Zusammensetzung des Phytobenthos von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst, worunter die Wassertiefe, die Strömung und die Zusammensetzung des Substrates den größten Effekt hatten (Abb. 8). Unterhalb von 1m Tiefe war das weitgehende Fehlen des Bewuchses weniger durch das Licht, als vielmehr durch die starke hydraulische Einwirkung des in Bewegung geratenen und flussabwärts transportierten Feingeschiebes bei Schwall bedingt („Kugelmühlen-Effekt“, „Sandstrahl-Effekt“).

Abb. 8: Dichte (Deckungsgrad) des Algenbewuchses in den untersuchten Teststrecken des Alpenrheins in Abhängigkeit von der Wassertiefe (oberes Bild) und Fließgeschwindigkeit an der Wasseroberfläche (unteres Bild).



3.6.1 Drift

Die in der fließenden Welle des Alpenrheins treibenden Algen, wirbellosen Tiere (Makroinvertebraten, Plankton) und anorganischen Partikel wurden am 13./14.2.00 (Sonntag/Montag) mittels quantitativer Driftproben aus der Flussmitte bei Untervaz erfasst. Begleitend dazu wurden der Pegelstand, die Trübung und die Schwebstoffkonzentration gemessen.

Die Drift zeigte im Verlauf der Niedrigwasserphase keine Maxima bei Einbruch der Dunkelheit oder bei Tagesanbruch, wie dies in vielen anderen Gewässern der Fall ist. Auch die „künstliche“ Verdunkelung durch eine regenbedingte Trübespitze bewirkte noch keine Zunahme der driftenden Organismen, solange die Wasserführung auf tiefem Niveau blieb (Abb. 9). Mit dem Einsetzen des Schwall stieg die Invertebraten-Drift trotz sinkender Trübung massiv an und erreichte beim Übergang von ansteigendem zu konstant hohem Schwallabfluss ihren Spitzenwert. Gleichzeitig wurden auch maximale Mengen von organischen (v.a. Fäden der Goldalge *Hydrurus foetidus*) und anorganischen Partikeln (v.a. Sand) abgetrieben. Im weiteren Verlauf des Schwall nah die Drift bei unverändert hoher Wasserführung wieder deutlich ab. Die höchste erfasste Konzentration von Makroinvertebraten in der Drift (Driftdichte) lag um einen Faktor 34 über der relativ gleichmäßigen Basisdrift bei Niedrigwasser. Die Zusammensetzung des driftenden Makrozoobenthos blieb über die ganze Untersuchungsperiode vergleichsweise konstant. Sowohl bei Niedrigwasser als auch bei Schwall stellten die Zuckmückenlarven mit 84% bis >95% den weitaus größten Anteil an Individuenzahl und Biomasse in der Drift. Diese festgestellte Katastrophendrift würde während des Winters natürlicherweise nur bei seltenen Hochwasserereignissen auftreten. Sie setzte an der Untersuchungsstelle bei einem ähnlichen Abfluss ein, bei dem in einer flussabwärts anschließenden Fließstrecke auch die Mobilisierung der Schwebstoff-Depots auf der Flusssohle begann (ca. 90 - 100 m ³/s).

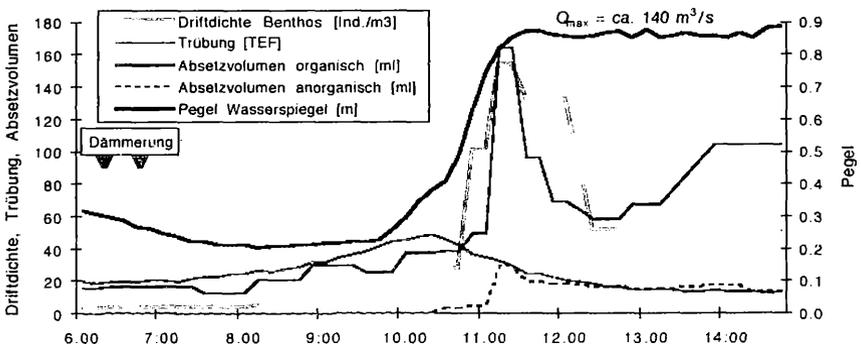


Abb. 9: Verlauf der untersuchten Parameter während der Driftmessung vom 13./14.2.2000 im Alpenrhein bei Untervaz (Schwalldurchgang).

3.6.2 Bodenbesiedelung

Für die Bodenfauna-Probenentnahmen wurden je nach Wassertiefe 2 Gerätschaften eingesetzt: bis in eine Wassertiefe von ca. 70 cm erfolgten die Entnahmen mit einem geschlossenen Zylindersamplern ("Hess-Sampler"). In der Tiefenrinne ab ca. 70 - 100cm Tiefe wurde ein "Airlift-sampler" verwendet.

Flache ufernähere Bereiche: Auffallend sind die im Vergleich zu anderen alpinen Flüssen generell sehr geringen Besiedelungsdichten (insgesamt 3.000 bis maximal 25.000 Ind./m²) und extrem niedrigen Biomassen (0,2 – 2,8 g FG/m²) im Herbst 1999. Im Spätwinter 2000 ist eine deutliche Erholung festzustellen: die Besiedelungsdichten (zumeist zwischen 17.000 und 44.000 Ind./m²) liegen immer noch im unteren Bereich der Schwankungsbreite ähnlicher schwallbeeinflusster Flüsse, die Biomassen liegen mit Werten von 13,2 bis 29,9 g FG/m² aber durchaus im gewohnten Rahmen (vgl. Abbildung im Tagungsbeitrag Moritz & Pfister).

Charakteristisch ist die Abnahme der Besiedelungsdichten in Richtung Strommitte. Die Tiefenrinne wird schließlich nur noch von einer spärlichen Rumpff fauna besiedelt (Abb. 10).

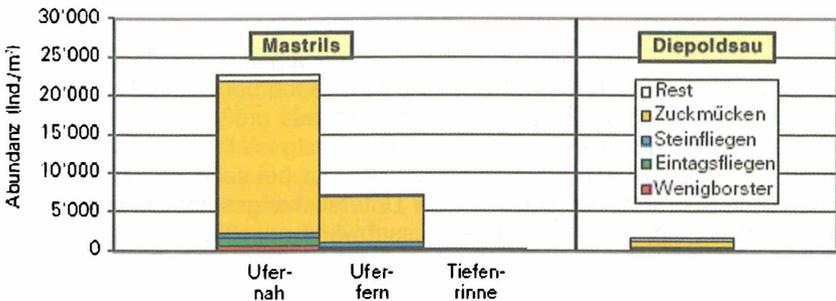


Abb. 10: Besiedelungsdichten und Grossgruppensdominanz im Spätwinter 2000 beispielhaft in Mastrils und Diepoldsau (internationale Rheinstrecke).

Vergleicht man die relative Zusammensetzung der Bodenfauna mit einer naturnahen Referenzsituation (Tiroler Lech: naturnahe, verzweigte Gerinnemorphologie; kein Schwellbetrieb), wird die Fauna an allen Teststrecken im Alpenrhein deutlich stärker von den Zuckmückenlarven dominiert (Abb. 11). Besonders auffallend ist dies in Mastrils, wo die Zuckmücken an allen Bereichen mit 75% - 92% stark dominieren. In erster Linie sind es Vertreter der sogenannten "Hydrurusfauna" (z.B. diverse Arten der Gattungen *Eukiefferiella*, *Orthocladius rivicola*-Gruppe).

Diese **Hydrurusfauna** ist von Schwall- und Trübeeinflüssen nicht nachweisbar beeinträchtigt. Aussagekräftig ist in diesem Zusammenhang auch das relativ häufige Auftreten der ansonsten gegen Störungen ausserordentlich empfindlichen Eintagsfliegengattung *Baetis* (vgl. Tagungsbeitrag Moritz & Pfister).

Ein schwallbedingter Abrasionseffekt bei **Bewohnern der oberflächlichen Sedimente** mit filtrierender Lebensweise (Kriebelmückenlarven) ist ebenfalls nicht sicher nachweisbar.

Generell starke Defizite hingegen sind bei größeren **Besiedlern des oberflächlichen Lückenraumsystems** zu verzeichnen. Insbesondere die Eintagsfliegengruppe der Heptageniiden (v.a. *Rhithrogena* spp.) und Steinfliegen fallen weitgehend aus. In Mastrils können einzig die in tiefere Sedimentschichten vordringenden Steinfliegengattungen *Leuctra* und *Capnia* Bestände in "normalen" Dichten ausbilden. Ursache für diese Defizite in Mastrils dürfte die verstärkte äußere Kolmation mit Grobsand sein. Bei entsprechend häufiger Umlagerung, die schwallbedingt auch im Winter ständig gegeben ist, ist der Grobsand zudem auch für kleine Kieslückenbewohner (z.B. die Zuckmücken *Heleniella* sp., *Parametricnemus stylatus* sowie *Parakiefferiella* sp.) kaum nutzbar.

Eine innere Kolmation ist in Mastrils weniger limitierend für die Bodenfauna als in den Teststrecken unterhalb der Landquart. Am besten ist die Auswirkung der inneren Kolmation in Bad Ragaz mit teilweise sehr stark verfestigten Sedimenten, v.a. im Furtbereich festzustellen:

Defizite bei kleinen Kieslückenbewohnern wie *Parakiefferiella* sp. oder den sauerstoff-bedürftigen Oligochaeten *Propappus volki*, *Stylodrilus heringianus*;

in Verbindung mit dem erhöhten Feinsedimentanteil auch ein erhöhter Saprobitätsgrad bzw. stärkere Anteile von Detritusfressern;

Hinweise auf einen erschwerten Nachschub und Aufkommen von Juvenilstadien aus tieferen Sedimentschichten.

Auch ohne Schwellbetrieb dürfte früher eine ausgeprägte Kolmation im Rhein der Fall gewesen sein. Darauf weisen Untersuchungsprotokolle aus den Jahren 1946/47 hin. Qualitative Hinweise in diesen Berichten sprechen jedoch gleichzeitig dafür, dass die heute festgestellten Defizite bei größeren Lückenraumbewohnern, insbesondere bei Eintags- und Steinfliegenlarven, früher nicht in diesem Ausmaß gegeben waren und durch den Schwellbetrieb verstärkt wurden. Ein dichter Bestand von Köcherfliegen (*Allogamus auricollis*) im Furt- und Rinnenbereich von Bad Ragaz und Buchs ist auch auf die Flussmorphologie bzw. Strömungsverhältnisse zurückzuführen. Durch die hohen Strömungsgeschwindigkeiten bei Schwall (im gesamten Längenprofil auch in den langsamer durchströmten Furten und Rinnen immer über 1 m/s) dürfte *Allogamus* regelmässig verdriftet werden und in strömungsberuhigten Bereichen stärker akkumulieren. Vermutlich wäre auch der durch eine schwallbedingte Resuspension charakterisierte Flächenanteil (je nach Teststrecke Anteil von 33% - 40%) ein potentieller Lebensraum von *Allogamus*, der durch den Schwellbetrieb jedoch nur sehr eingeschränkt nutzbar ist.

Die Analyse der relativen Anteile verschiedener **funktionaler Ernährungstypen** spiegelt die Charakteristika der Probenstellen bzw. die Veränderungen der Artengemeinschaften wieder. In Mastrils verursacht die durch Schwall und Trübe am wenigsten beeinträchtigte Hydrurusfauna eine über-

mäßige Weidegängerdominanz: Bad Ragaz und Buchs weisen infolge der höheren Feinsedimentanteile und (v.a. in Bad Ragaz) verstärkten inneren Kolmation zunehmende Detritusfresseranteile in den Rinnen auf.

Aufschlussreich ist auch die Charakterisierung der **Biozönotischen Region**: Auf Grundlage der Temperatur- und Gefällsverhältnisse wäre der Alpenrhein in Graubünden ursprünglich dem Übergang Untere Forellenregion/Äschenregion, flussab der Äschenregion zuzuordnen. Im Unterlauf treten zunehmend potamale Einflüsse hinzu (Eberstaller et al. 1997). Durch das Zusammenwirken von Schwellbetrieb und Begradigung ist ein starker Rhithralisierungseffekt gegeben. Die Furten und Schnellen entsprechen meist dem Übergang zwischen Oberer und Unterer Forellenregion. Im Vergleich zur natürlichen Situation entsprechen diese Veränderungen einer Verschiebung um mindestens eine biozönotische Region.

Besiedelung der Tiefenrinne: An allen Teststrecken sind die Besiedlungsdichten immer derart gering (die Biomassen beispielsweise liegen rund 1 - 2 Zehnerpotenzen (!) unter den Werten der flacheren Uferbereiche), dass dieser Lebensraum einheitlich für den ganzen Alpenrhein als extrem dünn besiedelt bezeichnet werden kann. Dieser Flussbereich ist als Lebensraum kaum nutzbar, im wesentlichen können sich hier nur noch Juvenilformen und kleine Arten halten. Limitierender Faktor ist dabei der ständige schwallbedingte Geschiebetransport. Die Abhängigkeit der Besiedlungsdichten von der Substratstabilität (Ausnahme ufernahe Rinnen) und dem ebenfalls damit zusammenhängendem Algenbewuchs kann deutlich gezeigt werden (Abb.11).

Auch in anderen Flüssen sind deutlich verminderte Besiedlungsdichten in den Tiefenrinnen eine durchaus normale Erscheinung. Die Werte am Rhein sind aber vergleichsweise derart gering, dass hier von einer wesentlichen Verschärfung durch den Schwellbetrieb ausgegangen werden muss. Der außerordentlich spärlichen Besiedelung der Tiefenrinne kommt insofern eine große Bedeutung zu, als dieser Lebensraum einen grossen Flächenanteil am Flusssystem einnimmt. In Mastrils, Bad Ragaz und Buchs liegt dieser Anteil zwischen 41% und 52%. Die Internationale Rheinstrecke (Teststrecke Diepoldsau) stellt mehr oder weniger eine einzige Tiefenrinne, randlich begrenzt vom Blockwurf, dar. Die gesamte Internationale Rheinstrecke ist daher hinsichtlich der Bodenfauna als weitgehend degradiertes Abschnitt zu bezeichnen.

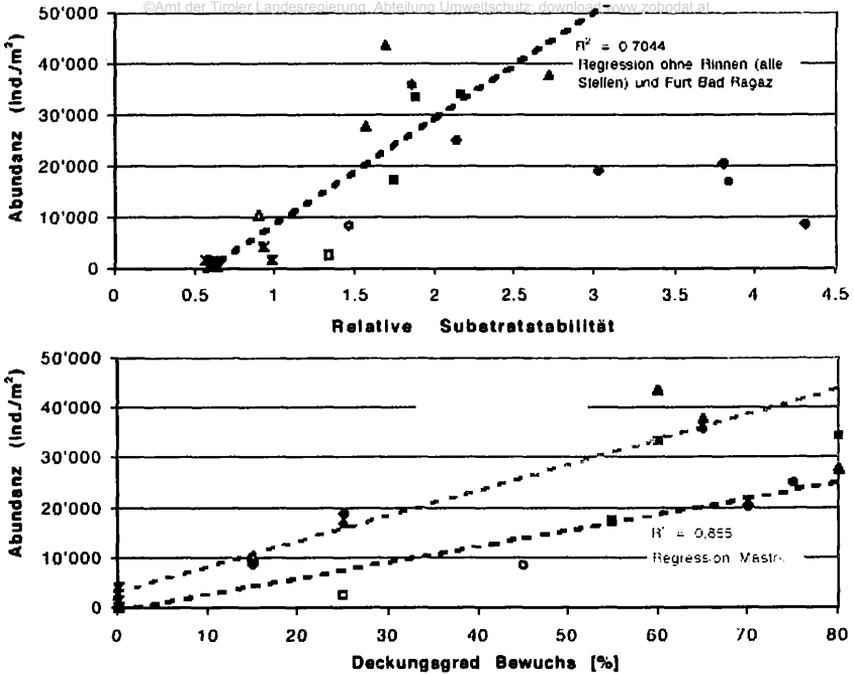


Abb. 11: Makrozoobenthos: Abhängigkeit der Besiedlungsdichte (Abundanz) von Substratstabilität (RBS nach GORDON et al.1992) und Bewuchsdichte. Blau gefüllt: Mastrils (ufernah); Blau leer: Mastrils (uferfern); Rot: Bad Ragaz; Grün: Buchs; Braun/schwarz: Diepoldsau. Symbole: Kreis = Furt; Dreieck = Schnelle (Beginn); Quadrat = Schnelle (Ende); Rhombus = Rinne (ufernah); Kreuz = Tiefenrinne.

3.7 Fische

3.7.1 Befischungen

Die Befischungen umfassen vor allem die vom Schwall besonders betroffenen Kiesbankbereiche. Andere Uferstrukturen, wie Hinterrinnen etc. werden nur im Nahbereich der Kiesbänke erfasst. Zusätzlich finden Befischungen in den Mündungsbereichen von mit dem Alpenrhein niveaugleich vernetzten Zubringern (Dorfbach, Liechtensteiner Binnenkanal) statt.

Insgesamt werden 12 Fischarten nachgewiesen. Der Anteil der im Oberlauf (Mastrils, Bad Ragaz) dominierenden Bachforelle geht dabei flussab stetig zurück; jener der Regenbogenforelle steigt hingegen zunehmend. In Diepoldsau ist sie häufigste Art, die Bachforelle fehlt völlig. Parallel zum zunehmenden Regulierungsgrad geht der Fischbestand entlang der Kiesbänke vom strukturreichen Abschnitt der Mastrilser Auen mit intaktem Zubringersystem im Längsverlauf deutlich zurück (Abb. 12). Für die naturnah umgestaltete Mündung des Liechtensteiner Binnenkanals werden hingegen über 8000 Individuen/ha belegt.

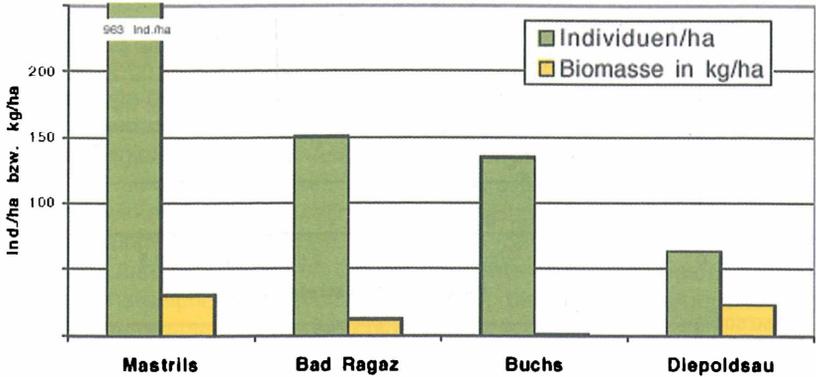
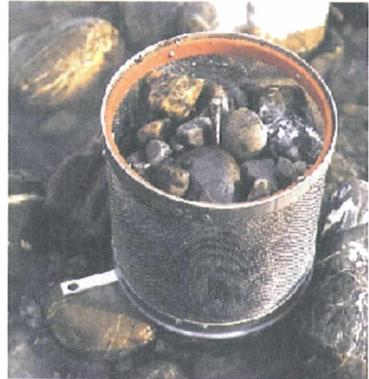


Abb. 12: Fische: Individuendichte und Biomasse in den Uferbereichen im Längsverlauf (Mittel aus 3 Terminen ohne Koppe).

3.7.2.Reproduktion

Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Überprüfung der Reproduktionsverhältnisse für Bach- und Seeforelle mittels insgesamt 100 modifizierter Vibert-Kästen, die in den Alpenrhein, einem kleinen Zubringer in den Mastrilser Auen ("Dorfbach") sowie in Inn und Lech eingebracht werden.

Erfolgreiche Larvalentwicklung wird im Alpenrhein nur im unteren Teil der Riffel im Bereich von Mastrils dokumentiert. An allen anderen Stellen kommt es zu einer stark verzögerten Entwicklung der Eier, die ein rechtzeitiges Schlüpfen und die Entwicklung ausreichend schwimmfähiger Larven vor dem Frühjahrshochwasser verhindern. Diese verzögerte Entwicklung ist vermutlich Folge der verstärkten inneren Kolmation durch die bei Schwall erhöhte Trübefracht, die zu reduzierter Durchströmung und damit unzureichender Sauerstoffversorgung der im Substrat befindlichen Eier führt (Shumway et al., 1964). Larven treten im Alpenrhein daher nur in jenen Vibertkästen auf, die vergleichsweise geringe Anteile an eingetragenen Feinsediment < 0,63mm aufweisen (Abb. 13). Demgegenüber werden im Dorfbach und im Referenzfluss Lech in allen Kästen Larven belegt. Im schwallbeeinflussten Inn werden nur im unteren Teil der Riffel ebenfalls Larven nachgewiesen.



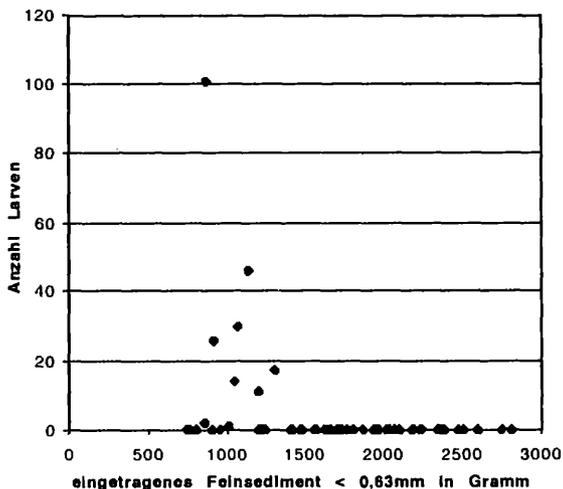


Abb. 13: Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Larven und dem eingetragenen Feinsedimentanteil (<math>< 0.63\text{mm}</math>) im Alpenrhein.

3.7.3 Auswirkung der wichtigsten Schadensfaktoren auf die Fischpopulationen

Auf Basis vorliegender Ergebnisse lassen sich die Auswirkungen von Schwall und erhöhter Trübe auf die Fischbestände folgendermaßen beurteilen:

Trockenfallen oder Verdriften der Jungfische und Larven. Die flachen ufernahen Bereiche stellen für Larven und Jungfische der meisten Fischarten in Rhithralgewässern die bevorzugten Habitate dar (Guthruf, 1996). Insbesondere Larven stellen aufgrund ihrer begrenzten Schwimmkapazität bzw. zum Schutz vor Räubern sehr spezifische Anforderungen an geringe Wassertiefen und niedrige Fließgeschwindigkeiten. So suchen frisch emergierte Bachforellenlarven in den Nachtstunden stehende, sehr seichte Bereiche (0 - 2cm) zum Rasten auf (Roussel & Bardonnnet, 1999). Gerade an flachen Kiesbänken verschieben sich diese Zonen aber zwischen Schwall und Sunk am Alpenrhein beträchtlich. Bei einer Schwallamplitude von 20 auf 140 m³/s etwa schwankt die Wasseranschlagslinie im Winter in Bad Ragaz um 12 m bis über 73 m bei einer Wasserspiegeldifferenz von bis zu 95 cm (Abb. 14). In Mastrils ist die Wasserspiegeländerung und das Ausmaß der Wasserwechselzone als Folge heterogener Gerinnemorphologie noch grösser.

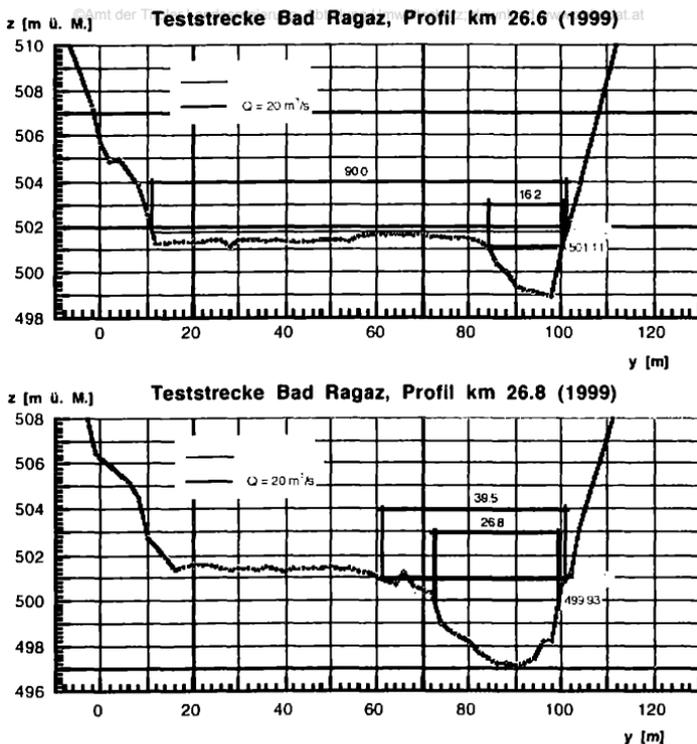


Abb. 14: Wasserspiegel bei Sunk (20 m³/s) und Schwall (140 m³/s) in 2 Profilen (km 26.6 und 26.8) im Abschnitt Bad Ragaz.

Diese massiven täglichen Änderungen der Lebensraumverhältnisse zwischen Sunk und Schwall zwingen die Larven und Jungfische bei Schwall mit der stark steigenden Wasseranschlagslinie mitzuwandern. Dabei verbleiben bei jedem Abflussrückgang Individuen in kleinen, trocken fallenden Tümpeln zurück. In den Flachuferbereichen bei Schwall konnten auch nur vergleichsweise geringe Dichten von juvenilen (einsömrigigen) Bach- und Regenbogenforellen belegt werden; auch unmittelbar vor Rückgang des Schwalles kurz vor Mitternacht werden in Mastrils entlang einer Kiesbank in den bei Sunk trocken fallenden Hinterrinnen bzw. Flachuferbereichen nur 200 Ind./ha nachgewiesen. Dies entspricht ca. 10% der Dichte in den flusswärts anschließenden, permanent benetzten Bereichen. Über den Winter können jedoch auch Ausfälle von wenigen Prozent pro Sunkphase aufgrund ihres täglichen Auftretens zu einer starken Ausdünnung der Jungfische führen.

Für Forellenlarven (bezüglich der Reproduktion und Eientwicklung siehe aber unten) wären infolge der deutlich geringeren Schwimmleistung und noch stärkerer Präferenz für seichte Flachwasserzonen wesentlich stärkere Auswirkungen der Schwankungen der Wasseranschlagslinien als für Jungfische anzunehmen (vgl. z.B. Ottaway & Forrest, 1983). Zudem erfordern die

permanenten großräumigen Standortwechsel hohen energetischen Aufwand, der gerade für Larven kaum aufbringbar erscheint. Bleiben die Larven und Jungfische hingegen an den bei Sunk geeigneten Habitaten, so besteht bei Schwall die Gefahr der Abdrift. Dies gilt für die meisten strömungsliebenden Fischarten wie z.B. auch die Äsche. Die Koppe dürfte hingegen dauerhaft in permanent benetzten Bereichen im Substrat bleiben und dadurch vom Schwall nicht so sehr wie andere Fischarten betroffen sein (Slavik et al., 2000). Dies zeigen auch die im Vergleich zum Gesamtfischbestand vergleichsweise hohen Dichten dieser Art.

Beeinträchtigung der Reproduktion. Untersuchungen über die Beeinträchtigung des Laichvorganges von Bachforellen in Schwallstrecken liegen den Verfassern nicht vor, sind aber in Analogie zu dem für viele Fischarten bekannten Abbruch der Laichaktivitäten bei einsetzendem Hochwasser anzunehmen. Aufgrund ihrer täglichen Periodizität würden diese Auswirkungen aber stärker ins Gewicht fallen.

Trockenfallen der bei Schwall abgelaichten Eier bzw. Erosion der bei Sunk abgelaichten Eier. Praktisch alle Hauptfischarten des Alpenrheins laichen an flacheren, rasch fließenden Bereichen mit lockerem Kiessubstrat. Verortet man die potentiellen Laichplätze für Bach- und Seeforelle am Alpenrhein bei Schwall und vergleicht diese mit der Wasseranschlagslinie bei Sunk, so ergibt sich bei der während der Laichzeit der Bach- und Seeforelle (Nov./Dez.) typischen Schwallamplitude von 100 cm keine Überlappung. Das heißt, praktisch alle potentiellen Laichplätze bei Schwall fallen bei Sunk trocken. Dies gilt umso mehr, als der minimale Abfluss im Jänner gegenüber der Laichzeit nochmals zurückgeht. Potentielle Laichplätze bei Sunk weisen hingegen bei Schwall sehr hohe Fließgeschwindigkeiten auf, die zur Erosion der Eier führen können. Bei den Schwallspitzen kommt es zudem immer wieder zur Erosion und Verlagerung von Geschiebe, wovon gerade die optimalen Laichplätze mit lockerem Kiessubstrat unterhalb der Riffel besonders betroffen sind. Insgesamt dürfte daher alleine aus diesem Grund keine oder nur mehr sehr geringe natürliche Reproduktion für die Bach- und Seeforelle im Alpenrhein möglich sein.

Ungenügende Ei- bzw. Larvalentwicklung durch Kolmation des Kieslückenraumes. Die starke innere Kolmation im Alpenrhein verhindert eine erfolgreiche natürliche Reproduktion (insbesondere der See- und Bachforelle). Lediglich in den naturnahen Riffelausformungen in Mastrils wäre hinsichtlich Kolmation möglicherweise eine Reproduktion in sehr eingeschränktem Umfang möglich. Die bereits aufgeführten Schadensfaktoren lassen jedoch in Summe eine erfolgreiche Reproduktion auch in Mastrils sehr fraglich erscheinen. Die Zubringer in den Mastrilser Auen, vor allem der Dorfbach, bieten hingegen diesbezüglich optimale Bedingungen. Den Ausfall der Reproduktion im Alpenrhein können diese wenigen, kleinen Zubringer aber nicht kompensieren.

Indirekte Schädigung durch zu geringes Nahrungsangebot. Im Herbst bei minimalem Nahrungsangebot weisen die untersuchten Regenbogenforellen Konditionsfaktoren von lediglich 0.85 auf (Entnahme allerdings nur in Diepoldsau). Im Winter und Sommer mit höherem Nahrungsangebot ändern

sich die Konditionsfaktoren aber nicht. Die Magenanalysen zeigen eine gleichmäßige Verteilung des Füllungsgrades der Mägen. Dabei ist auch zu beachten, dass nicht die gesamte Benthosbiomasse für das Nahrungsangebot entscheidend ist, sondern der Anteil der für die Fische tatsächlich nutzbaren Taxa. So sind die im Alpenrhein derzeit dominierenden Zuckmücken (Chironomiden) aufgrund ihrer geringen Grösse für Fische nur beschränkt nutzbar. In den Magenanalysen erreicht diese Gruppe nur geringe Anteile. Gleichzeitig sind die Stein- und Eintagsfliegenlarven im Alpenrhein unterrepräsentiert, wobei sie in den Magenanalysen aber neben den Kriebelmücken (Simuliiden) häufig vorkommen. Insgesamt ist somit anzunehmen, dass die festgestellten niedrigen Benthosbiomassen zwar derzeit für den extrem geringen Fischbestand im Alpenrhein nicht den maßgeblichen Schadensfaktor darstellen. Bereits bei geringfügig erhöhtem Fischbestand könnte das sehr eingeschränkte Nahrungsangebot aber zu einem limitierenden Faktor werden.

Gesamtbeurteilung. Auf Basis vorliegender Ergebnisse dürfte die maßgebende Schädigung der praktisch völlige Ausfall der natürlichen Reproduktion im Alpenrhein, insbesondere auch für Bach- und Seeforelle, sein. Verstärkt wird dies durch die Abtrennung der meisten Zubringer, wodurch sie als Reproduktionsareale für die Populationen des Alpenrheins ausfallen. Insbesondere Forellenlarven würden durch den Schwall ebenfalls massivst geschädigt werden. Dies wird aber derzeit aufgrund der fehlenden Reproduktion und dadurch fehlenden Larven im Alpenrhein nicht wirksam oder limitierend, ebenso wie der Ausfall von Jungfischen oder das sehr eingeschränkte Nahrungsangebot durch die extrem geringen Benthosbiomassen.

4. Zusammenfassung

Von 1998 bis 2001 wurde im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA) das Projekt „Trübung und Schwall im Alpenrhein“ durchgeführt. Darin wurden die Auswirkungen der Abfluss- und Trübeschwankungen auf Substrat, Benthos und Fische untersucht. Hinsichtlich der abiotischen Grundlagen zeigten sich folgende wesentlichen Ergebnisse:

Seit den 70-er Jahren hat der **Schwall** deutlich zugenommen, der Abfluss schwankt heute bei Domat Ems täglich zwischen etwa 30 m³/s und 150-190 m³/s. Durch den Schwall ist eine deutliche Erhöhung der Trübung festzustellen, insbesondere beim Schwallanstieg durch die Resuspension von abgelagerten Feinsedimenten. Durch die heutigen Schwallspitzen kommt es auch im Winterhalbjahr zu einem durchgehenden **Geschiebetrieb** über die stabile Deckschicht. Äussere und innere **Kolmation** (Ablagerung bzw. Einlagerung von Schwebstoffen auf und in die Gewässersohle) werden durch den Abflussschwall maßgebend verstärkt. So werden gegenüber natürlichen Verhältnissen etwa 40 % mehr Feinsedimente eingelagert, die Sohlendurchlässigkeit nimmt auf die Hälfte ab.

In der **Korngrößenverteilung** zeigte sich ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der Tiefenrinne und den flacheren Bereichen. Während in den flacheren Zonen generell eine ausgeprägte zweigipfelige Verteilung mit ei-

nem Defizit ca. um die Klasse 2-4 mm festzustellen ist, besteht das oberflächliche Sohlmaterial in der Tiefenrinne aus einem relativ einheitlichen Korn von ca. 4-64 mm. Dieses ist vor allem bei Schwall leicht mobilisierbar und bewirkt einen ständigen Geschiebetrieb.

Die **Phytobenthosbesiedlung** mit den 3 wichtigsten Makroarten *Hydrurus foetidus*, *Phaeodermatium rivulare* und *Ulothrix* spp. (*U. zonata*) weicht in einigen Punkten merklich von der Situation unter natürlichen Abflußbedingungen ab. Am auffälligsten ist die unverhältnismäßig breite Ausdehnung der wechselfeuchten Spiegelschwankungszone, die nur von Kieselalgen und der Grünalge *Ulothrix zonata* besiedelt wird. Im Hauptstromstrich der Tiefenrinne fehlen die Makroalgen praktisch völlig. Die Auswirkungen des Schwellbetriebes sowie der erhöhten Schwebstoffführung auf die Makroalgen insgesamt sind allerdings als vergleichsweise gering einzustufen.

Beim **Makrozoobenthos** auffallend sind die im Vergleich zu anderen alpinen Flüssen generell sehr geringen Besiedlungsdichten im Herbst 1999. Im Spätwinter 2000 ist eine deutliche Erholung festzustellen. Charakteristisch ist die Abnahme der Besiedlungsdichten in Richtung Strommitte. Die Tiefenrinne wird schließlich nur noch von einer spärlichen Rumpffauna besiedelt (rund 1-2 Zehnerpotenzen unter den Werten der flacheren Uferbereiche).

Im Vergleich mit einer naturnahen Referenzsituation wird die Fauna im Alpenrhein deutlich stärker von den Zuckmückenlarven dominiert. In erster Linie sind es Vertreter der sogenannten „Hydrurusfauna“, die am Alpenrhein von Schwall- und Trübeeinflüssen nicht nachweisbar beeinträchtigt ist. Generell starke Defizite hingegen sind bei größeren Besiedlern des oberflächlichen Lückenraumsystems zu verzeichnen. Insbesondere die Eintagsfliegen-Gruppe der Heptageniiden (v.a. *Rhithrogena* spp.) und Steinfliegen fallen weitgehend aus.

Die wichtigsten Defizite müssen mit dem Feststofftransport in Verbindung gebracht werden. Schwallbedingter Geschiebetransport ist einer der maßgeblichsten Faktoren für die generell niedrigen Besiedlungsdichten und Biomassen. Insbesondere in den Tiefenrinnen, die einen Flächenanteil von rund 40-50 % einnehmen, kommt dies stark zum Tragen. Die durch den Schwall verstärkte äussere und innere Kolmation sind ein zweiter maßgebliche Faktor, auf den sich die beobachteten Defizite zurückführen lassen (insbesondere der weitgehende Ausfall v.a. grösserer Sedimentlückenbewohner).

Durch das Zusammenwirken von Schwellbetrieb und Begradigung ist ein starker Rhithralisierungseffekt mit einer Verschiebung um mindestens 1 biozönotische Region festzustellen.

Der **Fischbestand** im Alpenrhein ist, verglichen mit vom Gewässertyp her ähnlichen Flüssen, niedrig. Die natürliche Reproduktion der Hauptfischarten ist praktisch für den ganzen Rhein auszuschließen. Verantwortlich für diese massive Beeinträchtigung der Fischpopulation sind neben den Regulierungsmaßnahmen und der Abtrennung der Zubringer verschiedene Prozesse, die hauptsächlich mit dem Abfluss- und Trübeschwall zusammenhängen.

Für die Population limitierend sind in erster Linie die Wasserspiegelschwankungen, der Geschiebetrieb und die innere Kolmation.

Unter den heute bestehenden Verhältnissen fällt praktisch die gesamte Gewässersohle des Alpenrheins für eine erfolgreiche Eiablage resp. Larvalentwicklung aus. Eine erfolgreiche Larvalentwicklung wird nur im unteren Teil der Riffel im Bereich von Mastrils dokumentiert. An allen anderen Stellen kommt es zu einer stark verzögerten Entwicklung der Eier, die ein rechtzeitiges Schlüpfen und die Entwicklung ausreichend schwimmfähiger Larven vor dem Frühjahrshochwasser nicht erwarten lassen. Diese verzögerte Entwicklung ist vermutlich Folge der verstärkten inneren Kolmation durch die bei Schwall erhöhte Trübefracht, die zu reduzierter Durchströmung und damit unzureichender Sauerstoffversorgung der im Substrat befindlichen Eier führt.

Demgegenüber wurde im Dorfbach und im Referenzfluss Lech in allen Kästen eine erfolgreiche Reproduktion belegt. Im schwallbeeinflussten Inn werden im unteren Teil der Riffel ebenfalls Larven nachgewiesen.

Wichtigste Auswirkungen von Schwall und erhöhter Trübe auf die Fischbestände sind:

- Trockenfallen oder Verdriften der Jungfische und Larven
- Beeinträchtigung der Reproduktion durch Trockenfallen der bei Schwall abgelaichten Eier bzw. Erosion der bei Sunk abgelaichten Eier sowie ungenügender Ei- bzw. Larvalentwicklung durch Kolmation des Kieslückenraumes infolge der erhöhten Trübefracht
- indirekte Schädigung durch zu geringes Nahrungsangebot.

Eine tabellarische Zusammenstellung der wichtigsten Wirkungsmechanismen auf die Biozönosen wird im Anhang gegeben.

5. Literatur

- ARGE Trübung Alpenrhein (2001): Trübung und Schwall im Alpenrhein. Synthesebericht, Fachberichte und Literaturstudie im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie. Total ca. 500 S., Beilagen.
- Baumann, P. & U. Schälchli (im Druck): Trübung und Schwall im Alpenrhein. – Artikel für Wasser-energie-luft.
- Eberstaller, J., Haidvogel, G., Jungwirth, M. (1997): Gewässer- und Fischökologisches Konzept Alpenrhein. Grundlagen zur Revitalisierung. Bericht im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, 90 Seiten.
- Gordon, N., McMahon, T. & B. Finlayson (1992). Stream Hydrology. An introduction for Ecologists. – John Wiley & Sons, Chichester. 526 pp.
- Ottoway, E., Forrest, D. (1983): The influence of water velocity on the downstream movement of alevins and fry of brown trout (*Salmo trutta* L.). J. Fish Biol. 23, 221 - 227
- Roussel, J.-M., Bardonnet, A. (1999): Ontogeny of diel pattern of stream — margin habitat use by emerging brown trout, *Salmo trutta*, in experimental channels: influence of food and predator presence. Environmental biology of fishes 56, 253 - 262.
- Shumway, D.L., Warren, C.E., Doudoroff, P. (1964): Influence of oxygen concentration and water movement on the growth of steelhead trout and coho salmon embryos. Transactions of the American Fisheries Society 93(4), 342 - 356.
- Slavik, O., Mattas, D., Bartos, L., Jioinec, P. (2000): Effects of variable discharge produced by hydropower station on habitat use of *Phoxinus phoxinus* and *Cottus gobio*: Comparison between riffle and pool mesohabitats. 8. International symposium of regulated streams, River restoration, July 17 - 21, 2000 Toulouse, Seite 85.

5. Anhang

Tab. 1: Phytobenthos: Wirkungsmatrix der physikalischen Prozesse. ++ = starker, maßgebender Einfluss, + = bedeutender Einfluss, (+) = mäßiger Einfluss, - = kein Einfluss.

Einflussfaktor	Bedeutung	Veränderung durch Schwall
Licht	+	<ul style="list-style-type: none"> - Schwallbedingte Trübung vermindert das Lichtangebot gegenüber den natürlichen Niedrigwasser-verhältnissen stark - Abnehmendes Lichtangebot führt zu - Insgesamt verringerter Produktivität der Primärproduzenten - Beschränkung auf weniger lichtbedürftige Algenarten in tieferen Bereichen
Feinsediment-Transport (Sand + Silt <2 mm)	+	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhter Feinsediment-Transport bei Schwall führt zu zusätzlicher Abrasion ("Sandstrahl-Effekt") und Abschwemmung des Algenbewuchses und der darauf bzw. darin lebenden wirbellosen Tiere ("Katastrophendrift")
Feinsediment-Einlagerung (innere Kolmation)		<ul style="list-style-type: none"> - Keine Auswirkungen erfasst
Feinsediment-Ablagerung (äußere Kolmation)	+	<ul style="list-style-type: none"> - Zunehmende Sand- und Siltablagerungen beeinträchtigen die Entwicklung des Aufwuchses
Strömung / Hydraulik	++	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhte Fließgeschwindigkeit bei Schwall führt zu zusätzlicher Abschwemmung des Algenbewuchses und der darauf bzw. darin lebenden wirbellosen Tiere ("Katastrophendrift")
Wasserwechselzone	+/-	<ul style="list-style-type: none"> - Sohlenbereiche mit hohem Lichtangebot bei Schwall fallen bei Sunk trocken - Mit schwallbedingt zunehmendem Schwankungsbereich des Wasserspiegels verändert sich die Zusammensetzung des Gesamtbewuchses zugunsten von Kieselalgen und fädigen Grünalgen (<i>Ulothrix zonata</i>)
Feingeschiebe-Transport	++	<ul style="list-style-type: none"> - Feingeschiebe-Transport bei Schwall führt zu zusätzlicher Abrasion und Abschwemmung des Algenbewuchses und der darauf bzw. darin lebenden wirbellosen Tiere ("Katastrophendrift")
Lokale Sohlenerosion	+	<ul style="list-style-type: none"> - Aufwuchs wird durch Destabilisierung der Feingeschiebe-Auflage und (bei stärkerer Strömung) durch Aufreißen der Deckschicht (Schnellen) abgescheuert ("Kugelmühlen-Effekt")

Tab. 2: Makrozoobenthos: Wirkungsmatrix der physikalischen Prozesse. ++ = starker, maßgebender Einfluss, + = bedeutender Einfluss, (+) = mäßiger Einfluss, - = kein Einfluss.

Einflussfaktor	Bedeutung	Veränderung durch Schwall
Phytobenthos	(+)	<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion Lebensraumangebot (Hydrurus-Fauna) - im Verhältnis zu anderen Schädigungen geringere Bedeutung
Abrasion / Transport	?	<ul style="list-style-type: none"> - Auswirkungen nicht nachweisbar - bei Simuliiden nicht nachweisbar - netzbauende Köcherfliegen kommen grundsätzlich nicht vor
Innere Kolmation	+ / ++	<ul style="list-style-type: none"> - Defizite bei kleinen Kieslückenbewohnern (z.B. <i>Parakiefferiella sp.</i>) oder den sauerstoffbedürftigen Oligochaeten <i>Propappus volki</i>, <i>Stylodrilus heringianus</i>. - Hinweise auf erschwertes Aufkommen und Nachschub von Juvenil-Formen aus tieferen Sedimentschichten - Zunahme Detritusfresser; auch in Verbindung mit äußerer Kolmation. - Höhere Anteile <i>Prodiamesa</i> (Sedimentfresser), <i>Dicranota</i> und <i>Empididae</i> (Räuber)
Äußere Kolmation	++	<ul style="list-style-type: none"> - Ausfall größerer Sedimentlückenbewohner (Bsp. Eintagsfliegen: weitgehender Ausfall Heptageniiden) - Dominanz der Hydrurusfauna als relativ unbeeinträchtigte Lebensformen (Bsp. Eintagsfliegen: Dominanz von Baetis, - bei schwallbedingter öfterer Umlagerung (Resuspension / Sedimentation) Nutzbarkeit auch für kleine Kieslückenbewohner nicht gegeben - Flächenausdehnung: Ablagerungs- und Wechselzone
Strömung / Hydraulik	+	<ul style="list-style-type: none"> - Abflussanstieg bei Schwall löst werktägliche Katastrophendrift aus, trägt ebenfalls zu der beobachteten spärlichen Besiedelung bei - Vermutung: <i>Allogamus</i> bei Schwall verstärkt in strömungsberuhigte Bereiche verdriftet ($V_{\text{grenz}} = 0.4 \text{ m/s}$ bei Schwall deutlich überschritten) ⇒ Resuspensionsflächen wären ohne Schwall potenzielle Lebensräume. - Rheophile Arten können sich besser behaupten als Besiedler strömungsberuhigter Zonen - Abweichung der biozönotischen Region um mindestens 1 Region vom unbeeinflussten Zustand
Wasserwechselzone	(+)/+	<ul style="list-style-type: none"> - Bei Sunk Austrocknen oder Gefrieren der hierher verdrifteten Tiere ⇒ Beeinflussung der unmittelbaren Uferbereiche, in vorliegender Untersuchung nicht näher bearbeitet
Geschiebe-Transport	++	<ul style="list-style-type: none"> - Auslösen von Drift - Regelmäßiger Transport verhindert Ansiedlung von Makrozoobenthos, vgl. extrem tiefe Besiedlungsdichte in Tiefenrinne - Driftfracht während Schwall im Verhältnis zu stehenden Individuendichte nicht vernachlässigbar
Aufreißen Deckschicht (lokal)	(+)	<ul style="list-style-type: none"> - Löst Drift aus - Besiedlung auch in tieferen Sedimentschichten ausgeräumt (Schnelle / Riffel)

Tab. 3: Fische: Wirkungsmatrix der physikalischen Prozesse. ++ = starker, massgebender Einfluss, + = bedeutender Einfluss, (+) = mässiger Einfluss, - = kein Einfluss.

Einflussfaktor	Bedeutung	Veränderung durch Schwall
Schädigung Zoo-benthos	+ (+)	– Reduktion Nahrungsbasis, v.a. im Sommer/Herbst, stärkere Auswirkungen schon bei geringfügig erhöhtem Fischbestand (gegenüber extrem geringen derzeit) zu erwarten
Abrasion / Transport	–	– Kein Einfluss, auch bei Schwall zu tiefe Konzentration
Innere Kolmation	++	– Stark verzögerte Entwicklung bis Absterben der Eier der kieslaichenden Arten (auch bei endgültiger Larvenentwicklung erfolgreiche Reproduktion infolge Hochwasser nicht zu erwarten). Referenz Dorfbach und Lech (beide schnellere Entwicklung). Nur bei Mastrils ev. erfolgreiche Reproduktion, da relativer Anteil der Feinsedimente geringer (möglicherweise infolge naturnäherer Ausformung). – Verstopfung des Lebensraums für Fischlarven
Äussere Kolmation	+	– Einschränkung des Lebensraums für Fischlarven und Koppen
Strömung / Hydraulik, Wasserwechselzone	++	– Großflächiges häufiges Wechseln der ufernahen Lebensräume im Tagesverlauf, v.a. Brutfische – bei Sunk Gefahr des Trockenfallens – Effekt aufgrund fehlender Brutfische nicht nachweisbar Wahl optimaler Laichplätze wird durch Schwall beeinträchtigt: – bei Schwall Freispülen der Eier – bei Sunk Trockenfallen und Ausfrieren der Eier – Erosion vorhandener potenzieller Laichplätze infolge Schwall (v.a. Schnellen)
Geschiebetransport, Aufreißen Deckschicht	+	– Erosion vorhandener potentieller Laichplätze infolge Schwall (v.a. Schnellen)

ZOBODAT - 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, Eberstaller Jürgen

Artikel/Article: [Trübung und Schwall im Alpenrhein 46-73](#)