

# Die Auswirkung von Stauraumpülungen auf Fische

Regina Petz-Glechner<sup>\*</sup>, Wolfgang Petz<sup>\*</sup>,  
Erich Kainz<sup>\*\*</sup> & Otto Lapuch<sup>\*\*\*</sup>

\* Umweltgutachten Petz OEG, Technisches Büro für Ökologie und Umweltschutz,  
Hallwang

\*\* Bundesamt für Wasserwirtschaft, Scharfling

\*\*\* Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation, Salzburg

## Zusammenfassung

Der Einfluß der Spülung (Entleerung) von Speichern und Stauräumen auf die Fischfauna wurde in Laborversuchen und in einer Freilandstudie untersucht. Unter standardisierten Aquarienbedingungen wurden 0+ und 3+ Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) erhöhten Konzentrationen von suspendierten Sedimenten (feinkörniger Gletscherschliff von Schiefergestein) ausgesetzt und Kiemen, Cornea und Epidermis im Kopfbereich licht- und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Die verwendeten Sedimentkonzentrationen (2,5-80 g/l) und Expositionszeiten (1-48 h) treten bei Stauraumpülungen auf. Bis zu einer Sedimentkonzentration von 50 g/l und einer Expositionszeit von 48 h waren weder an der Epidermis noch an der Cornea histologisch nachweisbare Veränderungen festzustellen. Dagegen zeigte sich bereits bei geringen Schwebstoffkonzentrationen und kurzen Einwirkungszeiten besonders an den Primärlamellen der Kiemen eine Vergrößerung der Schleimzellen. Die Aktivität der Schleimzellen (vermehrte Schleimproduktion) wird als Schutz des Kiemenepithels vor mechanischen Verletzungen durch die scharfkantigen Sedimentpartikel interpretiert. Bei 80 g/l traten außerdem schwere Schädigungen der Epidermis im Kopfbereich und der Cornea auf.

In der Freilandstudie wurden die Folgen der Spülung des Stauraums Urstein auf die Fischfauna der Salzach bei Salzburg untersucht. Dazu wurden Besatz- und Wildfische markiert und Elektrofischungen vor und nach der Staulegung durchgeführt. Die untersuchte Strecke umfaßte die Salzach von der Sohlstufe Hallein ca. 5 km oberhalb der Staumauer bis zur Einmündung der Saalach etwa 16 km unterhalb, den Stauraum und den Unterlauf der Königsseeache, die in den Stauraum mündet. Dabei wurden insgesamt 29 Fischarten festgestellt. Am artenreichsten (14 bzw. 24 spp.) waren an beiden Befischungsterminen die Untersuchungsstellen 8 und 9 unterhalb der Sohlschwelle Lehen (mindestens 11 km unterhalb des Stauraumes). Oberhalb der Sohlschwelle (Stellen 4-7, im Stadtgebiet von Salzburg) wurden nur 6-8 Arten gefunden und im Stauraum (Stelle 2) 3 und 6 spp. Der Wiederfang von markierten Fischen war an allen Stellen gering. Der Fischbestand war bereits vor der Spülung generell niedrig. Im Stauraum betrug die Biomasse ca. 22,3 kg/ha und in der Fließstrecke unterhalb 11,5 bis 34,1 kg/ha. Nach der Spülung verringerte sich die Abundanz und Biomasse der Population im

Stauraum (Totalausfall) und in der Königsseeache drastisch. An den meisten anderen Stellen war die Abundanz leicht erhöht, die Biomasse jedoch oft deutlich niedriger als vorher. So verminderte sich die Fischbiomasse unterhalb des Kraftwerks durchschnittlich um 4,4-5,1 kg/ha (nach Abzug des Ausfanges durch Angelfischer). Lediglich an der untersten Befischungsstelle 9 stieg die Biomasse stark und in der Stauwurzel (Stelle 1) leicht an.

Daraus kann gefolgert werden, daß die wichtigsten Voraussetzungen für den Schutz der Fischfauna während einer Stauraumspülung die Wiederherstellung der Fließgewässernetzung und die Schaffung von Uferstrukturen im Stauraum, in der Fließstrecke unterhalb und in den Unterläufen der Nebengewässer sind (im konkreten Fall im Stauraum Urstein, im Unterlauf der Königsseeache und in der Salzach im Stadtgebiet von Salzburg). Dadurch erlangen die Fische Rückzugsmöglichkeiten, um der starken Strömung ausweichen zu können.

Schlüsselwörter: suspendiertes Sediment, Kraftwerk, Stauraumspülung, Salzach, Fischbestand, Kiemen, Histologie, Rasterelektronenmikroskopie

## **Summary**

### **The effects of reservoir flushing on fish**

The effects of flushing of reservoirs were investigated on the fish population in laboratory experiments and in a field study in Austria. Under standardized conditions in an aquarium, 0+ and 3+ rainbow trouts (*Oncorhynchus mykiss*) were exposed to increased concentrations of suspended sediments (fine-grained glacial till from schist) and gills, cornea and epidermis of the head were investigated under the light- and scanning electron microscope. The sediment concentrations (2,5-80 g/l) and exposition times (1-48 hrs) tested occur during flushing of reservoirs. Up to a sediment concentration of 50 g/l and an exposition time of 48 hrs neither epidermis nor cornea were obviously affected using histological techniques. However, even at low concentrations and after short exposition times mucous cells particularly on the primary gill lamellae were distinctly enlarged. The activity of the mucous cells (increased mucus production) is thought to protect the gill epithelium against mechanical stress by sharp-edged sediment particles. In addition, the epidermis of the head and the cornea were distinctly damaged at 80 g/l.

In the field study, the effects of flushing the reservoir of the hydroelectric power plant Urstein near Salzburg were studied on the fish fauna of the river Salzach. For this, stocked and wild fish were marked and electrofishing was performed at 9 sites before and after reservoir flushing. The study area extended from about 5 km upstream to about 16 km downstream of the reservoir and included the lower reaches of the river Königsseeache, a tributary, which flows into the reservoir. In total, 29 fish species were found. On both dates, most species (14 and 24 spp.) occurred in fishing sites 8 and 9 (farthest from the reservoir, at least 11 km downstream). In the reservoir (site 2), only 6 and 8 spp. were recorded and immediately downstream (sites 4-7), within the city limits of Salzburg, 2-6 spp. Recapture of marked fish was very

very low at all sites. Even before the flushing, the fish population was generally low. Biomass was about 22,3 kg/ha in the reservoir and 11,5-34,1 kg/ha in the stretches downstream to this. After flushing, abundance and biomass decreased dramatically in the reservoir (complete loss) and in the river Königsseeache. Although the abundance increased slightly at most other fishing sites, the biomass was usually distinctly lower, i.e. by 4,4-5,1 kg/ha on average downstream of the power plant (sites 4-8, after correction for catches by sport fishing). However, the biomass increased markedly at site 9 (farthest downstream of reservoir) and slightly at site 1 (upper stretch of reservoir).

Consequently, it can be concluded that the most important prerequisites for the protection of the fish population during the flushing of reservoirs are the restoration of the connectivity of running waters and the provision of shoreline structures within the reservoir, downstream of this and in the lower stretches of tributaries (in the present case within reservoir Urstein, lower stretches of river Königsseeache and river Salzach within city limits of Salzburg). Due to these measures, the fish can avoid the strong current.

Key words: suspended sediment, turbidity, reservoir flushing, Salzach River, stock assessment, gills, histology, scanning electron microscopy

## **1. Einleitung**

Wasserkraft ist in den Ländern des Alpenraums eine der wichtigsten Energiequellen. Zu ihrer Gewinnung wurden an Flüssen Laufkraftwerke und in Gebirgsgegenden Speicherkraftwerke mit zum Teil ausgedehnten Stau- und Speicherseen errichtet. Mit zunehmender Betriebsdauer lagert sich jedoch Erosionsmaterial aus dem Einzugsgebiet in den Speichern und Stauräumen ab, die dadurch nach und nach verlanden. Die Reduktion des Nutzvolumens der Speicher und Staue birgt auch die Gefahr, daß wichtige Einrichtungen wie Grundablaß der Staumauer oder Triebwasserfassung verstopfen. Daher ist es notwendig, in regelmäßigen Abständen die abgelagerten Sedimente zu entfernen. Dies geschieht meist durch eine Stauraumspülung. Neben der Wasserentnahme (Restwasser) und Kontinuumsunterbrechungen zählen solche Spülungen zu den gravierendsten Einflüssen von Wasserkraftwerken auf Gewässer. Die Fischfauna wird dabei durch erhöhte Sedimentkonzentrationen, fallweisen Sauerstoffmangel und starke Strömung verbunden mit fehlenden Strukturen und Unterständen beeinflusst (Jagsch 1992, Gerster & Rey 1994). Bei länger andauernden Ereignissen kann es zu Auswirkungen auf Wachstum, Reproduktion und Nahrungsangebot kommen. Immer wieder werden Diskussionen über Fischsterben oder Schädigungen der Fische durch erhöhte Trübstofffrachten in Folge von Stauraumspülungen geführt. Auch die Spülung des Stauraumes des Kraftwerks Urstein bei Salzburg war bereits Anlaß für Diskussionen in diesem Zusammenhang. Dabei stellt sich oft die Frage nach der für Fische kritischen Sedimentkonzentration und Expositionszeit. Der Einfluß der Wassertrübung auf Fische wurde zwar schon mehrmals untersucht (z.B. Wallen 1951, Cordone & Kelly 1961, Slanina

1962, Lloyd 1985, Redding et al. 1987, Newcombe & McDonald 1991), doch im Hinblick auf Stauraumspülungen liegen noch kaum Studien vor.

Daher wurden an der Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) Versuche unter standardisierten Aquarienbedingungen durchgeführt, um die Wirkung verschiedener Sedimentkonzentrationen und Expositionszeiten zu bestimmen. Anschließend wurden die Auswirkungen einer Stauraumspülung des Kraftwerks Urstein auf die Fischfauna der Salzach im Freiland verfolgt.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1. Aquarienversuche**

Verschiedene Sedimentkonzentrationen und Expositionszeiten wurden unter standardisierten Bedingungen an der Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) getestet (Tab. 1). Dazu wurde eine Anlage konstruiert, die es ermöglicht, Fische unter definierten Trübstoffkonzentrationen zu halten (Petz-Glechner et al. 1999). Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt wurden dabei konstant gehalten. Die verwendeten Sedimente stammen aus dem Speicher Margaritze (Großglockner, Österreich, hauptsächlich Gletscherschluff aus Schiefergestein) und dem Speicher Bolgenach (Vorarlberg, Österreich). Die Kiemen, Teile der Epidermis sowie die Cornea der Fische wurden licht- und rasterelektronenmikroskopisch untersucht und mit Kontrolltieren verglichen. Details des Versuchsaufbaus sind von Petz-Glechner et al. (1999, 2001) beschrieben.

Tab. 1: Sedimentkonzentrationen und Expositionszeiten. M = Sediment Margaritze, B = Sediment Bolgenach

Konzentration	Sediment	Adultfische Expositionszeit (h)	Juvenilfische Expositionszeit (h)
2,5 g/l	M	12; 24	24; 48
5 g/l	M	1; 2; 3; 4; 12; 24	1, 2; 3, 4; 24
10 g/l	M	1; 2; 4; 5; 12; 24	1; 2; 3; 4; 24
	B	1; 2; 4; 6; 8	
20 g/l	M	1; 2; 4; 6; 8	1; 2; 3; 4
	B	1; 2; 4; 6; 8	
35 g/l	M	1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4
50 g/l	M	1; 2; 3; 4; 6; 7	
80 g/l	M	0,5; 1; 1,5; 2	-

Die Stauraumpflügelung des Kraftwerkes (KW) Urstein wurde durch ein fisch-ökologisches Monitoring begleitet. Das KW Urstein liegt an der unteren Salzach (Stromkilometer 75,06) wenige Kilometer oberhalb der Stadt Salzburg. Die untersuchte Fließstrecke reicht von der Sohlstufe Hallein (Stromkilometer 80,42) bis zur Einmündung der Saalach (Stromkilometer 59,30) und umfaßt mehr als 21 Kilometer. Die Flußbreite liegt in diesem Bereich zwischen 70-90 m. Die Salzach führt besonders zur Zeit der Schneeschmelze und bei hohen sommerlichen Wasserständen große Mengen an mineralischen Schwebstoffen mit. Im Stauraum Urstein erreicht die Sedimentation 50-160 t pro Tag, so daß es pro Jahr zu einer errechneten Rückhaltung von 18 300 t Schwebstoffen kommt (Haslauer et al. 1988).

Der Lauf der Salzach ist durch Regulierung und wasserbauliche Maßnahmen geprägt, unterhalb von Urstein ist der Fluß geradlinig reguliert. Erst ab der Sohlstufe Lehen sind auch naturbelassene Uferstrukturen vorhanden. Das KW Urstein durchbricht das Fließkontinuum. Ein weiteres Fischaufstiegshindernis ist die Sohlstufe in Salzburg-Lehen (Stromkilometer 63,95). Knapp oberhalb des Kraftwerks Urstein mündet orographisch links die Königsseeache, deren unterste 900 m ebenfalls durch das Kraftwerk eingestaut sind. Insgesamt wurden neun Abschnitte mit einer Länge zwischen 250 und 700 m beidufzig vom Boot aus mit einem 7kW-Gleichstromaggregat elektrisch befischt. Drei Abschnitte lagen im Stauraum des Kraftwerkes (Stauwurzel, Stauraum und Mündungsbereich der Königsseeache) und sechs Befischungsstrecken in der Fließstrecke unterhalb (Tab. 2). Die Befischungen des Stauraums und der Königsseeache erfolgten nachts mit Beleuchtung durch Scheinwerfer. Alle anderen Abschnitte wurden tagsüber befischt.

Tab. 2: Überblick über die Befischungsstellen an der Salzach und der Königsseeache

Nr.	Bezeichnung	Länge (m)	Strecke
1	Stauwurzel	ca. 600	Sohlstufe Hallein bis Kaltenhausener Steg
2	Stauraum	ca. 700	ab Querung Autobahnbrücke stromauf
3	Königsseeache	ca. 400	Staubereich, ab Mündung in die Salzach flußaufwärts
4	Unterwasser	ca. 400	KW Urstein stromabwärts
5	Rechenwirt	ca. 400	ca. Höhe Elisabethenbrücke bis Mündung Anifer Alterbach
6	Mozartsteg	ca. 370	Brücke Nonntal bis Mozartsteg
7	Müllner Steg	ca. 300	Müllner Steg bis etwas oberhalb der Sohlstufe Lehen
8	Alterbachmündung	ca. 400	Traklsteg bis oberhalb Autobahn
9	Fischachmündung	ca. 250	Mündung Fischach bis oberhalb Glanmündung

Die erste Befischung erfolgte im April 1999 vor Beginn der Schneeschmelze. Die Staurationsspülung fand von 23.-24. Juli 1999 statt. Nach Rückgang der für die Spülung vorgeschriebenen Mindestwasserführung von  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  wurde die zweite Befischung im September 1999 durchgeführt. Da bei beiden Terminen die äußeren Bedingungen vergleichbar waren (Wasserführung, Sichttiefe) und die gleichen Strecken mit gleichem Gerät und gleichem Zeitaufwand befischt wurden, sind Aussagen über Veränderungen möglich.

Sämtliche gefangenen Fische wurden bestimmt, gewogen, vermessen und äußerlich auf ihren Gesundheitszustand untersucht. Beim ersten Befischungstermin wurden alle Fische ab einer Totallänge von 20 cm mit einer nadellosen Hochdruckspritze Type "Panjet" mit blauen Punkten (Farbstoff Alcianblau) auf der Bauchseite markiert. Ebenso wurden etwa 5 000 Stück Besatzfische, die im Untersuchungsjahr bis zum Termin der Staulegung in die Salzach besetzt wurden und eine Totallänge  $\geq 20$  cm hatten, markiert. Die Markierung wurde knapp vor dem Besatztermin in der jeweiligen Fischzucht durchgeführt. Je nach Herkunft (Besatz oder Wildfang) und Aufenthaltsort wurde eine unterschiedliche Anordnung und Zahl der Markierungspunkte verwendet. Dadurch ergaben sich insgesamt zehn verschiedene Codes. Fischereivereine und Angler wurden aufgefordert, Ausfänge markierter Fische und Typ des Codes zu melden. Die Untersuchungsstrecke wird durch fünf Fischereiberechtigte bzw. Pächter bewirtschaftet, die put & take-Fischerei betreiben.

### 2.3. Ablauf der Staurationsspülung KW Urstein

Nach Erreichen der bescheidmäßig vorgeschriebenen Mindestwasserführung der Salzach von  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  wurde am 23. Juli um 10.00 Uhr mit dem Abstau begonnen. Die Wassermenge der Salzach stieg kontinuierlich auf knapp  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  und begann dann wieder zu sinken. Der freie Durchfluß wurde am 23. Juli um etwa 17.00 Uhr erreicht und dauerte bis 14.30 Uhr am nächsten Tag. Am 24. Juli um 18.00 war der Wiederaufstau abgeschlossen.

Zu Beginn des Abstaus lag die Schwebstoffbelastung bei 2-3 g/l. Kurz vor Eintritt des freien Durchflusses kam es zu einem Anstieg auf 11 g/l. Der Spitzenwert lag drei Stunden später bei 13,2 g/l. Im weiteren Verlauf sank die Konzentration an suspendierten Sedimenten rasch ab. Eine durchschnittliche Belastung von etwa 10 g/l bestand über einen Zeitraum von 9 Stunden. Am folgenden Tag wurden Werte zwischen 2-4 g/l gemessen (Abb. 1).

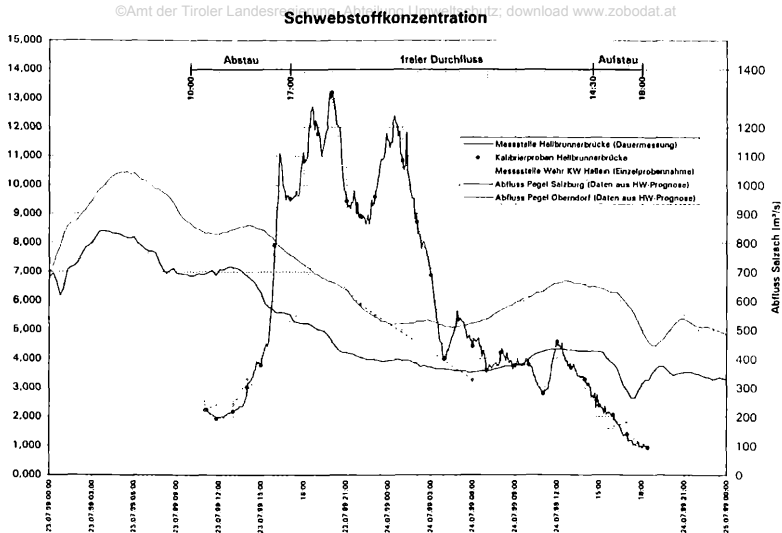


Abb. 1: Schwebstoffkonzentration während der Stauraumpflung KW Urstein.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Aquarienversuche

Die Versuche mit verschiedenen Trübstoffkonzentrationen unter standardisierten Aquarienbedingungen an Regenbogenforellen zeigten, daß als Schutz vor mechanischen Verletzungen durch die feinen und scharfkantigen Sedimente vermehrt Schleim an den Kiemen produziert wird, was sich bei der lichtmikroskopischen Untersuchung in einer Vergrößerung der Schleimzellen bemerkbar machte (Abb. 4, 5). Bei Sedimentkonzentrationen zwischen 10 und 50 g/l waren jedoch keine konzentrationsbedingten Veränderungen an den Kiemen feststellbar. Im Rasterelektronenmikroskop waren mit Ausnahme von einzelnen Sedimentpartikeln zwischen den Sekundärlamellen keine Effekte erkennbar. Erst bei höheren Konzentrationen (fallweise bei 50 g/l, generell bei 80 g/l) traten Schädigungen der Kiemenoberfläche auf, die sowohl im Lichtmikroskop als auch im Rasterelektronenmikroskop erkennbar sind. Bei einer Sedimentkonzentration von 80 g/l waren die Zwischenräume zwischen den Sekundärlamellen vollständig mit einem Gemisch aus Schleim und Sedimentpartikeln verlegt (Abb. 2, 3).

Bis zu einer Sedimentkonzentration von 50 g/l waren weder an der Epidermis noch an der Cornea nachweisbare Veränderungen festzustellen. Bei 50 g/l fanden sich an der Epidermis im Kopfbereich lokale Schädigungen und bei Konzentrationen von 80 g/l intensive Schädigungen an Cornea und Epi-

dermis in Form von abschilfernden Epithelzellen (Abb. 6, 7). An der Epidermis lösen sich die Zellen stellenweise bis zur Basalmembran.

### 3.2. Elektrofischung der Salzach

#### *Artenzahl*

An den neun untersuchten Abschnitten in der Salzach und der Königsseeache wurden im Frühjahr und Herbst 1999 insgesamt 29 Fischarten festgestellt (Tab. 3). Die Artenzahl an den einzelnen Befischungsstellen schwankt zwischen 3-21 Arten. Die am häufigsten vorkommenden Fischarten sind Bachforelle, Regenbogenforelle und Äsche, wobei deren Bestände durch Besatzmaßnahmen gestützt werden. Im Stadtgebiet von Salzburg oberhalb der Sohlschwelle Lehen wurden sechs bis acht Arten gefangen, im Stauraum Urstein (Befischungsstelle 2) nur drei bis sechs. Die Sohlschwelle Lehen wirkt als Barriere beim Fischeaufstieg, was durch die deutlich höheren Artenzahlen (vor allem im Herbst) an den Befischungsstellen 8 und 9 unterhalb eindrucksvoll belegt wird (24 spp., Abb. 8). Vor und nach der Spülung des KW Urstein ergaben sich in der Artenzahl keine nennenswerten Unterschiede: sie blieb meist gleich oder war nachher sogar leicht erhöht.

#### *Abundanz und Biomasse*

**Staubereich und Königsseeache (Befischungsstellen 1-3):** Im Stauraum des Kraftwerkes Urstein ist ein massiver Bestandsrückgang feststellbar, der Abundanz und Biomasse aller Arten betrifft (Abb. 9, 10, 19, 20). Auch in der unmittelbar oberhalb des Kraftwerkes einmündenden Königsseeache kommt es zu einem Rückgang von Abundanz und Biomasse. Im Bereich der Stauwurzel kommt es aber nach der Spülung bei allen Arten zu einem Anstieg des Ausfanges gegenüber dem Frühjahr (Abb. 11, 19). Auch die Gesamt-Biomasse steigt um ca. 30 % (Abb. 12, 20). Die Fische können sich bei der Spülung im Bereich der Stauwurzel besser halten als weiter flußabwärts, da eine geringere Sogwirkung herrscht. Da tags zuvor auch der oberhalb liegende Stau des Kraftwerkes Sohlstufe Hallein gespült wurde, ist auch eine Abdrift der Fische von oben wahrscheinlich.

**Unterwasser des Kraftwerkes (Befischungsstelle 4):** Im Unterwasser des Kraftwerkes Urstein kommt es nach der Spülung im Herbst zu einem deutlichen Anstieg der Abundanzen, der vor allem Bachforellen und Regenbogenforellen betrifft (Abb. 13, 19). Die Individuenzahl der Äschen bleibt gleich, allerdings verschiebt sich die Altersstruktur hin zu jüngeren Jahrgängen. Aus diesem Grund nimmt die Biomasse ab (Abb. 14, 20). Das Vorkommen einiger sehr großer Äschen im Frühjahr ist auf die Laichwanderung zurückzuführen, wobei die Exemplare an der Staumauer anstehen.

Tab. 3: Fischarten der Salzach und der Königsseeaache (Befischungsstelle 1 bis 9), Frühjahr und Herbst 1999. Vorkommende Exoten, wie die Farbvariante Goldkarpfen oder Schleierschwanzkarausche werden aufgrund ihrer Seltenheit zur Wildform gezählt und nicht extra angeführt. SR Stauraum, Stauwurzel und gestauter Abschnitt der Königsseeaache (Befischungsstellen 1-3). UU Unterhalb KW Urstein, Fließstrecke Stadt Salzburg (Befischungsstellen 4-7). US Fließstrecke unterhalb der Stadt Salzburg, unterhalb Kontinuumsunterbrechung Lehen (Befischungsstellen 8-9).

Fischart		Nachweis Frühjahr 1999			Nachweis Herbst 1999		
		SR	UU	US	SR	UU	US
Bachforelle	<i>Salmo trutta fario</i>	+	+	+	+	+	+
Regenbogenforelle	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	+	+	+	+	+	+
Bachsaibling	<i>Salvelinus fontinalis</i>	+		+	+		
Huchen	<i>Hucho hucho</i>			+			+
Äsche	<i>Thymallus thymallus</i>	+	+	+	+	+	+
Aal	<i>Anguilla anguilla</i>					+	+
Hecht	<i>Esox lucius</i>			+	+		
Rotauge	<i>Rutilus rutilus</i>	+				+	+
Rotfeder	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>						+
Hasel	<i>Leuciscus leuciscus</i>						+
Aitel	<i>Leuciscus cephalus</i>			+	+		+
Barbe	<i>Barbus barbus</i>			+			+
Nase	<i>Chondrostoma nasus</i>	+	+			+	+
Laube	<i>Alburnus alburnus</i>						+
Schneider	<i>Alburnoides bipunctatus</i>						+
Brachse	<i>Abramis brama</i>				+		+
Güster	<i>Abramis björkna</i>						+
Karpfen	<i>Cyprinus carpio</i>			+			+
Karausche	<i>Carassius carassius</i>	+	+		+		+
Goldfisch	<i>Carassius auratus</i>	+		+			
Giebel	<i>Carassius gibelio</i>			+			
Elritze	<i>Phoxinus phoxinus</i>	+			+		+
Gründling	<i>Gobio gobio</i>			+			+
Blaubandbärbling	<i>Pseudorasbora parva</i>						+
Flußbarsch	<i>Perca fluviatilis</i>	+			+	+	+
Zander	<i>Sander lucioperca</i>				+		
Aalrutte	<i>Lota lota</i>			+			+
Schmerle	<i>Barbatula barbatula</i>				+		+
Koppe	<i>Cottus gobio</i>	+	+	+	+	+	+
Artenzahl total: 29		11	6	14	13	8	24

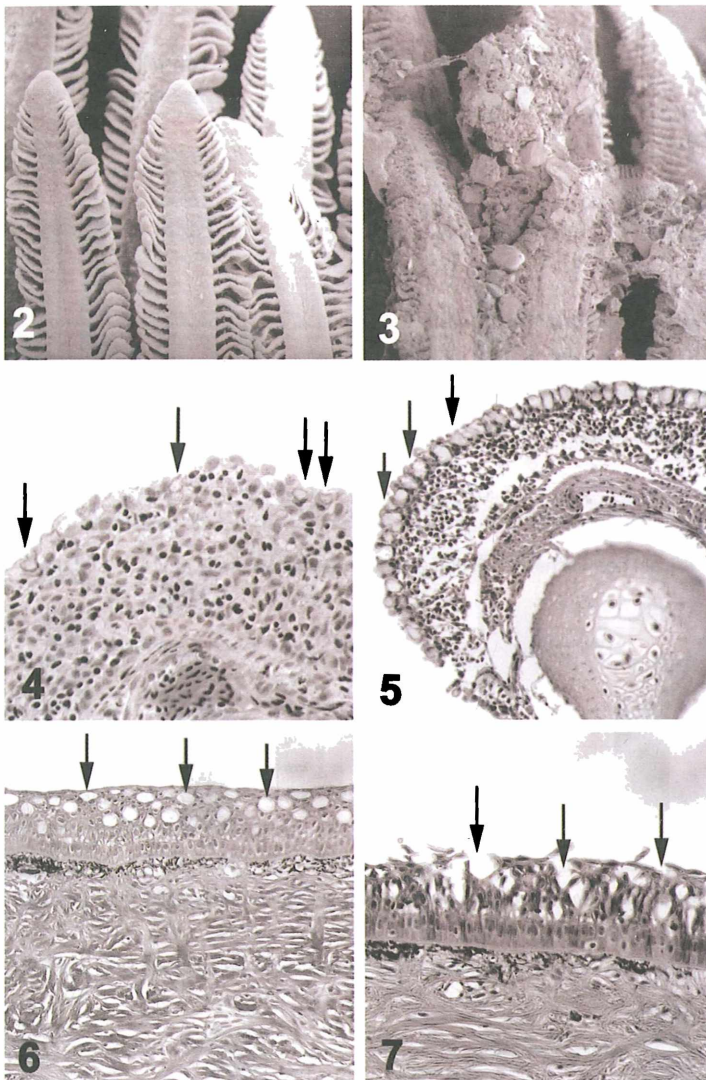


Abb. 2: Kieme, Enden der Primärlamellen. Kontrollgruppe. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme.

Abb. 3: Kieme. Sedimentkonzentration 80 g/l, Expositionszeit 1,5 h. Die Kiemen sind völlig von Schleim und Sediment verklebt; schwere Schädigungen. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme.

Abb. 4: Kieme, Querschnitt durch eine Primärlamelle. Kontrollgruppe. Pfeile zeigen auf die Schleimzellen.

Abb. 5: Querschnitt durch eine Primärlamelle. Sedimentkonzentration 10 g/l, Expositionszeit 2 h. Das Epithel der Primärlamelle ist von zahlreichen Schleimzellen (Pfeile) erfüllt.

Abb. 6: Haut, Querschnitt durch einen unbeschuppten Teil in der Kopfregion. Kontrollgruppe.

Abb. 7: Haut, Querschnitt in der Kopfregion. Sedimentkonzentration 80 g/l, Expositionszeit 2 h. Schwere Schädigung der Epidermis (Pfeile).

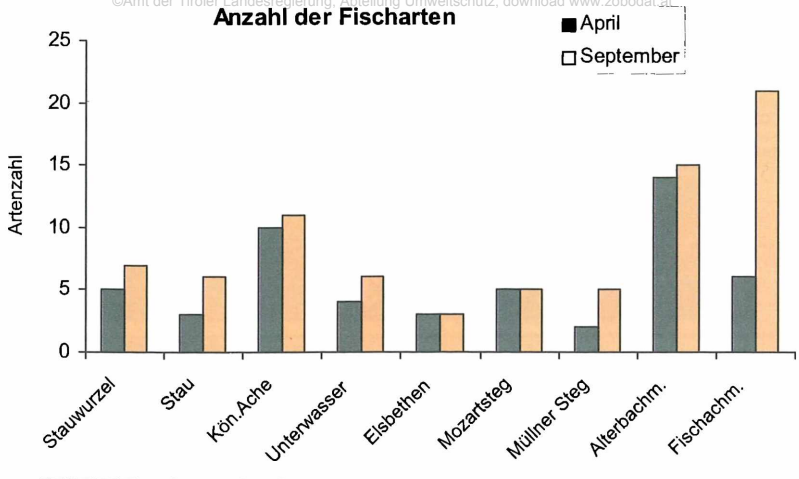


Abb. 8: Anzahl der Fischarten an den einzelnen Befischungsstellen

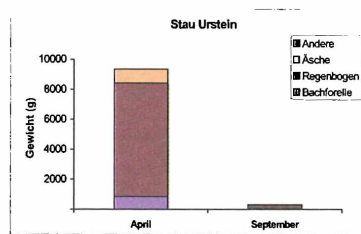
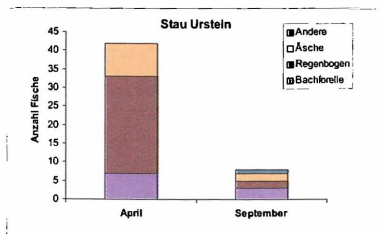


Abb. 9: Abundanz (Individuen pro Befischung) an Befischungsstelle 2 (Stauraum) vor und nach der Stauräumspülung.

Abb. 10: Biomasse an Befischungsstelle 2 (Stauraum) vor und nach der Stauräumspülung.

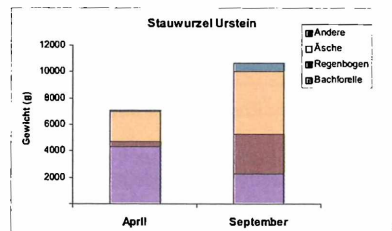
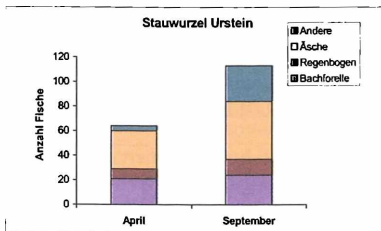


Abb. 11: Abundanz (Individuen pro Befischung) an Befischungsstelle 1 (Stauwurzel) vor und nach der Stauräumspülung.

Abb. 12: Biomasse an Befischungsstelle 1 (Stauwurzel) vor und nach der Stauräumspülung.

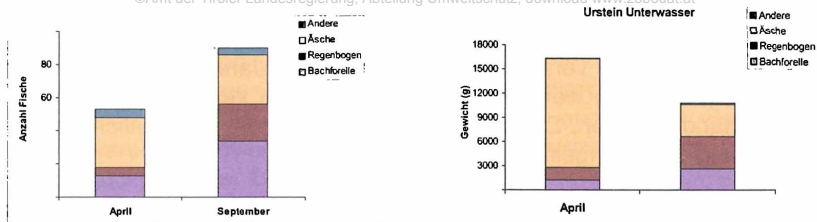


Abb. 13: Abundanz (Individuen pro Befischung) an Befischungsstelle 4 (Unterwasser) vor und nach der Stauraumpflung.

Abb. 14: Biomasse an Befischungsstelle 4 (Unterwasser) vor und nach der Stauraumpflung.

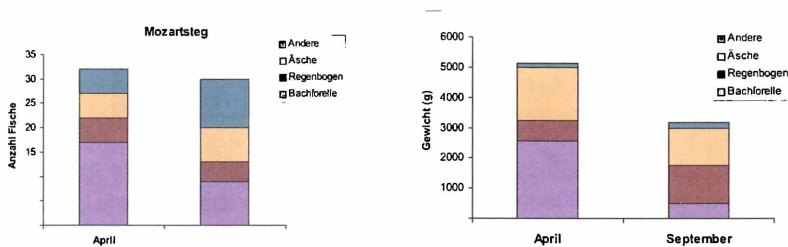


Abb. 15: Abundanz (Individuen pro Befischung) an Befischungsstelle 6 (Mozartsteg) vor und nach der Stauraumpflung.

Abb. 16: Biomasse an Befischungsstelle 6 (Mozartsteg) vor und nach der Stauraumpflung.

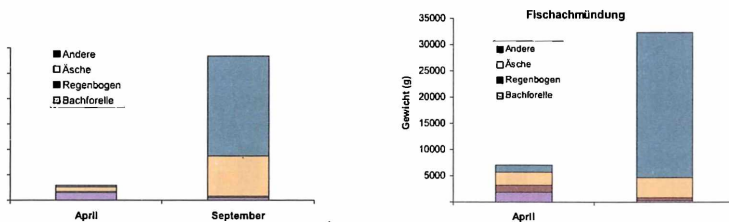


Abb. 17: Abundanz (Individuen pro Befischung) an Befischungsstelle 9 (Fischachmündung) vor und nach der Stauraumpflung.

Abb. 18: Biomasse an Befischungsstelle 9 (Fischachmündung) vor und nach der Stauraumpflung.

**Stadt Salzburg (Befischungsstellen 5-7):** Die Biomasse sinkt nach der Spülung deutlich ab (Abb. 16, 20), der Ausfang (Individuenzahl) geht jedoch kaum zurück und nimmt an einer Stelle sogar zu (Abb. 15, 19). Die Altersverteilung der Fische verschiebt sich zu jüngeren Jahrgängen, wobei nach der Spülung nur mehr wenige, an einer Stelle sogar keine fangbaren Fische mehr vorhanden waren. Das Fehlen größerer Fische ist vermutlich auch auf den Ausfang durch Angelfischerei zurückzuführen.

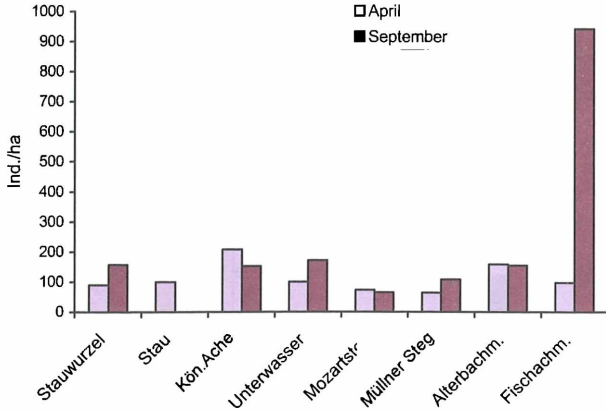


Abb. 19: Fischbestand (Individuen/ha) vor und nach der Stauraumspülung

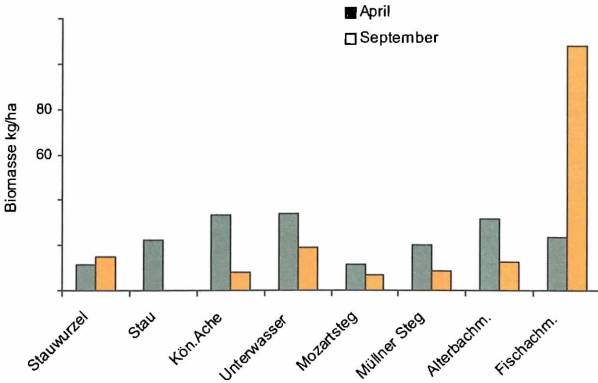


Abb. 20: Fischbestand (Biomasse/ha) vor und nach der Stauraumspülung

**Fließstrecke unterhalb der Sohlschwelle Lehen (Befischungsstellen 8, 9):** Direkt unterhalb der Sohlschwelle ist die Biomasse nach der Spülung geringer als vorher, aber an der untersten Befischungsstelle kommt es zu einem starken Anstieg von Artenzahl, Abundanz und Biomasse (Abb. 17-20). Die zahlenmäßige Zunahme ist bei den Äschen am deutlichsten, von denen viele Jungfische gefangen wurden. Aber auch Hasel, Barben und Lauben waren durchwegs häufig. Nach der Stauraumspülung betrug der mittlere Rückgang der Biomasse unterhalb des KW Urstein zwischen Befischungsstelle 4 und 8 (Alterbachmündung) 12,8 kg/ha (Abb. 20).

### 3.3. Ausfang markierter Fische durch Angelfischer

Die Fischereivereine an der Untersuchungsstrecke haben ihre Mitglieder aufgefordert, den Fang von markierten Fischen zu melden. Die Beschreibung der Markierung ließ vielfach nur Vermutungen über den Codetyp zu. Unabhängig davon ermöglichten diese Meldungen aber eine Abschätzung, wie viele Fische bereits vor der Spülung durch die Angler entnommen worden sind. Unterhalb des Kraftwerks wurden insgesamt (mindestens) 720 Stück oder 236 kg entfernt. Dies sind etwa 25% des Gesamt-Jahresausfangs (basierend auf den Jahresausfangmeldungen der Vereine). Aus den Ausfangdaten und den Rückmeldungen markierter Fische geht hervor, daß im Jahr 1999 zwischen 7,7 und 8,4 kg/ha Fische durch die Angelfischer entnommen wurden. Nach Abzug dieser Entnahme ergibt sich nach der Spülung in der Strecke unterhalb des Kraftwerks ein durchschnittlicher Rückgang der Fischbiomasse um 4,4-5,1 kg/ha.

### 3.4. Wiederfang markierter Fische nach der Spülung

Der Wiederfang von markierten Fischen war in allen Abschnitten gering. An den Befischungsstellen 1-3 oberhalb des Kraftwerkes (Stauwurzel, Stauraum und Königsseeache) wurden nach der Spülung keine markierten Fische gefangen. Knapp unterhalb des Kraftwerks Urstein wurden insgesamt sechs markierte Fische gefangen (ca. 1,3‰ aller gekennzeichneten Exemplare). Davon stammte je eine Regenbogenforelle aus dem Staubereich, aus der Stauwurzel und aus der Königsseeache, das heißt von oberhalb des Kraftwerkes. Eine weitere war im Unterwasser des Kraftwerks markiert worden und hatte trotz der Stauraumspülung ihren Standplatz nicht gewechselt. Eine Regenbogenforelle zog aus dem Bereich unterhalb der Sohlschwelle Lehen flußaufwärts bis fast zum KW Urstein. Dies ist bisher der einzige Nachweis, daß ein Fisch die Sohlschwelle Lehen überwinden konnte. Die einzige Bachforelle wanderte aus dem Bereich im Stadtgebiet von Salzburg geringfügig flußaufwärts.

### 4.1. Aquarienversuche

Über den Zusammenhang zwischen erhöhter Konzentration von suspendierten Sedimenten und der Reaktion der Fischfauna gibt es zahlreiche Untersuchungen, allerdings sind nur wenige davon auf die Situation bei Stauraumpülungen übertragbar. Fische reagieren mit Ausweichverhalten, erhöhter Atemrate (Servizi & Martens 1992), Schleimabsonderung (Reynolds et al. 1989, Petz et al. 1999, 2001) und pathologischen Veränderungen an den Kiemen (Wallen 1951, Sorensen et al. 1977, Bruton 1985, Herbert & Merkens 1961); bei hohen Konzentrationen sterben die Tiere (Wallen 1951). Bei länger dauernder Exposition reduziert sich die Freß- (Redding et al. 1987) und Wachstumsrate (Sigler et al. 1984) sowie der Reproduktionserfolg und Abwanderung tritt auf (Berg & Northcote 1985).

Unsere Versuche ergaben, daß nach einer Expositionszeit von wenigen Stunden bei Trübstoff-Konzentrationen zwischen 10 g/l und 50 g/l kaum Veränderungen an den Fischkiemen zu beobachten waren. Das ist dadurch erklärbar, daß sich die Fische durch eine verstärkte Schleimproduktion effektiv gegen die scharfen Sedimentpartikel schützen. Erst nach längerer Einwirkungsdauer oder bei sehr hohen Sedimentkonzentrationen versagt dieser Schutz. Schleimabsonderung an Kiemen ist auch als Reaktion auf andere Umwelteinflüsse dokumentiert (Mallat 1985, McCahon et al. 1987, Handy & Eddy 1989, Reynolds et al. 1989, Audet & Wood 1993, Cardoso et al. 1996, Berntssen et al. 1997, Dutta et al. 1998, Munday & Hallegraff 1998) und wird generell als Reaktion auf eine Streßsituation gesehen. Die Kiemen von Regenbogenforellen ohne Streßbelastung weisen an ihrer Oberfläche keinerlei Schleim auf (Handy & Eddy 1991, Petz et al. 1999, 2001). Die Schleimzellen der Kiemen dienen nicht nur dem mechanischen Schutz vor Sedimentpartikeln, sondern spielen sehr wahrscheinlich auch in der Ionen- und Osmoregulation eine Rolle (Burkhardt-Holm 1997).

Der Einfluß suspendierter Sedimente auf Fischkiemen ist mit der Atemrate (und somit mit Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt) korreliert. Die Effizienz der Atmung sinkt bei erhöhten Sedimentkonzentrationen und wird durch eine verstärkte Atemfrequenz ausgeglichen (Horkel & Pearson 1976). Je höher die Atemrate, desto öfter jedoch kommt die Kiemenoberfläche mit den Schwebstoffen in Kontakt und desto stärkere Auswirkungen sind zu erwarten. Der Schleim, der von Fischen als Reaktion auf Umwelteinflüsse produziert wird, weist eine starre, zähe Konsistenz auf. Dadurch wird die Schutzfunktion zwar verstärkt, der Abtransport mit dem Wasser allerdings erschwert (Lichtenfels et al. 1996) und die Atmung behindert. Außerdem bleiben Sedimentpartikel im Schleim haften (Abb. 3). In der Folge dürfte die Schleimschicht immer dicker werden bis die Fische möglicherweise ersticken.

Unsere Ergebnisse legen nahe, daß Stauraumpülungen, bei denen Sedimentkonzentrationen bis zu 35 g/l nur kurz (1-2 h) auftreten, von Regenbogenforellen problemlos toleriert werden. Für eine Konzentration von 20 g/l konnten 4 h als Grenzwert festgestellt werden, längere Expositionszeiten

führen bereits zu beginnenden Schädigungen der Kiemenoberfläche. Schwebstoffmengen von 50 g/l haben schon nach kurzer Zeit lokale Schädigungen der Kiemen zur Folge. Wirken diese nicht länger als 1-2 h ein, dürfte eine Regeneration des beeinträchtigten Gewebes möglich sein. Höhere Konzentrationen (80 g/l) schädigen das Kiemenepithel bereits nach 30 min nachhaltig. Die Belastung während einer Stauraumspülung sollte daher 10 g/l über maximal 12 h nicht überschreiten. Sedimentkonzentrationen von 5 g/l und darunter sind auch über einen längeren Zeitraum (24 h) unbedenklich (Petz et al. 1999, 2001). Diese Werte gelten jedoch nur dann, wenn ein ausreichender Sauerstoffgehalt des Wassers während der gesamten Spülung gewährleistet ist und die Fische der Strömung ausweichen können. Da die Sauerstoffkonzentration die Atemrate der Fische reguliert (Saunders 1962), wird dadurch die Kontakthäufigkeit der Kiemen mit den Sedimentpartikeln beeinflusst. Außerdem spielt die Beschaffenheit des Sediments (Korngröße, Partikelform, organischer Anteil etc.) eine Rolle.

## 4.2. Stauraumspülung Kraftwerk Urstein

### *Auswirkung der Stauraumspülung*

Die bei der Stauraumspülung Urstein aufgetretenen Sedimentkonzentrationen (max. 13 g/l, Abb. 1) liegen unter den im Aquarienversuch ermittelten Grenzwerten. Allerdings fehlen im Stauraum und in der Fließstrecke unterhalb Fischunterstände und strömungsberuhigte Zonen und sehr viele Nebengewässer sind nicht angebunden. Daher können sich die Fische nur schwer aus der Hauptströmung zurückziehen. Bei Stauraumspülungen sind negative Auswirkungen auf den Fischbestand vermutlich eher auf die veränderte Strömungssituation (ungewohnt starke Strömung) in Verbindung mit der erhöhten Trübung zurückzuführen als allein auf die resuspendierten Sedimente, da sich die Fische dagegen zumindest kurzzeitig durch verstärkte Schleimproduktion schützen können. Fehlt starke Strömung, können relativ hohe Konzentrationen an suspendierten Sedimenten (bis 35 g/l) ertragen werden.

Die Verlegung des Substrats mit Feinsediment hat manchmal gravierendere Auswirkungen als eine direkte Schädigung der Fische. Die Feinsedimente können, abhängig von Partikelgröße und Strömungsgeschwindigkeit, das Lückensystem der Bettsedimente völlig ausfüllen (Beschta & Jackson 1979). Dabei werden sowohl Laichplätze von Kieslaichern als auch das Makrozoobenthos beeinträchtigt (Gray & Ward 1982, Doeg & Koehn 1994, Moog 1995). Der in der Folge entstehende Nahrungsengpaß beeinträchtigt indirekt auch den Fischbestand. Allerdings nimmt die Wiederbesiedlung des Kieslückensystems durch das Makrozoobenthos nur kurze Zeit in Anspruch, falls wieder geeignete Lebensbedingungen hergestellt sind (Barton 1977, Doeg & Koehn 1994, Blinn et al. 1999).

Die Ursachen für die drastische Zunahme der Fischpopulation an der untersten Befischungsstelle 9 sind unklar. Möglicherweise handelt es sich dabei um ein saisonales Ereignis, wobei sich die Fische bei herbstlichem Niedrigwasser eher in der Salzach aufhalten während sie sich im Winter oder zur

Zeit der Frühjahrshochwässer in die Zuflüsse wie Fischach und Glan zurückziehen.

### *Fischökologische Situation der Salzach*

In der Salzach und ihren Nebengewässern leben 24 heimische und 11 eingebürgerte Fischarten. Der historische Artenbestand umfaßte 40 Arten (Petz, unveröff.). Die bei dieser Untersuchung nachgewiesenen 29 Fischarten zeugen trotz der meist geringen Abundanzen von einem hohen Potential der Salzach. Der Fischbestand ist aber im Vergleich mit anderen Gewässern dieser Größenordnung gering. Bei einer früheren Untersuchung im selben Salzachabschnitt (Jagsch 1990) wurden durchschnittlich höhere Bestands-gewichte festgestellt, jedoch war die Gesamtartenzahl mit 16 spp. niedriger als in der vorliegenden Studie. Die damals ermittelte Biomasse variierte zwischen 6 kg/ha und 181 kg/ha, an den meisten Stellen wurden etwa 50 bis 70 kg/ha gefunden (Jagsch 1990). Wie in unserer Studie wurden auch von Jagsch (1990) im Bereich der Fischachmündung die höchsten Ausfänge getätigt, während im Stadtbereich der Bestand gering war. Wiesbauer et al. (1991) ermittelten in der freien Fließstrecke der mittleren Salzach eine Fischbiomasse zwischen 9,8-345,6 kg/ha. In den Stauräumen wurden jedoch weit niedrigere Werte festgestellt (maximal 42,4 kg/ha, meist unter 10 kg/ha, manchmal nur 1-2 kg/ha).

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich auch, daß der Bestand an Bach- und Regenbogenforellen stark durch Besatzmaßnahmen gestützt wird. Bei der Befischung im Frühjahr wurden an der Befischungsstelle 7 im Stadtgebiet von Salzburg fast ausschließlich bereits markierte Besatzfische gefangen (95,5% des Gesamtaufanges). Da Laichplätze für Kieslaicher weitgehend fehlen, ist ein natürliches Aufkommen vor allem oberhalb der Sohlschwelle Lehen kaum möglich. Zur fischereilichen Bewirtschaftung wird daher fast ausschließlich mit fangbaren Fischen besetzt. Diese Besatzfische weisen jedoch oft die typischen Degenerationsmerkmale von Zuchtfischen auf. So hatten alle an einer Befischungsstelle im Frühjahr gefangenen Besatzfische (markierte Bachforellen) Flossenschäden oder verkürzte Kiemen-deckel. Fangfähige Besatzfische sind in ihrem Verhalten jedoch weniger flexibel als Jungfische, sie nehmen Futter weniger effizient auf, sind schwächere Schwimmer (Knörr et al. 1998) und wandern mehr und eher aus dem Gewässerabschnitt aus als Wildfische (Bachmann 1984). Daher sind sie vermutlich bei Stauraumspülungen auch weniger resistent gegen Verdrif-tung.

### *Notwendige Maßnahmen zur Strukturverbesserung*

Die Fließstrecke der Salzach zwischen der Sohlstufe Hallein und der Sohl-schwelle Lehen ist vom übrigen Gewässersystem völlig isoliert, da zur Zeit weder das KW Urstein noch die Sohlschwelle über eine Fischaufstiegshilfe verfügen. Der gewässerökologische Zustand des Abschnittes ist außerdem durch das fast völlige Fehlen von geeigneten Laichplätzen beeinträchtigt. Bei Hochwasser und Stauraumspülungen abgeschwemmte Fische haben keine Möglichkeit mehr, in ihren angestammten Lebensraum zurück zu wandern. Obwohl im Untersuchungszeitraum eine markierte Regenbogenfo-relle die Sohlschwelle in Lehen passiert hat, kann dieser Absturz nicht gene-

rell als fischpassierbar gelten. Vermutlich ist nur eine stark eingeschränkte Passierbarkeit bei höheren Wasserständen gegeben. Die Zunahme der Fischpopulation unterhalb der Sohlschwelle ist ein möglicher Hinweis für die Auswirkungen dieses Migrationshindernisses. Kompensationswanderungen von Fischen sollten nach Hochwasserereignissen und Stauraumspülungen stromaufwärts möglich sein.

In die Salzach münden im Untersuchungsgebiet zahlreiche Seitenbäche (Klausbach, Aubach, Hellbrunner Bach, Glankanal, Altglan, Alterbach, Fischach). Mit Ausnahme der Altglan sind die Mündungen dieser Gewässer für Fische der Salzach nicht oder nur eingeschränkt (z.B. bei hoher Wasserführung) passierbar. Die Bedeutung nicht nur der longitudinalen, sondern auch der lateralen Vernetzung der Fließgewässer ist unbestritten. Seitenbäche sind wichtige Laichplätze für Kieslaicher, Lebensräume für Jungfische und Rückzugsraum bei Hochwasser oder Stauraumspülungen. Im betreffenden Abschnitt der Salzach wären fischpassierbare Seitenbäche von übergeordneter Bedeutung, da keine bis wenige Laichplätze für Kieslaicher im Hauptgewässer vorhanden sind. Bei Stauraumspülungen ziehen sich Fische in Seitengewässer zurück, in denen sie sich dem Einfluß der starken Strömung und der erhöhten Sedimentkonzentration entziehen können. Eine Wiederanbindung der Seitenbäche würde daher die Situation für die Fischfauna bei Stauraumspülungen wesentlich verbessern.

Die Ufer des Stauraums Urstein sind nicht strukturiert. Die glatten Betonwände im unteren Bereich des Staues bieten weder Fischunterstände noch eine gut besiedelbare Fläche für andere Gewässerorganismen. Die mancherorts bis zur Wasserkante reichenden Zweige der Ufervegetation bieten nur unzureichenden Ersatz als Unterstand. Bei Absenkung des Stauspiegels oder bei Staulegung haben die Fische keine Möglichkeit, sich in ihrem Lebensraum zu halten, sondern werden abgeschwemmt. Strukturierungsmaßnahmen sollten daher nicht nur im Stauraum des KW Urstein, sondern auch im Unterlauf der Königsseeache erfolgen.

## **Dank**

Die Untersuchungen wurden von der Österreichischen Elektrizitätswerke AG (Verbund) und der Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation unterstützt. Wir danken den Fischereiberechtigten und Bewirtschaftern der untersuchten Gewässerabschnitte für das Einverständnis zur Elektrofisherei und die Überlassung von Besitz- und Ausfangdaten. H. P. Gollmann, G. Bruscek, W. Hauer, Mag. R. Haunschmid, A. Neuhofer (alle BAW, Scharfling), Mag. C. Ludwig (TB Petz), Dr. E. Herzog und Dr. K. Überiegler danken wir für die Mithilfe bei der Freilandarbeit.

- Audet C. & C. M. Wood, 1993: Branchial morphological and endocrine responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to a long-term sublethal acid exposure in which acclimation did not occur. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50, 198-209.
- Bachmann R. A., 1984: Foraging behavior of free-ranging wild and hatchery brown trout in a stream. *Transactions of the American Fisheries Society* 113, 1-32.
- Barton B. A., 1977: Short-term effects of highway construction on the limnology of a small stream in southern Ontario. *Freshw. Biol.* 7, 99-108.
- Berg L. & T. G. Northcote, 1985: Changes in territorial, gill-flaring, and feeding behavior in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) following short-term pulses of suspended sediment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42, 1410-1417
- Berntssen M. H. G., Kroglund F., Rosseland B. O. & S. E. Wendelaar Bonga, 1997: Responses of skin mucous cells to aluminium exposure at low pH in Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 1039-1045.
- Beschta R. L. & W. L. Jackson, 1979: The intrusion of fine sediments into a stable gravel bed. *J. Fish. Res. Board Can.* 36, 204-210.
- Blinn D. W., Shannon J. P., Wilson K. P., O'Brien C. & P. L. Benenati, 1999: Response of benthos and organic drift to a controlled flood. *Geophysical Monograph* 110, 259-272.
- Bruton M. N., 1985: The effects of suspensoids on fish. *Hydrobiologia* 125, 221-241.
- Burkhardt-Holm P., 1997: Lectin histochemistry of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gill and skin. *Histochemical Journal* 29, 893-899.
- Cardoso E. L., Chiarini-Garcia H., Ferreira R. M. A. & C. R. Poli, 1996: Morphological changes in the gills of *Lophiosilurus alexandri* exposed to un-ionized ammonia. *J. Fish Biol.* 49, 778-787
- Cordone A. J. & D. W. Kelley, 1961: The influence of inorganic sediment on the aquatic life of streams. *California fish and Game* 47, 189-228.
- Doeg T. J. & J. D. Koehn, 1994: Effects of draining and desilting a small weir on downstream fish and macroinvertebrates. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* 9, 263-277
- Dutta H. M., Roy P. K., Singh N. K., Adhikari S. & J. D. Munshi, 1998: Effect of sublethal levels of malathion on the gills of *Heteropneustes fossilis*: Scanning electron microscopic study. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology* 17, 51-63.
- Gerster S. & P. Rey, 1994: Ökologische Folgen von Stauraumpfüllungen. *Schriftenreihe Umwelt* Nr. 219, Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) Bern, 1-47
- Gray L. J. & J. V. Ward, 1982: Effects of sediment releases from a reservoir on stream macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 96, 177-184.
- Handy R. D. & F. B. Eddy, 1989: Surface absorption of aluminium by gill tissue and body mucus of rainbow trout, *Salmo gairdneri*, at the onset of episodic exposure. *J. Fish Biol.* 34, 865-874.
- Handy R. D. & F. B. Eddy, 1991: The absence of mucus on the secondary lamellae of unstressed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *J. Fish Biol.* 38, 153-155.
- Haslauer J., Moog O. & J. Röhrs, 1988: Stauraumuntersuchungen untere Salzach. *Wasserwirtschaftskataster (WWK)*, Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 1-186.
- Herbert D. W. M. & J. C. Merckens, 1961: The effect of suspended mineral solids on the survival of trout. *Int. J. Air Wat. Poll.* 5, 46-55.
- Horkel J. D. & W. D. Pearson, 1976: Effects of turbidity on ventilation rates and oxygen consumption of green sunfish, *Lepomis cyanellus*. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 1, 107-113.
- Jagsch A., 1990: Fischbestandsaufnahme in der Salzach. Ergebnis der Untersuchungen vom Dezember 1989. Unveröff. Gutachten, Salzburger AG für Energiewirtschaft.
- Jagsch A., 1992: Anthropogene Einflüsse auf Fische und Fischerei. In: *Fließgewässer und ihre Ökologie*. Wiener Mitteilungen. Wasser - Abwasser - Gewässer 105, B1-B20.
- Knörr S., Bohl M. & T. Braunbeck, 1998: Die Entwicklung roter und weißer Muskulatur bei juvenilen Huchen (*Hucho hucho*) unter dem Einfluß unterschiedlicher Strömung - ein Beitrag zur Optimierung der Kondition zur Ausbürgerung in natürliche Habitats. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ichthyologie* 1, 109-127
- Lichtenfels A. J. F. C., Lorenzi-Filho G., Guimarães, Macchione M. & P. H. N. Saldiva, 1996: Effects of water pollution on the gill apparatus of fish. *J. Comp. Path.* 115, 47-60.

- Lloyd D. S., 1985: Turbidity in freshwater habitats of Alaska. A review of published and unpublished literature relevant to the use of turbidity as a water quality standard. Alaska Department of Fish and Game, Juneau, 101 S.
- Mallat, J., 1985: Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: a statistical review. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42, 630-648.
- McCahon C. P., Pascoe D. & C. McKavanagh, 1987: Histochemical observations on the salmonids *Salmo salar* L. and *Salmo trutta* L. and the ephemeropterans *Baetis rhodani* (Pict.) and *Ecdyonurus venosus* (Fabr.) following a simulated episode of acidity in an upland stream. *Hydrobiologia* 153, 3-12.
- Moog O., 1995: Schwall- und Sunkprobleme bei der Rückgabe von Betriebswasser der Wasserkraftwerke. In: Ferjancic E. & Turk M. (Hrsg.): *Leben für unsere Alpenflüsse*. Ljubljana.
- Munday B. L. & G. M. Hallegraff, 1998: Mass mortality of captive southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) in april/may 1996 in Boston Bay, South Australi A complex diagnostic problem. *Fish Pathology* 33, 343-350.
- Newcombe C. P. & D. D. MacDonald, 1991: Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems. *N. Am. J. Fish. Managem.* 11, 72-82.
- Petz-Glechner R., Patzner R. A. & A. Jagsch, 1999: Wassertrübe und Fische. Auswirkungen resuspendierter Sedimente aus Speichern auf die Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*). *Forschung im Verbund, Schriftenreihe Band 57*, 1-122.
- Petz-Glechner R., Patzner R. A. & A. Jagsch, 2001: Auswirkungen resuspendierter Sedimente bei Stauraumspülungen auf einige Organe der Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*): Eine qualitative Studie. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ichthyologie* 2, 131-141.
- Redding J. M., Schreck C. B. & F. H. Everest, 1987: Physiological effects on coho salmon and steelhead of exposure to suspended solids. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 116, 737-744.
- Reynolds J. B., Simmons R. C. & A. R. Burkholder, 1989: Effects of placer mining discharge on health and food of Arctic grayling. *Water Resources Bulletin* 25, 625-635.
- Saunders R. L., 1962: The irrigation of the gills in fishes. II. Efficiency of oxygen uptake in relation to respiratory flow activity and concentrations of oxygen and carbon dioxide. *Can. J. Zool.* 40, 817-862.
- Servizi J. A. & D. W. Martens, 1992: Sublethal responses of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) to suspended sediments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49, 1389-1395.
- Sigler J. W., Bjornn T. C. & F. H. Everest, 1984: Effects of chronic turbidity on density and growth of steelheads and coho salmon. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 113, 142-150.
- Slanina K., 1962: Beitrag zur Wirkung mineralischer Suspensionen auf Fische. *Wasser und Abwasser, Band 1962 "Beiträge zur Gewässerforschung" III*, 1-11.
- Sorensen D. L., McCarthy M. M., Middlebrooks E. J. & D. B. Porcella, 1977: Suspended and dissolved solids effects on freshwater biota: a review. *Technical Report EPA-600/3-77-042*, 1-64.
- Wallen I. E., 1951: The direct effect of turbidity on fishes. *Bulletin of Oklahoma Agricultural and Mechanical College* 48, 1-27
- Wiesbauer H., Bauer T., Jagsch A., Jungwirth M. & F. Uiblein, 1991: *Fischökologische Studie Mittlere Salzach*. Im Auftrag der Tauernkraftwerke AG. Wien, 1-170.

# 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): Petz-Glechner Regina, Petz Wolfgang, Kainz Erich, Lapuch Otto

Artikel/Article: [Die Auswirkung von Stauraumspülungen auf Fische 74-93](#)