

**Synthesebericht zu den Untersuchungen 2002-2004  
in den vier Testgebieten Emme,  
Liechtensteiner Binnenkanal, Necker, Venoge**

Teilprojekt-Nr. 01/16  
Marion Mertens, EAWAG  
Mai 2005

---

## Inhaltsverzeichnis

0. Zusammenfassung .....	3
1. Einleitung .....	5
1.1 Projektziel und –umfang.....	5
1.2 Einführung in die Thematik .....	6
2. Kurzcharakteristik der 4 Testgebiete .....	7
2.1 Emme.....	7
2.2 Necker.....	8
2.3 Venoge.....	9
2.4 Liechtensteiner Binnenkanal .....	10
3. Zusammenfassung der Resultate aus den Einzelberichten.....	12
3.1 Emme.....	12
3.2 Necker.....	15
3.3 Venoge.....	17
3.4 Liechtensteiner Binnenkanal (LBK).....	20
4. Diskussion und Schlussfolgerungen .....	23
4.1 Zusammenfassende Diskussion der Einzelergebnisse.....	23
4.2 Fischnetz-Hypothesen .....	23
4.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse .....	24
4.4 Weight of Evidence-Analyse und Fischmodell.....	24
4.5 Ableitung von Massnahmen-Empfehlungen .....	26
5. Literatur.....	27

## 0. Zusammenfassung

Mit diesem Kurzbericht soll interessierten Personen die Möglichkeit gegeben werden, sich über die Ergebnisse des Fischnetz-Teilprojekts Testgebiete einen Überblick zu verschaffen, ohne die insgesamt mehr als 300 Seiten starken Schlussberichte zu lesen. Für weitergehende Informationen und Zugang zu den zugrunde liegenden Daten ist die Lektüre der Einzelberichte jedoch weiterhin sehr zu empfehlen. Die Synthese Testgebiete ist eine allgemeinverständliche Kurzzusammenfassung folgender Berichte bzw. Veröffentlichungen:

Titel	Autoren	Erscheinungsjahr	Teilprojekt-nummer
Assessing the decline of brown trout ( <i>Salmo trutta</i> ) in Swiss rivers using a Bayesian probability network	Borsuk, M. et al.	Ecological Modelling, angenommen zum Druck	01/02
Emme, Necker, LBK, Venoge: Gebietscharakterisierung, Pestizidmessungen, Toxizitätsabschätzung	Götz, C. et al.	2003	01/14
Polybrominated diphenyl ether flame retardants in brown trout bile and liver from Swiss rivers with a prominent fish decline	Hartmann, P.	eingereicht in Environmental Pollution	01/15
Catch decline in Swiss Brown Trout – are reproductive parameters impaired?	Körner, O. et al.	in Vorbereitung	00/05
Zeitliche Veränderung der winterlichen Abflusscharakteristik schweizerischer Fließgewässer	Santschi, D.	2003	01/10
Testgebiete, Fischbestand und Lebensraum	Schager, E., Peter, A.	2004	01/16
Zwischenbericht zu den Untersuchungen 2001-2002 in den vier Testgebieten Emme, LBK, Necker, Venoge	Scheurer, K.	2004	00/16
Arealstatistik und Agrarstatistik der Testgebiete von Fischnetz	Strehler, A.	2003	01/14
Synthese Ökotox. Abschätzung der Konzentration östrogenen Schadstoffe in Fließgewässern	Strehler, A., Scheurer, K.	2003	02/01
Assessment of fish health status in four Swiss rivers (Fischgesundheit)	Zimmerli, S. et al.	in Vorbereitung	00/06

Tabelle 1: Übersicht Teilberichte und Veröffentlichungen

Im Fischnetz Teilprojekt Testgebiete wurden in den Jahren 2002 und 2003 vier Flusseinzugsgebiete in der Schweiz und in Liechtenstein exemplarisch untersucht: Venoge, Emme, Necker und Liechtensteiner Binnenkanal. In allen Einzugsgebieten haben die Bachforellenbestände in den vergangenen Jahren stark abgenommen. Ziel der Studie war die Überprüfung der

12 Fischnetz-Hypothesen an konkreten Gewässern. Die möglichen Ursachen für den Fischfangrückgang sollten eingegrenzt und mögliche Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren untersucht werden. Zudem wurde versucht, die Stärke der Einflussfaktoren relativ zueinander zu quantifizieren. Mit diesem „Herzstück“ von Fischnetz wurde für die ausgewählten Fließgewässer eine Datenbasis geschaffen, um die Entwicklung der Bachforellenbestände in Abhängigkeit von verschiedenartigen Umwelteinflüssen zu verstehen.

Die umfangreichen Erhebungen umfassen folgende Bereiche: Bestimmung von Habitatparametern an allen Teststrecken, Erstellung einer GIS-basierten Areal- und Agrarstatistik, Statistik zur Abflusscharakteristik, PKD-Untersuchungen, Messprogramm für chemische und physikalische Parameter (u.a. anorganische Schadstoffe, Pestizide, bromierte Flammschutzmittel) sowie die Erfassung der Fischbestände durch wiederholte Elektroabfischungen an jeweils 3 Messpunkten pro Flusseinzugsgebiet. Aus Fischbeständen und Artzusammensetzung wurden Aussagen zur Populationsdynamik abgeleitet.

Die Ergebnisse zeigen, dass in 10 von 12 Standorten (4 Einzugsgebiete mal 3 Standorte pro Einzugsgebiet) die Fischbestände durch die in den Fischnetz-Hypothesen zusammengefassten Einflussfaktoren erklärbar sind. Lediglich die mittlere und die untere Messstrecke am Necker weisen unerklärlich niedrige Fischbestände auf. An allen Teststrecken lassen sich die erfassten Fischbestände auf einen Mix aus verschiedenen Einflussfaktoren zurückführen.

Als dominierende Einflussfaktoren an der Venoge wurden Morphologie, Temperatur und PKD identifiziert. An der Emme waren der schlechte morphologische Zustand und die PKD ausschlaggebend. Am Necker Oberlauf entsprachen die Fischbestände im Wesentlichen den Erwartungen. Im Liechtensteiner Binnenkanal sind die Bachforellen einem starken Konkurrenzdruck durch Regenbogenforellen ausgesetzt, die Morphologie des Kanals entspricht erwartungsgemäss an vielen Stellen nicht natürlichen Verhältnissen.

## 1. Einleitung

### 1.1 Projektziel und –umfang

#### **Fischnetz**

Seit 1980 wird in der Schweiz ein starker Rückgang der Fischfänge beobachtet. So nahm zwischen 1980 und 2001 die Anzahl gefangener Bachforellen von 1,2 Millionen auf 400'000 ab (Fischnetz-Kurzbericht, 2004, S. 6). Darüber hinaus wurden alarmierende gesundheitliche Beeinträchtigungen an Fischen festgestellt. Als Reaktion auf diese Befunde wurde 1998 gemeinsam von EAWAG, BUWAL, dem Schweizerischen Fischerei-Verband, der schweizerischen Gesellschaft für chemische Industrie, den Kantonen und Liechtenstein das Projekt Fischnetz ins Leben gerufen. Von 1999 bis 2003 forschten in 77 Teilprojekten etwa 100 WissenschaftlerInnen über die Ursachen der Fischfangrückgänge und mögliche Gegenmassnahmen. Als mögliche Ursache für die Fangrückgänge wurden 12 Hypothesen aufgestellt und systematisch bearbeitet. Im Fischnetz-Schlussbericht sind die Ergebnisse der Teilprojekte nach Hypothesen geordnet zusammenfassend dargestellt (Fischnetz, 2004).

#### **Folgeprojekte**

Nach Beendigung des Projekts entstanden zwei an der EAWAG angesiedelte Folgeprojekte: Die Fischereiberatung FIBER in Kastanienbaum und das Projekt „Optimierung der Fischfangerträge und der Gewässerqualität“, kurz Fischnetz+, letzteres finanziert von den Kantonen und Liechtenstein. Zu den Aufgaben von Fischnetz+ gehört – neben der Unterstützung der Kantone bei der Massnahmen-Umsetzung – die Beendigung mehrerer noch laufender Fischnetz-Teilprojekte sowie die Kommunikation der Ergebnisse an Fachbehörden, politische Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit.

#### **Fischnetz Teilprojekt Testgebiete**

Eines der Kernprojekte von Fischnetz war die exemplarische Untersuchung der Fischbestandsrückgänge in 4 ausgewählten Flusseinzugsgebieten. Hier sollten alle für eine wissenschaftliche Auswertung relevanten Daten konzentriert an wenigen Punkten erhoben werden, um die Ursachen für den Fischfangrückgang eingrenzen zu können. Dazu wurden in den vier Testgebieten in den Jahren 2002-2003 umfangreiche Erhebungen durchgeführt, insbesondere wurde in den Testgebieten die Entwicklung der Fischbestände durch wiederholte Elektroabfischungen ermittelt.

#### **Wie wurden die Testgebiete ausgewählt?**

Die Ergebnisse aus den Testgebieten sollten stellvertretend für die Situation in der Gesamtschweiz erhoben werden. Daher wurde grosser Wert darauf gelegt, charakteristische Einzugsgebiete auszuwählen, die der Situation an typischen Schweizer Fliessgewässern mit den beobachteten landesweiten Fischfangrückgängen entsprechen. Die Testgebiete sollten dabei folgende Kriterien erfüllen:

- deutlicher und gut dokumentierter Rückgang der Fangzahlen
- Einzugsgebiete mit unterschiedlicher Landnutzung und unterschiedlicher Hydrologie
- geografische Verteilung in verschiedenen Regionen der Schweiz/Liechtensteins

- die untersuchten Gewässer durften nicht zu klein / zu unbedeutend sein, mussten aber noch mit vertretbarem Aufwand Elektro-Abfischbar, d.h. watbar, sein
- Vorhandene Daten: Wetter- und/oder Abflussmessstellen im Einzugsgebiet mit möglichst langer Zeitreihe. Ggf. frühere Erhebungen z.B. zum Fischbestand
- gute Zusammenarbeit mit den lokalen Fischereivereinen, die für die Untersuchungsdauer weitgehend auf Fischbesatz verzichten mussten

Diesen Kriterien folgend wurden 4 Testgebiete ausgewählt: Venoge (VD), Emme (BE), Necker (SG) und Liechtensteiner Binnenkanal (FL). An jeweils 3 Teststrecken pro Fliessgewässer wurden eingehende Untersuchungen zu Fischbestand, Fischgesundheit, Lebensraum und Wasserqualität durchgeführt. Die 4 Testgebiete werden in Kapitel 2 kurz vorgestellt.

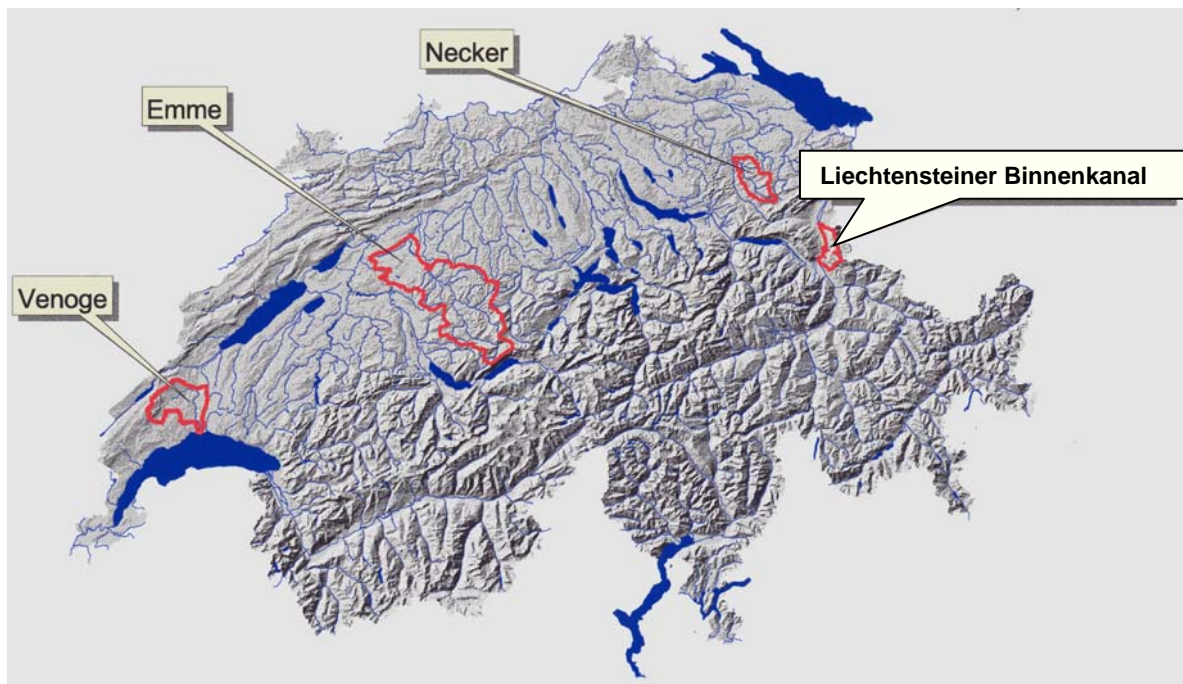


Abbildung 1: Lage der Fischnetz-Testgebiete

## 1.2 Einführung in die Thematik

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird hier auf den Fischnetz-Schlussbericht (Fischnetz, 2004) verwiesen, in dem die entsprechenden Grundlagen im Detail dargestellt sind. Dies sind insbesondere:

- Rückgang der Bachforellenfänge in der Schweiz (S. 9 – 12; S. 143 – 146)
- Ursachenanalyse / Fischnetz-Hypothesen (S. 13 – 14)
- Lebenszyklus der Bachforelle (S. 146 – 147)

Um die Übersichtlichkeit weiter zu erhöhen, wurde auf das ständige Zitieren der Datenquellen in diesem stark kondensierten Bericht weitgehend verzichtet. Entsprechende Angaben finden sich in den Einzelberichten.

## **2. Kurzcharakteristik der 4 Testgebiete**

### **2.1 Emme**

Das Einzugsgebiet der Emme liegt grösstenteils im Schweizer Mittelland. Das Einzugsgebiet der Emme wird vor allem im unteren Teil intensiv landwirtschaftlich genutzt und ist das am dichtesten besiedelte der 4 Untersuchungsgebiete. Der Emme wird nicht nur geklärtes Abwasser aus zahlreichen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) zugeführt, sondern auch an mehreren Stellen erhebliche Mengen an Wasser entnommen und in Kanalsysteme gepumpt bzw. zur Trinkwasserversorgung der Stadt Bern verwendet. Dadurch sind an der mittleren und der unteren Teststrecke die hydrologischen Verhältnisse stark beeinträchtigt. Wegen der zahlreich auftretenden Hochwässer in dicht besiedeltem Gebiet wurde die Emme in den vergangenen Jahrzehnten stark verbaut und begradigt. Besonders im unteren Abschnitt fehlt die Anbindung der Seitenbäche an das Hauptgewässer. 1991 wurde begonnen, an mehreren Stellen der Emme Revitalisierungsmassnahmen durchzuführen, um den Geschiebehalt wieder ins Gleichgewicht zu bringen und für naturnähere Verhältnisse am Fluss zu sorgen. Die betrachteten Teststrecken liegen jedoch nicht direkt an revitalisierten Gewässerabschnitten und geben somit an der mittleren und unteren Teststrecke eher den verbauten Zustand wieder.

Die Forellenfänge an der Emme werden seit 1989 erfasst und sind seitdem von über 100 kg/ha kontinuierlich auf ca. 40 kg/ha abgesunken. Besonders im mittleren und unteren Bereich der Emme sind die Fischfänge in den letzten Jahren auf ein noch tieferes Niveau zurückgegangen (Grafiken mit Fangstatistiken für alle Testgebiete in Scheurer, 2004).

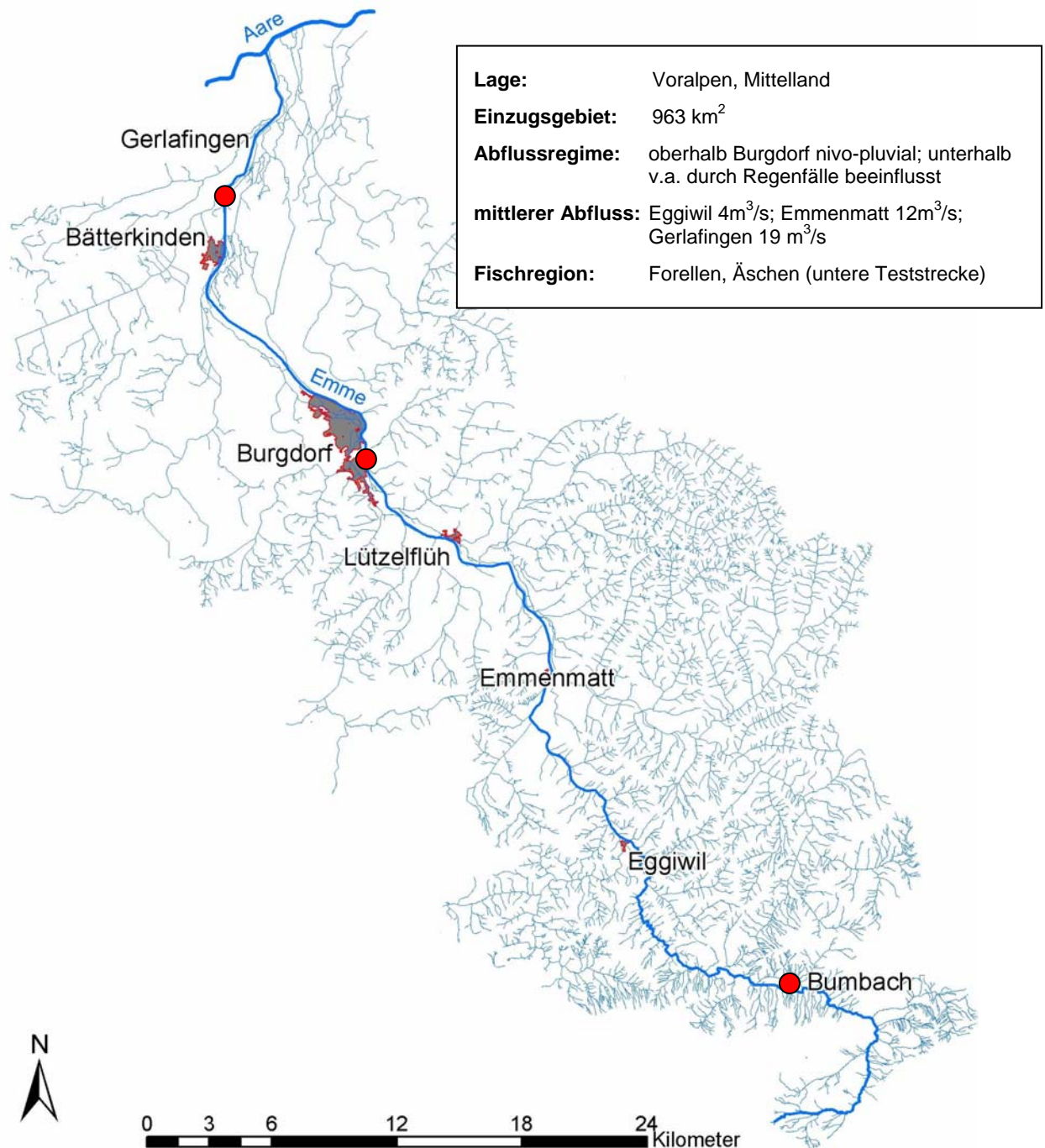


Abbildung 2: Gewässersystem und Lage der Teststrecken in der Emme (Kartengrundlage: Vector25©2003swisstopo; aus Schager & Peter, 2004)

## 2.2 Necker

Der Necker ist das naturbelassendste der 4 Testgewässer. Ackerbau spielt in diesem voralpinen Einzugsgebiet fast keine Rolle (0.4% des Einzugsgebiets) und es entwässern nur kleinere ARA in



den Necker. Die Morphologie des Neckers ist in weiten Streckenabschnitten naturbelassen, nur zwischen der mittleren und der unteren Teststrecke sind die Ufer teilweise verbaut.

Der Necker mündet bei Lütisburg in die chemisch und landwirtschaftlich stärker belastete Thur ein, von wo Fische ein- bzw. abwandern können.

Die Forellenfänge im Necker bewegten sich von 1969 bis 1993 etwa konstant bei 100 kg/ha. In den folgenden 2 Jahren fielen die Fangmengen auf ca. 50 kg/ha, im weiteren Verlauf sanken die Fangmengen leicht auf 30-40 kg/ha ab.

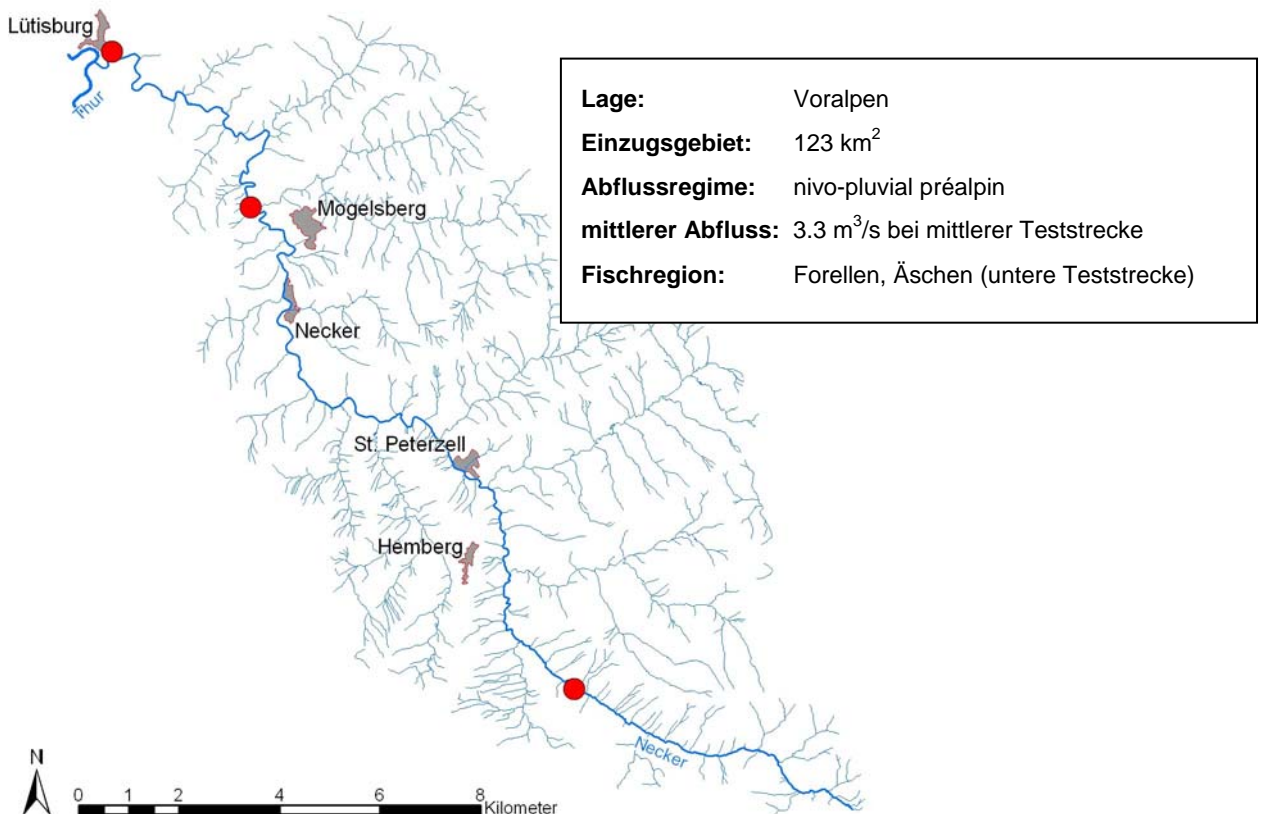


Abbildung 3: Gewässersystem und Lage der Teststrecken im Necker (Kartengrundlage: Vector25©2003swisstopo; aus Schager & Peter, 2004)

### 2.3 Venoge

Die Venoge und ihr wichtigster Nebenfluss Veyron (dort liegt die oberste Teststrecke) entspringen aus Karstquellen im Jura. Am Zusammenfluss von Venoge und Veyron gibt es natürliche, für Fische unüberwindbare Wasserfälle (la Tine). Im Unterlauf existieren mehrere künstliche Wanderhindernisse, die nur teilweise durch Fischaufstiegshilfen umgangen werden. Die unterste Teststrecke bei Ecublens ist für Seeforellen aus dem Genfer See erreichbar.

Die landwirtschaftliche Nutzung an der Venoge ist die intensivste der 4 Testgebiete. Durch die gut wasserdurchlässigen Böden und z.T. geringen Gewässerrandstreifen können Nährstoffe und andere Stoffe relativ leicht in die Venoge gelangen. Im Flussverlauf zeigt sich ein Wechsel von sehr naturnahen und vollständig begradigten, naturfremden Abschnitten. Alle 3 Teststrecken liegen in naturnahen Bereichen, umgeben von Wäldern, so dass die an den Teststrecken festgestellten Fischbestände die Situation im Gesamtfluss möglicherweise etwas überschätzen (B. Büttiker,

mündl. Mitt.). Im Einzugsgebiet gibt es zahlreiche kleinere ARA, darunter auch eine kleine ARA (1'750 EGW) oberhalb der obersten Teststrecke. Eine grössere ARA (21'250 EGW) liegt oberhalb der mittleren Messstrecke bei Bussigny.

In der unteren Teststrecke fanden Schager & Peter (2004) insgesamt 13 Fischarten. Die Fangmengen aller Fischarten nahm im Zeitraum von 1973 bis 1987 von ca. 600 kg/ha auf etwa 250 kg/ha ab, wobei zwischen den Jahren 1984 und 1985 ein abrupter Abfall feststellbar ist. Die Forellenfänge an der Venoge werden erst seit 1987 gesondert erfasst und haben seither allmählich von 200 kg/ha auf 120 kg/ha abgenommen. Im Gegensatz dazu sind die Fischbestände im Veyron mit 100-200 kg/ha mehr oder weniger konstant.

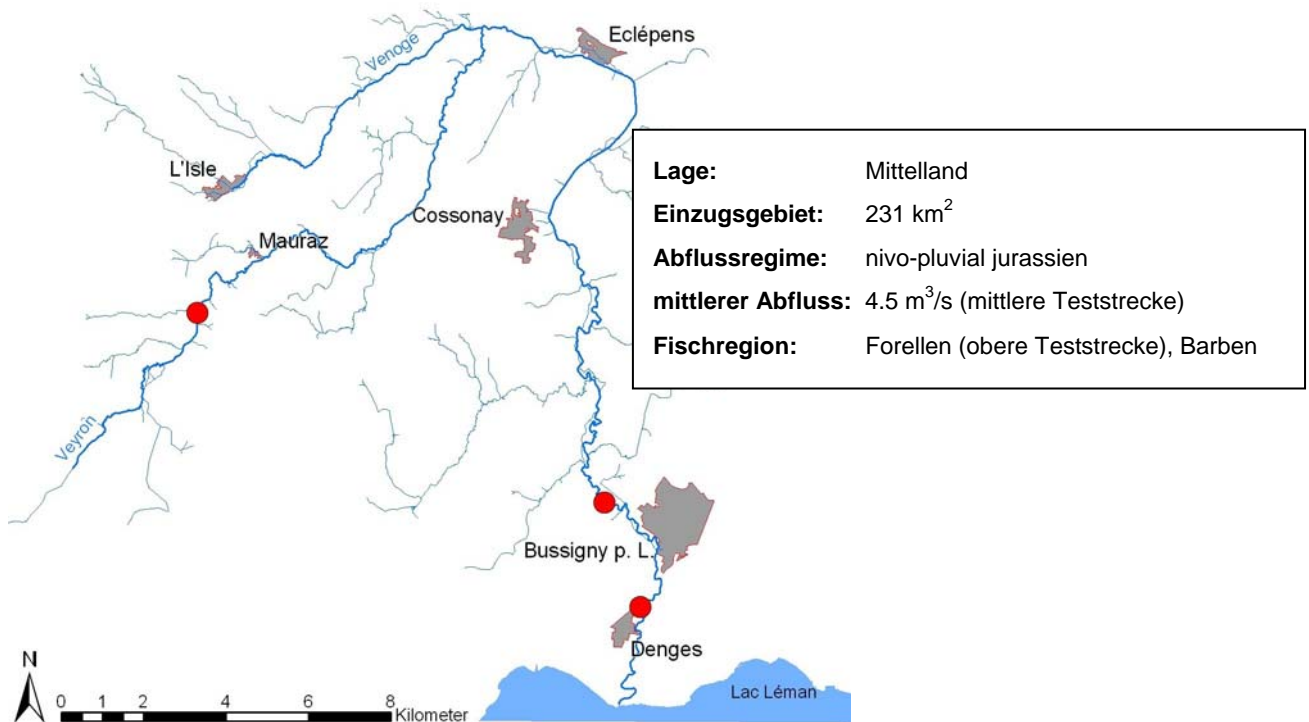


Abbildung 4: Gewässersystem und Lage der Teststrecken in der Venoge (Kartengrundlage: Vector25©2003swisstopo; aus Schager & Peter, 2004)

## 2.4 Liechtensteiner Binnenkanal

Der Liechtensteiner Binnenkanal ist das einzige künstliche Gewässer unter den ausgewählten Teststrecken und wurde 1931-43 in seiner heutigen Gestalt gebaut. Die Rheintaler Binnenkanäle links und rechts des vollständig eingedeichten Alpenrheins fassen das dem Rhein zuströmende Grundwasser (70 %), sowie kleinere Bergbäche und dienen der Entwässerung der Talsohle. Durch den dominierenden Einfluss des Grundwasserzuströms sind die hydrologischen Verhältnisse im Liechtensteiner Binnenkanal sehr gleichmässig: Der Abfluss liegt maximal bei etwa 5 m<sup>3</sup>/s, die Temperaturschwankungen sind mit Wintertemperaturen von 5-8 °C und Sommertemperaturen von 12-15 °C sehr niedrig. Damit ist schon aus Temperaturgründen ein phänomenologisches Auftreten der PKD unmöglich, da diese Krankheit Temperaturen von mindestens 15 °C während mehrerer Wochen benötigt.

Der Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche am Gesamteinzugsgebiet liegt mit 18% sehr niedrig. Auch bei vergleichsweise intensiver Nutzung der landwirtschaftlichen Nutzfläche ist nicht mit einem dominierenden Einfluss aus der Landwirtschaft zu rechnen.

Bis zur vollständigen Revitalisierung der Binnenkanalmündung im Jahr 2000 konnten Fische nicht oder kaum aus dem Alpenrhein in den Liechtensteiner Binnenkanal einwandern. Seit dem Jahr

2000 hat sich die Anzahl der Fischarten im Liechtensteiner Binnenkanal mehr als verdoppelt.

Der Forellenbestand im Liechtensteiner Binnenkanal ist durch den starken Besatz mit Regenbogenforellen in den 70er bis 90er Jahren geprägt. Wegen dem meist früheren Emergenzverhalten der Regenbogenforellen-Brütlinge ist der Bachforellenbestand im LBK starkem Konkurrenzdruck ausgesetzt. In den letzten Jahren wurde zur Wiederannäherung an das ursprüngliche Arteninventar auf einen Besatz mit Regenbogenforellen verzichtet.

Die Forellenfänge im Liechtensteiner Binnenkanal stiegen von 200-300 kg/ha in den Jahren 1962-70 zunächst auf maximal 550 kg/ha im Jahr 1975 an, um dann kontinuierlich auf etwa 50 kg/ha ab dem Jahr 2000 abzufallen. Dabei liegt der Bachforellenanteil an der unteren Teststrecke bei weniger als 10 % der gefangenen Forellen. Dieser geringe Anteil ist das Resultat eines seit Jahren rückläufigen Bachforellenanteils im Liechtensteiner Binnenkanal.

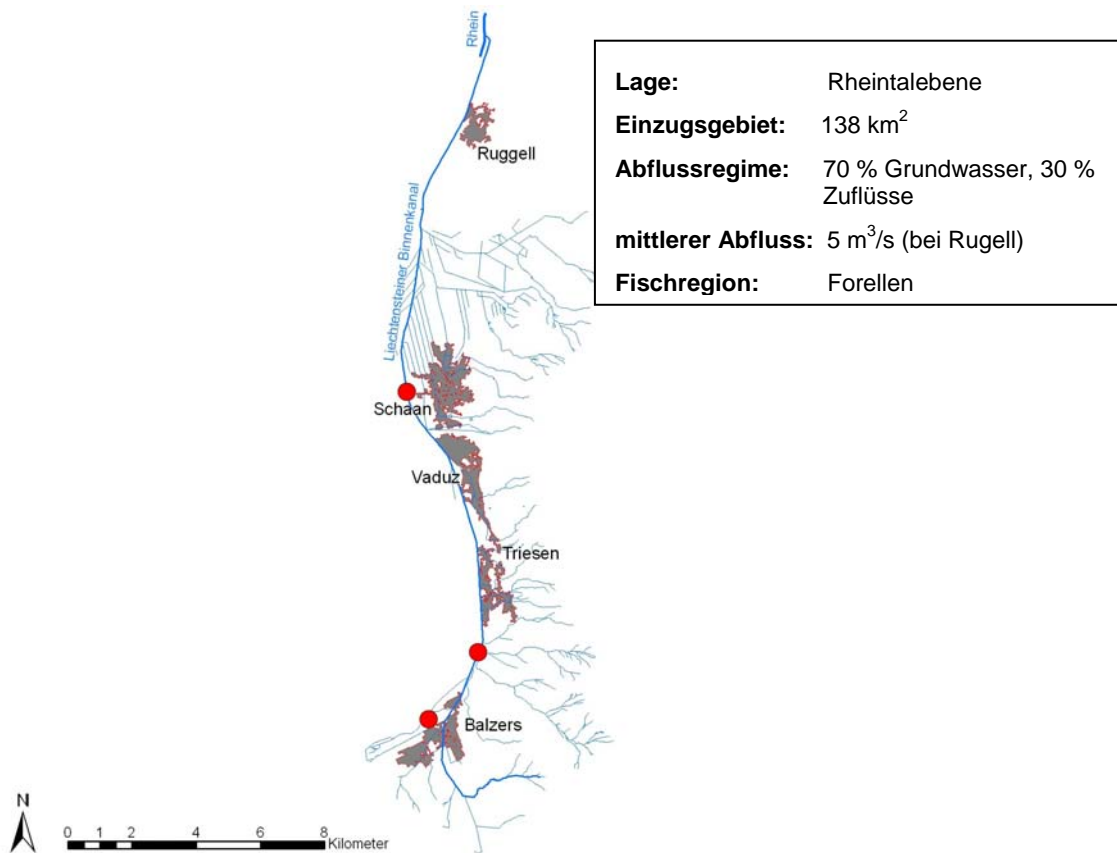


Abbildung 5: Gewässersystem und Lage der Teststrecken im Liechtensteiner Binnenkanal (Kartengrundlage: Vector25©2003swisstopo; aus Schager & Peter, 2004)

### 3. Zusammenfassung der Resultate aus den Einzelberichten

Die Resultate der Einzelberichte werden für jedes Testgebiet einzeln zusammengefasst. Im ersten beschriebenen Testgebiet, der Emme, werden dabei einige für das Verständnis notwendige Details kurz erläutert. Zur methodischen Vorgehensweise der einzelnen Messungen sei hier wiederum auf die Einzelberichte verwiesen.

#### 3.1 Emme

##### Fischbestand

Der Fischbestand in der Emme wurde durch 2 - 5 Elektrobefischungen pro Teststrecke in den Jahren 2002 und 2003 erfasst. Die Befischungen erfolgten quantitativ, d.h. 3 Durchgänge, Abspernung oben und unten (Schager & Peter, 2004).

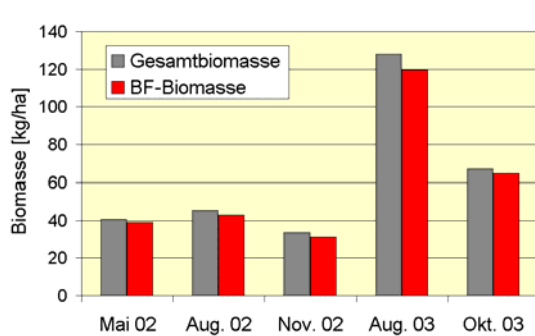


Abbildung 6a: Fischbestände Emme, obere Teststrecke

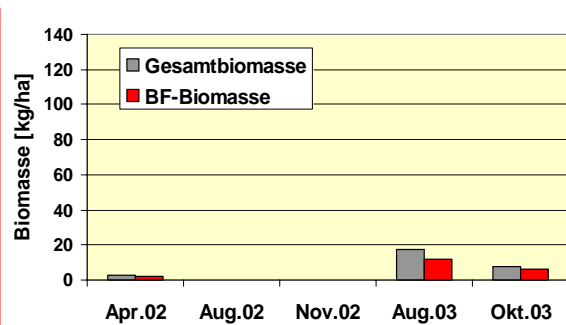


Abbildung 6b: Fischbestände Emme, mittlere Teststrecke

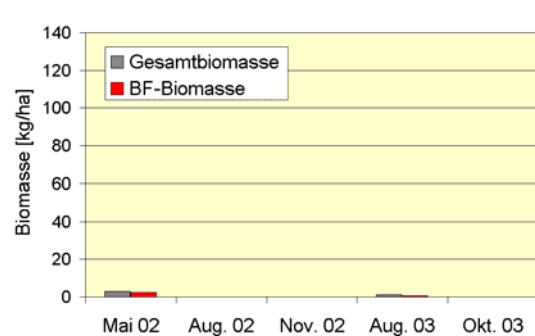


Abbildung 6c: Fischbestände Emme, untere Teststrecke (alle Abbildungen: Schager & Peter, 2004)

Die Fischbestände im Emme-Oberlauf sind gemessen an den naturräumlichen Gegebenheiten als mittel bis gut zu bezeichnen. Bei der mittleren und der unteren Teststrecke waren die Fischbestände hingegen minimal. In der oberen und mittleren Teststrecke kam ausser der Bachforelle als weitere Fischart nur die Groppe vor, wohingegen im Emme-Unterlauf (Äschenregion) maximal 9 Fischarten gefangen wurden.

Wegen der beim ersten Befischungstermin gefundenen sehr geringen Fischbestände in der unteren und mittleren Teststrecke wurden dort bei den nächsten beiden Terminen, sowie beim 2. Termin 2003, alternativ Pool- und Strukturbefischungen durchgeführt. Die Gesamtindividuen-dichten sind auch hier mit 1 – 15 Fischen / 100 m<sup>2</sup> gering. Die höchsten Fischdichten finden sich im

Bereich der Holz- und Blocksteinverbauungen.

### Lebensraum

Der Lebensraum an der Emme ist an der unteren und mittleren Teststrecke in fast allen Parametern schlecht, an der oberen Teststrecke hingegen wurden gute Verhältnisse angetroffen. Während an allen Teststrecken keine Kolmationserscheinungen gefunden wurden, erweisen sich die hohen Maximaltemperaturen im Sommer auch als negativer Lebensraumfaktor (s.u.).

Lebensraum	Emme unten	Emme Mitte	Emme oben
Hydraulische Heterogenität	5	5	1
VC mittlere Breite	5	5	3
VC mittlere max. Tiefe	1	1	1
innere Kolmation	1	2	1
äussere Kolmation	1	1	1
Fischunterstände (exkl.Pools)	5	5	3
Verbauungsgrad Ufer	5	5	3
Verzahnung	5	5	3
Hydrologie	5	5	1
Sommertemperaturmaxima	5	3	3
<b>Zustandsklasse (Mittelwert)</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Bewertung</b>	<b>schlecht</b>	<b>schlecht</b>	<b>gut</b>

Tabelle 2: Bewertung Lebensraum Emme, Skala von 1 (sehr gut) bis 5 (ungenügend) (Schager & Peter, 2004)

### PKD und Wassertemperatur

Die maximalen Wassertemperaturen an der mittleren und unteren Emme-Teststrecke überschreiten schon ab Mai/Juni 15 °C deutlich. An beiden Standorten wurde PKD festgestellt, die aufgrund des Temperaturregimes voll zum Ausbruch kommt und zu hohen Mortalitäten bei den Bachforellen führen kann. Die PKD (proliferative kidney disease) ist eine für Bachforellen häufig tödlich verlaufende Nierenkrankheit, die erst dann in phänomenologisch in Erscheinung tritt, wenn während mindestens 2 Wochen in Folge 15 °C Wassertemperatur überschritten werden. Die Krankheit wird durch den Parasiten *Tetracapsuloides bryosolmonae* ausgelöst, als dessen Hauptwirtstier Moostierchen (Bryozoen) fungieren. Derzeit laufen weitere, intensive Untersuchungen am FIWI (Institut für Fisch- und Wildtiermedizin in Bern) und weiteren Instituten, um den genauen Übertragungsweg der PKD zu erkunden und mögliche Bekämpfungsmassnahmen einleiten zu können. Derzeit ist eine Therapie von PKD erkrankten Fischen nicht möglich. Es werden aber – auch im Rahmen von Fischnetz – Versuche zur Resistenzbildung von zu unterschiedlichen Zeiten in PKD-befallene Gewässer eingesetzten Bachforellen durchgeführt.

PKD wurde 2002 an der unteren Teststrecke bei 50 % der Bachforellen festgestellt (insgesamt 6 beprobte Tiere), an der mittleren Teststrecke bei 39 % der Bachforellen (18). 2003 konnten an der unteren Teststrecke keine Bachforellen gefangen werden und es fand keine PKD-Untersuchung statt. An der mittleren Strecke waren 60 % der Bachforellen infiziert, bei insgesamt 20 untersuchten Fischen. An der oberen Teststrecke wurde kein PKD-Befall gefunden (Zimmerli, 2005). Dabei muss jedoch beachtet werden, dass an PKD verendete Tiere bei den Untersuchungen gar nicht mehr gefunden werden und somit der tatsächliche PKD-Befall höher sein kann.

Werden im Hochsommer Temperaturen von über 22 °C erreicht, löst dies bei den an deutlich niedrigere Temperaturen angepassten Bachforellen physiologischen Stress aus. Im Jahr 2002 wurden an 7 Tagen (untere Teststrecke) bzw. an einem Tag (mittlere Teststrecke) 22 °C überschritten (Stundenwerte), im heissen Sommer 2003 an 41 bzw. 8 Tagen (s. Scheurer, S. 74).

Besonders in Kombination mit chemischer Gewässerbelastung kann der Temperaturstress für Bachforellen zum problematischen Faktor werden, zumal auch die Wirkung von toxischen Substanzen bei höheren Temperaturen häufig ausgeprägter ist als bei niedrigen Temperaturen (Crisp, 2000). Auf der anderen Seite können an entsprechende Temperaturverhältnisse präadaptierte Bachforellen bis zu 7 Tage lang Temperaturen bis 25 °C ertragen (Elliott, 1981, 1991; zitiert in Crisp, 2000).

### **Fischgesundheit, endokrin aktive Substanzen**

Der Konditionszustand der Bachforellen (Verhältnis Länge zu Gewicht) wurde an allen Teststrecken im Rahmen der Elektroabfischungen erhoben und ist an der Emme als gut zu bezeichnen. Es wurde auch keine auffällige Häufung von Deformationen und makroskopisch sichtbaren Anomalien festgestellt.

Die histopathologischen Untersuchungen von Zimmerli in den Jahren 2002 und 2003 ergaben ebenfalls keine Gesundheitsbeeinträchtigungen, die nach heutigem Kenntnisstand in der Lage wären, sich negativ auf die Gesamtpopulation auszuwirken. Eine Ausnahme sind die an PKD erkrankten Fische. Es wurden in den Jahren 2002 und 2003 jeweils 20 juvenile Bachforellen pro Teststrecke untersucht. Generell wurde in allen Flüssen ausser der Venoge eine leichte Zunahme des histologischen Leberindex flussabwärts beobachtet. Die Werte im Mittel- und Unterlauf sind in Emme, Necker und LBK leicht bis mittelgradig verändert. Dies kann zwar ein Hinweis auf vorhandene Stressoren (Wasserqualität, Temperatur) sein. Jedoch ist zu beachten, dass sich z.B. auch die Konditionsfaktoren der Bachforellen (=Nährzustand) stromabwärts leicht erhöhen, was wiederum statistisch abgesicherte Auswirkungen auf einen anderen Index, den Hepatosomatischen Index, hat (Zimmerli, 2005). Daher können leichte Veränderungen im Leberindex auch durch variable Umweltfaktoren wie Nahrungsangebot oder Temperatur hervorgerufen werden.

Die Untersuchungen von Körner (2005) zu möglichen Effekten endokrin aktiver Substanzen ergaben zwar durchaus Beeinträchtigungen einzelner Bachforellen an vielen Standorten sowie lokal auftretende Anomalien. Es konnten jedoch keinerlei Hinweise darauf gefunden werden, dass eine Störung der Reproduktionsorgane von Bachforellen einen negativen Einfluss auf die Fischpopulationen in den 4 Testgebieten hat. Von insgesamt 197 untersuchten männlichen Bachforellen zeigten nur 10 Tiere Vitellogenin-Werte über dem Schwellenwert von 1 µg/l. Das Dotterprotein Vitellogenin ist ein klarer Indikator für die Verweiblichung von männlichen Fischen. Ab 1 µg/l Vitellogenin wird von einer vorgängigen Exposition der Fische an endokrin aktiven Substanzen ausgegangen (Vethaak et al., 2002). Inwieweit der beobachtete Anteil von 5% exponierter Fische natürlichen Verhältnissen entspricht oder nicht, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abschliessend beurteilt werden.

Als Besonderheit trat im Jahr 2002 an der mittleren Emme-Teststrecke mit 15 % ein deutlich erhöhter Atresie-Anteil bei weiblichen Bachforellen auf. Atretische (abgestorbene) Eizellen sind ein möglicher Indikator für eine Vielzahl verschiedener Stressoren, wie z.B. Temperatur ausserhalb der artspezifischen Präferenzen, endokrine Substanzen oder Nahrungsmangel (Körner, 2005).

### **Wasserqualität**

Die landwirtschaftliche Nutzung im Einzugsgebiet der Emme ist mit 50 % vergleichsweise intensiv. Allerdings werden lediglich 10 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche ackerbaulich genutzt, mit einem starken Schwerpunkt in den unteren Teilen des Emme-Einzugsgebiets (Strehler, 2003). 3 grosse ARA und zahlreiche kleinere Anlagen entwässern in die Emme und ihre Nebengewässer: Die ARA Mittleres Emmental mit 76'700 EGW oberhalb der mittleren Teststrecke und die ARA Moossee-Urtenenbach (> 50'000 EGW) sowie die ARA Aeflingen (124'200 EGW) mehrere Flusskilometer oberhalb der unteren Teststrecke.

Der Situation entsprechend weisen die klassischen Gewässergüteparameter (Pgesamt, Ortho-Phosphor, Nitrat, Ammonium, Nitrit, DOC) leicht erhöhte Werte auf. Insbesondere die Gesamt-Phosphor-Konzentrationen liegen mit 110 mg/l (80% Perzentil) im unbefriedigenden Bereich

(Scheurer, 2004). Allgemein liegen die Konzentrationen jedoch zumindest mit den mittleren Werten deutlich unter den bekannten fischtoxischen Konzentrationen. Probleme können demgegenüber insbesondere kurzzeitige Nitrit-Peaks unterhalb von ARA bereiten, die nur durch spezielle Messprogramme erfasst werden können. Da sowohl die mittlere als auch die untere Messstrecke nur wenige Kilometer unterhalb grösserer ARA liegen, können negative Effekte durch Nitrit-Peaks nicht ausgeschlossen werden, insbesondere bei Betriebsstörungen der ARA.

Pro Fliessgewässer wurden jeweils 25 Wasserproben auf Pestizide untersucht. Dabei lag der Schwerpunkt der Untersuchungen in den Sommermonaten und an den unteren Teststrecken, wo die höchsten Pestizidkonzentrationen zu erwarten sind (Götz, 2003). Der PNEC (predicted no effect concentration), ab welchem negative Auswirkungen auf Fische zu erwarten sind, wurde in allen Fällen deutlich unterschritten. Die Untersuchung ergab für die Emme jedoch Überschreitungen des EQS (environmental quality standard) für 4 Pestizide (Atrazin, Diazinon, Diuron und Metolachlor). Damit kann ein Risiko für die aquatische Umwelt nicht ausgeschlossen werden. Somit ist eine indirekte Beeinflussung der Fischpopulationen beispielsweise durch Veränderung des Nährtierbestands prinzipiell möglich, allerdings zeigen die ermittelten Konditionsfaktoren keine Hinweise auf einen Nahrungsmangel bei Bachforellen.

### **Abflussregime**

Eine Häufung starker Winterhochwässer kann den Reproduktionserfolg von Bachforellen durch Abschwemmen der Eier schmälern bzw. in einzelnen Jahren zu starken Verlusten führen. Von 1981-2000 zeigt keines der 4 Einzugsgebiete eine Zunahme winterlicher Hochwässer. Lediglich für die Emme bei Emmenmatt liessen sich in der Periode 1961-2000 Veränderungen beobachten (nur an diesem Standort lagen hierfür ausreichend lange Datenreihen vor): Kleine und mittlere Hochwässer treten im Winter häufiger auf und die Stärke der Hochwässer hat insgesamt zugenommen (Santschi, 2003).

## **3.2 Necker**

### **Fischbestand**

Die Fischbestände an der oberen Necker-Teststrecke entsprechen im Wesentlichen den naturräumlichen Gegebenheiten in dieser Höhenlage (850 m ü. NN). In der unteren und mittleren Teststrecke müssten jedoch aufgrund der Höhenlage weitaus grössere Fischdichten gefunden werden, als maximal 35 kg Bachforellen/ha (August 03, Mitte) bzw. 25 kg/ha (Nov. 03, unten). Bei der herbstlichen Elektroabfischung 2004 wurden demgegenüber an der mittleren Teststrecke 47 kg Bachforellen/ha bzw. an der unteren Messstrecke 34 kg/ha festgestellt, was den natürlicherweise zu erwartenden Beständen schon näher kommt (R. Riederer, pers. Mitt., 2005).

Während an der obersten Teststrecke ausschliesslich Bachforellen gefangen wurden, waren es an der mittleren Teststrecke maximal 4, an der unteren Teststrecke maximal 9 Arten.

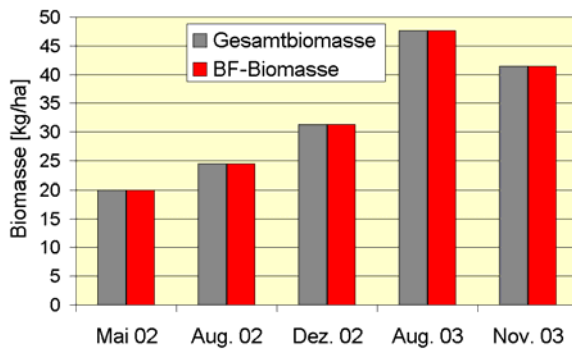


Abbildung 7a: Fischbestände Necker, obere Teststrecke

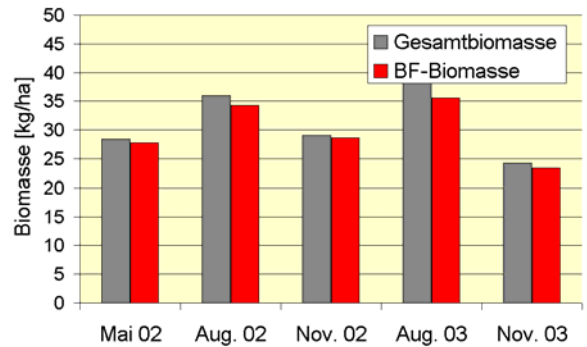


Abbildung 7b: Fischbestände Necker, mittlere Teststrecke

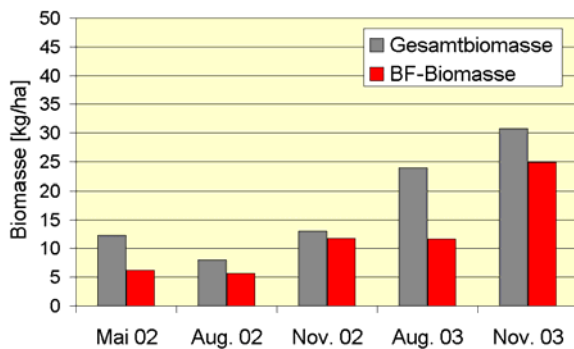


Abbildung 7c: Fischbestände Necker, untere Teststrecke (Schager &amp; Peter, 2004)

### Lebensraum

Der Neckar ist das natürlichste der 4 Testgewässer. Dementsprechend gut fällt auch die Bewertung des Lebensraums an den 3 Teststrecken aus. In der mittleren und abgeschwächt in der unteren Teststrecke wurden mässige Verdichtungserscheinungen (Kolmation) der Gewässersohle festgestellt.

Lebensraum	Necker unten	Necker Mitte	Necker oben
Hydraulische Heterogenität	1	1	1
VC mittlere Breite	3	1	1
VC mittlere max. Tiefe	1	1	1
innere Kolmation	2	3	1
äussere Kolmation	1	1	1
Fischunterstände (exkl.Pools)	5	3	3
Verbauungsgrad Ufer	1	1	1
Verzahnung	3	3	3
Hydrologie	1	1	1
Sommertemperaturmaxima	5	3	1
<b>Zustandsklasse (Mittelwert)</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Bewertung</b>	<b>gut</b>	<b>gut</b>	<b>sehr gut</b>

Tabelle 3: Bewertung Lebensraum Necker, Skala von 1 (sehr gut) bis 5 (ungenügend) (Schager &amp; Peter, 2004)



### **PKD und Wassertemperatur**

Am Necker wurde in keiner der untersuchten Bachforellen PKD festgestellt, auch nicht in latenter Form. Die maximalen Wassertemperaturen im Sommer 2003 überschritten 22 °C während 54 Tagen an der unteren Teststrecke, an der mittleren Messtrecke liegt kein kompletter Datensatz vor. Wegen unvollständiger Datensätze am Necker kann hier lediglich analog zur Situation an der Emme ebenfalls mit einer Überschreitung von 22 °C Wassertemperatur gerechnet werden, allerdings an deutlich weniger Tagen als im Hitzesommer 2003.

### **Fischgesundheit, endokrin aktive Substanzen**

In Inkubationsversuchen von Schager (2002 und 2003) wurde die Überlebensrate von Bachforelleneiern an 5 Standorten im Necker untersucht, mit dem Ziel, eine mögliche Reproduktionschwäche der Bachforellen zu erkunden. Dazu wurden jeweils 15 sog. Vibertboxen an geeigneten Stellen im Kies vergraben und der Schlüpfertag der Eier mit Kontrollversuchen der gleichen Eier im Labor verglichen. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Boxen, die nicht durch Sedimentumlagerungen verloren gingen oder in sauerstoffarme Bereiche verfrachtet wurden, die Überlebensraten der Eier mit meist deutlich über 80 % als sehr gut zu bezeichnen sind.

Die bei der Elektrofischung festgestellten Konditionsfaktoren der Bachforellen sind in Ordnung, es wurden keine auffälligen Anomalien/Deformationen gefunden. Die histopathologischen Untersuchungen von Zimmerli (2005) ergaben keinerlei Ergebnisse, die auf eine gesundheitliche Beeinträchtigung der Bachforellen durch Krankheit, chemischen Stress oder erhöhte Temperaturen hinweisen würden. Am Necker fanden sich keine Hinweise für negative Auswirkungen endokriner Substanzen.

### **Wasserqualität**

Der Necker ist das Testgebiet mit der bei weitem geringsten Gewässerbelastung. Es münden nur kleine ARA in den Necker und der Anteil der Ackerflächen (hauptsächlich Mais) liegt bei marginalen 0,4 %. Damit übereinstimmend kann die Wasserqualität am Necker in allen Punkten als sehr gut bezeichnet werden. Lediglich an der mittleren Teststrecke unterhalb der ARA Mogelsberg (3600 EGW) wurden erhöhte Gesamt-Phosphorgehalte (durchschnittlich 63 µg/l) gefunden, die für die Fischbestände jedoch unproblematisch sind (Scheurer, 2004). Von den Pestiziden überschritt Diazinon den EQS-Wert.

## **3.3 Venoge**

### **Fischbestand**

Die oberste Teststrecke am Veyron weist hohe Fischbestände auf: Ein Ergebnis, das mit den durchgängig hohen Fangzahlen am Veyron übereinstimmt. Demgegenüber sind insbesondere die Bachforellenbestände an der mittleren und unteren Teststrecke deutlich erniedrigt, da diese Standorte der Barbenregion zuzuordnen sind.

Die obere Teststrecke am Veyron, die in verkarstem Gebiet liegt, führte im extremen Trockenjahr 2003 kein fließendes Wasser mehr und konnte deshalb nicht befischt werden. Trotzdem überlebten offensichtlich zumindest einige Fische den Sommer in übrig gebliebenen Tümpeln, so dass auch ohne Besatzmassnahmen bei der Befischung im Oktober 2003 wieder erhebliche Fischmengen gefunden wurden.

An der obersten Teststrecke wurden nur Bachforellen und Groppen gefunden, was aufgrund der Fischregion (Forellenregion) und den von Natur aus fehlenden Fischaufstiegsmöglichkeiten den Erwartungen entspricht. Die mittlere und untere Teststrecke gehören zur Barbenregion und entsprechend grösser ist hier der Artbestand (maximal 10 bzw. 9 Arten).

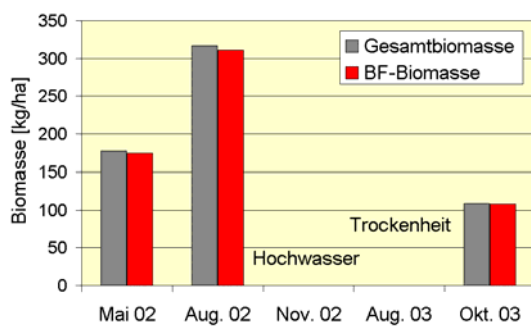


Abbildung 8a: Fischbestände Venoge, obere Teststrecke

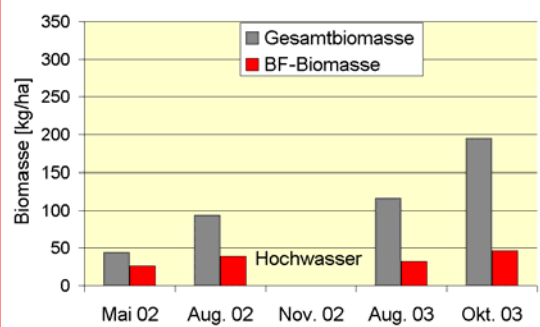


Abbildung 8b: Fischbestände Venoge, mittlere Teststrecke

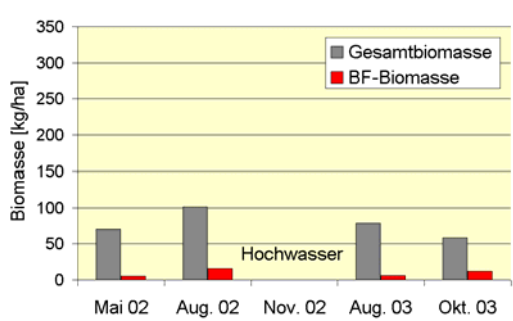


Abbildung 8c: Fischbestände Venoge, untere Teststrecke (Schager &amp; Peter, 2004)

### Lebensraum

Die mittlere und untere Teststrecke an der Venoge sind der Barbenregion zuzuordnen. Da in dieser Fischregion höhere Feinsedimentanteile und erhöhte Temperaturen natürlicherweise auftreten, wurden die entsprechenden Parameter nicht in die Bewertung des Lebensraums einbezogen. Dies führt zu einer besseren Bewertung, als mit Einbezug dieser Parameter. Jedoch darf nicht vergessen werden, dass der Lebensraum unter diesen Umständen für Forellen nicht mehr optimal ist. Insgesamt schneiden die obere und die mittlere Teststrecke in punkto Lebensraum gut ab, während an der unteren Teststrecke der Lebensraum nur noch als mittel eingestuft wird.

Lebensraum	Venoge unten	Venoge Mitte	Veyron oben
Hydraulische Heterogenität	5	1	1
VC mittlere Breite	3	3	3
VC mittlere max. Tiefe	1	1	1
innere Kolmation	Barbenregion		1
äussere Kolmation			3
Fischunterstände (exkl.Pools)	3	1	3
Verbauungsgrad Ufer	1	1	1
Verzahnung	5	3	1
Hydrologie	1	1	1
Sommertemperaturmaxima	Barbenregion		1
<b>Zustandsklasse (Mittelwert)</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>Bewertung</b>	<b>mittel</b>	<b>gut</b>	<b>gut</b>

Tabelle 4: Bewertung Lebensraum Venoge, Skala von 1 (sehr gut) bis 5 (ungenügend) (Schager &amp; Peter, 2004)

### PKD und Wassertemperatur

Die Venoge gehört - ebenso wie die Emme - zu den mit PKD befallenen Gewässern, allerdings ist der Anteil befallener Bachforellen hier niedriger als an der Emme. PKD wurde 2002 an der unteren Teststrecke bei 22 % der Bachforellen festgestellt (insgesamt 23 beprobte Tiere), an der mittleren Teststrecke bei 4 % der Bachforellen (24). 2003 wurden an der unteren und mittleren Teststrecke keine PKD-positiven Bachforellen gefangen, es ist aber gut möglich, dass mit insgesamt 19 bzw. 16 beprobten Bachforellen der Stichprobenumfang zu gering war. In der isoliert liegenden oberen Teststrecke am Veyron wurde erwartungsgemäss keine PKD gefunden.

Im Jahr 2002 wurden 22 °C an keiner der 3 Teststrecken überschritten, im heissen Sommer 2003 hingegen an 43 Tagen (untere Teststrecke) bzw. 29 Tagen (mittlere Teststrecke). Die stärkeren Unterschiede zwischen 2002 und 2003 resultieren aus dem teilweise verkarsteten Einzugsgebiet der Venoge, das auf Temperaturschwankungen generell stärker anspricht, als unverkarstete Gebiete.

### Fischgesundheit, endokrin aktive Substanzen

Die im Rahmen der Elektroabfischung erhobenen Konditionsfaktoren sind durchweg als gut zu bezeichnen. Es wurde keine Häufung von Anomalien oder Deformationen bei den gefangenen Fischen festgestellt (Schager, 2004).

An der Venoge wurden von Zimmerli (2005) keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen bei Bachforellen gefunden. Auch der lebersomatische Index, der in den anderen Flüssen eine leichte Erhöhung im Flussverlauf zeigt, liegt hier durchweg auf einem niedrigen Niveau. Einziges auffälliges Ergebnis war ein ganz leicht erhöhter EROD-Wert an der unteren Teststrecke im Jahr 2002 (n=16; EROD liegt bei 70 pmol/mg/min, bei einem Schwellenwert von 50). Die EROD-Aktivität (= Ethoxyresorufin-O-Deethylase-Aktivität) ist ein Indikator für die Belastung mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und anderen organischen Schadstoffen (Whyte et al., 2000).

20 % der in der Venoge gefangenen Bachforellenweibchen zeigen Ansätze von Spermiengewebe in den Ovarien (Intersex). Dabei waren die Vitellogenin (Dotterprotein)-Werte jedoch nicht niedriger als bei normalen Weibchen, so dass eine Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit nicht zwingend ist. Ausserdem ergab die Untersuchung der Ovarien für die mittlere Venoge-Teststrecke einen überraschenden Befund: 2002 waren 6 von 15 und 2003 4 von 9 weiblichen Bachforellen mit einem Parasiten der Ordnung *Acanthocephalus* (Kratzer) befallen, der bislang nur im Magen-Darm-Trakt von Bachforellen nachgewiesen wurde. An keiner anderen der 12 Teststrecken konnte dieser Parasit nachgewiesen werden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass es sich um ein lokales Problem handelt, das allerdings zu einer deutlichen Verringerung der Bachforellen-Fruchtbarkeit an der mittleren Venoge-Teststrecke beitragen könnte (Körner, 2005).

### Wasserqualität

Der Ackerflächenanteil im Einzugsgebiet der Venoge liegt bei 32%, insgesamt werden 68% der Landfläche landwirtschaftlich genutzt. Damit ist die Venoge das am intensivsten ackerbaulich genutzte Testgebiet. Hinzu kommen zahlreiche kleinere ARA im Einzugsgebiet mit unterschiedlichem Ausbauzustand. Die mittlere und die untere Teststrecke liegen beide im direkten Einflussbereich einer ARA (ARA Bremblens und ARA Ecublens). Die Wasserqualität schwankt bei allen Standardparametern zwischen gut und unbefriedigend. Daher kann zum einen nicht von einer optimalen Funktionsweise der oberhalb liegenden ARA ausgegangen werden. Zum anderen sind die z.T. verkarsteten Böden im Einzugsgebiet der Venoge besonders leicht durchlässig, was bei dem hohen Anteil ackerbaulich genutzter Flächen zu relativ hohen Stoffausträgen in die Venoge führt.

Genau wie in der Emme überschreiten 4 von 12 gemessenen Pestiziden den EQS-Wert (Atrazin, Diuron, Diazinon, Metolachlor), hier wurden jedoch deutlich höhere Konzentrationen gemessen, als in der Emme (Götz, 2003). Zusätzlich wurde am 10.09.02 an der unteren Teststrecke mit 300 ng/l

---

einmalig eine hohe Tebutam-Konzentrationen gemessen (angewendet v.a. auf Rapsfeldern), der PNEC wurde mit dieser Konzentration überschritten. An der unteren Teststrecke wurden mit maximal 217 ng/g Leber leicht erhöhte PDBE-Konzentrationen festgestellt (näheres siehe Liechtensteiner Binnenkanal, S. 22).

### **3.4 Liechtensteiner Binnenkanal (LBK)**

#### **Fischbestand**

Die Befischung der obersten Teststrecke am Liechtensteiner Binnenkanal ergibt konstant knapp 100 Fischbiomasse/ha und entspricht damit weitgehend natürlichen Verhältnissen bei den gegebenen niedrigen Wassertemperaturen. Auf die Bachforelle entfallen 77 – 89 % der Biomasse. Damit ist sie an der oberen Teststrecke der konkurrierenden Regenbogenforelle (1,7 – 16 % der Biomasse) offensichtlich überlegen.

An der mittleren Teststrecke liegen die Gesamt-Biomassen nur leicht höher als an der oberen Teststrecke (ähnliches Temperaturregime), jedoch dominiert hier schon die Regenbogenforelle gegenüber der Bachforelle. Im Sommer 2002 wurde mit 200 kg/ha Gesamtbiomasse eine deutlich höhere Fischdichte festgestellt, als an den anderen Terminen. An der unteren Teststrecke dominiert die Regenbogenforelle dann völlig und die mittlere Fischbiomasse liegt - mit Ausnahme der ersten Befischung - bei ca. 150 kg/ha. Durch den Rückgang des Grundwasserzustroms in den Binnenkanal erhöhte sich die Durchschnittstemperatur und es kommt zu stärkeren saisonalen Temperaturschwankungen, die Wasserführung nimmt insgesamt ab. Das trägt nach Ansicht von lokalen Fachleuten zum Rückgang der Bachforellen gegenüber den Regenbogenforellen mit bei (Kindle, pers. Mitt.).

An der obersten Teststrecke wurde neben den beiden Forellenarten die Groppe nachgewiesen, an der mittleren und unteren Teststrecke wurden jeweils 5 Arten gefangen. Wegen der seit 2000 gegebenen Aufstiegsmöglichkeit für Fische aus dem Alpenrhein (Revitalisierung Binnenkanalmündung) ist jedoch in Zukunft mit erheblich höheren Artenzahlen zu rechnen.

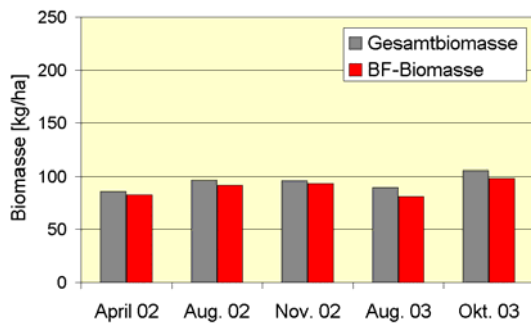


Abbildung 9a: Fischbestände LBK, obere Teststrecke

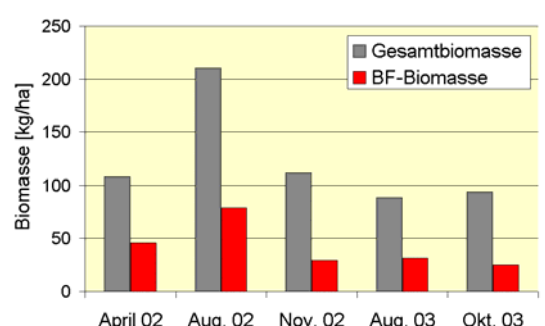


Abbildung 9b: Fischbestände LBK, mittlere Teststrecke

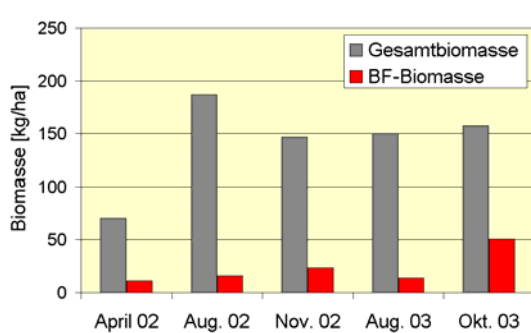


Abbildung 9c: Fischbestände LBK, untere Teststrecke (Schager &amp; Peter, 2004)

### Lebensraum

Während die Morphologie an der oberen Teststrecke weitgehend intakt ist, weisen die mittlere und untere Teststrecke weitgehend künstliche, kanalartige Bedingungen auf. Insbesondere die Verzahnung von Land- und Wasserlebensraum ist hier nicht gegeben. Ein generelles Problem am Liechtensteiner Binnenkanal ist die starke Kolmation der Gewässersohle, die durch die fehlenden Hochwässer begünstigt wird. Für eine ausreichende Sauerstoffversorgung der Gewässersohle ist somit ein möglichst starker Grundwasserzustrom besonders wichtig.

Lebensraum	LBK unten	LBK Mitte	LBK oben
Hydraulische Heterogenität	5	5	5
VC mittlere Breite	5	5	3
VC mittlere max. Tiefe	3	5	3
innere Kolmation	4	4	4
äussere Kolmation	5	5	5
Fischunterstände (exkl.Pools)	3	1	3
Verbauungsgrad Ufer	5	5	1
Verzahnung	5	5	1
Hydrologie	5	5	5
Sommertemperaturmaxima	1	1	1
<b>Zustandsklasse (Mittelwert)</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
<b>Bewertung</b>	<b>schlecht</b>	<b>schlecht</b>	<b>mittel</b>

Tabelle 5: Bewertung Lebensraum Liechtensteiner Binnenkanal, Skala von 1 (sehr gut) bis 5 (ungenügend), (Schager &amp; Peter, 2004)

### **PKD und Wassertemperatur**

Der Liechtensteiner Binnenkanal ist – ebenso wie der Necker – PKD frei. Durch den hohen Grundwasseranteil bewegen sich die Sommertemperaturen durchweg im unkritischen Bereich.

### **Fischgesundheit, endokrin aktive Substanzen**

Im Gegensatz zu den anderen Testgebieten wiesen Bachforellen < 22 cm im Liechtensteiner Binnenkanal eher schwache Konditionswerte auf. Dies ist möglicherweise eine Folge der Nahrungskonkurrenz durch Regenbogenforellen. Eine Häufung von mit bloßem Auge sichtbaren Deformationen und Anomalien konnte nicht festgestellt werden (Schager, 2004).

Die Leber- und Nierenindizes im LBK bewegen sich auf einem normalen Niveau. Wie in Emme und Necker wurde auch im LBK eine leichte Zunahme des lebersomatischen Index im Flussverlauf beobachtet. Als einziges Gewässer zeigt der LBK an der unteren und mittleren Messtrecke systematisch erhöhte EROD-Aktivitäten. Die EROD-Aktivität lag im Jahr 2002 bei knapp 60 pmol/mg/min an der mittleren Teststrecke und im Jahr 2003 bei 125 bzw. 105 an der mittleren bzw. unteren Teststrecke, damit wurde der Schwellenwert für von 50 pmol/mg/min mehrfach leicht überschritten (s. Venoge).

Am Liechtensteiner Binnenkanal konnten ebenfalls keine Effekte von endokrin aktiven Substanzen festgestellt werden, die sich negativ auf die Gesamtpopulation auswirken. Allerdings zeigte ein Viertel aller weiblichen Bachforellen am Liechtensteiner Binnenkanal deutliche Anzeichen von Intersex (s. Venoge). Wie bei Emme und Necker war auch am Liechtensteiner Binnenkanal der lebersomatische Index an der mittleren und unteren Teststrecke leicht erhöht.

### **Wasserqualität**

Seit dem Jahr 2000 entwässert in den Liechtensteiner Binnenkanal nur noch die ARA Balzers mit 4500 EGW, oberhalb der mittleren Teststrecke. Der Ackerflächenanteil liegt bei nur 6% der Landfläche, die landwirtschaftliche Nutzfläche insgesamt beträgt 18%. Allerdings liegen die Ackerflächen grösstenteils gewässernah auf ehemaligen Moorflächen, so dass hier von erhöhten Stoffausträgen ausgegangen werden muss. Die Wasserqualität an der oberen und unteren Teststrecke ist durchweg sehr gut. Nur an der mittleren Teststrecke unterhalb der ARA Balzers sind die Ammonium-N-Konzentrationen mit durchschnittlich 0.45 mg/l etwas erhöht und auch die Nitrit und Gesamt-Phosphor-Konzentrationen belegen den Einfluss der ARA. Auf die Fischpopulationen haben diese mittleren Konzentrationen keinen negativen Einfluss. Auch über Probleme mit kurzfristigen Nitrit-Spitzen ist nichts bekannt.

2 Pestizide überschreiten den EQS-Wert: Diuron und Diazinon. Ausserdem wurden an der unteren Teststrecke kurzzeitig erhöhte MCPA-Konzentrationen festgestellt (einmal 102 bzw. 71 ng/l), die jedoch nicht aus einem kontinuierlichen Eintrag zu stammen scheinen (Götz, 2003). Insgesamt kann die Pestizid-Belastung im Liechtensteiner Binnenkanal als gering eingestuft werden.

Bemerkenswert sind die deutlich erhöhten Konzentrationen an bromierten Flammschutzmitteln (BDE47 in ng/g Lipid), die vor allem in der Leber von Bachforellen, aber auch in der Galle gefunden wurden (Hartmann, 2005). Die höchsten Konzentrationen wurden an der mittleren Teststrecke mit maximal 2501 ng/g gemessen, gefolgt von 1379 ng/g (obere Teststrecke) und 1286 ng/g (untere Teststrecke). Eine Interpretation dieser Daten steht noch aus. In den anderen Testgebieten wurden nur in der Venoge leicht erhöhte Werte festgestellt.

## 4. Diskussion und Schlussfolgerungen

### 4.1 Zusammenfassende Diskussion der Einzelergebnisse

Die Einzelergebnisse in den Testgebieten weisen einen deutlichen Trend auf: Auf der einen Seite sind gesundheitliche Beeinträchtigungen der Bachforellen (ausser PKD) nur vereinzelt anzutreffen und eine Beeinflussung der Fischbestände durch endokrin aktive Substanzen wurde bislang nicht festgestellt. Auch die chemischen Parameter bewegen sich insgesamt eher im unauffälligen bis unteren Bereich. Auf der anderen Seite zeigen die Erhebungen zur Lebensraumqualität z.T. erhebliche Beeinflussungen und zwar in aufsteigender Reihenfolge vom Necker, über Venoge, LBK bis zur Emme. Zwischen der Qualität des Gewässerlebensraumes und der Höhe der Fischbestände besteht in vielen Fällen ein enger Zusammenhang. Bachforellen unterliegen möglicherweise einem erhöhten Temperaturstress. Im Mittel- und Unterlauf von Emme und Venoge wurde ausserdem die Nierenkrankheit PKD festgestellt.

Die Ergebnisse belegen mithin für die Testgebiete, dass die Hauptfaktoren für den Fischrückgang im Bereich ungenügender Lebensraum, zu hohe Sommertemperaturen und PKD zu suchen sind. Dieser Befund ist insofern plausibel, als dass alle Testgebiete in vergleichsweise dünn besiedelten Gebieten liegen und sich in den Einzugsgebieten keine grösseren industriellen Betriebe befinden. Bei industriell stärker beanspruchten Gegenden des Schweizer Mittellands kann u.U. mit höheren chemischen Belastungen gerechnet werden. Die Intensität landwirtschaftlicher Nutzung steigt an vom Necker, über den LBK, zur Emme und zur Venoge, welche am intensivsten genutzt wird. Die Wasserqualität korreliert stark mit der Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung. Nicht vergessen werden darf, dass die Vielzahl von einzelnen Beeinträchtigungen der Wasserqualität (kurzzeitig erhöhte Pestizid-Konzentrationen, z.T. schlechte Wasserqualität unterhalb von ARA) in der Summe doch zu einem zwar schwierig quantifizierbaren aber nicht unerheblichen Stress für die Bachforellen führen kann. Insbesondere die Kombination zu hohe Wassertemperaturen plus erhöhte Schadstoffkonzentrationen bei Niedrigwasser im Sommer plus saisonal auftretende Pestizid-Konzentrationsspitzen ist möglicherweise problematisch (Diskussion von Kombinations-effekten siehe Fent, 2003).

### 4.2 Fischnetz-Hypothesen

Vergleicht man die in Abschnitt 3 zusammengefassten Daten mit den Fischnetz-Hypothesen, so fällt auf, dass naturgemäss nicht alle Hypothesen im Detail untersucht werden konnten. Daher soll im Folgenden auf die bislang nicht behandelten Hypothesen kurz eingegangen werden:

Fischfressende Vögel (v.a. Kormorane) treten phasenweise in erhöhter Anzahl am Liechtensteiner Binnenkanal und an der Emme auf. Sie können räumlich und zeitlich begrenzt zu einer merklichen Dezimierung der Fischbestände führen, sind allerdings potenziell eher für Äschenbestände problematisch (Baars et al., 2000).

Eine Begrenzung der Bachforellenbestände durch einen Mangel an Fischnährtieren kann aufgrund der festgestellten Konditionsfaktoren sowie der im Vergleich zur Gewässerbonitierung niedrigen Fischbestände ausgeschlossen werden.

Bei der Bewertung des Lebensraums nicht explizit berücksichtigt wurde die Zerschneidung des Lebensraums durch künstliche Wanderhindernisse. Da die Laichwanderungen der Bachforellen zu den Laichgebieten in kleineren Nebengewässern in vielen Fällen unterbunden werden, muss vielfach mit einer starken Verkleinerung des effektiv zur Verfügung stehenden Lebensraumes ausgegangen werden. Dieser Effekt ist in den Testgebieten am ehesten in der Emme anzutreffen, gefolgt von der Venoge, wo bereits Gegenmassnahmen ergriffen werden. Der Liechtensteiner Binnenkanal wurde im Jahr 2000 zum Alpenrhein hin geöffnet, was bereits jetzt erhebliche

Auswirkungen auf die Fischzusammensetzung hat. Ausgelöst durch die klimatische Erwärmung, wird für die letzten Jahre eine temperaturbedingte Verschiebung der Forellenlebensräume in die Gewässeroberläufe vermutet, ein möglicher Effekt der durch fehlende Wandermöglichkeiten ebenfalls an Bedeutung gewinnt. Schwächung von Bachforellen-Populationen durch unzureichende genetische Vielfalt infolge Lebensraum-Zerstückelung ist ein weiterer möglicher Sekundäreffekt.

In den Testgebieten wurde in den Jahren 2002 und 2003 weitgehend auf Fischbesatz verzichtet, was offenkundig keinen negativen Effekt auf die Fischpopulationen hatte (pers. Mitt. Fischereinspektoren in den jeweiligen Gebieten). Bei zu hohem Besatz können Probleme durch zu hohen Konkurrenzdruck der Bachforellen untereinander auftreten. Bei standortfremdem Besatz besteht die Gefahr der genetischen Vermischung mit nicht an das Einzugsgebiet angepassten Fischen sowie der Einschleppung von Krankheiten und Parasiten (Crisp, 2000).

### 4.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die Untersuchungen in den 4 Testgebieten beschränkten sich zeitlich auf die zwei sehr unterschiedlichen Jahre 2002 und 2003. Überraschenderweise wurden im heissen Jahr 2003 insgesamt höhere Fischbiomassen und -abundanzen festgestellt, als in 2002. Dies mag auf günstigere Wachstums- und Nahrungsbedingungen im Frühjahr zurückzuführen sein, belegt aber in jedem Fall die grosse Rolle der interannuellen Variabilität von Fischbeständen. Da Fischpopulationen sehr variabel auf Umwelteinflüsse reagieren, braucht es langjährige Beobachtungen, wenn man in seriöser Weise Aussagen über die Korrelation von Fischpopulationen mit Umweltfaktoren machen möchte. Daher ist eine Weiterführung der Elektroabfischungen in den 4 Testgebieten unbedingt anzustreben, wie schon die Abfischungsergebnisse am Necker (S. 15) für das Jahr 2004 zeigen. Nur durch langjährige Messreihen tatsächlicher Fischbestände, nicht nur durch das Auswerten notwendigerweise durch Anglerverhalten beeinflusster Fangstatistiken, lassen sich belastbare quantitative Aussagen zum Einfluss der verschiedenen Umweltfaktoren treffen. Die bislang vorliegenden Ergebnisse erlauben immerhin eine qualitative Abschätzung der verschiedenen Einflussfaktoren, z.B. durch die WOE-Analyse oder durch Populationsmodelle (s. Abschnitt 4.4).

Als nächstes stellt sich folgerichtig die Frage der Übertragbarkeit auf die Verhältnisse in der Gesamtschweiz. Generell liegen Forellenbäche eher in höher gelegenen Gebieten und weniger im Flachland, so dass die im Vergleich zum Schweizer Mittelland geringe Einwohner- und Industriedichte in den Testgebieten in etwa die durchschnittliche Forellengewässer-Situation widerspiegeln dürfte. Beachtet werden muss jedoch, dass die zahlreichen sehr kleinen Forellenbäche durch die Testgebiete nicht abgedeckt werden konnten. Es gibt jedoch auch Forellengewässer in wesentlich dichter besiedelten Gebieten und unterhalb von Industrieansiedlungen. Hier könnte dann der Einfluss der Wasserqualität wesentlich grösser sein als in den Testgebieten. Insbesondere die Konzentrationen von endokrin aktiven Stoffen können unterhalb von Ballungsgebieten häufig um ein Vielfaches höher sein als in den Testgebieten. Obwohl in den Testgebieten keine negativen Effekte endokrin aktiver Substanzen auf Bachforellenpopulationen festgestellt werden konnten, kann daraus nicht gefolgert werden, dass negative Auswirkungen von erhöhten Hormonkonzentrationen auf Schweizer Fischpopulationen keine Rolle spielen.

### 4.4 Weight of Evidence-Analyse und Fischmodell

Um zumindest einen qualitativen Überblick über die Stärke der verschiedenen Einflussfaktoren zu gewinnen, wurde von Scheurer (2004) die Weight of Evidence-Analyse (WOE) auf die Testgebiets-Resultate angewendet. Dabei müssen für jede Hypothese 7 Fragen beantwortet werden, die sich teilweise auf die untersuchten Fischpopulationen beziehen, z.T. aber auch auf andere Studien und Literaturwerte. Details hierzu finden sich in Scheurer (2004) sowie im Fischnetz-Schlussbericht ab Seite 123. Bislang wurden nur die Untersuchungsergebnisse aus dem Jahr 2002 berücksichtigt. Eine WOE-Analyse beider Untersuchungsjahre unter Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Bewertung der Ergebnisse wird derzeit erstellt (Holm et al., 2005).



Ein anderer Ansatz ist das von Mark Borsuk entwickelte **Fischmodell** (Borsuk, 2004), das auf einem Wahrscheinlichkeitsnetzwerk beruht. Fischmodell beschreibt die Entwicklung von Bachforellen mit einem Kaskadenmodell, das die verschiedenen Lebenszyklen der Bachforellen (Eier, Brütlinge, juvenile und adulte Tiere) wiedergibt und in Abhängigkeit von äusseren Faktoren Überlebensraten für die verschiedenen Stadien berechnet. Das Modell wurde erfolgreich an die Situation an den 12 Teststrecken angepasst und liefert das in Abbildung 10 dargestellte Resultat:

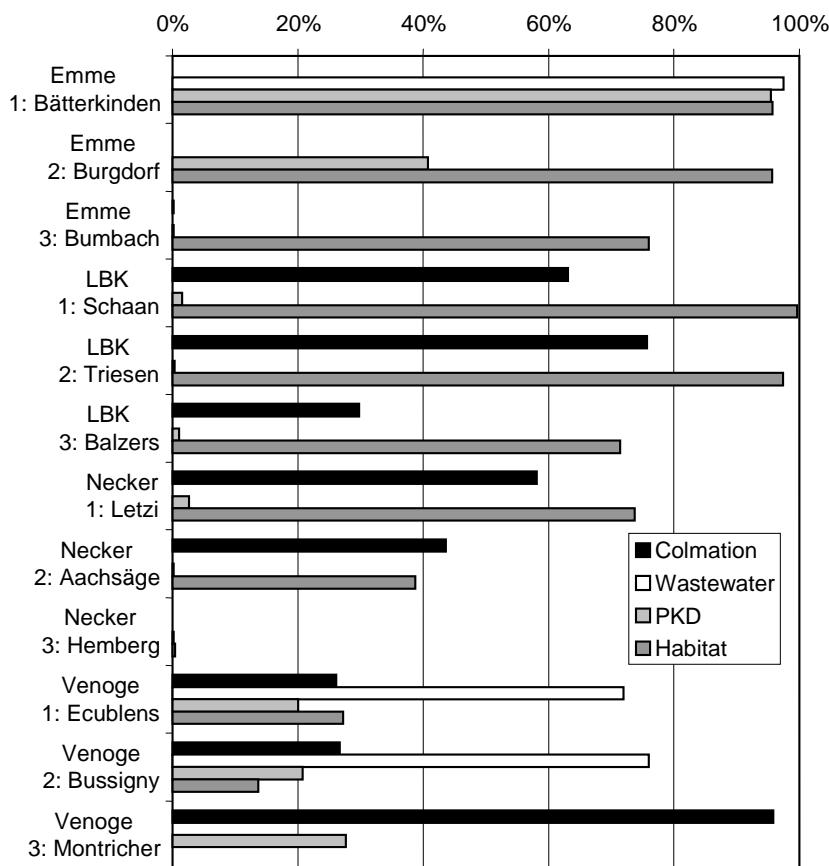


Abbildung 10: Die geschätzte kausale Gewichtung der vier wichtigsten Stressfaktoren für Unter-(1), Mittel-(2) und Oberlauf (3) der jeweiligen Teststrecken. Die kausale Gewichtung ergibt sich aus dem Verhältnis einer Bestandesreduktion durch einen bestimmten Stressfaktor (unter der Voraussetzung, dass alle anderen Stressfaktoren eliminiert sind) zu einer Bestandesreduktion durch alle am Standort vorhandenen Stressfaktoren. Wird kein Balken in der Abbildung gezeigt, fehlt der entsprechende Faktor an diesem Ort.

Sowohl die WOE als auch das Fischmodell identifizieren die Faktoren Lebensraum mit Kolmation, Temperatur und PKD als wichtigste Faktoren für die Höhe der Fischbestände in den Testgebieten, wobei zwischen den Standorten erhebliche Unterschiede in der Gewichtung bestehen. Der Einfluss der Wasserqualität ist an keinem Standort dominant, spielt jedoch an mehreren Standorten als zusätzlicher Stressfaktor eine Rolle.

## 4.5 Ableitung von Massnahmen-Empfehlungen

Basierend auf den im vorigen Abschnitt vergleichend bewerteten Einflussfaktoren auf die Bachforellenbestände lassen sich nun Massnahmen-Empfehlungen ableiten. Dabei muss prinzipiell unterschieden werden zwischen Massnahmen, die nur auf nationaler oder gar globaler Ebene durchführbar sind und Massnahmen auf lokaler Ebene.

Auf lokaler Ebene spielt die Verbesserung der Lebensräume und der Wasserqualität in den 4 Testgebieten die entscheidende Rolle. Das kann in den einzelnen Testgebieten sehr unterschiedlich aussehen. An der Emme müssen vor allem die monotonen Strukturen im Mittel- und Unterlauf weiter durch abschnittsweise Revitalisierungen aufgebrochen werden. Darüber hinaus wäre eine geringere Wasserableitung in den Sommermonaten für die Bachforellen-Bestände sicherlich förderlich. Hier sind allerdings Zielkonflikte z.B. mit der Trinkwassernutzung zu beachten. Am Necker hingegen sind die morphologischen Verhältnisse weitgehend in Ordnung. Nur für bestimmte Streckenabschnitte sind Revitalisierungen erforderlich. Ganz anders die Situation am Liechtensteiner Binnenkanal: Hier gibt es vor allem Probleme mit der Struktur des künstlich angelegten Kanalsystems und der Konkurrenzsituation Bachforellen/Regenbogenforellen. Das wichtigste Wanderhindernis, die Einmündung in den durch Kiesentnahmen sekundär stark eingetieften Alpenrhein, wurde im Jahr 2000 durch komplette Umgestaltung dieses Bereichs beseitigt. Generell hängt das ganze Kanalsystem jedoch vom Zustand des Alpenrheins ab, der sich bedingt durch zunehmenden Schwall-Sunk-Betrieb der Kraftwerke und komplett künstliche Eindeichung in einem sehr naturfernen Zustand befindet. Hier wird in der IRKA (Internationale Regierungskommission Alpenrhein) an länderübergreifenden Konzepten gearbeitet. Die Venoge ist das landwirtschaftlich am intensivsten genutzte Einzugsgebiet. Zusammen mit verkarstetem Untergrund und teilweise nicht optimaler ARA-Leistung, gilt es hier, die Wasserqualität weiter zu verbessern. Obschon an den Teststrecken selber der morphologische Zustand als gut zu bezeichnen ist, gibt es insbesondere oberhalb der mittleren Teststrecke noch erhebliche stark begradigte Flie遨strecken mit direkt anschliessenden landwirtschaftlichen Nutzflächen, die einer Revitalisierung bedürfen. Hinzu kommt die schon in Angriff genommene Beseitigung von künstlichen Wanderhindernissen.

Auf nationaler Ebene ist neben der Finanzierung und Koordinierung von Revitalisierungsmassnahmen eine konsequente Vermeidungspolitik beim Inverkehrbringen fischtoxischer und persistenter Chemikalien unumgänglich, besonders wenn man langfristig eine Akkumulation von Schadstoffen in aquatischen Ökosystemen verhindern möchte. Generell sind Massnahmen an der Quelle effektiver als nachgeschaltete Massnahmen, wie z.B. der kostspielige Ausbau von Abwasserreinigungsanlagen zur Elimination persistenter Toxine. Gleiches gilt für eine den naturräumlichen Gegebenheiten angepasste, gewässerschonende Landwirtschaft, die entscheidend durch die Vorgaben der nationalen Förderprogramme beeinflusst wird. Auf nationaler Ebene angesiedelt sind ebenfalls Programme zur Vorbeugung und weiteren Erforschung der Nierenkrankheit PKD.

Zu den Massnahmen auf globaler Ebene gehört ganz klar die Bekämpfung des Treibhauseffekts, um die Folgen der weltweiten Temperaturerhöhung abzumildern.

Generell lässt sich sagen, dass die Verbesserung von Wasserqualität und Lebensraum vieler stark verbauter Flie遨gewässer, vor allem im Schweizer Mittelland, eine Generationenaufgabe ist, an der kontinuierlich gearbeitet werden muss. Für die mittel- bis langfristige Durchführbarkeit von Revitalisierungsmassnahmen ist die Sicherstellung des Flie遨gewässer-Raumbedarfs in Landschafts- und Richtplänen essentiell. Nicht vergessen werden darf der Doppelnutzen von Revitalisierungsmassnahmen im Rahmen des Hochwasserschutzes. Langfristig gesehen kann daher die Kostenbilanz von kombinierten Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahmen auch dann positiv ausfallen, wenn externe Faktoren, wie besserer Erholungswert revitalisierter Gewässer, ausser Acht gelassen werden.

## 5. Literatur

Baars, M., Born, O., Stein, H. (2000): Charakterisierung der Äschenbestände in Bayern. Schriftenreihe des Landesfischereiverbandes Bayern, Heft 5, 116 S.

Borsuk, M., Reichert, P., Peter, A., Schager, E., Burkhardt-Holm, P. (2005): Assessing the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss rivers using a Bayesian probability network. Ecological Modelling, angenommen zum Druck.

Crisp, D. (2000): Trout and Salmon. Ecology, Conservation and Rehabilitation. Blackwell Science, 212 S.

Fent, K. (2003): Ökotoxikologie. 2. Auflage, Thieme Verlag, 332 S.

Fischnetz (2004): Dem Fischrückgang auf der Spur. Kurzbericht des Projekts Netzwerk Fischrückgang Schweiz „Fischnetz“. EAWAG-BUWAL, Dübendorf, 24 S.

Fischnetz (2004): Dem Fischrückgang auf der Spur. Schlussbericht des Projekts Netzwerk Fischrückgang Schweiz „Fischnetz“. EAWAG-BUWAL, Dübendorf, 178 S.

Götz, C., Chèvre, N., Singer, H., Müller, S. (2003): Emme, Necker, Liechtensteiner Binnenkanal, Venoge: Gebietscharakterisierung, Pestizidmessungen, Toxizitätsabschätzung. Fischnetz-Publikation. EAWAG, Dübendorf, 23 S.

Hartmann, P., Burkhardt-Holm, P., Giger, W. (2005): Polybrominated diphenyl ether flame retardants in brown trout bile and liver from Swiss rivers with a prominent fish decline. Environmental Pollution, eingereicht.

Holm, P., Scheurer, K., Borsuk, M. (2005): WOE-Analyse Testgebiete. In Vorbereitung.

Körner, O., Vermeissen, E., Burkhardt-Holm, P. (2005): Catch Decline in Swiss Brown Trout – are reproductive parameters impaired? In Vorbereitung.

Santschi, D. (2003): Zeitliche Veränderung der winterlichen Abflusscharakteristik schweizerischer Fliessgewässer. Diplomarbeit Universität Bern, 109 S.

Schager, E., Peter, A. (2004): Testgebiete, Fischbestand und Lebensraum. Fischnetz-Publikation. EAWAG, Dübendorf, 162 S.

Scheurer, K. (2004): Zwischenbericht zu den Untersuchungen 2001-2002 in den vier Testgebieten Emme, Liechtensteiner Binnenkanal, Necker, Venoge. Fischnetz-Publikation. EAWAG, Dübendorf, 57 S.

Strehler, A. (2003): Arealstatistik und Agrarstatistik der Testgebiete von Fischnetz. Fischnetz-Publikation. EAWAG, Dübendorf, 17 S.

Strehler, A., Scheurer, K. (2003): Synthese Ökotox. Abschätzung der Konzentration östrogenen Schadstoffe in Fliessgewässern. Fischnetz-Publikation. EAWAG, Dübendorf, 18 S.

Vethaak, A., Lahr, J., Kuiper, R., Grinwis, G., Rankouhi, T., Giesy, J., Gerritsen, A. (2002): Estrogenic effects in fish in The Netherlands: some preliminary results. Toxicology 181 – 182, S. 147-150.

Whyte, J., Jung, R., Schmitt, C., Tillitt, D. (2000): Ethoxyresofurin-O-deethylase (EROD) Activity in Fish as a Biomarker of Chemical Exposure. Critical Reviews in Toxicology, 30 (4), S. 347-570.

Zimmerli, S., Bernet, D., Burkhardt-Holm, P., Schmidt-Posthaus, H., Vonlanthen, P., Wahli, T., Segner, H. (2005): Assessment of fish health status in four Swiss rivers with reported catch decline. In Vorbereitung.

Die meisten zitierten Berichte können unter [www.fischnetz.ch](http://www.fischnetz.ch) heruntergeladen bzw. bestellt werden.

**Dank**

Das Projekt Fischnetz+ wird von allen Schweizer Kantonen und Liechtenstein nicht nur finanziell gefördert, sondern in vielen Fällen auch aktiv unterstützt. Insbesondere die Fischerei- und Gewässerschutz-Verantwortlichen in den 4 Testgebieten und die zahlreichen ehrenamtlichen Helfer der Fischereivereine haben massgeblich zum Erfolg des Testgebiet-Projekts beigetragen. Die beiden Institutionen EAWAG und MGU / Universität Basel stellen die benötigte Infrastruktur für Fischnetz+ zur Verfügung. Dank allen Beteiligten für anregende Diskussionen und unkomplizierte Hilfestellung.