

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Luzern
Band: 37 (2002)

Artikel: Fischbiologische Untersuchungen in der Ron : oberhalb und unterhalb der Kläranlagen Rain und Hochdorf
Autor: Escher, Matthias / Lovas, Robert / Stadelmann, Pius
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-523530>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

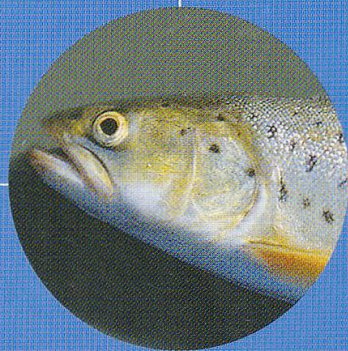
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

**MATTHIAS ESCHER
ROBERT LOVAS
PIUS STADELMANN**

**Fischbiologische Untersuchungen in der Ron: oberhalb
und unterhalb der Kläranlagen Rain und Hochdorf**



Fischbiologische Untersuchungen in der Ron: oberhalb und unterhalb der Kläranlagen Rain und Hochdorf

MATTHIAS ESCHER, ROBERT LOVAS & PIUS STADELMANN

Zusammenfassung

In der Ron, Hauptzufluss zum Baldeggersee, wurde der Einfluss der Einleitung von gereinigtem Abwasser aus der Kläranlage Rain im Jahr 1999 und aus der Kläranlage Hochdorf in den Jahren 1999 und 2001 auf die Fischbestände, die Fischgesundheit und die Entwicklung von Bachforellen-Eiern untersucht. Gleichzeitig wurde im Blut von Forellen Vitellogenin bestimmt, und das Institut für Pharmakologie der Universität Zürich analysierte im Abwasser der beiden Kläranlagen die Östrogenaktivität. Warum die Tests eine hohe östrogene Wirkung im Abwasser der inzwischen aufgehobenen ARA Rain anzeigten, bleibt unklar. Eine hormonelle Wirkung durch Fremdstoffe konnte in den Fischen nicht nachgewiesen werden. In der Abfischungsstrecke oberhalb und unterhalb der ARA Rain wurden nur Bachforellen gefangen. In der Strecke oberhalb und unterhalb der ARA Hochdorf, d. h. etwa ein Kilometer vor der Einmündung in den Baldeggersee, wurden neben Bach- und Seeforellen zusätzlich zwölf andere Fischarten bestimmt. Histologische Untersuchungen weisen unterhalb der ARA Hochdorf auf Veränderungen sowie Schädigungen von Organen der Bachforellen hin. Hier wurde das Auftreten der proliferativen Nierenerkrankung (PKD) bei den Bachforellen bestätigt. Bei der Exposition von Bachforellen-Eiern zeigte sich, dass unterhalb der Abwasser-einleitung der ARA Hochdorf wegen der

schlechten Wasserqualität nur 5 % bis maximal 29 % der exponierten Eier das Augenstadium erreichten, oberhalb waren es über 90 % der Eier. Wegen der schlechten Verdünnung im Vorfluter liegen hier die Ammonium- und Nitrit-Konzentrationen über den gesetzlichen Grenzwerten und Nitrit teilweise sogar im akut toxischen Bereich. Es werden Empfehlungen und Massnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität und zur Aufwertung der Lebensräume für Fische gemacht.

Résumé

Etudes piscicoles dans la Ron en amont et en aval des stations d'épuration de Rain et de Hochdorf. – On a étudié dans la Ron, l'affluent principal du lac de Baldegg, l'influence du déversement des rejets des stations d'épuration de Rain en 1999 et de Hochdorf en 1999 et en 2001 sur les effectifs et la santé des poissons, ainsi que sur le développement des œufs de truites de rivière. En même temps, l'Institut de pharmacologie de l'Université de Zurich a mesuré la vitellogénine dans le sang des truites et effectué des tests d'œstrogénité dans les eaux usées des deux stations d'épuration. On ne sait pas pourquoi les tests ont révélé une forte action œstrogénique dans les eaux usées de la STEP de Rain, entre-temps mise hors service. On n'a pas constaté sur les poissons d'effet hormonal de substances étrangères. Sur le tronçon piscicole en amont et en aval de la STEP

de Rain, on n'a capturé que des truites de rivière. Sur le tronçon en amont et en aval de la STEP de Hochdorf, c'est-à-dire environ un kilomètre avant l'embouchure dans le lac de Baldegg, on a déterminé en plus des truites de rivière et de lac douze autres espèces de poissons.

Les examens histologiques montrent en aval de la STEP de Hochdorf des modifications et des lésions de certains organes des truites de rivière. On a confirmé la présence de la néphropathie polycystique (PKD). Le développement des œufs de truites de rivière montre distinctement qu'en aval du déversement des eaux usées de la STEP de Hochdorf, en raison de la mauvaise qualité de l'eau, seuls de 5 % à 29 % des œufs exposés atteignaient le stade oculaire, contre 90 % en amont. En raison de la mauvaise dilution dans le cours d'eau récepteur, les concentrations d'ammonium et de nitrites dépassent les limites légales et les nitrites atteignent même en partie le domaine de forte toxicité.

Des recommandations et des mesures sont proposées pour améliorer la qualité de l'eau et pour revaloriser les biotopes des poissons.

Abstract

Fish Biological Investigations in the River Ron: Above and Below the Sewage Treatment Plants of Rain and Hochdorf. – In the River Ron, the main tributary of Lake Baldegg, the effect of the discharge of treated wastewater on the fish populations, on fish health and on the development of brown trout eggs was investigated. Locations and

years investigated were for the sewage treatment plant (STP) at Rain in 1999, and for the sewage treatment plant at Hochdorf in 1999 and 2001. At the same time, vitellogenin was determined in the blood of trout, and the Institute of Pharmacology at the University of Zurich analysed estrogenic activity in the discharge from both sewage treatment plants. It remains unclear why the tests showed high estrogenic activity in the wastewater from the now closed-down STP Rain. There was no evidence of an hormonal effect of chemical substances in fish. Only brown trout were caught in the sampling areas above and below the STP Rain. In the sampling areas above and below the STP Hochdorf, that is, about one kilometre before the inflow in Lake Baldegg, twelve fish species were found, besides brown trout and European lake trout. Histological investigations, carried out on brown trout from below the STP Hochdorf discharge, pointed to alterations and damage of organs. Here, the occurrence of proliferative kidney disease (PKD) in brown trout was verified. When incubating brown trout eggs, it was found that below the discharge of the sewage at the STP Hochdorf only 5 % to 29% of the exposed eggs reached the eyed stage, due to the poor water quality. Above the discharge point, over 90% of the eggs reached the eyed stage. Because of insufficient dilution of the sewage in the receiving river, the concentrations of ammonia and nitrite are over the legal levels, with nitrite even being partly above the acute toxic limit. Measures for improving the water quality and for rehabilitating the habitats are recommended.

Einleitung

Im Jahr 1997 wurden die Auswirkungen von gereinigten Abwässern aus Kläranlagen auf die Fischbestände, die Fischgesundheit und die Entwicklung von Bachforelleneiern abgeklärt (ESCHER 1999). Im Rahmen dieses BUWAL-Projektes konnten im Kanton Luzern die Vorfluter der Kläranlagen Buttisholz (Tannenbach), Eschenbach-Inwil (Winkelbach), Ruswil (Bilbach) und Surental (Suhre) untersucht werden.

Um den Wissensstand bezüglich den Auswirkungen der Kläranlagen auf die Fische im Kanton Luzern zu erweitern, gab das Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern fischbiologische Untersuchungen in der Ron im Bereich der Kläranlagen Rain und Hochdorf (Abb. 1, 2, 4) in Auftrag.

Weil das Kanalisationssystem der ARA Rain am 16. August 2000 an die ARA Eschenbach-Inwil angeschlossen wurde, bot sich die einmalige Gelegenheit, den Fischbestand, die Fischgesundheit und die Ent-



Abb. 1: ARA Rain, aufgehoben im August 2000.



Abb. 2: Einleitung des gereinigten Abwassers aus der ARA Rain in die Ron.

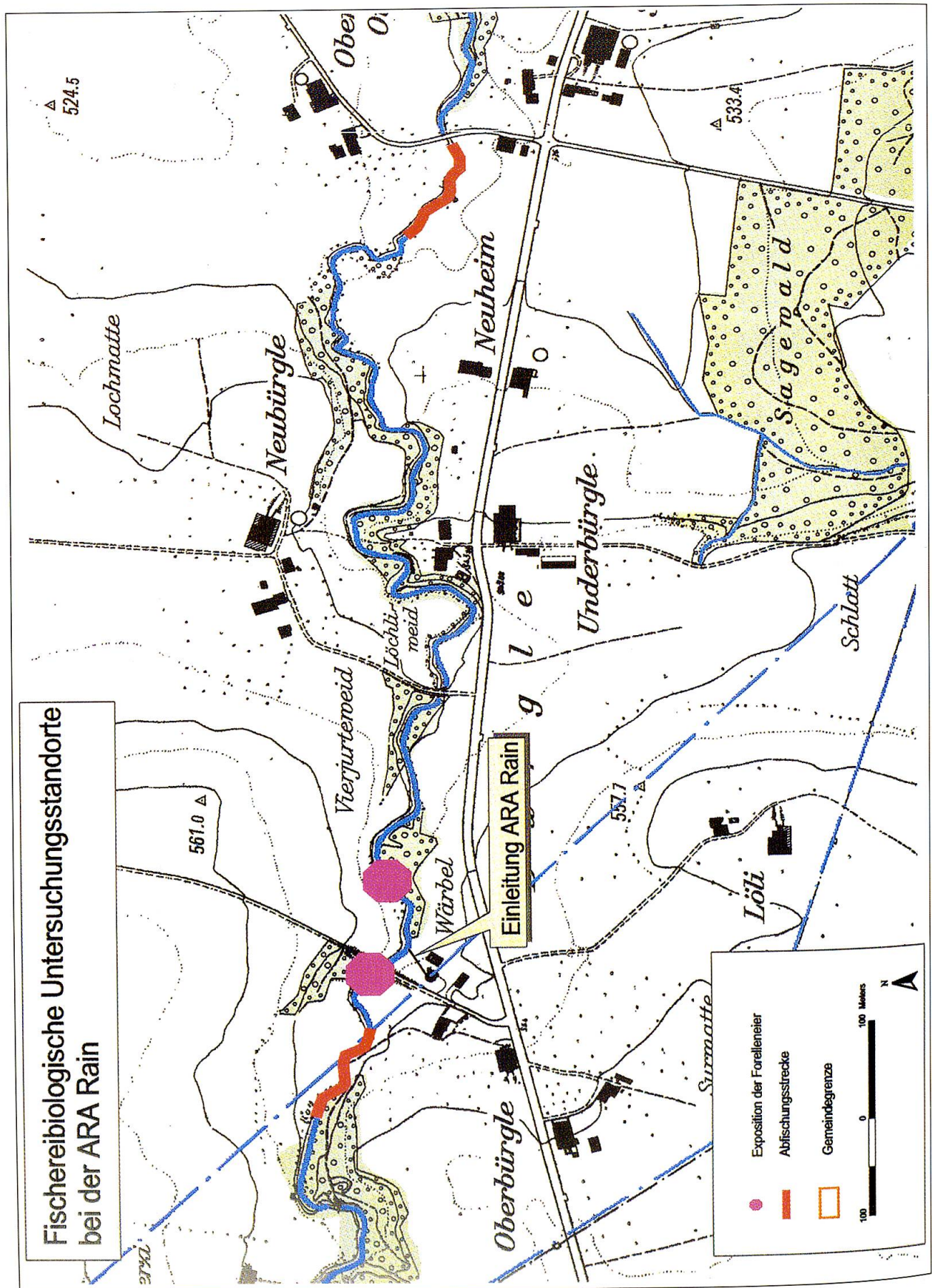


Abb. 3: Abflussstrecken und Standorte der Bachforellen-Eier-Tests im Bereich der ARA Rain.



Abb. 4: Einleitungsstelle des gereinigten Abwassers aus der ARA Hochdorf in die Ron.

wicklung von Bachforelleneiern noch vor der Stilllegung zu erheben (Situationsanalyse ARA Rain im Herbst 1999).

Die Resultate dieser Untersuchungen der Ron unterhalb der beiden Kläranlagen Rain und Hochdorf können ausserdem mit den im BUWAL-ARA-Programm untersuchten Kläranlagen verglichen und in einen gesamtschweizerischen Zusammenhang gestellt werden.

Charakterisierung der Ron und Kenndaten der Abwasserreinigungsanlagen

Hydrologie

Die Ron findet ihren Ursprung im Quellgebiet Moos nordöstlich von Hildisrieden. Nachdem der Bach die Ortschaft Hildisrieden durchquert hat, wendet er sich nach Südosten und verläuft in einem grossen Bo-

Tab. 1: Hydrologische Kenngrössen der Ron und ihres Einzugsgebietes

Einzugsgebietsfläche gesamt	28,4 km ²
Einzugsgebietsfläche bis Messstelle Hochdorf	27,8 km ²
Einwohnerdichte im Einzugsgebiet (1994)	374 E./km ²
Höhenlage des Einzugsgebietes	463 bis 750 m ü. M.
Länge des Fliessgewässernetzes	57,104 km
Länge der Ron	14,410 km
Mittlerer Abfluss bei Hochdorf (1986–1999)	0,58 m ³ /s
Q ₃₄₇ (1986–1999)	0,13 m ³ /s
Abflussmaximum (19. Mai 1994)	27,00 m ³ /s
Anteil am gesamten Seezufluss (1991–1994)	44,2 %

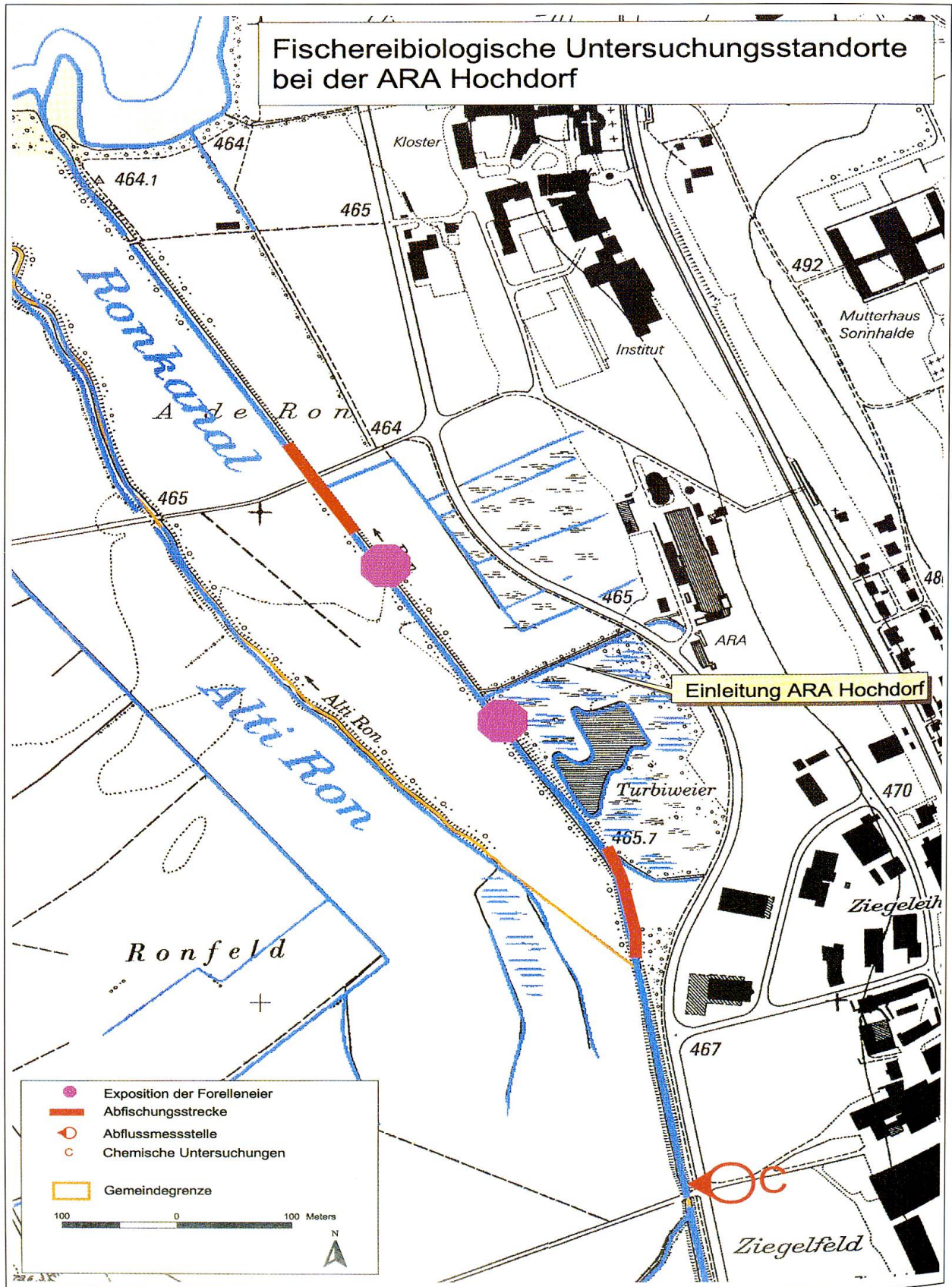


Abb. 5: Abfischungsstrecken und Standorte der Bachforellen-Eier-Tests im Bereich der ARA Hochdorf.

gen über Rain und Urswil nach Ligschwil (beide Gemeinde Hochdorf). Von dort fliesst der Bach in nördlicher Richtung an der Ortschaft Hochdorf vorbei und mündet in den Baldeggersee. Das Abflussregime wird gemäss dem Hydrologischen Atlas der Schweiz (LHG 1992) als «pluvial inférieure» bezeichnet. Das bedeutet, dass das Einzugsgebiet in einer relativ tiefen Höhenlage liegt (< 750 m) und der Abfluss durch den Regen bestimmt wird. Die Verteilung der Landnutzung im Einzugsgebiet der Ron entspricht etwa 83 % landwirtschaftlicher Nutzfläche, 13 % Waldfläche und 4 % Siedlungsgebiet. Das Gebiet und damit auch die Ron und der Baldeggersee sind also stark von der landwirtschaftlichen Nutzung geprägt. Die hydrologischen Kenngrössen der Ron bei Hochdorf können der Tabelle 1 entnommen werden (RAPPO 2001). Die Lage der Abwassereinleitungen, der Untersuchungsstrecken und weitere Hinweise kön-

nen den Abbildungen 3 bis 5 entnommen werden.

Chemische Untersuchungen

Bereits ab 1975 wurden einzelne Messungen zum chemischen Zustand der Ron durchgeführt. Seit 1985 werden bei der Messstelle Hochdorf, 1,270 km oberhalb der Mündung, 24-h-Sammelproben erhoben und im kantonalen Labor analysiert. Dabei werden Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$), Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$), Orthophosphat-Phosphor ($\text{PO}_4\text{-P}$), gelöster Phosphor (P_{gel}), gesamter Phosphor (P_{tot}), gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), Chlorid (Cl^-) und Sulfat (SO_4^{2-}) gemessen. Grosse Bedeutung kommt dabei dem Phosphor zu, da dieser im unterliegenden Baldeggersee den limitierenden Nährstoff für das Algenwachstum darstellt. Am 18. Januar 2002 wurden gezielt ober- und unterhalb der ARA Hochdorf Bach-

Tab. 2: Untersuchte Wasserproben vom 8. Januar 2002 aus der Ron oberhalb und unterhalb der ARA Hochdorf. Die Anforderungen beziehen sich für Nitrit auf MÜLLER (1990) und für die anderen Parameter auf die Gewässerschutzverordnung des Bundes. Zahlen in **Farbdruck: Überschreitung des Grenzwertes**

Parameter	Einheit	Oberhalb ARA Hochdorf	Unterhalb ARA Hochdorf	Anforderungen an die Wasserqualität
pH-Wert		8,2	8,0	
Elektrische Leitfähigkeit	$\mu\text{S/cm}$	507	793	
Sauerstoffgehalt	mg/l	11,8	10,9	
BSB ₅ (O ₂)	mg/l	1,8	4,9	2–4
Gelöster org. Kohlenstoff (DOC)	mg/l	1,8	4,2	1–4
Gesamte ungelöste Stoffe	mg/l	5	5	
Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$)	mg/l	0,03	1,58	0,2
Nitrit-Stickstoff	mg/l	0,007	0,041	0,1
Nitrat-Stickstoff	mg/l	2,78	3,05	5,6
Chlorid	mg/l	12,7	80	
Sulfat	mg/l	11,9	33	
Ortho-Phosphat ($\text{PO}_4\text{-P}$)	mg/l	0,013	0,018	
Gesamt-Phosphor im Filtrat	mg/l	0,018	0,022	
Gesamt-Phosphor	mg/l	0,025	0,032	
Eisen	mg/l	0,07	0,23	
Aluminium	mg/l	0,02	0,03	
Mangan	mg/l	0,04	0,06	

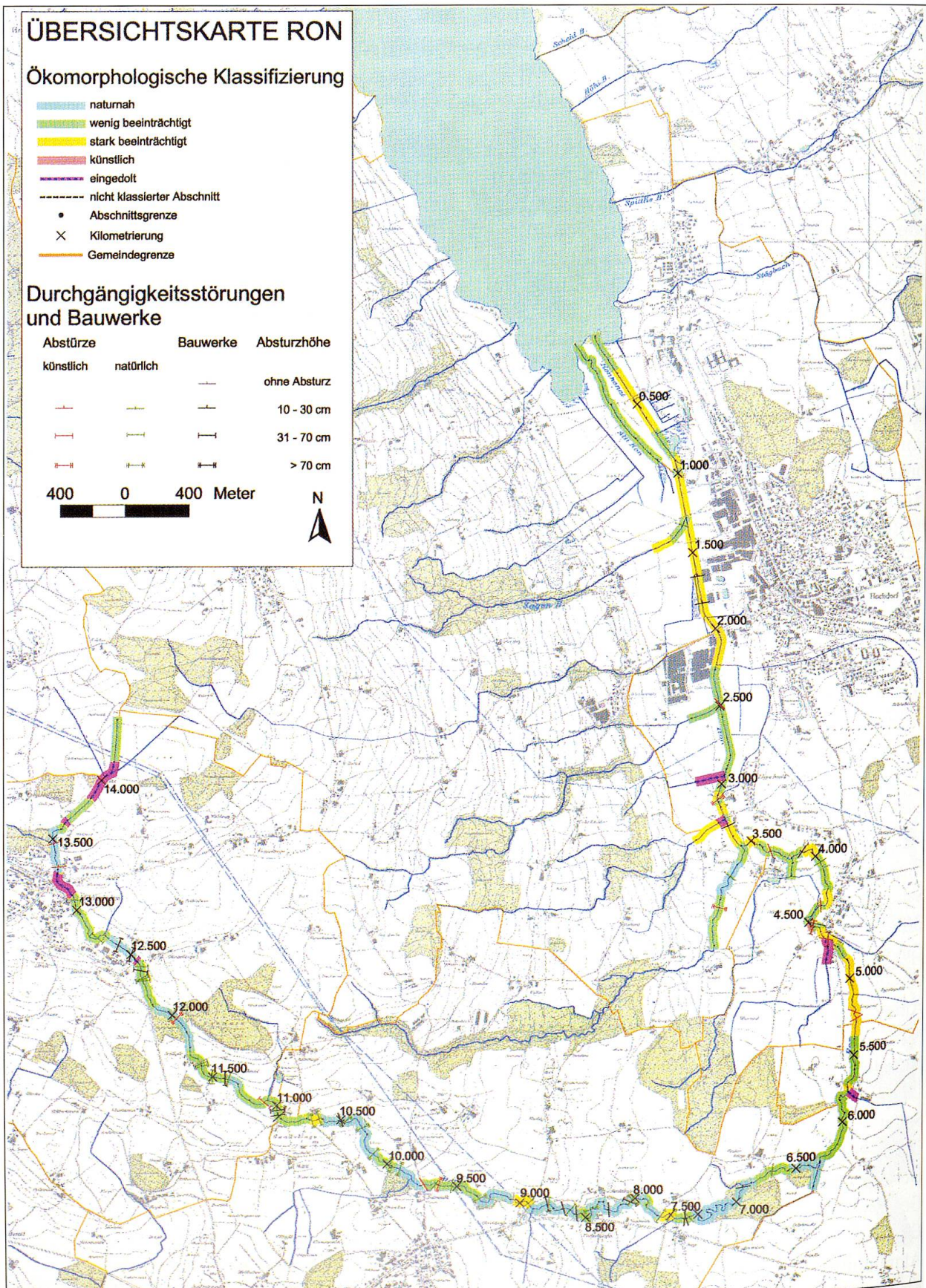


Abb. 6: Ökomorphologische Beurteilung der Ron.

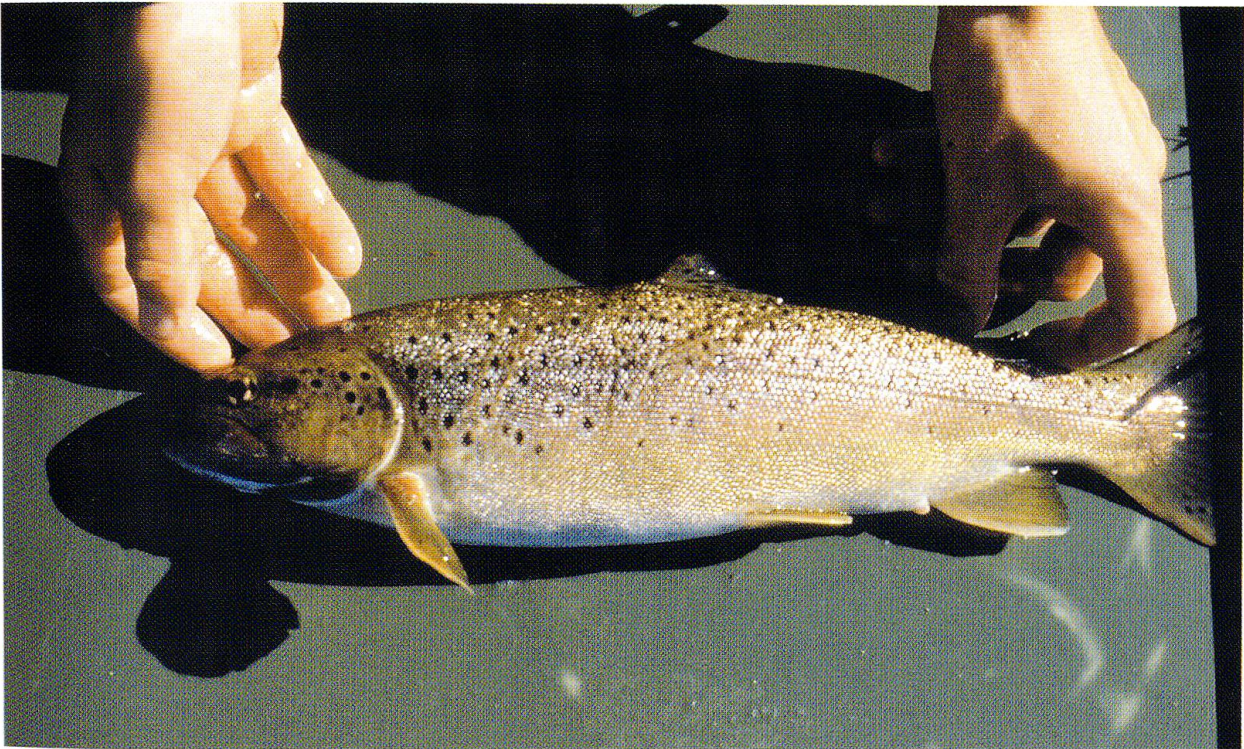


Abb. 7: Seeforelle, gefangen am 30. September 2000.

wasserproben entnommen und im kantonalen Laboratorium untersucht. Die Untersuchungsergebnisse liegen in der Tabelle 2 vor. Auffallend ist bei dieser Probenahme der starke Anstieg der organischen Belastung (BSB₅ und DOC) sowie des Ammoniums und Nitrits nach der ARA-Einleitung. Die Anforderungen und Grenzwerte der Eidgenössischen Gewässerschutzverordnung werden teilweise deutlich überschritten.

Bei der ARA Rain handelte es sich um eine Kombiblockanlage «System Schreiber» mit Tropfkörper. Die Anlage ist am 16. August 2000 stillgelegt worden. Das Abwasser wird heute auf die Kläranlage Eschenbach-Inwil geleitet.

Die Betriebsdaten der ARA Rain sind in Tabelle 3 aufgelistet. Die Überwachungsdaten des Amtes für Umweltschutz (1999 b) sind in Tabelle 4 aufgeführt. Bei extremen Verhältnissen liegt ein Verdünnungsverhältnis von 1:2 im Vorfluter vor.

Die ARA Hochdorf ist wegen des überdüngten Baldeggersees als einzige Anlage

im Kanton Luzern mit einer Flockungsfiltrationsstufe ausgerüstet. Dadurch wird Phosphor aus dem Abwasser weitgehend eliminiert. Sie ist aber hochbelastet und hat die Belastungsgrenze erreicht.

Die Betriebsdaten der ARA Hochdorf können der Tabelle 5 entnommen werden. Die Überwachungsdaten des Amtes für Umweltschutz (1999 a) sind in Tabelle 6 aufgeführt. Bei extremen Verhältnissen liegt im Vorfluter ein Verdünnungsverhältnis von 1:1 vor. Auffallend ist, dass bei einer Verdünnung von 1:1 sowohl bei der organischen Belastung (DOC) als auch bei Ammonium und Nitrit die Anforderungen für ein Fließgewässer gemäss Gewässerschutzverordnung nicht eingehalten werden können.

Fischereiliche Nutzung und Bewirtschaftung

Von der Brücke in Ligschwil bis zum Baldeggersee beträgt der mittlere Jahresfang

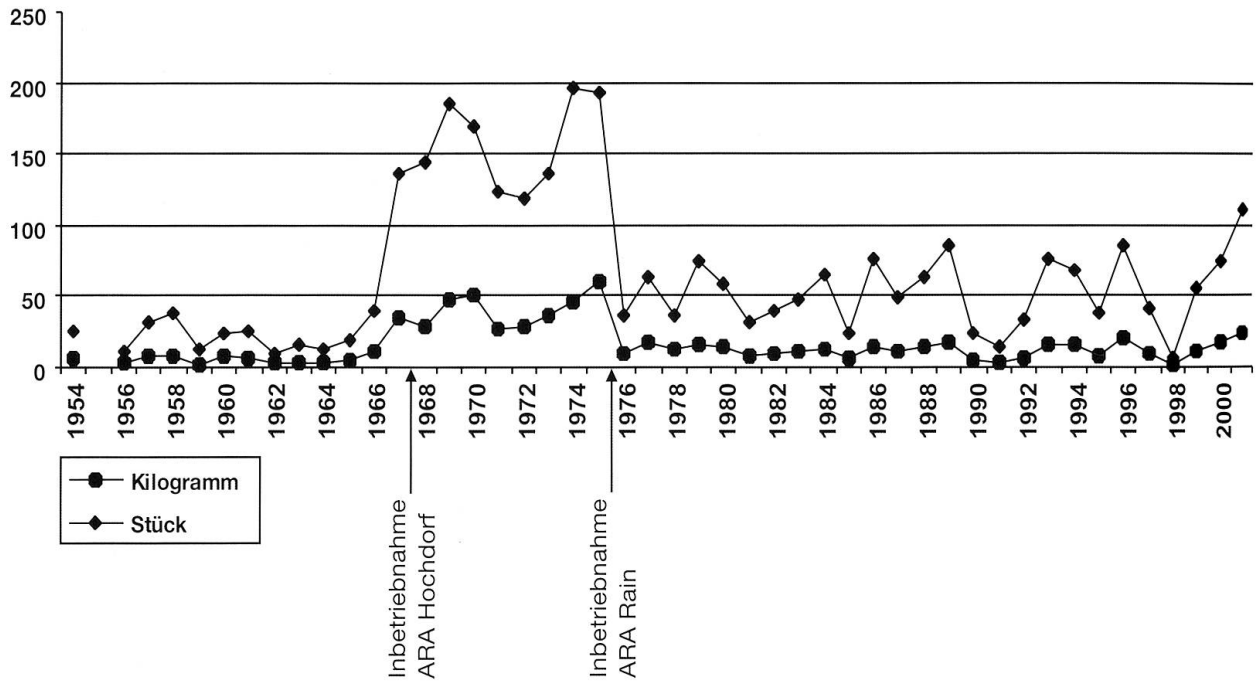


Abb. 8: Bachforellen-Fangstatistik der Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Luzern für die Ron bei Hochdorf in der Teilstrecke I: Baldeggersee bis Brücke in Ligschwil. Fischsterben in den Jahren 1955, 1983, 1984, 1992, 1999. Ab 1996 bis 2000 verschiedene Gewässerkorrekturen und Wasserbau.

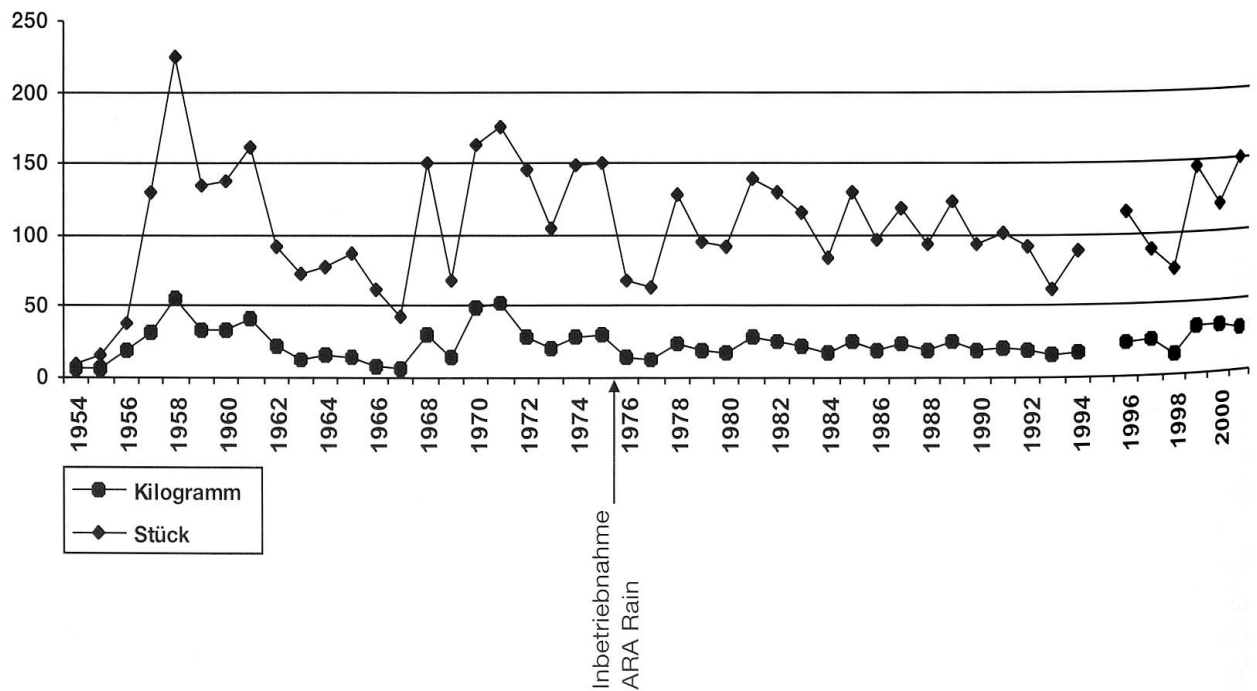


Abb. 9: Bachforellen-Fangstatistik der Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Luzern für die Ron bei Rain in der Teilstrecke II: Brücke in Ligschwil bis Quellgebiet. Fischsterben in den Jahren 1966, 1969 und 1975. Die Daten für das Jahr 1995 fehlen.



Abb. 10: Ron oberhalb der ARA Rain.



Abb. 11: Ron unterhalb der ARA Rain.

63 Bachforellen (Abb. 8, Teilstrecke I). Vom Quellgebiet der Ron (inkl. Seitengewässer) bis zur Brücke in Ligschwil werden im Mittel 105 Bachforellen pro Jahr gefangen (Abb. 9, Teilstrecke II). Auffallend sind in der Teilstrecke I in der Zeitperiode 1967 bis 1975 die deutlich über dem langjährigen Mittel liegenden Fangerträge. Es ist zu beachten, dass die ARA Hochdorf 1967 und die ARA Rain 1975 in Betrieb genommen wurden. Es wäre möglich, dass der Bau dieser beiden Kläranlagen die Fangentwicklung der Bachforellen im untersten Abschnitt der Ron entscheidend mitbeeinflusst hat. Aber es darf auch die Einwirkung ganz anderer unbekannter Faktoren nicht ausgeschlossen werden. Ansonsten sind die Fangerträge in den letzten 45 Jahren stark schwankend, in ihrer Tendenz aber stabil. Der Besatz erfolgt mehrheitlich als Brütlinge und zu einem kleineren Teil als Sömmerlinge und Jährlinge.

In der Teilstrecke II liegen die Jahresfänge in den Zeitperioden 1957 bis 1961, 1968 bis 1975 und 1999 über dem langjährigen Mittel. Diese überdurchschnittlichen Fangerträge könnten allenfalls mit dem Einsatz von fangfähigen Forellen erklärt werden. So wurden beispielsweise im Jahr 1999 wegen eines Fischsterbens im August 1998 neben 5000 Brütlingen und 500 Sömmerlingen auch 100 fangfähige Forellen ausgesetzt.

Methoden und Feldarbeiten

Gewässermorphologische Erhebungen

Um die Fischbestände (Artenzusammensetzung, Dichte und Altersstruktur) der Abfischungsstrecken in der Ron unterhalb der Kläranlagen mit den Fischbeständen oberhalb vergleichen und interpretieren zu können (Abb. 12), wurden detaillierte ökomorphologische Erhebungen durchgeführt (HÜTTE et al. 1994). Die strukturellen Verhältnisse der Ron bei den beiden ARA-Einleitungen sind aus den Abbildungen 10 und 11 sowie 13 und 14 ersichtlich. Rund 14 Kilo-

Tab. 3: Betriebsdaten der Abwasserreinigungsanlage (ARA) in Rain

Koordinaten	662 906 / 220 500
Betriebsdauer	1975–2000
System	Tropfkörper
Dimensionierungsdaten (Kapazität)	
Einwohnergleichwerte hydraulisch	1 400
Tageswassermenge [m ³ /Tag]	561
Einwohnerwerte (biologisch, gemäss GSchV)	1 960
Biochemischer Sauerstoffbedarf [kg/Tag]	98
Reinigungsziele	
P-Fällung	ja
Filtration	nein
Nitrifikation	nein
Denitrifikation	nein
Spez. Abwassermenge [m ³ /Einwohnerwerte und Jahr]	225
Wirkungsgrad in %	
BSB ₅	92
P _{Gesamt}	89
Minimale Verdünnung im Vorfluter (geschätzt)	1:2
Effektive Abwasserfrachten im Jahr 1999	
Jahreswassermenge [m ³ /Jahr]	318 270
Mittlere Tageswassermenge [m ³ /Tag]	872
EG Jahresmittelwert	1 430
Biochemischer Sauerstoffbedarf [kg/Tag]	
Zufluss	71,5
Abfluss	5,5
Biochemischer Sauerstoffbedarf [Tonnen/Jahr]	
Zufluss	26,1
Abfluss	2,0

meter der Ron hat RAPPO (2001) ökomorphologisch und bezüglich Durchgängigkeitsstörungen beurteilt (siehe Abb. 6).

Erhebung des Fischbestandes

Die ausgewählten Gewässerstrecken wurden quantitativ elektrisch abgefischt (Abb. 15). Die technischen Daten sind in der Tabelle 7 aufgeführt. Die narkotisierten Fische wurden artmässig bestimmt, gezählt, gewogen und in einer Messschale auf 1 mm genau vermessen.

Art, Anzahl und mittleres Gewicht der gefangenen Fische und die auf eine Hektare produktive Wasserfläche hochgerechnete Anzahl und Biomasse sind in den Tabelle 9 bis 11 aufgeführt.

Untersuchung der Fischproben

Bei den Fischproben handelte es sich ausschliesslich um Bachforellen.

Biometrie

Alle gefangenen Fische wurden narkotisiert, auf den Millimeter genau gemessen (Abb. 16) und auf 5 Gramm genau gewogen. Aus den erhobenen Daten wurde der Konditionsindex (K) nach der Fultonschen Formel berechnet (STEFFENS 1985).

Pathologisch-anatomische Untersuchung

Äusserlich von Auge feststellbare Veränderungen an Augen, Mundhöhle, Haut und Flossen wurden festgehalten. Nach Eröffnung des Abdomens wurden die inneren Organe Schwimmblase, Herz/Kreislauf, Leber, Gallenblase, Milz, Magen-Darmtrakt, Niere, Gonaden (Geschlechtsorgane), Skelett und Muskulatur nach Lage, Farbe, Form, Grösse und Konsistenz beurteilt (siehe Abb. 17 und 18).

Pathologisch-histologische Untersuchung

Von allen getöteten Forellen wurden die Organe Kiemen, Leber sowie Niere entnommen und in 4-prozentiger Formalinlösung fixiert.

Die Proben der Forellen aus dem Bereich der ARA Hochdorf wurden histologisch unter dem Lichtmikroskop auf das Vorhandensein von Gewebeschäden untersucht. Die Bewertung erfolgte gemäss einer standardisierten Methode (BERNET et al. 1999).

Hepatosomaler und gonadosomaler Index

Der hepatosomale Index (HSI) gibt das relative Gewicht der Leber im Bezug zum Totalgewicht des Fisches an. Der gonadosomale Index (GSI) gibt das relative Gewicht der Gonaden, das heisst der Eierstöcke (Abb. 17) beziehungsweise der Samenstränge

Tab. 4: Analysen-Mittelwerte (1999) der ARA Rain und geschätzte Konzentrationen in der Ron. Anforderungen gemäss Gewässerschutzverordnung. A: Anforderungen an die Ableitung von verschmutztem Abwasser, F: Anforderungen an die Wasserqualität von Fließgewässern. K: Konzentration in der Ron bei einer Verdünnung von 1:2. **Farbdruck: Überschreitung des Grenzwertes**

Parameter	Formel	Einheit	Abwasserreinigungsanlage				Vorfluter	
			Zufluss	Abfluss	A	Wirkungsgrad	K	F
Biochemischer Sauerstoffbedarf	BSB ₅	mg/l	75	5,8	20	92 %	1,9	2-4
Kaliumpermanganatverbrauch	KMnO ₄	mg/l	253	42		83 %	14	
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	mg/l	168	25		85 %	8,3	
Ammonium-Stickstoff	NH ₄ -N	mg/l	11,0	2,03	2	82 %	0,68	0.2
Gesamt-Phosphor	Ges-P	mg/l	4,06	0,35	0,8	91 %	0,12	
Gesamte ungelöste Stoffe	TSS	mg/l	-	11,0	20		3,7	

(Abb. 18), in Bezug zum Totalgewicht des Fisches an (ESCHER 1999).

In den Tabellen 12 bis 14 ist von jedem Standort der mittlere HSI und GSI der Fischproben mit den entsprechenden Standardabweichungen aufgeführt.

Vitellogenin-Nachweis im Blut

Vitellogenin, ein Phospholipoprotein des Eidotters, wird normalerweise nur in den Lebern von Weibchen synthetisiert. Auf dem Weg in die Eierstöcke wird es über das Blut transportiert. Von allen männlichen Forellen wurde Blut entnommen (vgl. Abb. 19), um es auf Vitellogenin hin zu untersuchen. Ein Nachweis deutet auf die Einwirkung östrogenhaltiger Substanzen hin (FENT et al. 2000).

Fischfang und Fischbesatz

Die Daten des Forellenbesatzes und der Fischfangstatistiken wurden von der kantonalen Fischereiverwaltung zur Verfügung gestellt und sind in der Tabelle 8 und in den Abbildungen 8 und 9 aufgeführt.

Aussetzen von Fischeiern

Um den Einfluss von gereinigtem Abwasser auf die frühembryonale Entwicklung von Bachforelleneiern und das Überleben bis zum Augenpunktstadium abzuklären, wurden Tests mit Bachforellen-Eiern durchgeführt (ESCHER 1999). Bei den Kläranlagen Rain und Hochdorf wurden im Winter 2000 ober- und unterhalb der Kläranlagen je zwei Laichboxen stationiert (ESCHER 2001). Im Winter 2001 wurden nur noch unterhalb der ehemaligen ARA Rain (seit August 2000 aufgehoben) und ober- und unterhalb der ARA Hochdorf zwei Laichboxen exponiert. Dabei wurde unterhalb der ARA der Abstand zur Abwassereinleitung so gewählt, dass mit einer guten Durchmischung des Abwassers gerechnet werden konnte. Oberhalb der ARA erfolgte die Exposition unweit vor der Abwassereinleitung (Abb. 20 und 21).

Tab. 5: Betriebsdaten der ARA Hochdorf

Koordinaten	663 850 / 225 450
Inbetriebnahme	1967
System	Belebtschlamm
Dimensionierungsdaten (Kapazität)	
Einwohnergleichwerte hydraulisch	20 000
Tageswassermenge [m ³ /Tag]	10 000
Einwohnerwerte (biologisch, gemäss GSchV)	40 000
Biochemischer Sauerstoffbedarf [kg/Tag]	2 000
Reinigungsziele	
P-Fällung	ja
Flockungsfiltration	ja
Nitrifikation	nein
Denitrifikation	nein
Spez. Abwassermenge [m ³ /Einwohnerwerte und Jahr]	225
Wirkungsgrad in %	
BSB ₅	97
CSB	90
TOC/DOC	92
P _{Gesamt}	97
Nitrifikation	50
Minimale Verdünnung im Vorfluter (geschätzt)	1:1
Effektive Abwasserfrachten im Jahr 1999	
Jahreswassermenge [m ³ /Jahr]	2 529 548
Mittlere Tageswassermenge [m ³ /Tag]	6 930
EG Jahresmittelwert	24 087
Biochemischer Sauerstoffbedarf [kg/Tag]	
Zufluss	1 204
Abfluss	53
Biochemischer Sauerstoffbedarf [Tonnen/Jahr] Zufluss	440
Abfluss	19



Abb. 12: Erhebung der gewässermorphologischen Parameter.

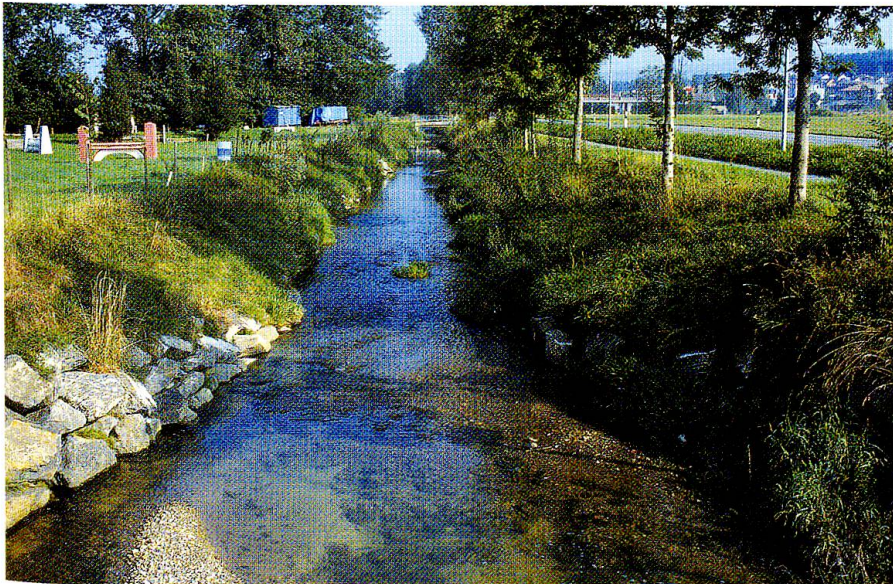


Abb. 13: Ron oberhalb der ARA Hochdorf.

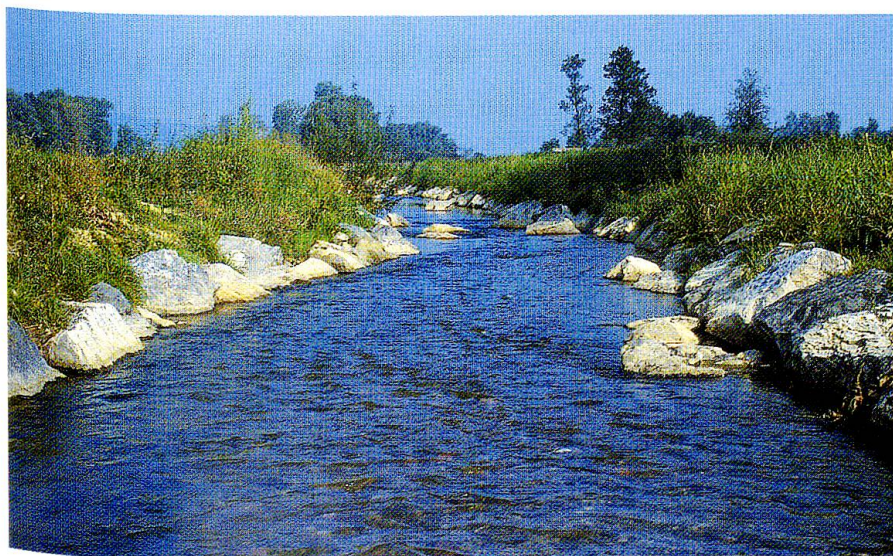


Abb. 14: Neu verbaute Ron unterhalb der ARA Hochdorf.

Tab. 6: Analysen-Mittelwerte (1999) der ARA Hochdorf und geschätzte Konzentrationen in der Ron. Anforderungen gemäss Gewässerschutzverordnung. A: Anforderungen an die Ableitung von verschmutztem Abwasser, F: Anforderungen an die Wasserqualität von Fliessgewässern. K: Konzentration in der Ron bei einer Verdünnung von 1:2. **Farbdruck: Überschreitung des Grenzwertes**

Parameter	Formel	Einheit	Abwasserreinigungsanlage				Vorfluter	
			Zufluss	Abfluss	A	Wirkungsgrad	K	F
Biochemischer Sauerstoffbedarf	BSB ₅	mg/l	172	7,3	20	96 %	3,6	2–4
Kaliumpermanganatverbrauch	KMnO ₄	mg/l	406	67		83 %	33,5	
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	mg/l	339	40		88 %	20	
Gelöster organischer Kohlenstoff	DOC	mg/l	48,8	11,3	10		5,6	1–4
Totaler organischer Kohlenstoff	TOC	mg/l	118,8	6,5			8,2	
Nitrit-Stickstoff	NO ₂ -N	mg/l	1,58	0,38	0,3		0,19	0,1
Nitrat-Stickstoff	NO ₃ -N	mg/l	1,76	3,61			1,8	5,6
Ammonium-Stickstoff	NH ₄ -N	mg/l	20,1	13,3	2	34 %	6,65	0,2
Kjeldahl-Stickstoff	Kj-N	mg/l	30,3	14,9			7,4	
Gesamt-Stickstoff	Ges-N	mg/l	32,8	19,7			9,8	
Gesamt-Phosphor	Ges-P	mg/l	4,30	0,252	0,8	94 %	0,13	
Adsorbierbare org.								
Halogenverbindungen	AOX	mg/l	–	0,02	0,08		0,01	
Gesamte ungelöste Stoffe	TSS	mg/l	–	9,1	20			
Chloride	Cl	mg/l	140	134				
Leitfähigkeit	Lfk	MyS/cm	1475	1338				

Am Ufer wurden die Expositions-Standorte an markanten Steinen oder Bäumen mit orangem Forstspray markiert (Abb. 22). Die Forelleneier brauchen bis zum Augenpunktstadium zirka 210 Tagesgrade. Zu diesem Zeitpunkt können die entwickelten Eier dann neben der gelben oder orangen Eifarbe auch an den durchscheinenden Augen erkannt werden. Weisslich verfärbte, trübe oder verpilzte Eier wurden als tot bezeichnet.

Die Bachforelleneier wurden am 7. Januar 2000 beziehungsweise am 28. November 2001 eingesetzt. Die effektive Expositionszeit der Bachforelleneier betrug 45 beziehungsweise 51 Tage.

Eier aus Laichboxen bzw. Eikammern, die durch einen anderen Faktor als die Wasserqualität in ihrer Entwicklung beeinträchtigt waren, sind bei der Berechnung des Anteils geäugter Eier nicht berücksichtigt worden.

In den Tabellen 15 und 16 sind die Anzahl ausgewerteter Eikammern (maximal 4 pro Standort) und der mittlere Prozentsatz geäugter Eier mit der entsprechenden Standardabweichung aufgeführt.

Resultate und Diskussion

Einfluss der Kläranlagen auf die Fischbestände

Die Ron ist ein typisches Fliessgewässer, welches im Oberlauf der Bachforellenregion und im Unterlauf der Cyprinidenregion zuzuordnen ist. Während der Oberlauf des Baches noch geschwungen verläuft und eine gute Breiten- und Tiefenvariabilität aufweist, ist er im Unterlauf kanalisiert. Auch die prozentuale Sohlenbeschattung nimmt im Längsverlauf stark ab. Entsprechend werden im Unterlauf auch deutlich höhere



Abb. 15: Elektrische Abfischung oberhalb der ARA Hochdorf.



Abb. 16: Gleichzeitiges Messen und Wägen einer narkotisierten Bachforelle.



Abb. 17: Forellenweibchen (Rogner) mit Eiern (▷).



Abb. 18: Forellenmännchen (Milchner) mit Samensträngen (▷).

maximale Sommertemperaturen erreicht. Die Lebensraumstruktur und die Fischdurchgängigkeit wurde kürzlich vom Amt für Umweltschutz (RAPPO 2001) untersucht.

Der Fischbestand im Bereich der ARA Rain (Oberlauf) besteht ausschliesslich aus Bachforellen (Tab. 9). Der berechnete Bachforellenbestand war unterhalb der ARA über 80 % kleiner als oberhalb der ARA. Da aber infolge einer Fischvergiftung im August 1998 unterhalb der ARA auf einer grossen Strecke alle Bachforellen gestorben waren, wurden im April 1999 neben 5000 Brütlingen und 300 Sömmerlingen auch 100 fangmässige Bachforellen oberhalb der ARA ausgesetzt.

Ebenfalls ist die Gewässermorphologie sehr unterschiedlich, weshalb die Fischbestände von ober- und unterhalb der ARA Rain nicht miteinander verglichen werden können. Entsprechend ist eine Beurteilung des ARA-Effektes auf den Bachforellenbestand im Bereich der ARA Rain leider nicht möglich.

Im Bereich der ARA Hochdorf (Unterlauf der Ron) wird der Fischbestand anzahlmässig durch Gründling und Schmerle (Abb. 23) und gewichtsmässig durch den Alet (Abb. 24) dominiert (Tab. 10 und 11). Im Herbst 1999 war der berechnete Bachforellenbestand unterhalb der ARA Hochdorf analog der ARA Rain über 80 % kleiner als oberhalb. Im Herbst 2001 war kein Unterschied mehr erkennbar.

Der gesamte Fischbestand war 1999 ober- und unterhalb der ARA Hochdorf nahezu gleich und 2001 anzahlmässig unterhalb der ARA bei deutlich grösserer Biomasse (+238 %) um 41 % geringer. Dies ist mehrheitlich auf die vielen grossen Alet unterhalb der ARA und die zahlreichen Gründlinge oberhalb der ARA zurückzuführen.

Forellengesundheitszustand

1999 hatte unterhalb der ARA Rain ein 23,5 cm langes Weibchen beidseitig verstümmelte Brustflossen. Solche Veränderungen sind häufig durch Kannibalismus



Abb. 19: Blutentnahme in der Schwanzvene für die Bestimmung von Vitellogenin.

bedingt und typisch für in Fischzuchten aufgezogene Massfische. Ansonsten waren im Bereich der ARA Rain keine von Auge (makroskopisch) feststellbaren Veränderungen erkennbar.

Vergleicht man die mittleren *gonadosomalen Indices* (GSI) in Tabelle 12 bis 14, fällt auf, dass oberhalb der ARA Rain der mittlere GSI der Weibchen etwas grösser und der mittlere GSI der Männchen deutlich kleiner ist als unterhalb. Aufgrund der geringen Anzahl untersuchter Bachforellen und der natürlicherweise vorhandenen Schwankungsbreite ist dieses Resultat vorsichtig zu interpretieren, trotzdem deutet es darauf hin, dass keine östrogenaktiven Substanzen einwirken, da ansonsten der GSI der Männchen unterhalb der ARA herabgesetzt sein müsste.

Diese Schlussfolgerung wird durch die Vitellogeninuntersuchung bestätigt, da bei

Tab. 7: Technische Daten und Rahmenbedingungen der Elektroabfischungen

	Lage zur ARA	ARA Rain	ARA Hochdorf	ARA Hochdorf
Abfischungstermine		30.9.1999	30.9.1999	28.9.2001
Abstand zu ARA Einleitung	Oberhalb	200	200	200
	Unterhalb	50	150	110
Anzahl Durchgänge	Oberhalb	2	2	3
	Unterhalb	2	2	3
Streckenlänge [m]	Oberhalb	100	100	100
	Unterhalb	100	100	100

Tab. 8: Fang- und Besatzzahlen in der Ron (n: Anzahl, G: Gewicht in kg)

Ron Teilstück I: Mündung Baldeggersee bis Brücke in Ligschwil

Fischart	Fangertrag				Besatz	
	2000		2001		2000	2001
	n	G	n	G		
Bachforelle	74	16,7	111	23,8	200 Bachforellen-jährlinge	250 Bachforellen-jährlinge
Egli	43	2,7	53	3		
Alet	28	8,9	62	12,3	20 kg fangfähige Bachforellen	25 kg fangfähige Bachforellen
Hasel	21	1,8	20	1,2		
Andere	15	4,3	12	4,9		

Ron Teilstück II: Brücke in Ligschwil bis Quellgebiet

Bachforelle	118	33	151	30,5	25 kg fangfähige Bachforellen	30 kg fangfähige Bachforellen
-------------	-----	----	-----	------	-------------------------------	-------------------------------

Tab. 9: Abfischungsergebnisse ARA Rain vom 30. September 1999. Sowohl oberhalb wie unterhalb der ARA konnten nur Bachforellen gefangen werden. O: Oberhalb der ARA, U: Unterhalb der ARA

	Anzahl gefangen [Stück]		Anzahl hochgerechnet pro ha [Stück/ha]		Anteil in Biozönose [Anteil/Art]		Mittleres Gewicht pro Fisch [g]		Fischbiomasse pro produktive Wasserfläche [kg/ha]		Anzahl Forellen nach De Lury extrapoliert [Stück]	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Bachforelle	69	11	2180	401	1	1	60	118	130,8	47,3	69	11



Abb. 20: Laichboxen am Grund mit Kabeln befestigt (vor dem Zudecken).



Abb. 21: Zugedeckte Laichboxen nach 45 Tagen Exposition.

keiner männlichen Forelle Vitellogenin im Blut nachgewiesen werden konnte (FENT & MEYLAN 2000).

Ein etwas anderes Bild zeigt sich in den Untersuchungen von SCHLUMPF (2001), welche bei der ARA Rain im Vor- und Nachklärbecken und im Vorfluter eine überdurchschnittliche östrogene Wirkung der Wasserproben auf menschliche Brustzellen und auf Uteruszellen von Ratten nachweisen konnte. Die Elimination der östrogenen Aktivität in der stark belasteten ARA wurde als ungenügend beurteilt.

Diese auf den ersten Blick etwas widersprüchlichen Untersuchungsergebnisse zeigen deutlich auf, dass grosse Differenzen bei der Sensitivität und Sensibilität der unterschiedlichen Versuchsansätze zum Nachweis östrogenaktiver Substanzen bestehen.

Um die ökologische Relevanz von vorhandenen östrogenaktiven Substanzen besser beurteilen zu können, ist es wichtig, dass neben den sicherlich wertvollen In-vitro- und In-vivo-Nachweismethoden im Labor, auch direkt nach möglicherweise vorhandenen Effekten bei im Ökosystem lebenden Organismen gesucht wird (sog. «passives Monitoring»).

Die mittleren *hepatosomalen Indices* (HSI) (Tab. 12) waren unterhalb der ARA Rain bei den Weibchen deutlich und bei den Männchen etwas grösser als oberhalb. Die Leber ist das wichtigste Entgiftungsorgan des Fisches. Bei erhöhter Exposition von Schadstoffen kann es zu einer Volumenzunahme der Leber kommen. Die erhöhten hepatosomalen Indices, die das relative Gewicht der Leber in Bezug zum Totalgewicht



Abb. 22: Markierter Stein (▶) am Ort der Eierexposition oberhalb der ARA Hochdorf in der Ron.

Tab. 10: Abfischungsergebnisse ARA Hochdorf am 30. September 1999. Oberhalb der ARA wurden acht Fischarten und unterhalb der ARA fünf Fischarten gezählt. O: Oberhalb der ARA, U: Unterhalb der ARA

	Anzahl gefangen [Stück]		Anzahl hochgerechnet pro ha [Stück/ha]		Anteil in Biozönose [Anteil/Art]		Mittleres Gewicht pro Fisch [g]		Fischbiomasse pro produktive Wasserfläche [kg/ha]		Anzahl Forellen nach De Lury extrapoliert [Stück]	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Bachforelle	20	3	428	71	0,093	0,017	148	213	63,3	15,1	24	3
Hecht	2	0	43	0	0,009	0,000	63	–	2,7	0,0		
Egli	0	113	0	2667	0,000	0,631	–	25	0,0	66,1		
Alet	35	25	749	590	0,162	0,140	66	193	49,4	113,9		
Rotaugen	1	0	21	0	0,004	0,000	68	–	1,4	0,0		
Gründling	39	25	835	590	0,181	0,140	10	11	6,1	6,3		
Schmerle	114	13	2440	307	0,528	0,072	4	2	1,3	0,5		
Trüsche	2	0	43	0	0,009	0,000	150	–	6,4	0,0		
Aal	3	0	64	0	0,014	0,000	1300	–	83,2	0,0		
Alle Arten	216	179	4623	4225	1	1			213,8	201,9		

der Fische angeben, deuten deshalb auf eine erhöhte Entgiftungsaktivität, also eine erhöhte Schadstoffexposition der Forellen unterhalb der ARA. Bei den Weibchen wird das Lebergewicht allerdings im Herbst auch stark von der Eidotterproduktion beeinflusst. Bei den Bachforellen, welche im Bereich der ARA Rain gefangen wurden, erfolgte keine histologische Untersuchung.

Oberhalb der ARA Hochdorf hatten 1999 eine 27,3 cm lange weibliche Bachforelle und unterhalb der ARA ein 35,5 cm langer weiblicher Alet die von Graureihern verursachten typischen Verletzungen. Eine weibliche Bachforelle von 30,5 cm Länge zeigte mehrere weisslich aufgetriebene über die ganze Länge verteilte Abszesse in der Niere (vgl. Abb. 25). Solche sind typisch für die proliferative Nierenerkrankung (PKD). Das Vorkommen dieser Krankheit konnte bei erneuten histologischen Untersuchungen im Jahr 2002 (Probenahme Herbst 2001) definitiv bestätigt werden. Die PKD ist eine parasitäre Erkrankung, die durch einen «Einzeller» verursacht wird. Das Auftreten der Krankheit ist temperaturabhän-

gig und bei einer Wassertemperatur von unter 15 °C ist eine Entwicklung des Parasiten nicht mehr möglich (HEDRICK et al. 1993). Ebenfalls haben Wasserqualitätsmerkmale wie Härte, Schadstoffgehalt u.a. einen nicht unwesentlichen Einfluss auf den Krankheitsverlauf (HEDRICK et al. 1993). Die Sterblichkeit variiert stark und trifft vor allem Jungfische oder ältere Fische, die noch nie mit PKD in Kontakt gekommen sind. Die typischen klinischen Symptome sind Dunkelfärbung und Schwellung des Bauches durch Ansammlung von Bauchwasser im Endstadium der Erkrankung. In der Sektion fällt die massive Vergrößerung der Niere auf. Besonders der hintere Teil ist höckrig aufgewölbt und speckig-gräulich aufgehell.

Ansonsten waren im Bereich der ARA Hochdorf keine von Auge (makroskopisch) feststellbaren Veränderungen erkennbar. Vergleicht man die mittleren gonadosomalen Indices (Tab. 13 und 14) fällt auf, dass 1999 unterhalb der ARA Hochdorf der mittlere GSI der Weibchen und der Männchen deutlich kleiner war als oberhalb. Auf-

grund der geringen Anzahl untersuchter Bachforellen und der natürlicherweise vorhandenen Schwankungsbreite ist auch in diesem Fall das Resultat vorsichtig zu interpretieren. Ein negativer Einfluss der ARA auf die Entwicklung der Geschlechtsorgane kann aber zumindest nicht ausgeschlossen werden; obschon bei den untersuchten Bachforellennännchen kein Vitellogenin nachgewiesen werden konnte (FENT & MEYLAN 2000). SCHLUMPF (2001) konnte in Wasserproben aus dem Vor- und Nachklärbecken und dem Vorfluter eindeutig eine Östrogenizität nachweisen, welche aber im Vergleich zu anderen untersuchten Kläranlagen nicht überdurchschnittlich hoch erscheint (z. B. geringer als bei ARA Rain).

Die mittleren *hepatosomalen Indices* (Tab. 13 und 14) waren 1999 oberhalb der ARA Hochdorf bei den Weibchen deutlich grösser als unterhalb, und bei den Männchen bestand kein Unterschied. Der nur bei den Weibchen oberhalb der ARA deutlich

erhöhte HSI ist wahrscheinlich auf die viel stärkere Eidotterproduktion zurückzuführen (GSI der Weibchen ist oberhalb der ARA deutlich grösser), ausserdem ist die Anzahl untersuchter Forellen sehr gering.

In der *histologischen Untersuchung* konnten bei den 1999 im Bereich der ARA Hochdorf entnommenen Forellen in allen untersuchten Organen vermehrt Organschäden festgestellt werden (Abb. 26). Allerdings sind die Veränderungen in den Organen Kieme und Leber im Vergleich zu anderen Untersuchungen im Bereich von Kläranlagen als nicht übermässig einzustufen. Am ausgeprägtesten waren sie in den Nieren. Es handelte sich dabei mehrheitlich um regressive Veränderungen (Abb. 27).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Gesundheitszustand der Forellen in der Ron im Vergleich zu anderen belasteten Fliessgewässern leicht- bis mittelgradig beeinträchtigt ist. Nur die histologischen Untersuchungen der Niere zeigten deutliche Organschäden auf. Eine kau-

Tab. 11: Abfischungsergebnisse ARA Hochdorf am 28. September 2001. Oberhalb der ARA wurden acht Fischarten und unterhalb der ARA zehn Fischarten gezählt. O: Oberhalb der ARA, U: Unterhalb der ARA

	Anzahl gefangen [Stück]		Anzahl hochgerechnet pro ha [Stück/ha]		Anteil in Biozönose [Anteil/Art]		Mittleres Gewicht pro Fisch [g]		Fischbiomasse pro produktive Wasserfläche [kg/ha]		Anzahl Forellen nach De Lury extrapoliert [Stück]	
	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U	O	U
Bachforelle	43	23	920	543	0,082	0,082	107	184	98,5	99,9	43	27
Egli	69	92	1477	2171	0,131	0,326	62	42	91,5	91,2		
Alet	49	58	1049	1369	0,093	0,206	54	519	56,6	710,4		
Brachsmie	0	14	0	330	0,000	0,050	–	396	0,0	130,8		
Barbe	0	1	0	24	0,000	0,004	–	220	0,0	5,2		
Schneider	1	0	21	0	0,002	0,000	22	–	0,5	0,0		
Rotauge	0	1	0	24	0,000	0,004	–	23	0,0	0,5		
Hasel	9	3	193	71	0,017	0,011	15	25	2,9	1,8		
Gründling	200	62	4280	1463	0,381	0,220	10	12	42,8	17,6		
Schmerle	152	19	3253	448	0,290	0,067	4	4	13,0	1,8		
Trüsche	2	9	43	212	0,004	0,032	536	250	22,9	53,1		
Alle Arten	525	282	11235	6655	1	1	–	–	328,7	1112,3		



Abb. 23: Schmerle (*Barbatula barbatula*).



Abb. 24: Alet (*Leuciscus cephalus*).

sale Zuordnung der gefundenen Organveränderungen zu Schadstoffen ist nicht möglich. Sehr interessant ist das Vorhandensein der Nierenkrankheit PKD, welche, weil sie in der Regel begleitet ist von einer erhöhten Mortalität, die geringen Bestände an juvenilen Bachforellen erklären kann.

Entwicklung von Bachforelleneiern bis zum Augenpunktstadium

Gemäss Tabellen 15 und 16 lag der Anteil geäugter Eier im Winter 1999/2000 oberhalb der ARA Rain bei 30 % (Abb. 28) und unterhalb bei 96 % und 2001/2002 bei 85 % (Abb. 29). Das heisst, oberhalb war die Eientwicklung schlecht und unterhalb in beiden Versuchen

sehr gut. Eine Boxe war oberhalb der ARA abgedeckt gewesen und konnte deshalb nicht ausgewertet werden. Der Grund für die schlechte Eientwicklung in der zweiten Boxe könnte darin liegen, dass sie kurzfristig trockengelegt worden war. Sie musste während der Expositionszeit aufgrund geringer Wasserführung versetzt werden.

Oberhalb der ARA Hochdorf lag der Anteil geäugter Eier im Winter 1999/2000 bei 93 % und 2001/2002 bei 94 % (Abb. 30) und ist somit gut vergleichbar mit dem Resultat unterhalb der flussaufwärts gelegenen ARA Rain. Unterhalb der ARA Hochdorf lag der Anteil 1999/2000 nur bei 5 % bzw. bei 29 % im Winter 2001/2002 (Abb. 31).

Das heisst, oberhalb war die Eientwick-

Tab. 12: Untersuchte Bachforellen im Bereich der ARA Rain im Herbst 1999. O: Oberhalb der ARA, U: Unterhalb der ARA. M: Mittelwert, Sd: Standardabweichung

	Oberhalb		Unterhalb	
	M	Sd	M	Sd
Anzahl untersuchte Bachforellen	11		10	
Anzahl adulte Rogner	6		1	
Anzahl adulte Milchner	5		7	
Geschlechtsorganveränderungen	nein		nein	
Leberveränderungen	nein		nein	
Konditionsfaktor	1,02	0,05	1,17	0,06
Gonadosomatischer Index Rogner	10,5	3,34	8,4	
Gonadosomatischer Index Milchner	4,8	0,83	8,2	2,18
Hepatosomatischer Index Rogner	1,9	0,34	2,3	
Hepatosomatischer Index Milchner	1,3	0,23	1,5	0,26

Grössenklasse (cm)	Anzahl		Anteil am Bachforellenbestand	
	O	U	O	U
0–4,9	0	0	0	0
5–9,9	7	0	0,10	0
10–14,9	23	1	0,34	0,09
15–19,9	23	2	0,34	0,18
20–24,9	13	8	0,18	0,73
25–29,9	3	0	0,04	0
30–	0	0	0	0
Total	69	11	1	1

lung sehr gut und unterhalb sehr schlecht. Die Ursache für die schlechte Eientwicklung unterhalb der ARA Hochdorf ist sehr wahrscheinlich die schlechte Wasserqualität. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei der ARA Rain kein Einfluss und bei der ARA Hochdorf ein stark negativer Einfluss des gereinigten Abwassers auf die Bachforelleneientwicklung feststellbar ist.

Gewässerstruktur

Die Abfischungsstrecke unterhalb der ARA Hochdorf wurde in den Jahren 1998 bis 2000 neu verbaut. RAPPO (2001) klassiert sie mit der neuen BUWAL-Methodik für die öko-

morphologische Beurteilung von Fließgewässern (Stufe F, BUWAL 1998) als «stark beeinträchtigt». Unklar sind die Gründe, weshalb in der heutigen Zeit, auf einer Strecke, in welcher die Ron durch Ackerland fließt und deshalb potentiell genügend Raum für eine echte Revitalisierung zur Verfügung hätte stehen können, ein Gewässer in dieser ökologisch unbefriedigenden Art verbaut wurde (Abb. 14).

Fischsterben

In der Ron wurden in den Jahren 1980 bis 2001 insgesamt 18 Fischsterben erfasst (Tab. 17, Abb. 32 und 33).

Tab. 13: Untersuchte Bachforellen im Bereich der ARA Hochdorf im Herbst 1999. O: Oberhalb der ARA, U: Unterhalb der ARA. M: Mittelwert, Sd: Standardabweichung

	Oberhalb		Unterhalb	
	M	Sd	M	Sd
Anzahl untersuchte Bachforellen	10		7	
Anzahl adulte Rogner	3		1	
Anzahl adulte Milchner	4		2	
Geschlechtsorganveränderungen	nein		nein	
Leberveränderungen	nein		nein	
Proliferative Nierenerkrankung	Verdacht		nein	
Konditionsfaktor	1,04	0,08	0,95	0,07
Gonadosomatischer Index Rogner	17,0	0,63	6,9	
Gonadosomatischer Index Milchner	9,5	2,53	6,3	3,08
Hepatosomatischer Index Rogner	2,9	0,09	2,1	
Hepatosomatischer Index Milchner	1,4	0,19	1,2	0,06

Größenklasse (cm)	Anzahl		Anteil am Bachforellenbestand	
	O	U	O	U
0-4,9	0	0	0,00	0,00
5-9,9	0	0	0,00	0,00
10-14,9	3	0	0,15	0,00
15-19,9	0	0	0,00	0,00
20-24,9	9	1	0,45	0,33
25-29,9	6	1	0,30	0,33
30-	2	1	0,10	0,33
Total	20	3	1	1



Abb. 25: Von PKD befallene Niere einer Bachforelle aus der Ron mit speckig aufgetriebenen Erhebungen in der Niere (▷).

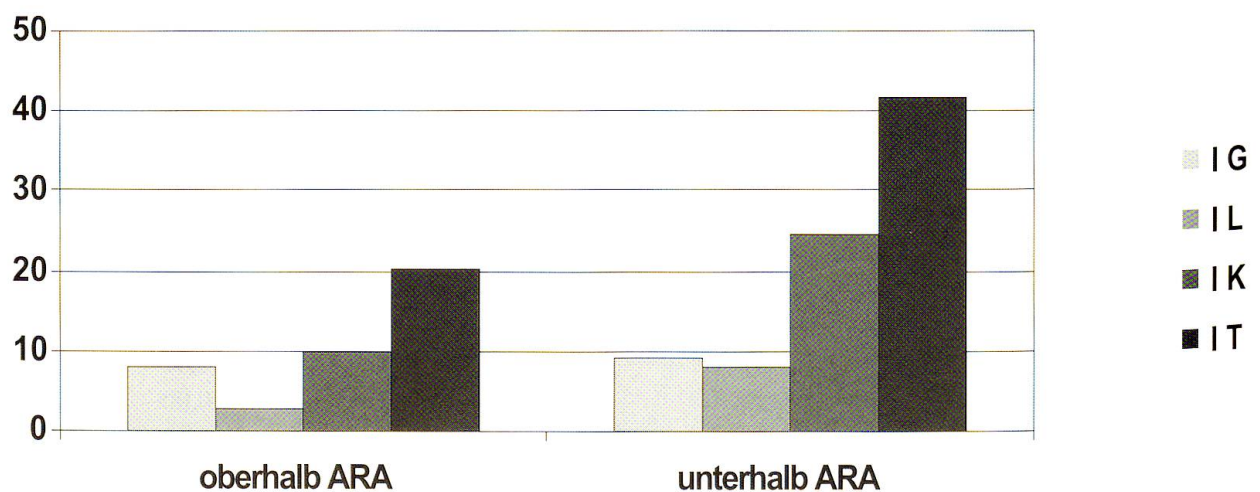


Abb. 26: Mittelwerte der histologischen Organindices der untersuchten Fische im Bereich der ARA Hochdorf oberhalb (n = 10) und unterhalb (n = 7) der ARA. Die verschiedenen Indices sind ein Mass für den Schädigungsgrad der einzelnen Organe. Je höher der Index, um so stärker ist die Organschädigung ausgeprägt. IG = Kiemenindex; IL = Leberindex; IK = Nierenindex; IT = Totalindex.

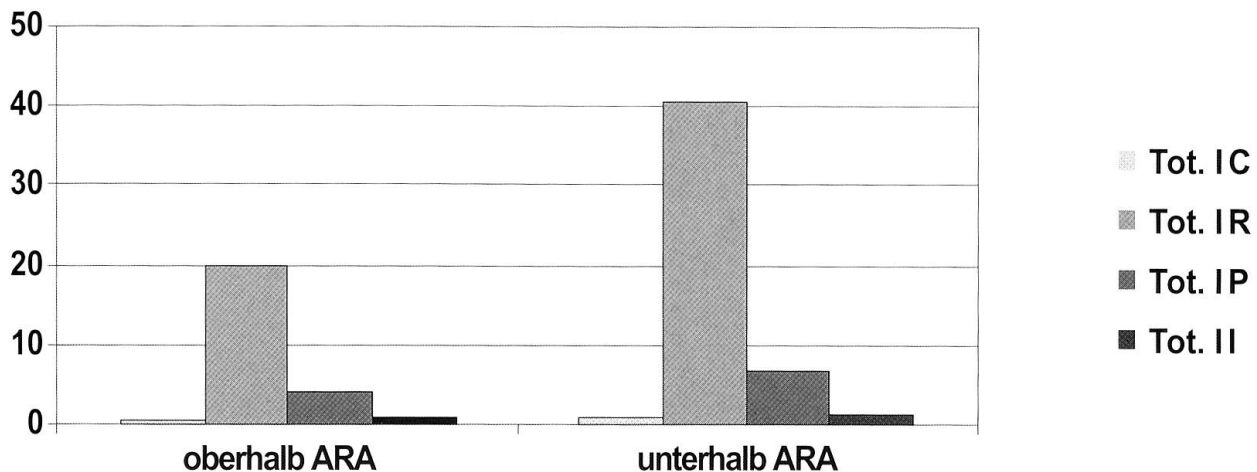


Abb. 27: Mittelwerte der histologischen Indices nach Art der gefundenen Veränderungen der untersuchten Fische im Bereich der ARA Hochdorf oberhalb ($n = 10$) und unterhalb ($n = 7$) der ARA. Die verschiedenen Indices sind ein Mass für die Häufigkeit einer bestimmten Art von Veränderung (in verschiedenen Organen). Je höher der Index, um so häufiger ist die entsprechende Art von Veränderungen. Tot. IC = Zirkulatorische Veränderungen; Tot. IR = Regressive Veränderungen; Tot. IP = Progressive Veränderungen; Tot. II = Entzündliche Veränderungen.

Am 27. Oktober 1999 ereignete sich eine Fischvergiftung in der Teilstrecke 1 der Ron bzw. in dessen Zufluss Gerenbach. Die Ron wurde ab diesem Zufluss bis in den See betroffen. Die Vergiftung erfolgte durch einen korrosionsbedingten Bruch eines Zementrohres in einem Firmengelände, welcher zum Austritt von säurehaltigem Abwasser in den Gerenbach führte.

Dank den quantitativen Bestandenserhebungen, welche im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchungen durchgeführt wurden, konnte in der Schadensberechnung von rund 11000 Franken (RIPPMANN 2000) aus dem Vergleich der Abfischungsergebnisse mit Anzahl und Artenzusammensetzung der eingesammelten toten Fische auf einen Totalschaden am Fischbestand in den betroffenen Gewässerstrecken geschlossen werden. Nach diesem Fischsterben konnte bei der im Herbst 2001 durchgeführten Abfischung überraschenderweise schon wieder ein sehr guter Bestand und eine höhere Artenvielfalt festgestellt werden. Wahrscheinlich sind die Fische vom Baldeggersee, in dem 17 Arten vorkommen, rasch in die Ron aufgestiegen.

Toxische Stickstoffverbindungen

Obschon keine kausale Zuordnung der gefundenen Organveränderungen zu Schadstoffen möglich ist, muss von einer toxischen Wirkung der aus der ARA Hochdorf stammenden hohen Nitrit- und Ammoniakkonzentrationen ausgegangen werden.

Bei einer angenommenen Verdünnung des Abwassers von 1:1 liegen die mittleren Nitritkonzentrationen ($\text{NO}_2\text{-N}$) in der Ron unterhalb der ARA Hochdorf bei 0,19 mg/l (Tab. 6). Es ist anzunehmen, dass Maximalwerte bis mindestens um den Faktor 10 höher liegen können. LC-50-Konzentrationen von Nitrit-N (bei einer 96-Stunden-Exposition) sind stark von der Chloridkonzentration, aber auch von der Wasserhärte und dem pH abhängig und liegen im Bereich von 0,19 bis 0,39 mg/l (RUSSO et al. 1974) bzw. 0,63 bis 39,8 $\text{NO}_2\text{-N}$ mg/l (HELLAWELL 1986).

Unter der Annahme von Chloridkonzentrationen von über 20 mg/l wurde von Müller (1990) ein Grenzwert von 0,1 mg/l $\text{NO}_2\text{-N}$ postuliert. Chemische Analysen in der Ron ergaben in den Jahren 2001 und

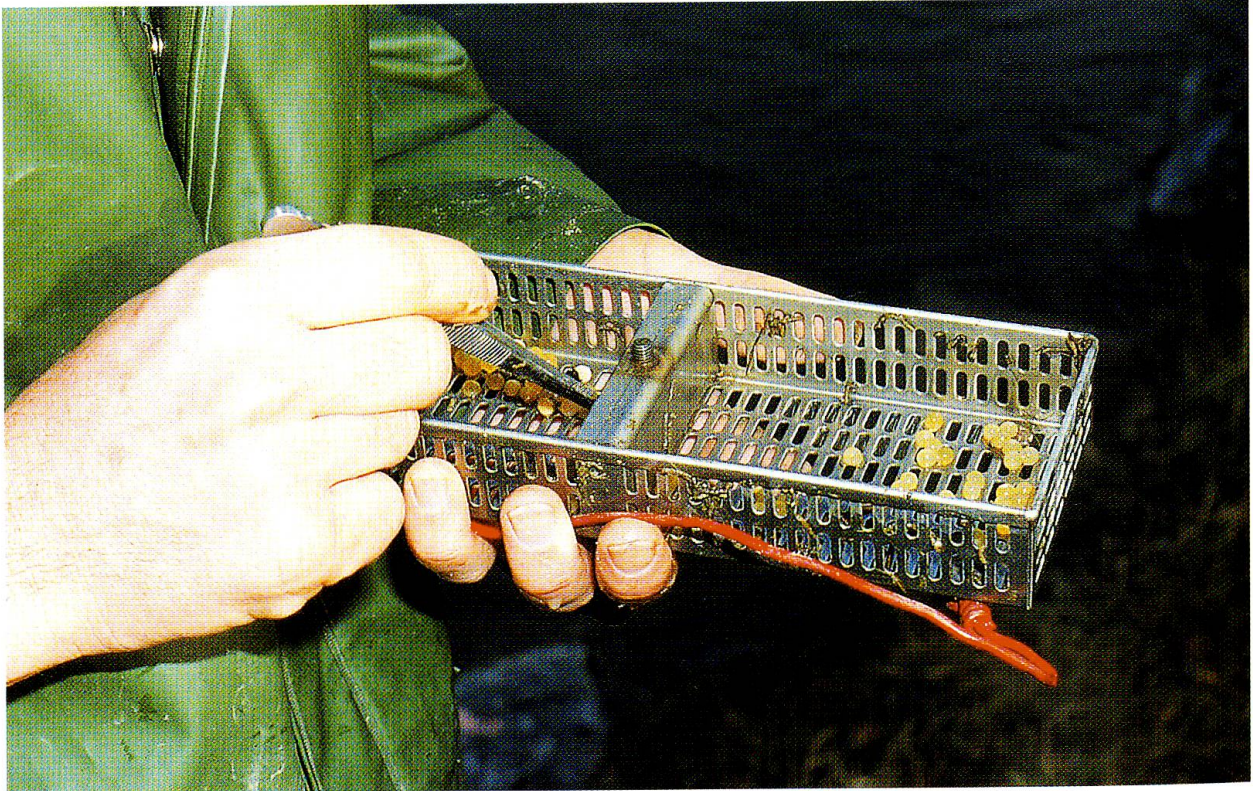


Abb. 28: Eiboxen oberhalb der ARA Rain des Jahres 2000; mit 30 % normal entwickelten Eiern.



Abb. 29: Eiboxen unterhalb der ARA Rain des Jahres 2000; mit vielen (96 %) normal entwickelten Eiern (▶).

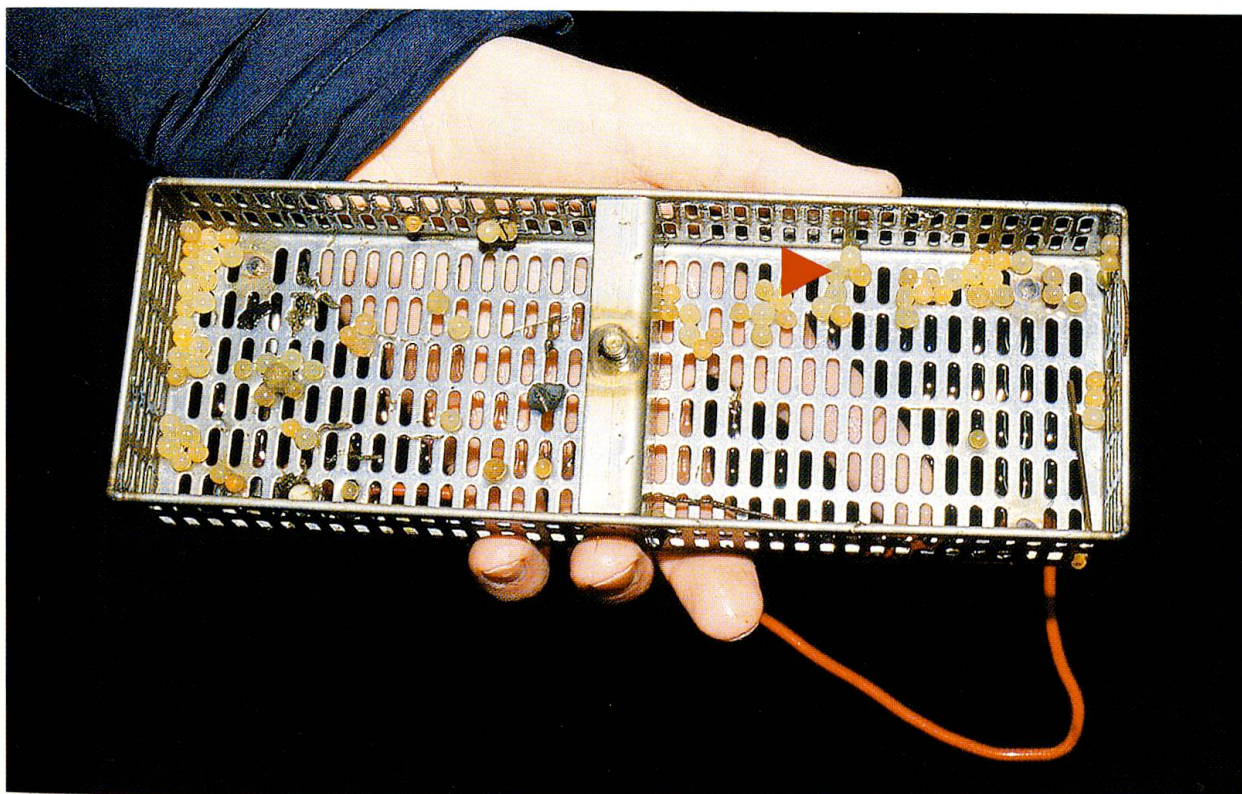


Abb. 30: Eiboxen oberhalb der ARA Hochdorf des Jahres 2001; mit vielen (94%) normal entwickelten Eiern (▶).

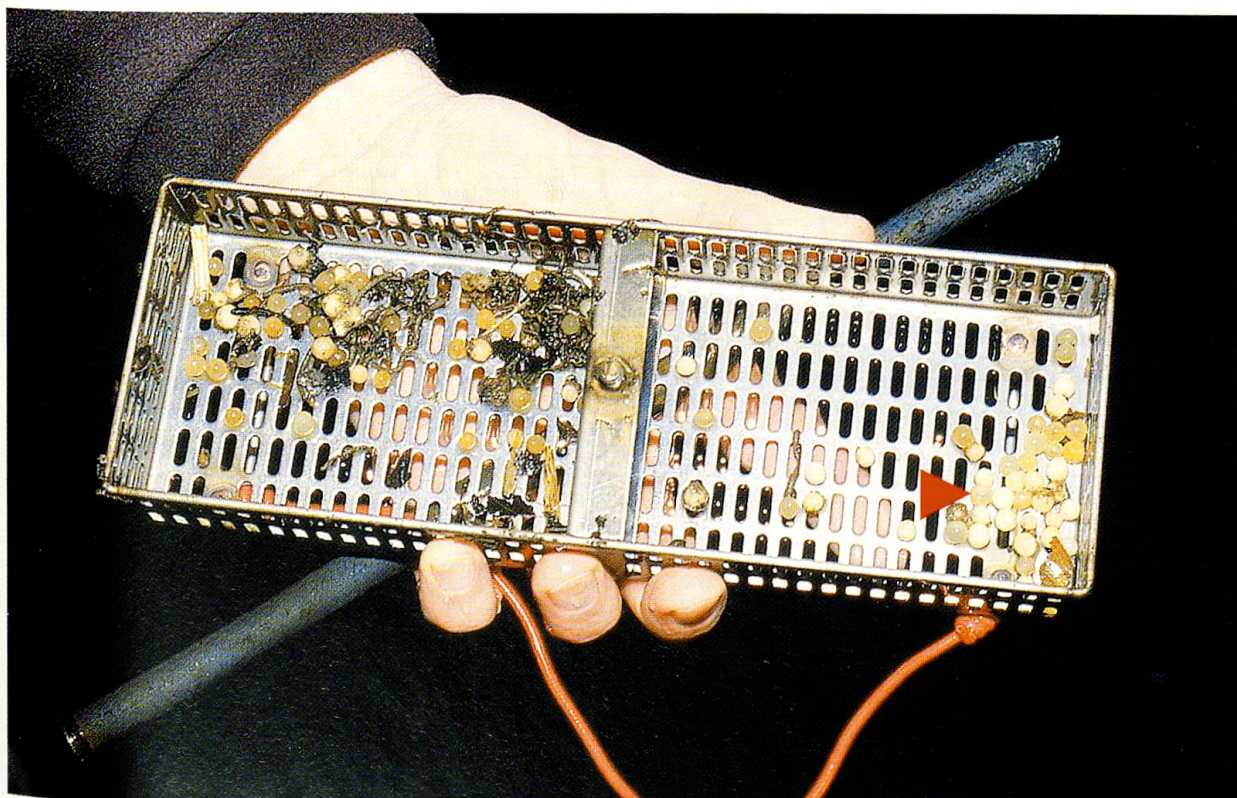


Abb. 31: Eiboxen unterhalb der ARA Hochdorf des Jahres 2001; mit vielen (71%) abgestorbenen Eiern (▶).



Abb. 32: Fischsterben vom 27. Oktober 1999 in der Ron.

Tab. 14: Untersuchte Bachforellen im Bereich der ARA Hochdorf im Herbst 2001. O: Oberhalb der ARA, U: Unterhalb der ARA. M: Mittelwert, Sd: Standardabweichung

	Oberhalb		Unterhalb	
Anzahl untersuchte Bachforellen	10		10	
Anzahl adulte Rogner	0		2	
Anzahl adulte Milchner	5		1	
Geschlechtsorganveränderungen	nein		nein	
Leberveränderungen	nein		nein	
Proliferative Nierenerkrankung	ja		ja	
	M	Sd	M	Sd
Konditionsfaktor	1,08	0,08	0,97	0,15
Gonadosomatischer Index Rogner			12,6	2,41
Gonadosomatischer Index Milchner	5,3	1,45	7,5	
Hepatosomatischer Index Rogner			2,2	0,25
Hepatosomatischer Index Milchner	1,1	0,18	0,7	
	Anzahl		Anteil am Bachforellenbestand	
Größenklasse (cm)	O	U	O	U
0–4,9	0	0	0,000	0,000
5–9,9	3	0	0,070	0,000
10–14,9	5	2	0,116	0,087
15–19,9	10	3	0,233	0,130
20–24,9	10	7	0,233	0,304
25–29,9	15	6	0,349	0,261
30–	0	5	0,000	0,217
Total	43	23	1	1

Tab. 15: Resultate Bachforellen-Eier-Tests 7. Januar bis 21. Februar 2000. O: Oberhalb der ARA, U: Unterhalb der ARA

	ARA Rain		ARA Hochdorf	
	O	U	O	U
Anzahl ausgewertete Eikammern	2	4	3	2
Anteil geäugter Eier [%]	Mittelwert		92,7	5
	Standardabweichung		7,0	1,4

Tab. 16: Resultate Bachforellen-Eier-Tests 28. November 2001 bis 18. Januar 2002. O: Oberhalb der ARA, U: Unterhalb der ARA

	ARA Rain		ARA Hochdorf	
	O	U	O	U
Anzahl ausgewertete Eikammern	–	4	4	2
Anteil geäugter Eier [%]	Mittelwert		94	29
	Standardabweichung		5,9	1,4

Tab. 17: Fischsterben in der Ron von 1980 bis 2001

Jahr	Ort	Ursache
1980	Rain (ARA)	unbekannt
1981	Stalden	keine Angaben
1981	Hildisrieden	unbekannt
1983	Urswil	Jauche
1983	Ober-Otigen (Rain)	keine Angaben
1984	Ligschwil	keine Angaben
1985	Rain	keine Angaben
1987	Rain	keine Angaben
1987	Hochdorf	keine Angaben
1988	Ligschwil/Urswil	keine Angaben
1989	Gundelingen (Rain)	keine Angaben
1989	Rain	keine Angaben
1989	Hochdorf	keine Angaben
1992	Unter-Otigen	Jauche
1997	Huwil	Baustellenabwasser
1998	Urswil	unbekannt
1998	Rain (ARA)	ARA-Abwasser
1999	Niffel	saures Industrieabw.

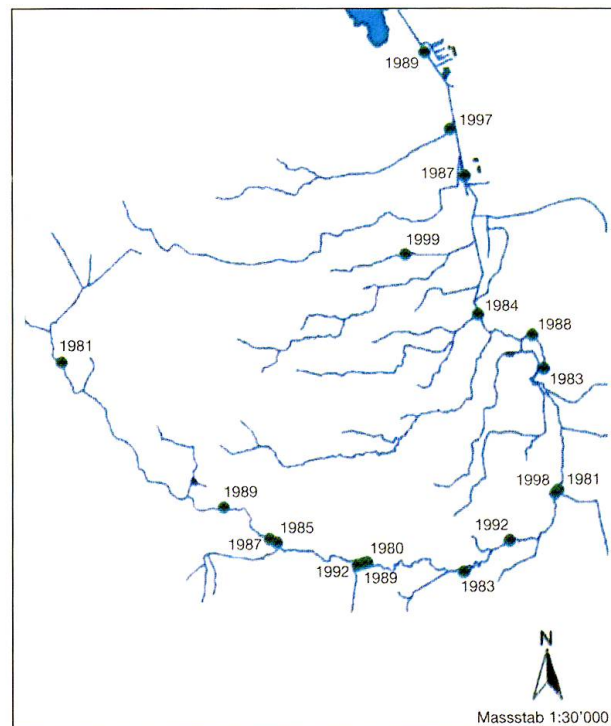


Abb. 33: Verschiedene Fischsterben in der Ron (1980 bis 2000). Die Punktsymbole geben den Ort der Verschmutzung an.

2002 rund 0,050 mg NO₂-N pro Liter. Der Grenzwert für Ammonium-Stickstoff von 0,2 mg N/l im gereinigten Abwasser der ARA Hochdorf wird massiv überschritten. Die geschätzte Ammonium-Konzentration wurde am 19. Februar 2002 mit 6,40 mg NH₄-N pro Liter bestätigt.

Es ist nicht auszuschliessen, dass die festgestellten Organveränderungen zum Teil auch durch weitere unbekannte Schadstoffe verursacht werden.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die vom Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern in Auftrag gegebenen Untersuchungen 1999 bis 2001 belegen einen negativen Einfluss des gereinigten Abwassers aus der ARA Hochdorf auf die Fischgesundheit und die Entwicklung von Bachforelleneiern. Auch ein negativer Einfluss auf den Bachforellenbestand ist nicht auszuschliessen.

Kein negativer Einfluss auf die Entwicklung von Bachforelleneiern konnte bei der ARA Rain festgestellt werden. Eine Beurteilung des Einflusses dieser ARA auf den Bachforellenbestand war wegen Besatz von fangfähigen Bachforellen nicht möglich.

Zusammen mit den chemisch-analytischen Untersuchungen und den Abklärungen zur Lebensraumstruktur und Fischdurchgängigkeit in der Ron ist ein dringender Handlungsbedarf zur Verbesserung der Wasserqualität und Aufwertung des Lebensraumes im unteren Teil der Ron offensichtlich.

Stickstoff-Toxizität reduzieren

Die ARA Hochdorf stellt sowohl wegen des Ammonium- wie auch des hohen Nitritausstosses und der schlechten Verdünnungsverhältnisse im Vorfluter ein grosses Problem für die Wasserqualität der Ron und den Gesundheitszustand der Bachforellen dar. Durch den Ausbau der ARA und den Einbau einer Nitrifikations- und Denitrifikationsstufe sollte sich diese Situation verbessern.

Phosphorfracht senken

Hohe Abwasserfrachten aus lebensmittelverarbeitenden Betrieben beeinträchtigen die Reinigungsleistung der ARA Hochdorf. Die über die Ron in den Baldeggersee abgeleiteten Phosphorfrachten haben deshalb eine steigende Tendenz. Massnahmen bei den verantwortlichen Industriebetrieben sind zwingend notwendig und unverzüglich zu realisieren (HERZOG 2001). Jede mögliche Massnahme, die die Überdüngung der Zuflüsse des Baldeggersees weiter zu reduzieren vermag, sollte unbedingt genutzt werden (STADELMANN et al. 2002).

Proliferative Nierenerkrankung (PKD)

Da in der Ron die infektiöse Krankheit PKD auftritt, sollte darauf geachtet werden, dass keine Forellen in andere nicht von PKD betroffene Gewässer versetzt werden. Salmonidenbesätze sollten in diesem Gewässer nur noch im Herbst erfolgen. Dadurch können die Besatzfische allenfalls eine Immunität gegen die PKD aufbauen, womit die Sterblichkeit der Forellen herabgesetzt werden kann.

Hormonaktive Stoffe

Die von FENT & MEYLAN (2000) durchgeführten Vitellogenin-Untersuchungen deuten darauf hin, dass zum Zeitpunkt der Probenahmen im Bereich der untersuchten Kläranlagen keine östrogenaktiven Substanzen in für Bachforellen relevanten Konzentrationen eingewirkt hatten.

Die Untersuchungen von SCHLUMPF (2001) zeigen jedoch das Vorhandensein von östrogenaktiven Substanzen in der Ron auf und werden deshalb noch einmal wiederholt.

Zukunft der Seeforelle

Als Hauptzufluss zum Baldeggersee wäre die Ron eigentlich von grosser ökologischer Bedeutung. Insbesondere für die gesamtschweizerisch stark bedrohte Seeforelle

(Abb. 7), welche im Herbst eine Laichwanderung flussaufwärts unternimmt, um potentielle Reproduktionsgebiete erreichen zu können. Die Ron wäre das wichtigste Aufstiegs-gewässer der Population im Baldeggersee. Nur die konsequente Wiederherstellung der Aufstiegs-möglichkeiten, die Verhinderung weiterer Verbauungen der Seezuflüsse und die Wiederinstandsetzung der Laichgewässer auch in qualitativer Hinsicht können zu selbsterhaltenden Populationen führen.

Nach der erfolgten Stilllegung der ARA Rain sind nun potentielle Seeforellen-Reproduktionsgebiete entstanden, welche keiner Abwasserexposition mehr ausgesetzt sind. Dies könnte sich durchaus sehr positiv auf den Seeforellen-Bestand im Baldeggersee auswirken.

Aufstiegshindernisse

Dringender Handlungsbedarf besteht bei den zwei künstlichen Abstürzen bei 3,105 Kilometer und 4,542 Kilometer, um den Seeforellen und anderen Fischen den Aufstieg bis 7,685 Kilometer und in den Geissbach zu ermöglichen (RAPPO 2001).

Weitere Untersuchungen

Durch erneute histologische Untersuchungen der ober- und unterhalb der ARA Hochdorf im Herbst 2001 gefangenen Bachforellen sollen vergleichende Daten zu den im Jahre 1999 durchgeführten Auswertungen erhoben werden. Im Weiteren werden die wirbellosen Kleintiere qualitativ und quantitativ ober- und unterhalb der ARA im Jahr 2002 noch erfasst.

Weitere Massnahmen bei der ARA Hochdorf

Ohne entsprechende Massnahmen wird sich die ARA Hochdorf, aufgrund ihrer ungenügenden Reinigungsleistung und den schlech-

ten Verdünnungsverhältnissen in der Ron, auch in Zukunft stark negativ auf das aquatische Ökosystem auswirken.

Es sollte deshalb neben dem geplanten Ausbau der ARA auch die Möglichkeit einer Ableitung des ARA-Abwassers über eine so genannte Tiefenwassereinleitung auf ca. 15 Meter direkt in den Baldeggersee geprüft werden, wodurch die Ron, mit Ausnahme der Regentlastungen, vollständig von Abwasser befreit werden könnte.

Fehlendes Leitbild für die Ron

Seit 1985 wird die Ron physikalisch und chemisch untersucht. Durch die ökomorphologischen Erhebungen im Winter und Frühling 2001 (RAPPO 2001) sind auch die Defizite in der Qualität der Lebensraumstrukturen und in der Durchgängigkeit für Fische klar umschrieben. Aufgrund der vorliegenden umfassenden Datengrundlagen könnte ein ökologisches Leitbild für die Aufwertung der Ron erstellt werden. Eines der Entwicklungsziele könnte darin bestehen, aus der Ron wieder ein gesundes und ökologisch wertvolles Aufstiegs-gewässer für Seeforellen zu machen.

Dank

Die Autoren danken den Mitarbeitern des Amtes für Umweltschutz des Kantons Luzern, namentlich Peter Herzog, Cornelia Crespi, Ernst Butscher und Jean-Claude Bernegger; der Fischerei- und Jagdverwaltung, namentlich Philipp Amrein; den Fischpächtern Walter Kaeslin (Teilstrecke II) und Hans-Ruedi Richli (Teilstrecke I). Verschiedene Analysen verdanken wir PD Dr. Karl Fent, PD Dr. Margret Schlumpf vom Pharmakologischen Institut der Universität Zürich sowie Prof. Dr. Walter Giger, Bernd Kobler und weiteren Mitarbeiterinnen der EAWAG.

LITERATURVERZEICHNIS

- Amt für Umweltschutz 1999a. Überwachungsbericht, ARA Hochdorf. – unveröffentlicht, 12 S.
- Amt für Umweltschutz 1999b. Überwachungsbericht, ARA Rain. – unveröffentlicht, 5 S.
- BERNET, D., SCHMIDT, H., MEIER, W., BURKHARDT-HOLM, P. & WAHLI, T. 1999. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. – *Journal of Fish Diseases* 22: 25–34.
- BUWAL 1998. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). – In: Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 27.
- ESCHER, M. 2001. Fischbiologische Untersuchungen in der Ron (ober- und unterhalb der Kläranlagen Rain und Hochdorf). Im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Luzern. 23 S. und Anhang.
- ESCHER, M. 1999. Einfluss von Abwassereinleitungen aus Kläranlagen auf Fischbestände und Bachforelleneier. – Mitteilungen zur Fischerei Nr. 61, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 201 S.
- FENT, K., ACKERMANN, G. & SCHWAIGER, J. 2000. Long-term effects of nonylphenol on vitellogenin and zona radiata protein expression in juvenile rainbow trout. – *Proceedings of the 6th International Conference on Reproduction Physiology of Fish*. Bergen, Norway. Editors: Norberg, B., Kjesbu, O. S., Taranger, G. L., Andersson, E., Stefansson, S. O. 356–358.
- FENT, K. & MEYLAN, S. 2000. Untersuchung der Vitellogenin-Induktion bei Bachforellen im Bereich der ARA Rain und der ARA Hochdorf und Regenbogenforellen im Bereich der ARA Rontal. Bericht Praktikum «Methoden der Ökotoxikologie», ETH Zürich.
- HEDRICK, R. P., MONGE, D. & DE KINKELIN, P. 1993. Proliferative kidney disease of salmonid fish. – *Annual review of fish diseases* 3: 277–290.
- HELLAWELL, J. M. 1986. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier, London.
- HERZOG, P. 2001. Baldeggersee-Auswertung der Zuflussuntersuchungen 1995 bis 1999. – Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, 37 S.
- HÜTTE, M., BUNDI, U. & PETER, A. 1994. Konzept zur Bewertung und Entwicklung von Bächen und Bachsystemen im Kanton Zürich. – Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz Kanton Zürich, 133 S.
- LHG (Landeshydrologie und -geologie) 1992. *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Biel.
- MÜLLER, R. 1990. Stickstofftoxizität für Fische und herzleitende Grenzwerte. – *EAWAG News* 30: 33–36.
- RAPPO, A. 2001. Untersuchung der Lebensraumstruktur und Fischdurchgängigkeit der Ron, Praktikumsarbeit. – Geographisches Institut der Universität Zürich, 15 S. Anhang mit Karten, Kantonales Amt für Umweltschutz.
- RIPPMANN, U. C. 2000. Bericht und Schadenberechnung zur Fischvergiftung am Gerenbach und am Ronkanal bei Hochdorf vom 27. 10. 1999. – unveröffentlicht, 10 S.
- RUSSO, R. C., SMITH, C. E. & THURSTON, R. V. 1974. Acute toxicity of nitrite to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). – *J. of Fish. Res. Board Can.* 31: 1653–1655.
- SCHLUMPF, M. 2001. Estrogene Aktivität: Abwasserreinigungsanlagen und UV-Filter. – unveröffentlicht, 8 S.
- STADELMANN, P., LOVAS, R. & BUTSCHER, E. 2002. 20 Jahre Sanierung und Überwachung des Baldeggersees. *Mitt. Naturforsch. Ges. Luzern*, 37: 113–164.
- STEFFENS, W. 1985. *Grundlagen der Fischernährung*. – Fischer, Jena, 226 S.

Matthias Escher, Dr. med. vet.
Büro Aqua-Sana
Gewässerökologie und Fischereifragen
Steinernweg 84
CH-3214 Ulmiz

Robert Lovas, Dipl. Natw. ETH
Pius Stadelmann, Dr. sc. nat. ETH
Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern
Libellenrain 15
CH-6002 Luzern