

**Amt für Umweltschutz**  
Libellenrain 15  
Postfach  
6002 Luzern  
Telefon 041 228 60 60  
Telefax 041 228 64 22  
afu@lu.ch  
www.afulu.ch

# **Ökologische und fischbiologische Untersuchungen der Ron oberhalb und unterhalb der Kläranlagen Rain und Hochdorf (Kanton Luzern)**



## **Schlussbericht 1999 - 2002**

**Kobler Bernd, Lovas Robert und Stadelmann Pius**

**Januar 2004**

**Titelbild**

Elektrische Abfischung in der Ron unterhalb der Kläranlage Hochdorf

**Herausgabe**

Amt für Umweltschutz  
Pius Stadelmann, Dr. sc. nat. ETH und  
Robert Lovas, dipl. Natw. ETH  
Stabsstelle Forschung  
Libellenrain 15  
Postfach 3439  
6002 Luzern

**Berichtverfasser**

Bernd Kobler, dipl. phil. nat., Biologe  
Spannortstrasse 5  
6003 Luzern  
E-Mail: [bernd.kobler@freesurf.ch](mailto:bernd.kobler@freesurf.ch)

# INHALT

ZUSAMMENFASSUNG .....	5
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>6</b>
1.1 Projektziele .....	6
1.2 Einführung .....	6
1.3 Hydrographie .....	8
1.3.1 Landnutzung und Hydrologie.....	8
1.3.2 Temperatur .....	9
1.4 Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigungsanlagen .....	11
1.5 Fischereiliche Bewirtschaftung und Fischsterben .....	14
<b>2 ÜBERSICHT ÜBER DIE UNTERSUCHUNGSSTELLEN DER RON.....</b>	<b>17</b>
<b>3 MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>20</b>
3.1 Ökomorphologie, Längs- und Seitenvernetzung .....	20
3.2 Chemische Untersuchungen .....	20
3.3 Kieselalgenflora .....	21
3.4 Wirbellose Kleintiere .....	22
3.5 Fischbestand und Gesundheitszustand der Bachforellen .....	23
3.6 Vitellogenin-Bestimmung .....	24
3.7 Exposition von Bachforelleneiern .....	25
<b>4 RESULTATE .....</b>	<b>26</b>
4.1 Ökomorphologie, Längs- und Seitenvernetzung .....	26
4.2 Chemische Untersuchungen .....	28
4.2.1 Chemische Wasserqualität bei der Messstelle oberhalb der ARA Hochdorf .....	28
4.2.2 Chemische Wasserqualität ober- und unterhalb der ARA Hochdorf.....	29
4.2.3 Online-Messung von Ammonium/Ammoniak und Nitrit bei Urswil .....	30
4.3 Kieselalgenflora .....	32
4.4 Wirbellose Kleintiere .....	33
4.5 Gesundheitszustand der Bachforellen.....	35
4.6 Vitellogenin in Bachforellen .....	38

4.7	Fischbestand .....	39
4.8	Entwicklung von Bachforelleneiern.....	43
<b>5</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>44</b>
5.1	Auswirkung von Abwasser auf die Ron .....	44
5.2	Abflussregime der Ron .....	45
5.3	Einfluss der Temperatur .....	46
5.4	Ökomorphologie .....	46
5.5	Längs- und Seitenvernetzung.....	47
5.6	Chemische Untersuchungen .....	47
5.7	Kieselalgenflora und wirbellose Kleintiere .....	50
5.8	Gesundheitszustand der Bachforellen.....	50
5.9	Vitellogenin in Bachforellen .....	51
5.10	Fischbestand .....	52
5.11	Entwicklung von Bachforelleneiern.....	53
<b>6</b>	<b>VERGLEICH MIT DEN HYPOTHESEN DES PROJEKTS „NETZWERK FISCHRÜCKGANG SCHWEIZ“ .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>MASSNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DES ÖKOLOGISCHEN ZUSTANDES DER RON .....</b>	<b>56</b>
7.1	Reinigungsleistung der ARA Hochdorf verbessern .....	56
7.2	Fernhalten von Abwässern aus Kläranlagen.....	56
7.3	Gewässerstruktur aufwerten.....	57
7.4	Längs- und Seitenvernetzung verbessern.....	56
7.5	Diffuse Einträge von Schadstoffen aus landwirtschaftlichen Flächen und Gülleunfälle verhindern.....	57
7.6	Wasserrückhalt und Abflussregime verbessern .....	58
7.7	Leitbild für fischereiliche Bewirtschaftung erstellen.....	58
<b>8</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNG UND EMPFEHLUNGEN .....</b>	<b>59</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURHINWEISE.....</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>VERDANKUNG .....</b>	<b>63</b>

## Zusammenfassung

Die Ron, der Hauptzufluss des Baldeggersees, wurde im Rahmen des gesamtschweizerischen Projekts „Netzwerk Fischrückgang Schweiz“ (Fischnetz) als Wasserlebensraum für Fische untersucht. Zwischen 1999 und 2002 wurden Studien zum Fischbestand, zur Fischgesundheit, zum Überleben von Fischeiern, zur Kieselalgenflora und zu den wirbellosen Kleintieren in der Ron durchgeführt. Die Untersuchungsstellen lagen direkt ober- und unterhalb der Abwasserreinigungsanlagen ARA Hochdorf und ARA Rain.

Die vorliegende Arbeit fasst die Resultate, die in Form von einzelnen Untersuchungsberichten vorliegen, zusammen, um ein ganzheitliches Bild des ökologischen Zustands der Ron zu erhalten.

Die Artengemeinschaft der Kieselalgenflora und der wirbellosen Kleintiere deutet auf eine massive Belastung mit organischen Schmutzstoffen insbesondere durch die ARA Hochdorf hin. Das gereinigte Abwasser aus der ARA Hochdorf wirkte sich auch auf die Fischgesundheit, das Überleben von Bachforelleneiern und die Zusammensetzung der Forellenbestände aus. Durch die Abwässer der ARA Hochdorf wurde die Zusammensetzung der Kieselalgenflora und der wirbellosen Kleintiere ebenfalls deutlich beeinträchtigt.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen war die ARA Hochdorf durch industrielle Abwässer stark überlastet. Die Untersuchungen von chemischen Messgrössen in der Ron bestätigten die schlechte Wasserqualität und zeigten, dass Ammonium, Nitrit und gelöster organischer Kohlenstoff hohe Konzentrationen erreichten, insbesondere unterhalb der überlasteten ARA Hochdorf. Seit dem Jahr 2003 wurde durch den Bau von Abwasservorbehandlungsanlagen bei zwei Industriebetrieben die ARA Hochdorf entlastet.

Weiter wurden aber auch Pflanzenschutzmittel sowie Veterinär- und Humanpharmazeutika direkt in der Ron nachgewiesen.

Die Struktur und Morphologie der Ron ist durch wasserbauliche Eingriffe beeinträchtigt. Die Längs- und Seitenvernetzung ist unterbrochen. Mehrere künstliche Abstürze verhindern die Fischwanderung vom Baldeggersee in den Oberlauf der Ron. Das Abflussregime ist wegen dem geringen Wasserrückhalt im Einzugsgebiet vermindert.

Um die Lebensräume für Pflanzen und Tiere zu verbessern, werden folgende Massnahmen empfohlen:

- Optimierung der Reinigungsleistung der ARA Hochdorf
- Verhindern von Abwassereinleitungen in die Ron durch eine direkte Einleitung der ARA Hochdorf in den Baldeggersee mittels Tiefenwassereinleitung oder in einen grösseren Vorfluter mit besserer Verdünnung der Abwässer
- Aufwerten der Struktur und Vernetzung der Ron durch Revitalisierungen und Verbessern der Aufstiegsmöglichkeiten für Fische, insbesondere für die stark gefährdete Seeforelle
- Verbessern des Abflussregimes im ganzen Einzugsgebiet der Ron und Erhöhung des Wasserrückhaltes
- Sinnvolle Nutzung und Bewirtschaftung der Ron für Sportfischer

# 1 Einleitung

## 1.1 Projektziele

Das gesamtschweizerische Projekt „Netzwerk Fischrückgang Schweiz“ (Fischnetz) untersucht seit 1999 die Ursachen für den Rückgang des Fangertrags von Bachforellen in den schweizerischen Gewässern (Burkhardt-Holm et al., 2002). Im Rahmen dieses Projekts hat der Kanton Luzern verschiedene Teilprojekte zur Abschätzung des Einflusses von Kläranlageneinleitungen auf die Fische und deren Lebensräume durchgeführt. Zwei Teilprojekte befassten sich mit der Ron, dem Hauptzufluss zum Baldeggersee.

Die Titel dieser Teilprojekte lauten:

- 1) *Einfluss der Kläranlageneinleitung der ARA Rain und der ARA Hochdorf auf die Fischbestände und die Entwicklung von Forelleneiern in der Ron (1999)*
- 2) *Untersuchungen zur Fischbiologie und zur Fauna der wirbellosen Kleintiere in der Ron ober- und unterhalb der ARA Hochdorf (2002)*

Im Laufe dieser beiden Teilprojekte wurden verschiedene gewässerökologische Untersuchungen vorgenommen. Die vorliegende Arbeit stellt die Resultate dieser Untersuchungen zusammen. Das Ziel dieser Synthese ist es, den ökologischen Zustand der Ron ober- und unterhalb der Einleitungen der ARA Hochdorf sowie der ARA Rain zu erfassen und daraus Massnahmen zur Verbesserung der Wasserlebensräume vorzuschlagen.

## 1.2 Einführung

Abflussregime, Struktur und Vernetzung sowie die Wasserqualität beeinflussen den Lebensraum von Fliessgewässern. Durch Gewässerverunreinigungen und wasserbauliche Einriffe werden die Wasserlebensräume stark beeinträchtigt. Solche Beeinträchtigungen der Gewässer können direkt erfasst werden, zum Beispiel durch physikalische und chemische Untersuchungen. Diese Untersuchungen geben aber nur beschränkt Auskunft über den Zustand der Lebensgemeinschaften.

Um die Beeinträchtigung eines Wasserlebensraums zu beurteilen, sind Bioindikatoren geeignet. Beispielsweise können in einem Gewässer die Artengemeinschaften der Kieselalgenflora, der wirbellosen Kleintiere oder der Fische erhoben werden. Basierend auf solchen Erhebungen kann der Zustand des Ökosystems erfasst und bewertet werden.

Neben dem Erfassen von Bioindikatoren können aber auch Biotests durchgeführt werden um bestimmte Fragestellungen weiter abzuklären. Mit dem Aussetzen von Fischeiern können beispielsweise Beeinträchtigungen der Fortpflanzung in einem Gewässer nachgewiesen werden.

Tabelle 1 listet alle Erhebungen und Untersuchungen auf, die seit 1985 an der Ron durchgeführt wurden.

Bei diesen Erhebungen handelt es sich um Untersuchungen bezüglich:

- Qualität und Struktur der Wasserlebensräume,
- der Wasserqualität,
- des biologischen Zustandes mit Hilfe von Bioindikatoren,
- Biotests mit Forelleneiern sowie
- Bestimmung der hormonellen Aktivität mittels Vitellogenin.

Tabelle 1: Untersuchungen der Ron. Die Erhebung von Bioindikatoren und die Durchführung von Biotests konzentrierten sich auf Untersuchungsstellen ober- und unterhalb der Abwassereinleitungen der ARA Hochdorf und der ARA Rain.

<b>Untersuchungen</b>	<b>Untersuchungsjahre</b>	<b>Autoren</b>
<b><u>Lebensraum</u></b>		
Hydrologie	1991-2002	AfU (1991-2002)
Temperatur	1985-2003	AfU (1985-2003)
Ökomorphologie, Durchgängigkeit	2001	Rappo (2001)
<b><u>Wasserchemie</u></b>		
Nährstoffe und Düngestoffe (langjährige Untersuchungen)	1985-2001	Herzog (2003)
Nährstoffe und Düngestoffe (Online-Messung)	1995-1996	AfU (1995-1996)
Pflanzenschutzmittel (Einzelmessungen)	2002	Poiger (2002)
Pharmazeutika (Einzelmessungen)	2000	Nipales et al. (2000)
Östrogene Aktivität in Kläranlagen	2000	Schlumpf et al. (2000)
Reinigungsleistung der ARA Hochdorf (ARA Überwachungsbericht 1993-2003)	1993-2002	AfU (1993-2003)
Reinigungsleistung der ARA Rain (ARA Überwachungsbericht 1999/2000)	1999/2000	AfU (1999-2000)
<b><u>Bioindikatoren (Biologie)</u></b>		
Artengemeinschaft der Kieselalgen <sup>a</sup>	2002	AquaPlus (2002)
Artengemeinschaft der wirbellosen Kleintiere <sup>a</sup>	2002	Breitenstein und Kirchofer (2002)
Die proliferative Nierenkrankheit (PKD) bei Bachforellen <sup>a</sup>	1999 & 2001	Escher (2001a, 2003)
Patho-histologische Organschäden in Forellen <sup>a</sup>	1999 & 2001	Escher (2001a, 2003)
Vitellogenin in Forellen <sup>a</sup>	1999 & 2001	Dietrich (2002), Fent & Meylan (2000)
Fischbestand <sup>a</sup>	1999 & 2001	Escher (2001a), Escher (2002)
<b><u>Biotest (Biologie)</u></b>		
Aussetzen von Forelleneiern <sup>a</sup>	1999 & 2001	Escher (2001a, 2003)

<sup>a</sup> diese Untersuchungen wurden im Rahmen des Fischnetz-Projektes durchgeführt

## 1.3 Hydrographie

### 1.3.1 Landnutzung und Hydrologie

Das Einzugsgebiet der Ron umfasst 28.4 km<sup>2</sup>. Von dieser Fläche werden 83% landwirtschaftlich genutzt, 13% wird von Wald bedeckt und 4% sind Siedlungsflächen. Charakteristisch für das Einzugsgebiet der Ron ist eine intensive Landwirtschaft mit hohen Tierbeständen und eine Überdüngung der Böden. Die landwirtschaftlich intensiv genutzten Böden sind verdichtet und erosionsgefährdet. Herzog (1999) weist darauf hin, dass der an Partikel gebundene Phosphor in den Zuflüssen deutlich zugenommen hat. Das Abflussregime der Ron hat sich in den letzten 100 Jahren verändert.

Mit einer Höhenlage von 460 bis 750 m ist das Abflussregime der Ron gemäss des Hydrologischen Atlas der Schweiz als „pluvial inférieure“ zu bezeichnen (Landeshydrologie und -geologie, 1992). Durchschnittlich stammten im Zeitraum von 1995 bis 1999 50% der Abflussmengen direkt aus Niederschlägen (Herzog, 1999). Weitere hydrologische Kenngrössen der Ron können der Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Hydrologische Kenngrössen der Ron und ihres Einzugsgebiets.

Länge der Ron (Hauptarm)	14.4 km
Länge des Fliessgewässernetzes im Einzugsgebiet der Ron	57.1 km
Einzugsgebietsfläche gesamt	28.4 km <sup>2</sup>
Einzugsgebietsfläche bis Messstelle Hochdorf	27.8 km <sup>2</sup>
Einwohnerdichte im Einzugsgebiet (1994)	374 Einwohner/km <sup>2</sup>
Höhenlage des Einzugsgebiets	750 bis 463 m.ü.M.
Mittlere Abflussmenge bei Hochdorf (1986-1999)	0.58 m <sup>3</sup> /s
Q <sub>347</sub> (1986-1999)	0.13 m <sup>3</sup> /s
Maximale Abflussmenge (19. Mai 1994)	27.0 m <sup>3</sup> /s
Minimale Abflussmenge (17. Juli und 1. bis 4. August 1998)	0.026 m <sup>3</sup> /s
Anteil am gesamten Seezufluss des Baldeggersees (1991-1994)	44.2%



Abbildung 1 zeigt die Abflussmengen der Ron in den Jahren 1992 bis 2001. Der minimal gemessene Abfluss in dieser Zeitspanne war  $0.026 \text{ m}^3/\text{s}$ . Daraus wird ersichtlich, dass die Abwässer aus der ARA Hochdorf ( $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und der ARA Rain ( $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ ) bei Niederwasser ( $Q_{347}$ ) einen grossen Anteil ausmachen. Der Maximalabfluss in der Ron wurde im Mai 1994 gemessen und war mit  $27 \text{ m}^3/\text{s}$  mehr als tausend mal grösser als der minimale Abfluss.

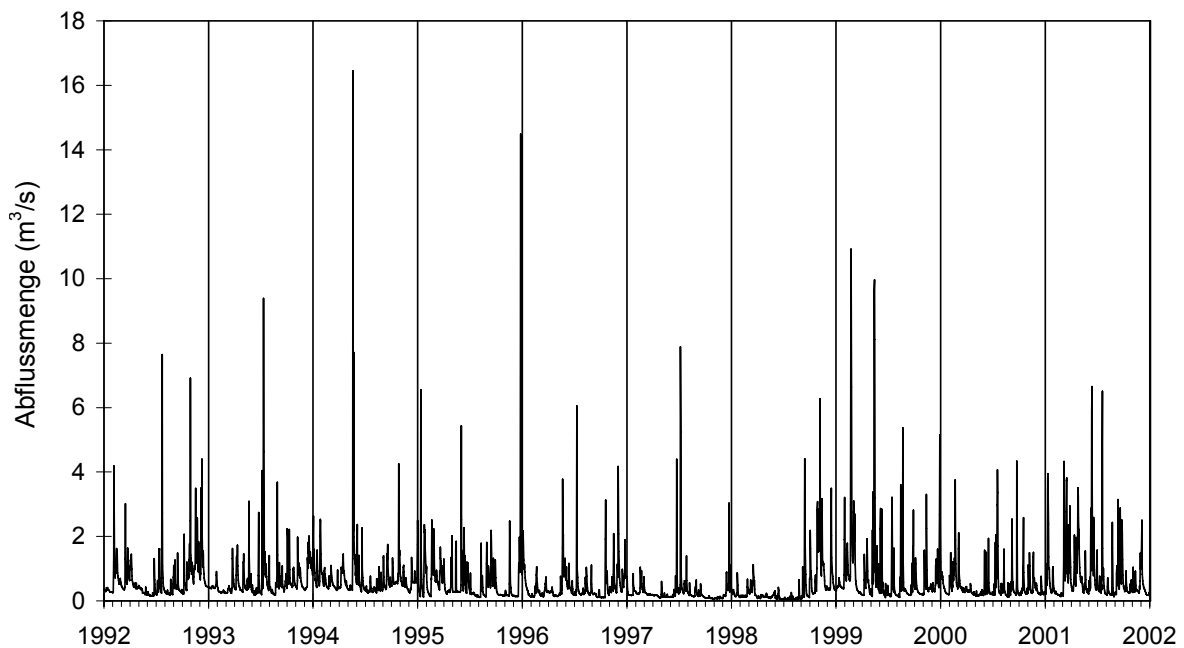


Abbildung 1: Tagesmittelwerte der Abflussmengen in der Ron bei Hochdorf zwischen 1992 und 2001.

### 1.3.2 Temperatur

Abbildung 2 stellt den Temperaturverlauf in der Ron in den Jahren 1985 bis 2003 dar. Die Temperaturen sind stark jahreszeitlich beeinflusst und bewegen sich zwischen  $1^\circ$  und  $22^\circ\text{C}$ . Im Verlauf der letzten 19 Jahre kann ein Anstieg der mittleren Temperatur von rund  $2^\circ\text{C}$  festgestellt werden. Temperaturen über  $15^\circ\text{C}$  werden häufiger überschritten. Zudem ist der Zeitraum, in welchem die  $15^\circ\text{C}$  Werte überschritten werden, länger. Ein Temperaturanstieg kann eine negative Wirkung auf Überleben und Gesundheit der Fische haben (Küttel et al., 2002; Hendrick et al., 1993).

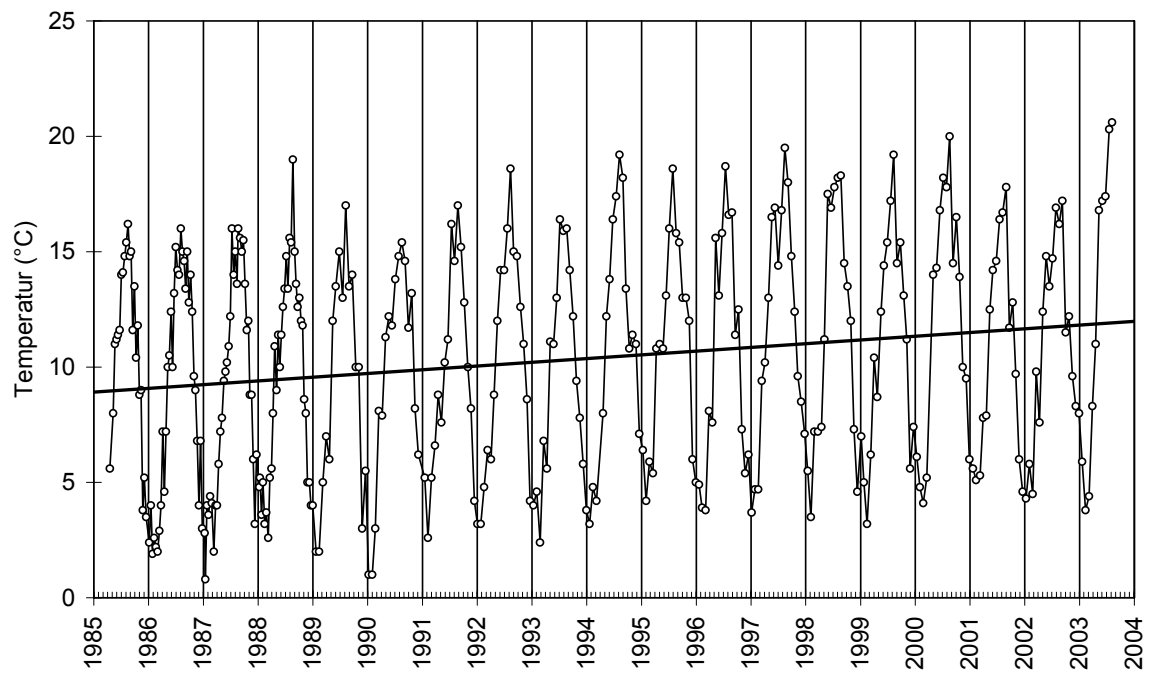


Abbildung 2: Temperatur der Ron bei Hochdorf oberhalb der ARA Einleitung von 1985 bis 2003 in Grad Celsius (°C). Messungen wurden alle 22 Tage vorgenommen. Die Trendlinie zeigt einen Anstieg der mittleren Jahrestemperatur.

## 1.4 Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigungsanlagen

Bereits ab 1910 konnte als Hauptursache für die Überdüngung des Baldeggersees die hohe Belastung mit ungeklärtem Abwasser aus Siedlungen und Industrie eruiert werden. Mit zunehmender Besiedlung und Nutzung des Einzugsgebiets nahm die Belastung mit Abwasser weiter zu. Deshalb wurde im Jahr 1967 die ARA Hochdorf und im Jahr 1975 die ARA Rain in Betrieb genommen. Die ARA Rain wurde Mitte 2000 aufgehoben. Dimensionierungs- und Betriebsdaten der beiden Kläranlagen können der Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Betriebsdaten der ARA Hochdorf und der ARA Rain aus den ARA Überwachungsberichten, 1999.

	<b>ARA Hochdorf</b>	<b>ARA Rain*</b>
<b>Betriebszeit</b>	seit 1967	1975 – 2000
<b>System</b>	Belebtschlamm	Tropfkörper
<b>Minimale Abwasserverdünnung im Vorfluter (geschätzt)</b>	1:1	1:2
<b><u>Dimensionierungsdaten (Kapazität):</u></b>		
hydraulische Einwohnergleichwerte	20'000	1'400
Tageswassermenge (m <sup>3</sup> /Tag)	10'000	561
biologische Einwohnergleichwerte	22000	1'960
Biochemischer Sauerstoffbedarf (kg/Tag)	1100	98
<b><u>Reinigungsstufen:</u></b>		
P-Fällung	Ja	Ja
Filtration	Ja	Nein
Nitrifikation	Nein	Nein
Denitrifikation	Nein	Nein
<i>Spez. Abwassermenge</i> (m <sup>3</sup> /biologischer Einwohnergleichwert und Jahr)	92	225

Aufgrund der starken Phosphorbelastung des Baldeggersees war es ein wichtiges Ziel, den Phosphor aus dem Abwasser zu entfernen. So konnten beispielsweise 1999 die ARA Rain wie auch die ARA Hochdorf über 90% vom gesamten Phosphor aus dem Abwasser entfernen (ARA-Überwachungsbericht 1999). Der Phosphoreintrag aus Abwässern in den Baldeggersee wurde so entscheidend reduziert (Herzog, 1999).

Andererseits aber nahmen seit dem Bau der ARA Hochdorf die Abwasserfrachten kontinuierlich zu, bis die dimensionierten Kapazitätsgrenzen der ARA überschritten wurden. 1980 brachte die Inbetriebnahme einer Flockungsfiltration bei der ARA Hochdorf eine wesentliche Entlastung (Boller et al., 1981). In den folgenden 20 Jahren aber nahmen die Abwasserfrachten wieder zu. Mitte der 1990er Jahre überschritten die Abwasserfrachten deutlich die Kapazität der ARA Hochdorf. In Abbildung 3 ist die Ammonium - Konzentration im Auslauf der ARA Hochdorf dargestellt. Von 1995 bis 2002 konnte der Grenzwert für die Einleitung von Abwässern gemäss der Gewässerschutzverordnung (GSchV, 1998) von 2 mg NH<sub>4</sub>-N/l nicht eingehalten werden.

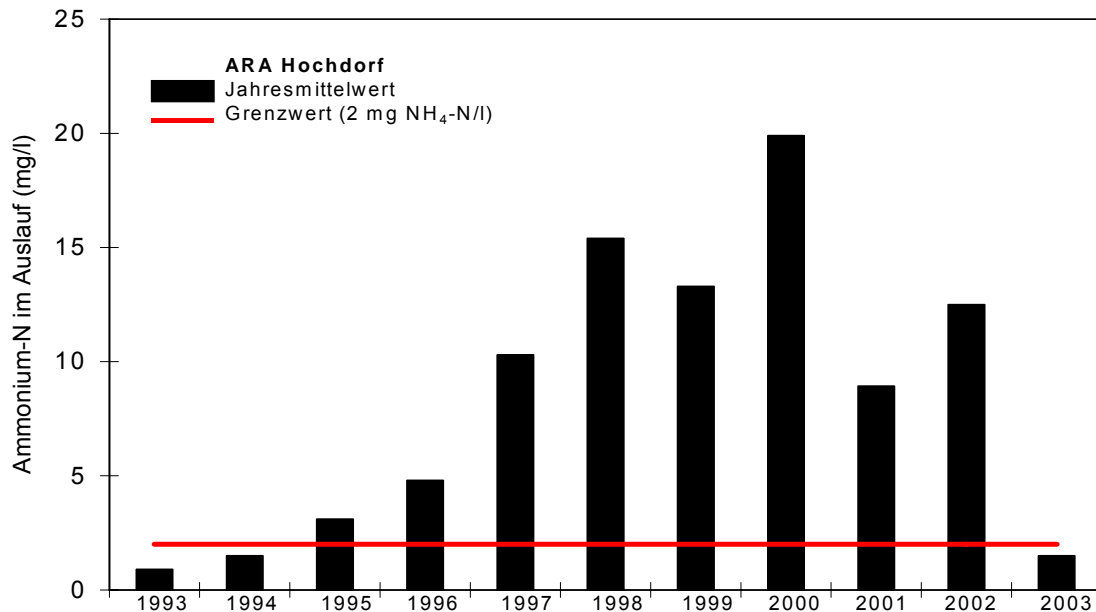


Abbildung 3: Jahresmittelwerte von Ammonium im Auslauf der ARA Hochdorf (Überwachungsbericht, 1993-2002). Die Rote Linie zeigt den Grenzwert der Gewässerschutzverordnung (GSchV, 1998) für Ammonium von 2 mg NH<sub>4</sub>-N pro Liter auf.

Die zunehmende Belastung/Überlastung der ARA Hochdorf wurde hauptsächlich durch den Produktionszuwachs in der Milch- und Getränkeverarbeitungsindustrie verursacht. Bis 2002 brachte die Industrie rund die Hälfte der gesamten Abwasserfrachten.

Seit dem Jahr 2003 werden die Abwässer der bedeutendsten Industriebetriebe mit einer eigenen Kläranlage behandelt und danach an gleicher Stelle wie die gereinigten Abwässer der ARA Hochdorf direkt in die Ron eingeleitet. Die Abwasserfrachten in die ARA Hochdorf konnten auf diese Weise stark reduziert werden. Dadurch funktioniert die Nitrifikation wieder. Entsprechend verringerten sich auch die Ammonium - Konzentrationen im Auslauf der ARA Hochdorf.

Tabelle 4 zeigt Mittelwerte verschiedener Parameter im Einlauf und Auslauf der ARA Hochdorf und ARA Rain im Jahr 1999. Im Auslauf der ARA Hochdorf wurden die gesetzlichen Grenzwerte für Ammonium, Nitrit und gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) überschritten.

Im Auslauf der ARA Rain wurde für Ammonium eine Überschreitung des gesetzlichen Grenzwertes festgestellt, Nitrit und gelöster organischer Kohlenstoff wurden nicht gemessen.

Aufgrund der geringen Wasserführung der Ron und der damit verbundenen schlechten Verdünnung des Abwassers verursachte die ARA Rain eine Verschlechterung der

Wasserqualität. Aus diesem Grund wurde die ARA Rain Mitte 2000 aufgehoben. Die Abwässer der ARA Rain werden heute in die ARA Eschenbach-Inwil geleitet, die im Einzugsgebiet der Reuss liegt. Heute gelangen Abwässer nur noch über Regenentlastungen in die Ron, ansonsten finden sich bis zur ARA Hochdorf keine Einleitungen aus Kläranlagen.

Tabelle 4: Chemische Überwachung des Zu- und Abflusses der ARA Hochdorf und ARA Rain. Für das Jahr 1999 sind die Abwasserfrachten und die Mittelwerte der gemessenen Konzentrationen gemäss ARA Überwachungsberichte (1999) angegeben.

		ARA Hochdorf 1999			ARA Rain 1999		
		Zufluss	Abfluss	Abbau	Zufluss	Abfluss	Abbau
<b>Abwasserfrachten</b>							
Mittlere Tageswassermenge	(m <sup>3</sup> /Tag)	6'930			870		
hydraulischer Einwohnergleichwert		24'090			1'430		
Biochemischer Sauerstoffbedarf	(kg/Tag)	1'204	53		72	6	
<b>Parameter</b>							
Biochemischer Sauerstoffbedarf	(mg BSB <sub>5</sub> /l)	172	7.3	96%	75	5.8	92%
Kaliumpermanganatverbrauch	(mg KMnO <sub>4</sub> /l)	406	67	83%	253	42	83%
Chemischer Sauerstoffbedarf	(mg CSB/l)	339	40	88%	168	25	85%
Gelöster Organischer Kohlenstoff	(mg DOC/l)	48.8	<b>11.3<sup>a</sup></b>		n.g. <sup>b</sup>	n.g.	
Total organischer Kohlenstoff	(mg TOC/l)	118.8	16.5		n.g.	n.g.	
Nitrit - Stickstoff	(mg NO <sub>2</sub> -N/l)	1.58	<b>0.38<sup>a</sup></b>		n.g.	n.g.	
Nitrat - Stickstoff	(mg NO <sub>3</sub> -N/l)	1.76	3.61		n.g.	n.g.	
Ammonium - Stickstoff	(mg NH <sub>4</sub> -N/l)	20.1	<b>13.3<sup>a</sup></b>	34%	11.0	<b>2.03<sup>a</sup></b>	82%
Gesamt - Stickstoff	(mg Ges-N/l)	32.8	19.7		n.g.	n.g.	
Gesamt - Phosphor	(mg Ges-P/l)	4.30	0.25	94%	4.06	0.35	91%
Adsorbierbare organische Halogenverbindungen	(mg AOX/l)	-	0.02		n.g.	n.g.	
Gesamte ungelöste Stoffe	(mg TSS/l)	-	9.1		-	11.0	
Chloride	(mg Cl/l)	140	134		n.g.	n.g.	

<sup>a</sup> Konzentrationen überschreiten die Grenzwerte der GSchV (1998) für den Abfluss von Kläranlagen:

10 mg/l DOC, 0.3 mg NO<sub>3</sub>-N/l, 2 mg NH<sub>4</sub>-N/l

<sup>b</sup> n.g. = nicht gemessen

## 1.5 Fischereiliche Bewirtschaftung und Fischsterben

Die Ron ist in zwei Pachtstrecken unterteilt und wird von Sportfischern fischereilich genutzt (Abbildung 5). Die Pachtstrecke im Unterlauf (3.2 km, 1.3 ha) reicht von der Mündung bis zur Brücke bei Ligschwil. In dieser Strecke werden neben Bachforellen auch andere Fischarten gefangen. Für die Jahre 2000 und 2001 waren dies beispielsweise: Alet (6.8 kg/ha bzw. 9.5 kg/ha), Egli (2.1 kg/ha bzw. 2.3 kg/ha), Hasel (1.4 kg/ha bzw. 0.9 kg/ha) und andere (3.3 kg/ha bzw. 3.8 kg/ha).

In der Pachtstrecke im Oberlauf (9.8 km, 3.2 ha), die bis ins Quellgebiet der Ron in Hildisrieden reicht, werden nur Bachforellen gefangen.

Die Fangerträge an Bachforellen der letzten 40 Jahre sind in der Abbildung 4 dargestellt. Die durchschnittlichen Erträge waren im Unterlauf mit 12.1 kg/ha grösser als im Oberlauf mit 7.3 kg/ha.

Die Schwankungen der Fangerträge waren in beiden Pachtstrecken gross. Im Unterlauf zeigten die Jahre zwischen 1967 und 1975 überdurchschnittliche Fangerträge. Dieser Zeitraum deckte sich mit der Inbetriebnahme der ARA Hochdorf im Jahr 1967. Seit der Inbetriebnahme der ARA Rain 1975 sind die Fangerträge geringer. Die Fangstatistik lässt vermuten, dass der Betrieb der ARA Hochdorf und ARA Rain den Forellenertrag in beiden Pachtstrecken der Ron beeinflusst haben. Da aber über diesen Zeitraum genaue Besatzzahlen fehlen, muss dieses Resultat mit Vorsicht interpretiert werden.

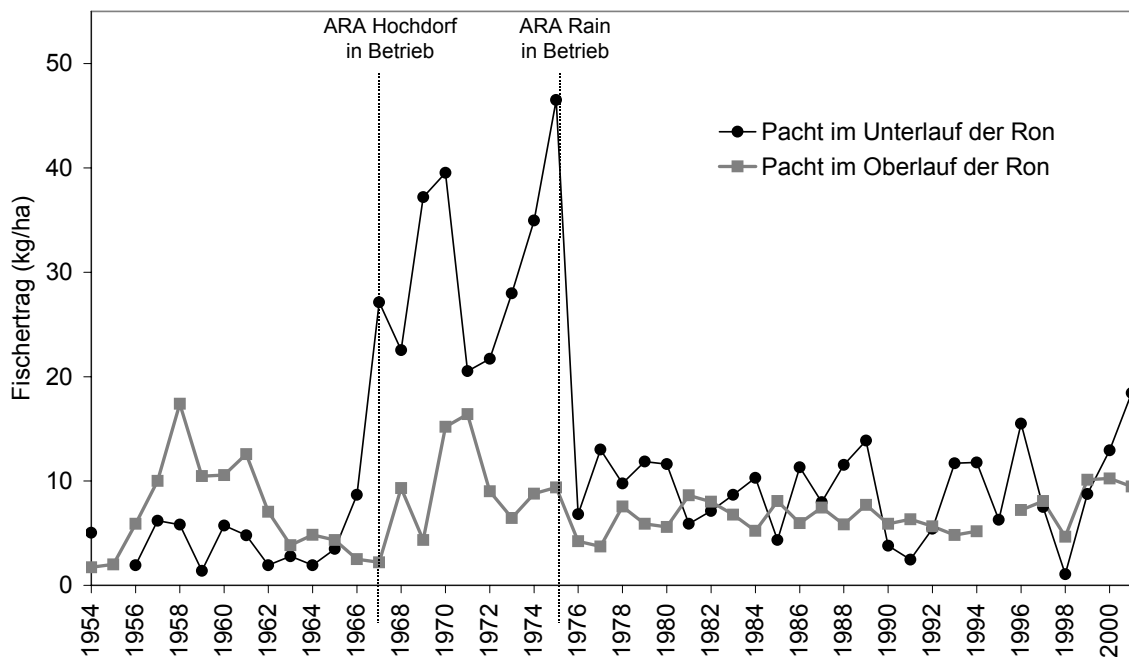


Abbildung 4: Forellen-Fangstatistik zwischen 1954 und 2001 der beiden Pachtstrecken in der Ron.

Senkrechte Linien zeigen den Zeitpunkt der Inbetriebnahme der ARA Hochdorf (1967) und der ARA Rain (1975).

Seit über 50 Jahren werden regelmässig Bachforellen-Brütlinge eingesetzt, um die Bachforellenpopulation in der Ron zu unterstützen (persönliche Mitteilung Philipp Amrein, 2003). Daneben werden aber auch Sömmerlinge, Jährlinge und zum Teil fangfähige Bachforellen von mehr als 22 cm Länge eingesetzt.

Tabelle 5 zeigt die Besatzmengen und die Fangerträge für die Jahre 2000 und 2001. Der Vergleich von Besatzaufwand mit Fischertrag zeigt, dass die eingesetzte Menge Bachforellen in beiden Pachtstrecken relativ zur gefangenen Menge hoch war. Man muss davon ausgehen, dass ein Grossteil der gefangenen Bachforellen bereits in fangfähiger Grösse eingesetzt wurden.

Tabelle 5: Fangertrag und Besatz von Bachforellen in den Jahren 2000 und 2001 in den beiden Pachtstrecke der Ron.

	Jahr	Besatz		Fangertrag
		(Anzahl Jährlinge/ ha)	(kg Fangfähige / ha)	(kg / ha)
<b>Pacht im Unterlauf</b>	2000	155	15.5	12.9
	2001	194	19.4	18.5
<b>Pacht im Oberlauf</b>	2000	-	7.8	10.3
	2001	-	9.3	9.5

In den letzten 20 Jahren ereigneten sich in der Ron 18 dokumentierte Fischsterben, wobei eine Anhäufung der Fischsterben unterhalb der ARA Rain festzustellen war (Abbildung 5). Ursachen waren Jauche, eingeleitete Abwässer aus der ARA Rain, Baustellen- und Industrieabwässer. Bei zwei Drittel der Fälle war die genaue Ursache unbekannt. Durch Initial-Besatz von Bachforellen aller Altersklassen wurden die Forellenbestände in der Ron jeweils nach Fischsterben wieder aufgebaut.

In der Zeit vor 1980 fand 1955 ein grösseres Fischsterben im Unterlauf statt, während im Oberlauf 1966, 1969 und 1975 drei grössere Fischsterben beobachtet wurden.

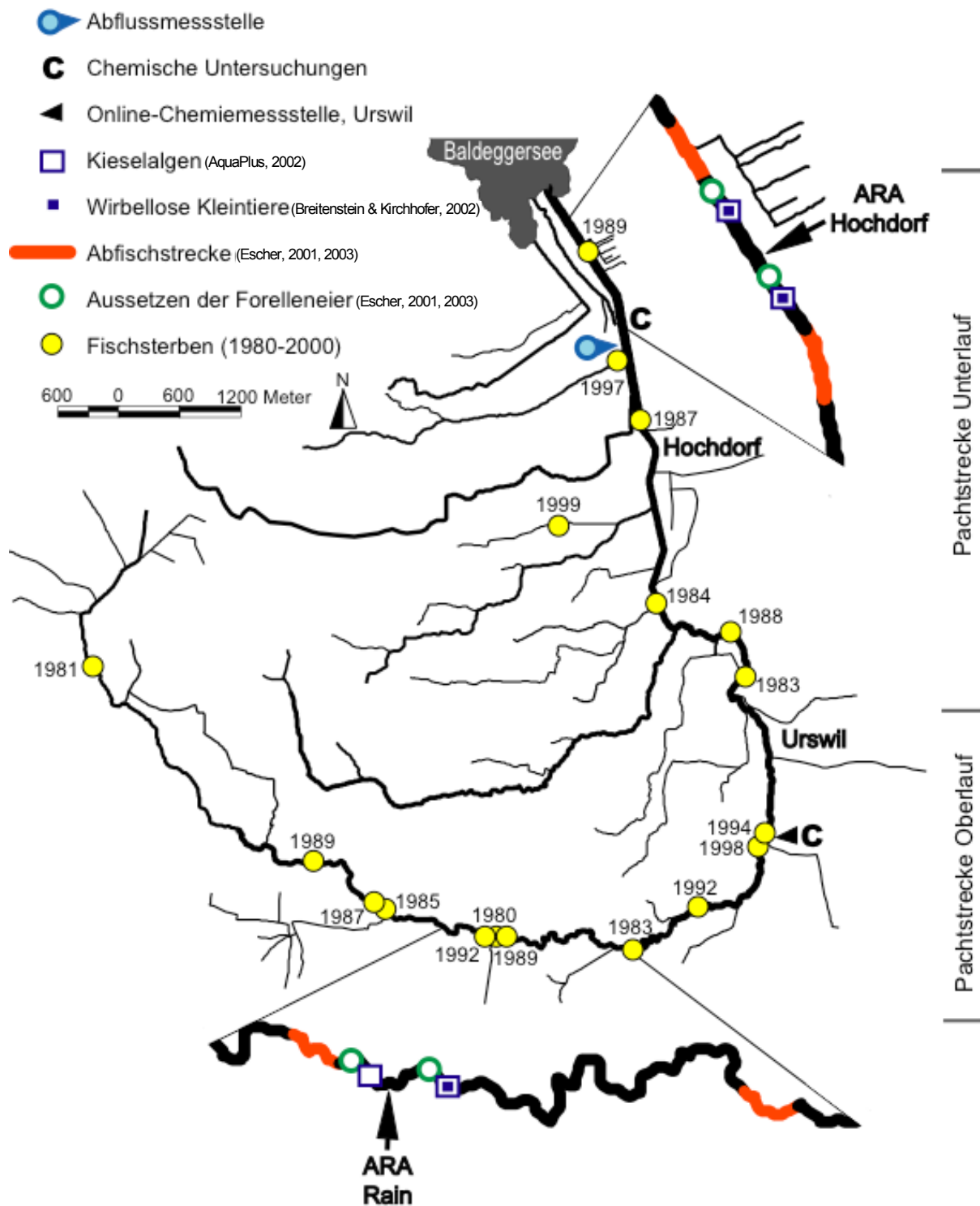


Abbildung 5: Position der hydrologischen und chemischen Mess-Stationen in der Ron. Abfischstrecken und Stellen der Ei-Expositionen, der Untersuchung von Kieselalgen sowie der wirbellosen Kleintiere sind angegeben. Die Karte zeigt auch die zwei Pachtstrecken und die Fischsterben zwischen 1980 und 2000.



## 2 Übersicht über die Untersuchungsstellen der Ron

Abbildung 5 bietet eine Übersicht der Untersuchungs- und Messstellen in der Ron. Messstellen der Wasserchemie liegen bei Urswil und weiter flussabwärts in Hochdorf oberhalb der Einleitung der ARA Hochdorf. Etwas weiter oberhalb dieser chemischen Untersuchungsstelle in Hochdorf befindet sich die einzige Abflussmessstelle der Ron.

Die Erhebung verschiedener Bioindikatoren und die Durchführung eines Biotests konzentrierte sich auf vier Untersuchungsstellen, welche jeweils ober- und unterhalb der ARA Rain sowie der ARA Hochdorf lagen. Tabelle 6 bietet dazu eine Übersicht.

Tabelle 6: Untersuchungsstellen in der Ron bei der ARA Hochdorf und bei der ARA Rain.

	Datum der Untersuchung	ARA Rain		ARA Hochdorf	
		ober- halb	unter- halb	ober- halb	unter- halb
<b><u>Bioindikatoren</u></b>					
Kieselalgenflora	März 2002	ja	ja*	ja	ja
Wirbellose Kleintiere	April 2002	ja	nein	ja	ja
	Oktober 2002	ja	nein	ja	ja
Fischbestand	September 1999	ja	ja	ja	ja
	September 2001	nein	nein	ja	ja
Fischgesundheit der Bachforellen	September 1999	nein	nein	ja	ja
	September 2001	nein	nein	ja	ja
Vitellogenin-Untersuchung	September 1999	ja	ja	ja	ja
	September 2001	nein	nein	ja	ja
<b><u>Biotest</u></b>					
Überleben von Bachforelleneiern	Januar 2000	ja	ja	ja	ja
	Januar 2001	nein	nein	ja	ja

\* Zum Untersuchungszeitpunkt war die ARA Rain bereits nicht mehr in Betrieb

Abbildungen 6 bis 9 zeigen die vier Untersuchungsstellen jeweils ober- und unterhalb der Abwassereinleitung der ARA Rain und der ARA Hochdorf.



Abbildung 6: Untersuchungsstelle oberhalb der ARA Rain.



Abbildung 7: Untersuchungsstelle unterhalb der ARA Rain.



Abbildung 8: Untersuchungsstelle oberhalb der ARA Hochdorf.



Abbildung 9: Untersuchungsstelle unterhalb der ARA Hochdorf.

## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Ökomorphologie, Längs- und Seitenvernetzung**

Im Jahr 2001 erhob das AfU die Strukturgüte und den Verbaunungsgrad der Ron (Rappo, 2001). Für diese Untersuchung wurde die BUWAL-Methode zur flächendeckenden Erhebung (Stufe F) der Ökomorphologie von Fliessgewässern angewendet (BUWAL, 1998). Aufgrund von fünf Hauptmerkmalen (Mittlere Sohlenbreite, Wasserspiegelbreitenvariabilität, Verbauung der Sohle, Verbauung des Böschungsfusses, Breite und Beschaffenheit des Uferbereichs) wurde die Ron abschnittsweise bewertet. Zur Gesamtbewertung wurden fünf ökomorphologische Zustandsklassen unterschieden: natürlich, wenig beeinträchtigt, stark beeinträchtigt, künstlich und eingedolt. Die Datenverarbeitung und Darstellung im GIS (**G**eographisches **I**nformations-**S**ystem) erfolgte nach der Anleitung des AfU (2001).

Neben der Ökomorphologie wurde auch die Höhe von natürlichen und künstlichen Abstürzen (Schwellen und Sohlenstufen) in der Ron festgehalten. Die Seitenvernetzung wurde ermittelt, indem der Mündungsbereich von Seitenbächen bezüglich der Höhe von Abstürzen sowie Eindolungen bewertet wurde.

### **3.2 Chemische Untersuchungen**

Seit 1985 werden in der Ron bei Hochdorf (siehe Abbildung 5) regelmässig alle 22 Tage eine 24 Stunden-Sammelprobe entnommen.

Zusätzlich wurden im Oktober 2001, im Januar 2002 und im Februar 2002 Wasserproben ober- und unterhalb der Abwassereinleitung der ARA Hochdorf entnommen und analysiert. Die chemischen Analysen wurden vom Kantonalen Laboratorium Luzern durchgeführt. Gemessen wurden die Konzentrationen an Orthophosphat, gelöstem Phosphor, Gesamt-Phosphor, Ammonium, Nitrit, Chlorid, Sulfat und gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC).

Zwischen Mai 1995 und Juni 1996 wurden bei Urswil (siehe Abbildung 5) mit einem Online-Messgerät die Konzentrationen von Phosphat, Nitrit und Ammonium im Stundenintervall gemessen. Diese Untersuchung erfolgte mit einem fest installierten „Flow Injection Analyzer“ (FIA) durch das Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern.

### 3.3 Kieselalgenflora

Im März 2002 hat AquaPlus (2002) die Kieselalgenflora ober- und unterhalb der Abwassereinleitung Hochdorf untersucht. Zwei weitere Untersuchungsstellen befanden sich ober- und unterhalb der ehemaligen ARA Rain, die zu diesem Zeitpunkt bereits seit etwas mehr als 18 Monaten nicht mehr in Betrieb war.

Pro Untersuchungsstelle wurde an fünf Steinen aus der Ron eine gleich grosse Aufwuchsfläche von 9.6 cm<sup>2</sup> abkratzt, in einem Gefäss aufgefangen und mit Formaldehyd fixiert (Abbildung 10). Die gesammelten Kieselalgen wurden mit dem Mikroskop bis auf das Arten-Niveau bestimmt und ausgezählt. Aufgrund der Zählresultate erfolgte die Berechnung der relativen Häufigkeit der unterschiedlichen Arten.

Diese Häufigkeitsverteilung war die Grundlage für die biologische Bewertung. Bestimmte Arten wurden Differenzialgruppen zugeordnet, die charakteristisch für unterschiedliche Wasserqualitäten sind und so als biologische Indikatoren verwendet werden können (Differenzialarten-System). Zur Beurteilung der biologisch induzierten Qualität wurde der schweizerische Index DI-CH gemäss BUWAL (2002) bestimmt.



Abbildung 10: Abkratzen zur Untersuchung der Kieselalgenflora an Steinen aus der Untersuchungsstrecke oberhalb der ARA Hochdorf.

### 3.4 Wirbellose Kleintiere

Das Büro „WFN - Wasser Fisch Natur“ hat am 22. April und am 2. Oktober 2002 die wirbellosen Kleintiere der Ron untersucht (Breitenstein & Kirchhofer, 2002). Die drei Untersuchungsstellen befanden sich ober- und unterhalb der Abwassereinleitung ARA Hochdorf und oberhalb der ARA Rain (siehe Abbildung 11).

Mit einem Surbersampler (Grundfläche 20 x 25 cm), der in der Abbildung 11 dargestellt ist, wurden pro Untersuchungsort jeweils vier Einzelproben entnommen. Alle Tiere wurden in Alkohol konserviert und anschliessend mindestens bis auf das Familien-Niveau, in der Regel aber bis auf die Art, bestimmt und ausgezählt. Aus diesen Daten wurde die Anzahl Individuen pro Quadratmeter berechnet. Die Beurteilung der wirbellosen Kleintiere erfolgte nach dem:

- Saprobienindex (Schmedtje & Kohmann, 1992)
- Modulstufen-Konzept F (BUWAL, 2003b)
- Makroindex (Perret, 1977)



Abbildung 11: Surbersampler zum Fangen wirbelloser Kleintiere aus der Ron.

### 3.5 Fischbestand und Gesundheitszustand der Bachforellen

Escher (2001a, 2003) hat die Fischgesundheit und den Fischbestand in der Ron untersucht. Die Abfischungsstrecken waren 100 Meter lang und lagen jeweils ober- und unterhalb der ARA Rain sowie der ARA Hochdorf. Die Strecken wurden elektrisch mit 2 bis 3 Durchgängen quantitativ abgefischt und das obere Strecken-Ende war mit einem Netz abgesperrt (Abbildung 12). Die Strecken bei Rain wurden nur am 30. September 1999 abgefischt. Die Strecken bei Hochdorf zweimal, am 30. September 1999 und am 28. September 2001. Alle gefangenen Tiere wurden narkotisiert, auf den Millimeter genau vermessen und auf fünf Gramm genau gewogen. Gleichzeitig wurde auch die Fischart bestimmt.

Art, Anzahl und Gewicht der gefangenen Fische wurde auf eine Hektar Wasserfläche hochgerechnet. Die Artenzusammensetzung der Fische in den Strecken wurde mit dem Diversitätsindex nach Shannon & Weaver (1948) bewertet.

Zur Untersuchung der Fischgesundheit wurden Bachforellen aus den Abfischungen zurückbehalten. Bei diesen Tieren wurden Kiemen, Leber und Nieren entnommen und in 4-prozentiger Formalinlösung fixiert. Die Organ-Proben wurden histologisch unter dem Lichtmikroskop auf das Vorhandensein von Gewebeschäden untersucht. Die Bewertung erfolgte nach einer standardisierten Methode gemäss Bernet et al. (1999).



Abbildung 12: Elektrische Abfischung in der Ron bei Hochdorf.

### 3.6 Vitellogenin-Bestimmung

Vitellogenin (Vtg) ist ein Dotterprotein, das in weiblichen Fischen für die Eireifung wichtig ist. In männlichen Fischen hingegen wird Vtg normalerweise nicht produziert. Durch östrogen wirkende Substanzen im Wasser kann aber auch in männlichen Fischen die Vtg - Produktion ausgelöst werden. Auf diese Weise kann der Nachweis von Vitellogenin in Forellenmännchen auf eine Gewässerverschmutzung mit östrogen wirkenden Substanzen hinweisen.

Bei männlichen Bachforellen aus den Abfischungen 1999 und 2001 ober- und unterhalb der ARA Rain sowie der ARA Hochdorf wurde Blut entnommen (Abbildung 13). Um eine Blutgerinnung zu verhindern wurden dazu Lithiumheparin - Spritzen (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland) benutzt. Durch Zentrifugieren (1000 g, 4° C, 15 min) konnte das Blutplasma abgetrennt werden. Bis zur weiteren Bearbeitung wurde es bei -80° C gelagert.



Abbildung 13: Blutentnahme bei einer männlichen Bachforelle aus der Ron.

Die Bestimmung von Vitellogenin (Vtg) in den Blutproben, die im Jahr 1999 gesammelt wurden, erfolgte durch Fent & Meylan (2000). Mit Hilfe eines denaturierenden Polyacrylamidgels wurden Proteine (120 µg, entspricht ungefähr 3 µl Blut) im Blutplasma nach Grösse aufgetrennt und auf einen inerten Träger transferiert (Western Blots). Die Western Blots wurden dann mit einem kommerziell erhältlichen monoklonalen Antikörper in 2000 - fache Verdünnung inkubiert. Die Nachweisgrenze für Vtg lag bei 1.5 µg Vitellogenin pro ml Blutplasma.



Die Vtg - Messung in Blutproben des Jahres 2001 wurde von Prof. Dr. D. Dietrich, Universität Konstanz (2002), durchgeführt. Die Proben wurden für einen linearen Arbeitsbereich (0.15 - 6 µg Vtg/ml) vorverdünnt. Auf diese Weise konnten drei bis fünf unterschiedliche Konzentrationsbereiche pro Individuum abgedeckt und gemessen werden. Für die Messung wurde ein quantitatives Regenbogenforellen - Vitellogenin ELISA Kit (Art.-Nr.:V01004401, Biosense, Bergen, Norwegen) benutzt. Die Analysemethoden wurden nach den Herstellerbeschreibungen durchgeführt. Die Plasmaproben wurden im Blindversuch gemessen und analysiert, d.h. ohne zusätzliche Informationen zu den Probennummern.

### 3.7 Exposition von Bachforelleneiern

Escher (2001a, 2003) untersuchte das Überleben von frisch befruchteten Bachforelleneiern bis zum Augenpunktstadium. Die Eier wurden jeweils direkt in der Ron in Laichboxen exponiert. Jede Laichbox ist in zwei separate Kammern unterteilt, in die jeweils 25 Eier platziert wurden (Abbildung 14).

Zwischen dem 7. Januar 2000 und dem 21. Februar 2000 wurden jeweils zwei Laichboxen mit Eiern ober- und unterhalb der ARA Hochdorf und der ARA Rain exponiert. Vom 28. November bis zum 18. Januar 2002 wurden die Experimente bei Hochdorf wiederholt. Da die ARA Rain im Jahr 2000 aufgehoben wurde, fand diese Exposition nur noch an einer Stelle unterhalb der ehemaligen ARA Rain statt. Ausgewertet wurde die Anzahl überlebender Eier. Die Expositionsmethode wurde von Escher (1999) beschrieben.



Abbildung 14: Auswertung einer Box mit Forelleneiern. „Weisse“ Eier werden als abgestorben erkannt.

## 4 Resultate

### 4.1 Ökomorphologie, Längs- und Seitenvernetzung

In Abbildung 11 ist die ökomorphologische Bewertung der Ron dargestellt. Von den 14.4 km der Ron sind 73% in einem ökomorphologisch naturnahen oder wenig beeinträchtigten Zustand.

27% sind stark beeinträchtigt oder künstlich. Die ökomorphologisch stark beeinträchtigten Flussabschnitte befinden sich vor allem vor der Mündung in den Baldeggersee (Ronkanal).

Im Hauptarm der Ron wurden insgesamt 48 Abstürze von mehr als 10 cm Höhe festgestellt (Abbildung 15), wovon 14 künstlich waren. Für alle Fische nicht passierbare, künstliche Abstürze von über 70 cm Höhe befinden sich 3105 m, 4542 m und 4690 m oberhalb der Mündung in den Baldeggersee. Da auch Forellen Abstürze von mehr als 70 cm Höhe nicht überwinden können (pers. Mitteilung Armin Peter), beschränkt sich die Durchgängigkeit für Fische in der Ron auf die untersten 3.1 Kilometer. Ohne künstliche Abstürze wäre die Ron auf einer Strecke von 7.7 km durchgängig.

Auch die Vernetzung mit den meisten Seitenbächen ist beeinträchtigt oder unterbrochen. Beispielsweise sind der Haldenbach, der Wasenwaldbach und der Oeggenringbach im Mündungsbereich in die Ron eingedolt. Weitere kleine Seitenbäche sind oft durch künstliche Abstürze von der Ron abgetrennt (Abbildung 15).

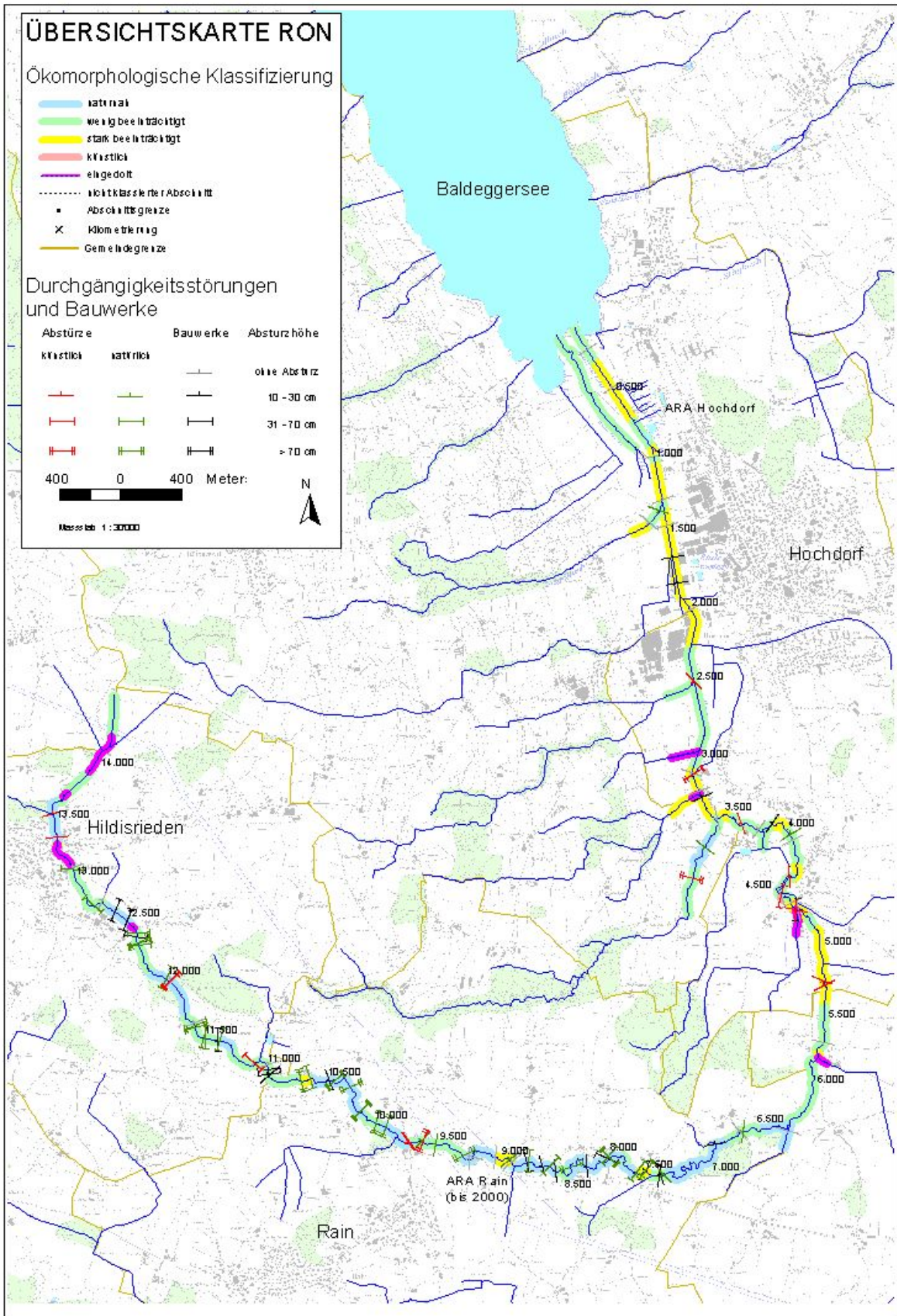


Abbildung 15: Ökomorphologischer Zustand der Ron (Rappo, 2001). Die Lage und Absturzhöhe von natürlichen und künstlichen Abstürzen ist angegeben.

## 4.2 Chemische Untersuchungen

### 4.2.1 Chemische Wasserqualität bei der Messstelle oberhalb der ARA Hochdorf

Tabelle 7 listet die 80%- bzw. 90%-Quantile von chemischen Messgrössen auf, die während der letzten 19 Jahren bei Hochdorf gemessen wurden.

Gesamt-Phosphor, gelöster Phosphor und Phosphat liegen seit 1985 über den Zielwerten, die vom BUWAL (2003a) vorgeschlagen werden. Mit wenigen Ausnahmen musste die Wasserqualität hinsichtlich der Phosphor-Konzentrationen als „schlecht“ bezeichnet werden.

Für Ammonium und Nitrat ergab die Bewertung ab 1995 die Güteklasse „gut“ und vereinzelt beim Ammonium sogar „sehr gut“. Die Konzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) nahmen seit 1995 nicht mehr ab. Die Güteklassen für DOC lagen zwischen „mässig“ und „unbefriedigend“. Gemäss der BUWAL-Methode (2003a) besteht Handlungsbedarf für die Bewertungen mässig, unbefriedigend und schlecht.

Tabelle 7: Chemische Konzentrationen zwischen 1985 und 2003 an der Messstelle oberhalb ARA Hochdorf. Bei Vorliegen von bis zu 23 Messwerten jährlich werden die 80%-Quantile und ab 24 Messwerten jährlich die 90%-Quantile angegeben. Zielwerte und Güteklassen wurden entsprechend der BUWAL-Methode (2003a) zugeordnet und bewertet: schlecht (rot), unbefriedigend (orange), mässig (gelb), gut (grün) und sehr gut (blau).

Parameter	Phosphat-P	Gelöster Phosphor	Gesamt-Phosphor	Ammonium-N	Nitrat-N	gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)
Einheit	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Zielwert	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.07</b>	<b>0.2</b>	<b>5.6</b>	<b>3</b>
1985	0.15	0.16	0.25	0.22	5.2	4.6
1986	0.16	0.18	0.30	0.29	6.9	6.9
1987	0.15	0.16	0.24	0.21	7.1	6.3
1988	0.17	0.18	0.32			5.7
1989	0.27	0.34	0.85	0.11	4.4	
1990	0.23	0.31	0.81	0.20	4.7	
1991	0.33	0.36	0.86			
1992	0.22	0.30	0.62			
1993	0.46	0.53	0.89			
1994	0.27	0.30	0.75			
1995	0.29	0.33	0.56	0.15	4.3	3.8
1996	0.14	0.15	0.27	0.12	3.9	3.2
1997	0.077	0.096	0.13	0.082	3.7	3.6
1998	0.13	0.14	0.53	0.11	5.5	4.7
1999	0.20	0.22	0.80	0.18	5.3	4.7
2000	0.20	0.21	0.81	0.11	4.2	4.1
2001	0.17	0.20	0.73	0.080	2.9	4.9
2002	0.22	0.26	0.68	0.13	2.9	3.7
2003	0.072	0.085	0.29	0.046	2.9	3.6

Quelle: Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern.

#### 4.2.2 Chemische Wasserqualität ober- und unterhalb der ARA Hochdorf

Einzel-Messungen in den Jahren 2001 und 2002 ober- und unterhalb der ARA Hochdorf zeigen deutliche Unterschiede in der Wasserqualität (Tabelle 8). Insbesondere Ammonium, gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) und Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>) überschritten nach der Abwassereinleitung die Anforderungen an Fließgewässer gemäss Gewässerschutzverordnung (1998).

Tabelle 8: Einzelmessungen von Wasserproben aus der Ron ober- und unterhalb der ARA Hochdorf.

Parameter	Einheit	Oberhalb ARA Hochdorf					Unterhalb ARA Hochdorf				
		22.04. 2002	18.01. 2002	21.02. 2000	03.02. 2000	21.01. 2000	22.04. 2002	18.01. 2002	21.02. 2000	03.02. 2000	21.01. 2000
Temperatur	(°C)	12.0	4.4	5.4	5.4	4.0	13.9	7.0	6.0	5.8	5.4

Parameter	Einheit	Oberhalb ARA Hochdorf			Unterhalb ARA Hochdorf		
		19.02. 2002	18.01. 2002	25.10. 2001	19.02. 2002	18.01. 2002	25.10. 2001
pH - Wert		8.3	8.2	8.2	8.0	8.0	8.2
Leitfähigkeit	(µS/cm)	518	507	504	745	793	564
Sauerstoffgehalt	(mg/l)	13.3	11.8	9.7	11.3	10.9	9.8
BSB <sub>5</sub> (O <sub>2</sub> )	(mg/l)	2.3	1.8	2.0	<b>&gt;11<sup>a</sup></b>	<b>4.9<sup>a</sup></b>	<b>4.7<sup>a</sup></b>
Gelöster org. Kohlenstoff (DOC)	(mg/l)	2.5	1.8	<b>4.8</b>	<b>7.0<sup>a</sup></b>	<b>4.2<sup>a</sup></b>	<b>5.0<sup>a</sup></b>
Gesamte ungelöste Stoffe	(mg/l)	8	5	7	40	5	7
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	(mg-N/l)	0.02	0.03	0.02	<b>6.4<sup>a</sup></b>	<b>1.58<sup>a</sup></b>	<b>0.92<sup>a</sup></b>
Nitrit	(mg-N/l)	0.007	0.007	0.012	<b>0.052<sup>b</sup></b>	0.041	0.047
Nitrat	(mg-N/l)	2.54	2.78	1.62	2.11	3.05	1.86
Chlorid	(mg/l)	11.3	12.7	7.9	57	80	27.3
Sulfat	(mg/l)	11.2	11.9	9.1	24.5	33	16.4
Ortho - Phosphat (PO <sub>4</sub> )	(mg-P/l)	n.a.	0.013	n.a.	n.a.	0.022	n.a.
Gesamt - Phosphor im Filtrat	(mg-P/l)	0.018	0.018	0.061	0.029	0.018	0.053
Gesamt - Phosphor	(mg/l)	0.027	0.025	0.096	0.227	0.032	0.093
Eisen	(mg/l)	n.a.	0.07	n.a.	n.a.	0.23	n.a.
Aluminium	(mg/l)	n.a.	0.02	n.a.	n.a.	0.03	n.a.
Mangan	(mg/l)	n.a.	0.03	n.a.	n.a.	0.06	n.a.

**fett:** gesetzlichen Anforderungen überschritten oder gemäss BUWAL (2003a) unbefriedigend  
*kursiv:* im Bereich der gesetzlichen Anforderungen

<sup>a</sup> Überschreitung der gesetzliche Anforderungen an Fließgewässer gemäss GSchV (1998):

BSB<sub>5</sub>: 2-4 mg/l; DOC: 1-4 mg/l; Ammonium-N: 0.2-0.4 mg/l; Nitrat-N: 5.6 mg/l

<sup>b</sup> Gemäss BUWAL (2003a) ist ein Wert von 0.050 mg NO<sub>2</sub>-N/l als „unbefriedigend“ einzustufen

Aufgrund der hohen Konzentrationen von Ammonium, Nitrit und DOC wird die Wasserqualität unterhalb der ARA Hochdorf als „mässig“ bis „schlecht“ eingestuft (BUWAL, 2003a).

#### 4.2.3 Online-Messung von Ammonium/Ammoniak und Nitrit bei Urswil

Die kontinuierliche Messung bei Urswil (rund 7.5 km unterhalb der ARA Rain) zwischen Mai 1995 und Juni 1996 zeigte, dass Ammonium Maximalkonzentrationen bis zu 4.48 mg  $\text{NH}_4\text{-N/l}$  erreichte. Abbildung 16 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Ammonium - Konzentrationen. Etwa 30% aller Messwerte lagen über dem gesetzlich festgelegten Grenzwert von 0.2 mg  $\text{NH}_4\text{-N/l}$ . Etwa 8% aller Messwerte bewegten sich in einem Konzentrationsbereich grösser als 0.8 mg  $\text{NH}_4\text{-N/l}$ , der gemäss BUWAL (2003) der Güteklasse „schlecht“ zugeordnet wird.

Umgerechnet auf Ammoniak (20 °C und pH-Wert 8.3) lagen 3% der Ammonium - Messwerte über der akut toxischen Konzentration für Forellen (LC50 = 0.080 mg  $\text{NH}_3\text{-N/l}$ ).

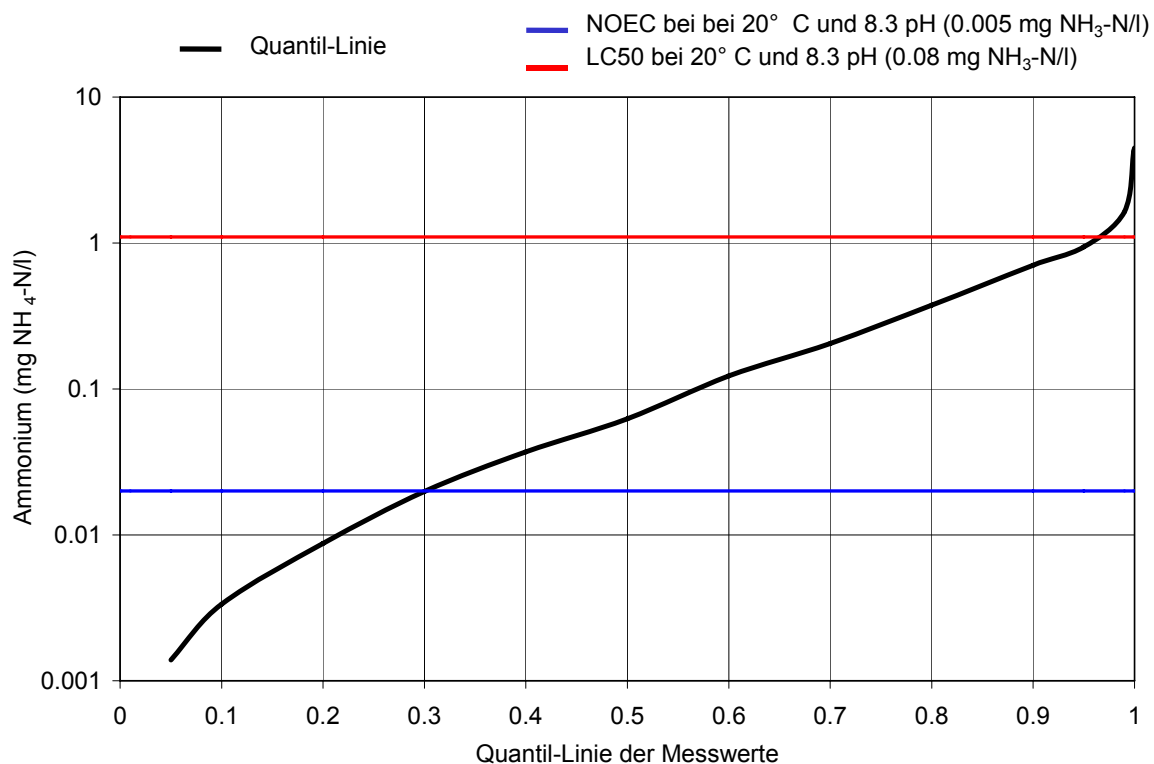


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der im Stundenintervall gemessenen Ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )-Konzentrationen in der Ron bei Urswil zwischen Mai 1995 und Juni 1996. Der Quantil-Wert zeigt an, welcher Anteil der Messwerte unter einer bestimmten Konzentration lagen. Die rote horizontale Linie gibt die akut fischtoxische Konzentration von Ammoniak ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) an. Die blaue horizontale Linie zeigt die Konzentration an, bei der keine messbaren Auswirkungen auf Fische festgestellt werden (Müller, 1990), die sogenannte „no effect concentration“ (NOEC).

Ähnliche Verhältnisse wurden auch für Nitrit gefunden (Abbildung 17). Die maximal gemessene Konzentration lag bei 0.77 mg NO<sub>2</sub>-N/l. Die Häufigkeitsverteilung zeigt, dass 45% aller Messwerte knapp über 0.05 mg NO<sub>2</sub>-N/l lagen. Diese Konzentration ist als Grenzwert für Gewässer vorgegeben, die eine Chlorid - Konzentration zwischen 10 und 20 mg Cl<sup>-</sup>/l aufweisen, um die Toxizität auf Fische auszuschliessen (BUWAL, 2003a). Über 10% aller gemessenen Werte bewegte sich in einem Konzentrationsbereich, der gemäss BUWAL (2003a) einer „schlechten“ Gewässergüte entspricht. Unter der Annahme, dass die Ron mindestens 8 mg/l Chlorid aufweist, wurden keine akuten fischtoxischen Konzentrationen von 3.7 mg NO<sub>2</sub>-N/l erreicht. Hingegen überschritten rund 15% der Messwerte eine Konzentration, ab der chronisch toxische Effekte erwartet werden (über 0.09 mg NO<sub>2</sub>-N/l).

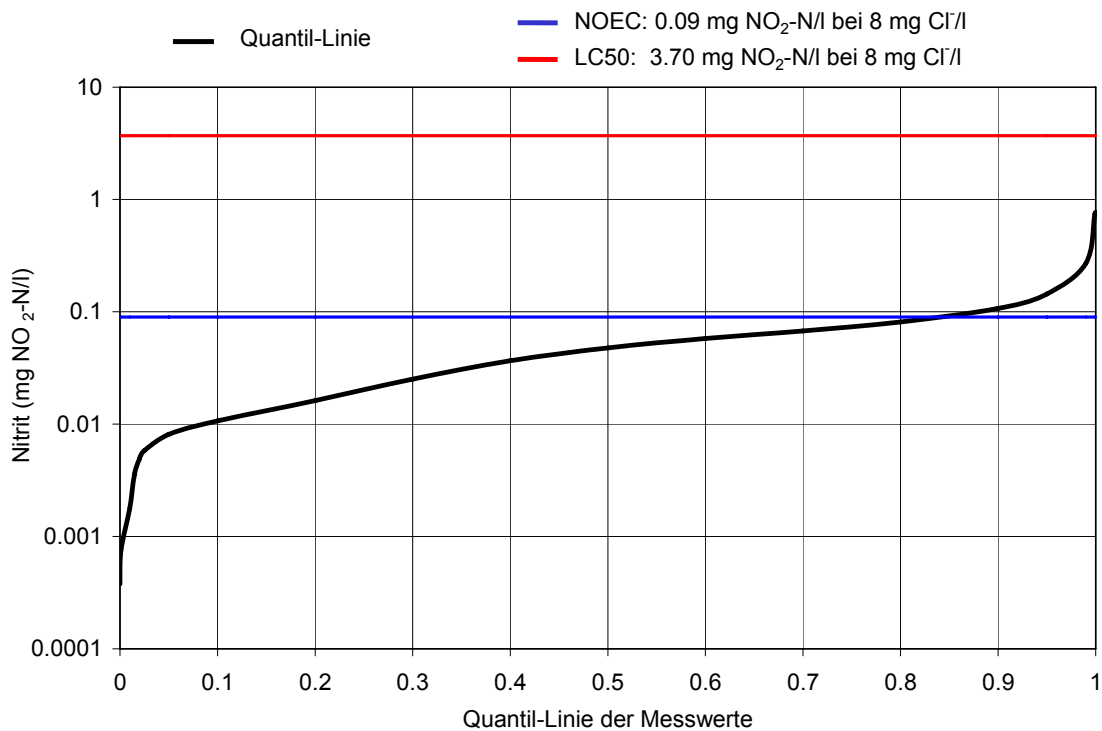


Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der im Stundenintervall gemessenen Nitrit (NO<sub>2</sub>-N)-Konzentrationen in der Ron bei Urswil zwischen Mai 1995 und Juni 1996. Der Quantil - Wert zeigt an, welcher Anteil der Messwerte unter einer bestimmten Konzentration liegt. Die rote horizontale Linie gibt die akut fischtoxische Konzentration von Nitrit an (LC50), die blaue die „no effect“ Konzentration“ (NOEC).

### 4.3 Kieselalgenflora

Die „Differenzialartenanalyse“ unterscheidet die relative Häufigkeit von Kieselalgenarten, die sensibel, tolerant oder resistent gegenüber einer organischen Belastung sind (Abbildung 18). Die relative Häufigkeit von Kieselalgenarten, die gegenüber organischen Belastungen resistent sind, ist unterhalb der Abwassereinleitung der ARA Hochdorf am höchsten. Dies drückt sich in den berechneten Kieselalgenindices (DI-CH = Diatomeen Index Schweiz, gemäss BUWAL, 2002) aus, die unterhalb der Abwassereinleitung eine „starke“ Belastung anzeigten. Oberhalb der Abwassereinleitung der ARA Hochdorf ist die Belastung aber immer noch „deutlich“. Nur die untersuchte Stelle oberhalb der ARA Rain zeigte eine schwache Belastung (Abbildung 19) auf.

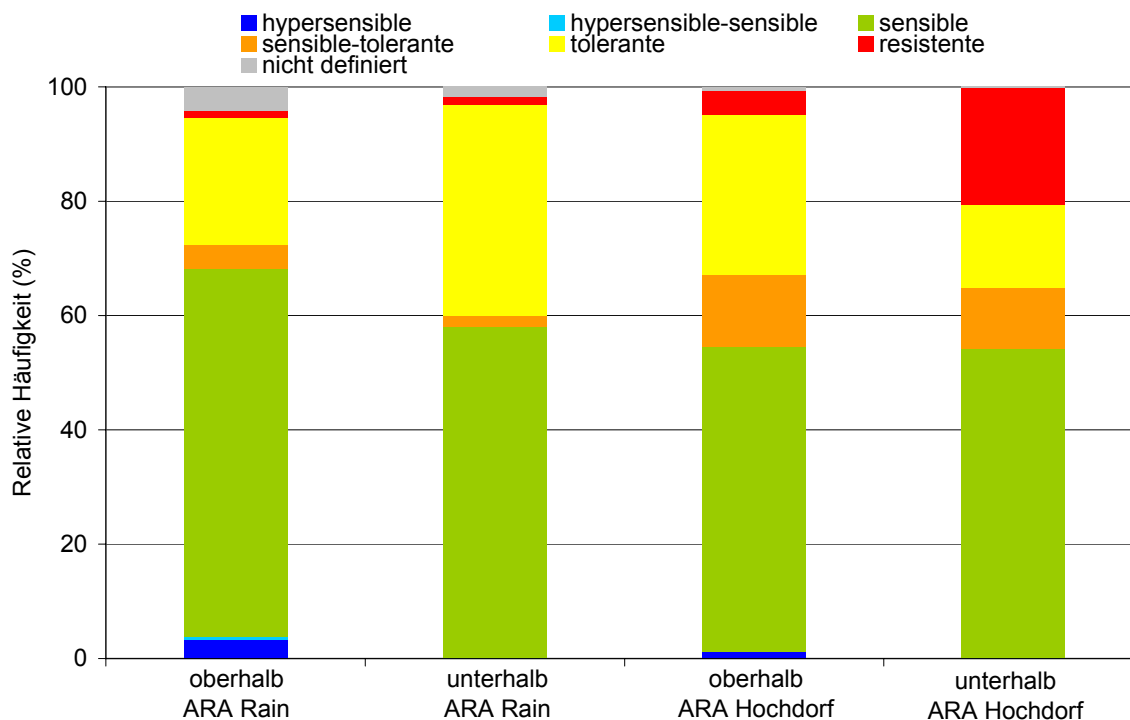


Abbildung 18: Relative Häufigkeit der Kieselalgen - Differenzialgruppen nach AquaPlus (2002). Die Untersuchung wurde am 18. März 2002 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt war der Betrieb der ARA Rain bereits aufgehoben. Dementsprechend war die Untersuchungsstelle unterhalb der ARA Rain nicht mehr mit geklärtem Abwasser belastet.



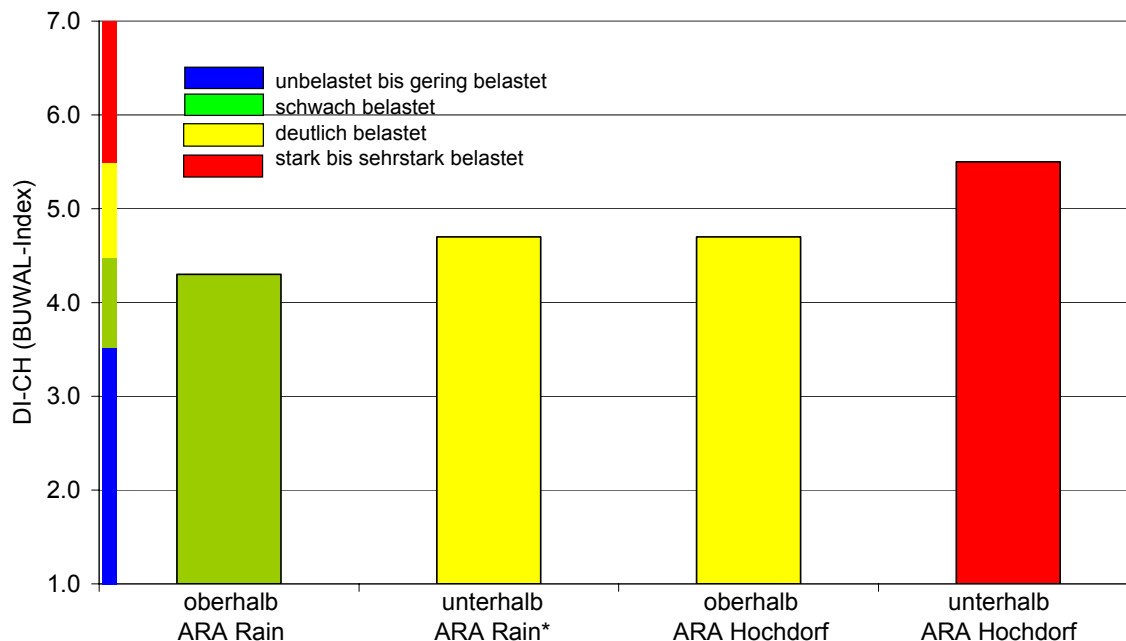


Abbildung 19: DI-CH in der Ron gemäss BUWAL Modul Kieselalgenindex. Die Farbskala an der Y-Achse zeigt die Klassengrenzen, \* ARA Rain nicht mehr in Betrieb.

#### 4.4 Wirbellose Kleintiere

Die wirbellosen Kleintiere wurden von Breitenstein und Kirchhofer (2002) untersucht. Aufgrund der gefundenen Artenzusammensetzung wurde unterhalb der ARA Hochdorf ein Makroindex von 4 ermittelt. Dies entspricht der Güteklasse „stark beeinträchtigt“ (BUWAL, 2003b). Oberhalb der ARA Hochdorf sowie oberhalb der ARA Rain resultierte ein Makroindex von 3, der einem wenig beeinträchtigten Zustand entspricht.

Der Saprobienindex betrug unterhalb der ARA Hochdorf 2.2. Oberhalb der ARA Hochdorf lag er mit 1.9 etwas tiefer. Beide Werte entsprechen einer mässigen Belastung. Bei der Stelle oberhalb ARA Rain wurde mit einem Saprobienindex von 1.7 eine gering belastete Gewässergüte ermittelt (siehe Tabelle 12).

Breitenstein und Kirchhofer (2002) stellen fest, dass das Substrat in der Untersuchungsstrecke oberhalb der ARA Rain nicht kolmatiert war. Unterhalb und oberhalb der ARA Hochdorf hingegen war das Bachbett teilweise kolmatiert. Neben der Wasserqualität hat auch die Gewässerstruktur und damit auch die Kolmation der Sohle einen wesentlichen Einfluss auf die Artengemeinschaft der wirbellosen Kleintiere.

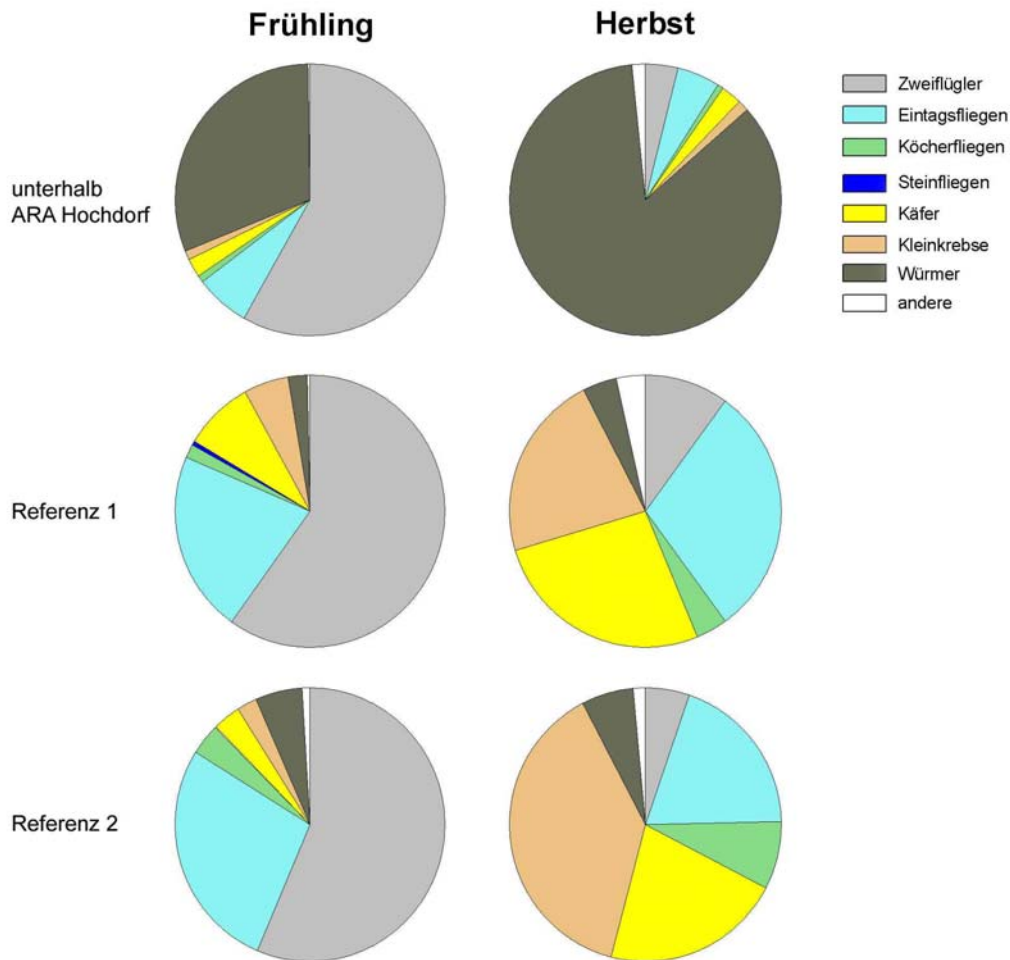


Abbildung 20: Zusammensetzung der Wirbellosenfauna unterhalb der ARA Hochdorf sowie oberhalb der ARA Hochdorf (Referenz 1) und oberhalb der früheren ARA Rain (Referenz 2). Es sind die Anteile der einzelnen Ordnungen bezüglich Individuendichte dargestellt. Die Untersuchungen wurden im Frühling (22. April 2002) und im Herbst (2. Oktober 2002) durchgeführt.

Die Abbildung 20 zeigt die relative Individuendichte (Anzahl Individuen pro m<sup>2</sup>) der wirbellosen Kleintiere auf Ordnungsniveau an den Untersuchungsstellen in der Ron im Frühling und im Herbst 2002.

Im Frühling überwiegen an allen drei Stellen die Zweiflügler (Diptera, hauptsächlich Zuckmückenlarven) mit einem Anteil von jeweils rund 60% an der Gesamt-Individuenzahl. Als zweitgrösste Organismengruppe folgen unterhalb der ARA Hochdorf die Würmer (vor allem Schlammröhrenwürmer), während an beiden Stellen oberhalb der ARA Hochdorf die empfindlicheren Köcherfliegen (Trichoptera) mit 25% bzw. 30% einen 3 bis 6 mal grösseren Anteil als unterhalb der ARA ausmachen. Köcherfliegen bevorzugen eine bessere Wasserqualität und naturnahere Gewässerstrukturen (z.B. lockere Gewässersohle). Steinfliegenlarven (Plecoptera) konnten nur an den Referenzstellen nachgewiesen werden.

Noch deutlichere Unterschiede traten in der Herbstprobenahme zu Tage. Unterhalb der ARA Hochdorf ist die Dominanz der Würmer (insbesondere Schlammröhrenwurm) mit rund 80% besonders augenfällig. Oberhalb der ARA Hochdorf lag ihr Anteil bei lediglich 5 bis 10%. Dafür konnte an den oberen beiden Referenzstellen eine vielfältigere Artengemeinschaft vorgefunden werden. Die Eintagsfliegen (Ephemeroptera; 30 bzw. 20%), Wasserkäfer (Coleoptera; 20 bzw. 25%) und Krebstierchen (Crustaceen; 25 bzw. 40%) bildeten die hauptsächlichen Organismengruppen.

#### **4.5 Gesundheitszustand der Bachforellen**

In Abbildung 21 sind die Mittelwerte der histologischen Organindices und in Abbildung 22 die Mittelwerte der histologischen Indices dargestellt. Die Organe von Bachforellen aus der Strecke unterhalb der ARA Hochdorf waren stärker geschädigt als bei Bachforellen aus der Strecke oberhalb der Abwassereinleitung. Dies traf für beide Untersuchungsjahre zu. Schädigungen traten bei alle untersuchten Organen auf, wie die hohen Organindexwerte bei Nieren, Leber und Kiemen aufzeigten (Abbildung 21).

Die histologischen Indices zeigen, dass die meisten Schädigungen in Form einer „regressiven Veränderung“ (Total IR), das heisst in Form von Veränderungen mit Geweberückbildungen, vorlagen (Abbildung 22).

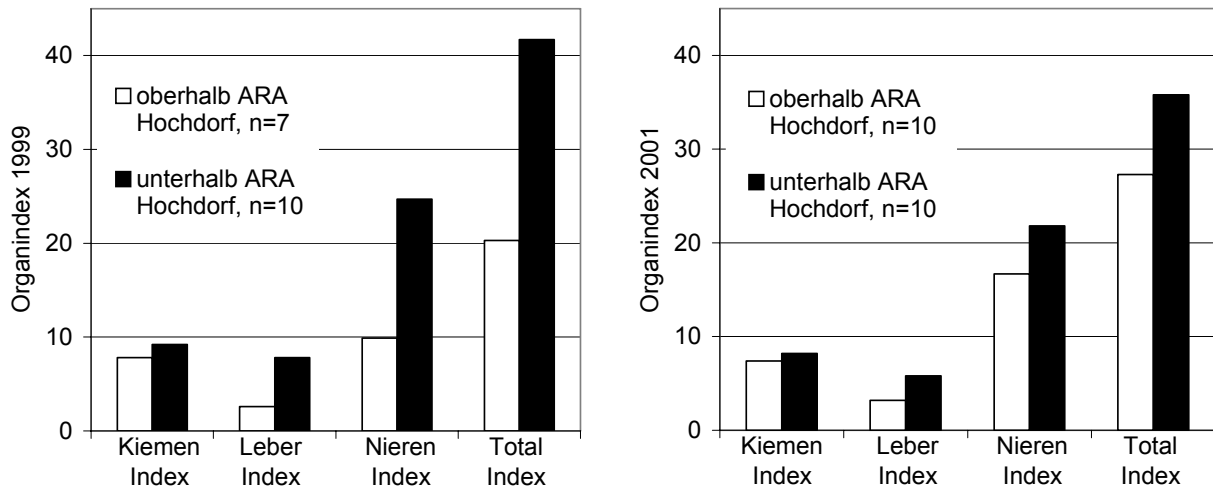


Abbildung 21: Mittelwerte der histologischen Organindices von Bachforellen ober- und unterhalb der ARA Hochdorf. Der histologische Organindex ist ein Mass für den Schädigungsgrad der einzelnen Organe. Je höher der Index, um so stärker ist die Organschädigung. Der Totalindex liefert eine integrative Bewertung aller untersuchten Organe.

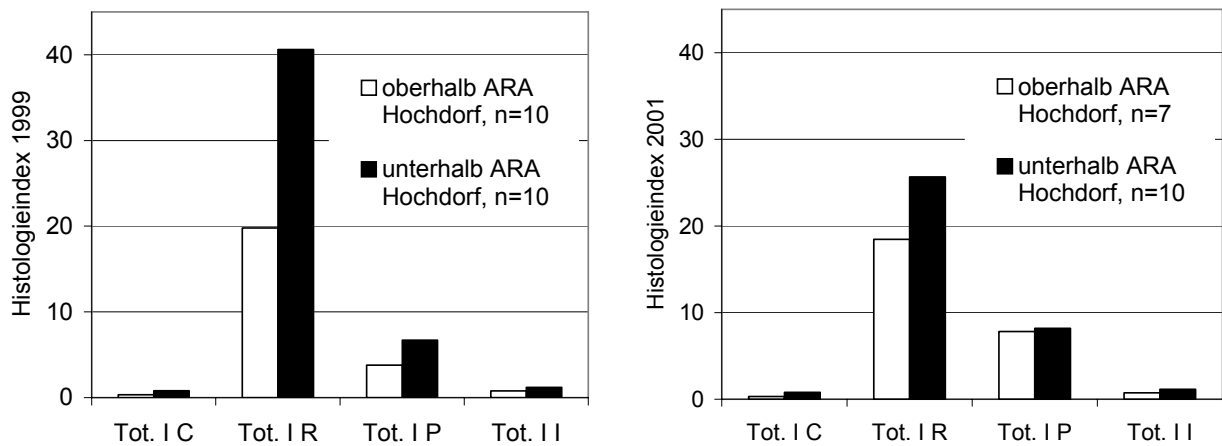


Abbildung 22: Mittelwerte der histologischen Indices von Bachforellen ober- und unterhalb der ARA Hochdorf. Der histologische Index ist ein Mass für die Häufigkeit von Organ-Veränderungen einer bestimmten Art. Je höher der Index, um so häufiger ist die Veränderung. Unterschieden werden: Total IC = Zirkulatorische Veränderungen (Veränderungen in Zusammenhang mit dem Blutkreislauf); Total IR = Regressive Veränderungen (Veränderungen mit Geweberückbildungen); Total IP = Progressive Veränderungen (Veränderungen mit Zellvermehrung); Total II = Entzündliche Veränderungen.

Neben den Organschäden konnte bei einigen Bachforellen im Unterlauf der Ron die proliferative Nierenkrankheit (PKD) diagnostiziert werden (Abbildung 23).

Im Jahr 1999 wurde oberhalb der ARA Hochdorf eine mit PKD infizierte Bachforelle gefangen. Beim Abfischen im Jahr 2001 wurden mehrere mit PKD infizierte Bachforellen jeweils ober- und unterhalb der ARA Hochdorf gefangen.

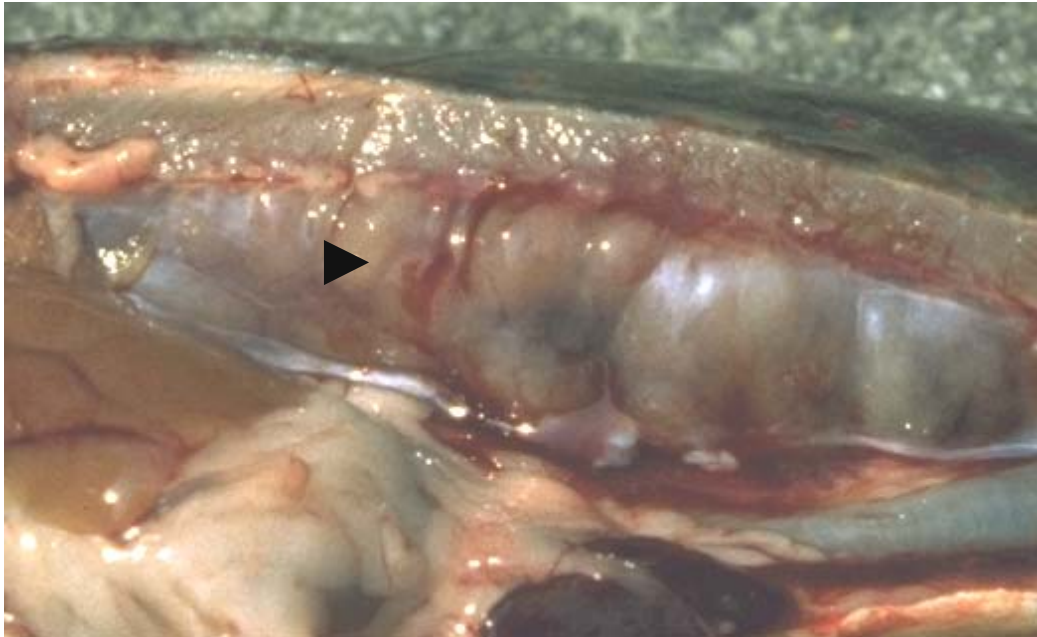


Abbildung 23: Mit der proliferativen Nierenkrankheit (PKD) befallene Bachforelle aus der Ron.  
Speckig aufgetriebene Erhebungen in der Niere sind für diese Krankheit charakteristisch (►).  
Foto vom 29. September 1999 (Pius Stadelmann).

#### 4.6 Vitellogenin in Bachforellen

Die Analysen im Jahr 1999 mittels Western-Blot-Verfahren zeigen, dass die Vitellogenin (Vtg) - Konzentrationen im Blutplasma bei allen 19 untersuchten männlichen Bachforellen unter der Nachweisgrenze von 1.5 µg Vtg/ml lagen (Tabelle 9). Dies gilt auch für die 7 Bachforellen, die in der Untersuchungsstrecke unterhalb der ARA Hochdorf, sowie für die 2 Bachforellen, die in der Strecke unterhalb der ARA Rain gefangen wurden.

Tabelle 9: Vitellogenin (Vtg) - Konzentrationen im Blutplasma männlicher Bachforellen, die mit dem Western - Blot - Verfahren im Jahr 1999 ermittelt wurden. Die Nachweisgrenze lag bei 1.5 µg Vitellogenin pro ml Blutplasma.

Alter der Forellen	Vitellogenin (Vtg)- Konzentration	ARA Hochdorf		ARA Rain	
		oberhalb	Unterhalb	oberhalb	unterhalb
Adulte	< 1.5 µg Vtg / ml	5	7	4	2
	> 1.5 µg Vtg / ml	0	0	0	0
Juvenile	< 1.5 µg Vtg / ml	1	-	-	-
	> 1.5 µg Vtg / ml	0	-	-	-

Auch die ELISA - Analysen der Untersuchung im Jahr 2001 zeigten, dass die Vtg - Konzentration im Blutplasma männlicher Bachforellen die Nachweisgrenze von 0.6 µg Vtg/ml nicht überschritten (Tabelle 10). Es ist aber zu beachten, dass nur eine einzige männliche Forelle aus der Strecke unterhalb der ARA Hochdorf untersucht wurde.

Tabelle 10: Vitellogenin (Vtg) - Konzentrationen im Blutplasma von Bachforellenmännchen, nach dem ELISA Verfahren bestimmt im Jahr 2000. Die Nachweisgrenze lag bei 0.6 µg Vitellogenin pro ml Blutplasma.

Geschlecht	Reife	Ort	Vitellogenin (Vtg µg/ml Plasma)
Männlich	Juvenil	Oberhalb ARA Hochdorf	<0.6 (unterhalb der Nachweisgrenze)
Männlich	Adult	Oberhalb ARA Hochdorf	<0.6 (unterhalb der Nachweisgrenze)
Männlich	Adult	Oberhalb ARA Hochdorf	<0.6 (unterhalb der Nachweisgrenze)
Männlich	Adult	Oberhalb ARA Hochdorf	<0.6 (unterhalb der Nachweisgrenze)
Männlich	Adult	Unterhalb ARA Hochdorf	<0.6 (unterhalb der Nachweisgrenze)

## 4.7 Fischbestand

In den Abfischungsstrecken bei Rain konnten nur Bachforellen gefangen werden. In den Abfischungsstrecken bei Hochdorf hingegen wurden total 13 Fischarten gefangen. Abbildungen 24 und 25 zeigen den Fischbestand bei Hochdorf.

Die Zusammensetzung der Fischgemeinschaft in den Untersuchungsjahren 1999 und 2001 war verschieden. Im Herbst 1999 wurden 9 Fischarten (Aal, Alet, Bachforelle, Flussbarsch, Gründling, Hecht, Rotauge, Schmerle, Trüsche) gefangen. Nach dem grossen Fischsterben im Oktober 1999 (Rippmann, 2000) wurden im Herbst 2001 im Unterlauf der Ron 11 Fischarten (Alet, Bachforelle, Barbe, Brachsmen, Flussbarsch, Gründling, Hasel, Rotauge, Schmerle, Schneider, Trüsche) gefangen. Dazu kamen sechs Forellen, die den Habitus von Seeforellen aufwiesen.

Die Fischgemeinschaft war im Jahr 2001 heterogener, obwohl das Fischsterben vom Oktober 1999 einen Totalschaden im Fischbestand verursachte. Erstaunlicherweise war bei der Abfischung im September 2001, zwei Jahre nach dem massiven Fischsterben, der Diversitätsindex höher (Abbildung 26). Da der Fischbestand in der Ron vor allem vom See beeinflusst wird und die Stellen oberhalb und unterhalb der ARA Hochdorf frei durchwanderbar sind, zeigen die Fischbestände keine grossen Unterschiede.

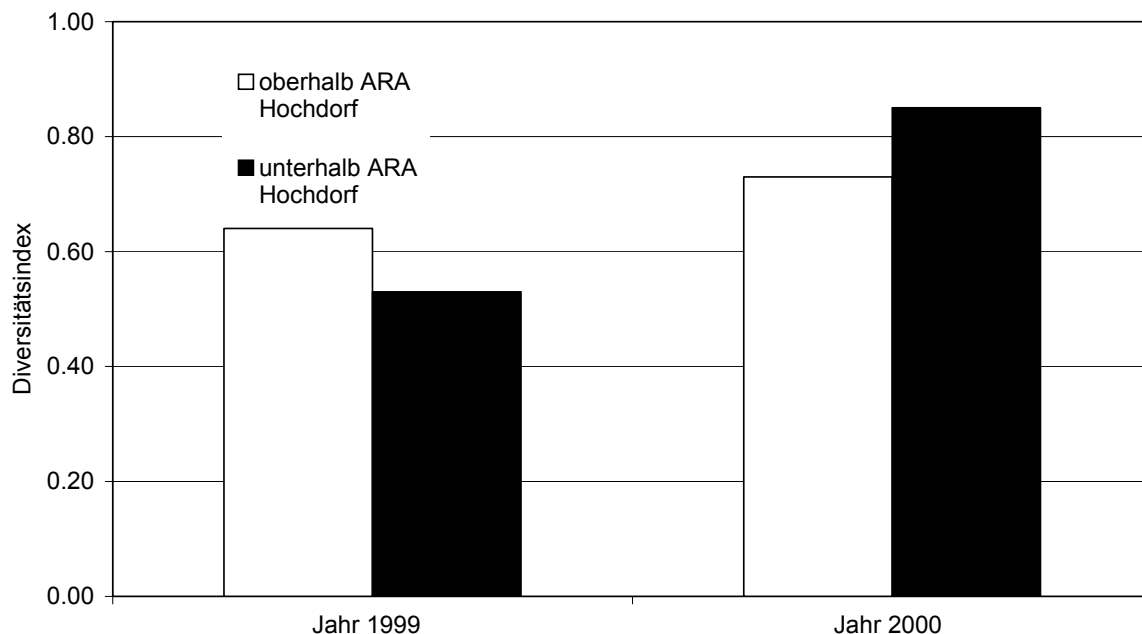


Abbildung 26: Diversitätsindex nach Shannon und Weaver (1947) der Fischgemeinschaft ober- und unterhalb der ARA Hochdorf. Ein niedriger Index Wert zeigt eine monotonere Artengemeinschaft an. Ein hoher Index Wert zeigt eine heterogenere Artengemeinschaft an.

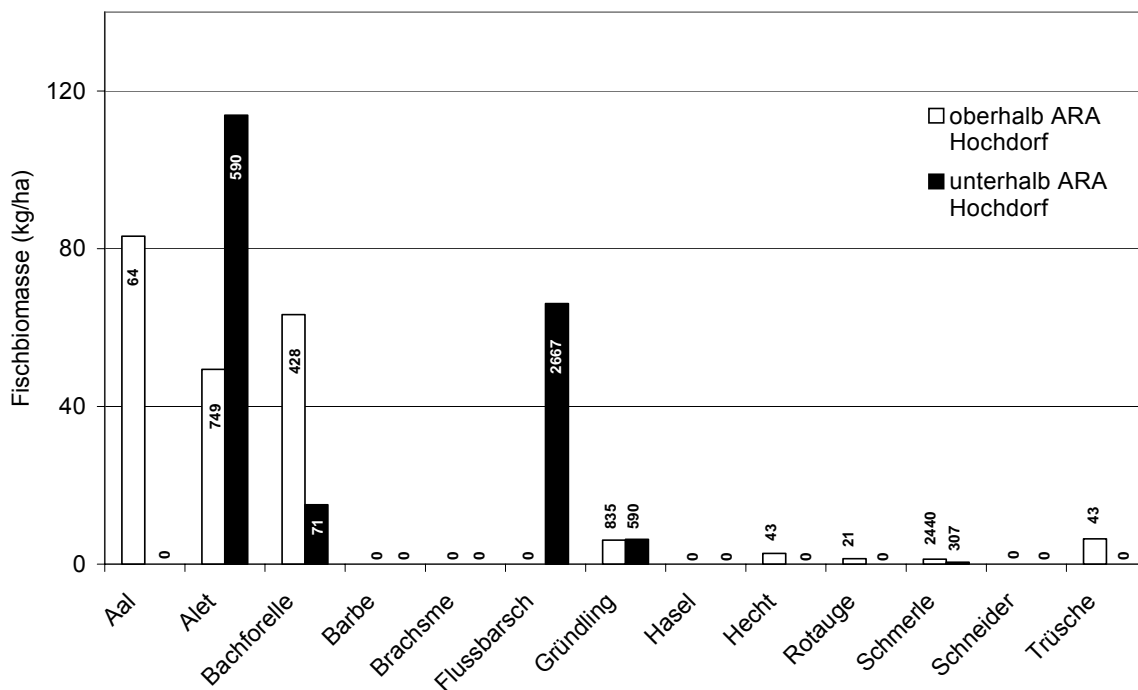


Abbildung 24: Biomasse in Kilogramm pro Hektar der unterschiedlichen Fischarten die 1999 ober- und unterhalb der ARA Hochdorf gefangen wurden. Die Anzahl der Individuen pro Hektare ist angegeben.

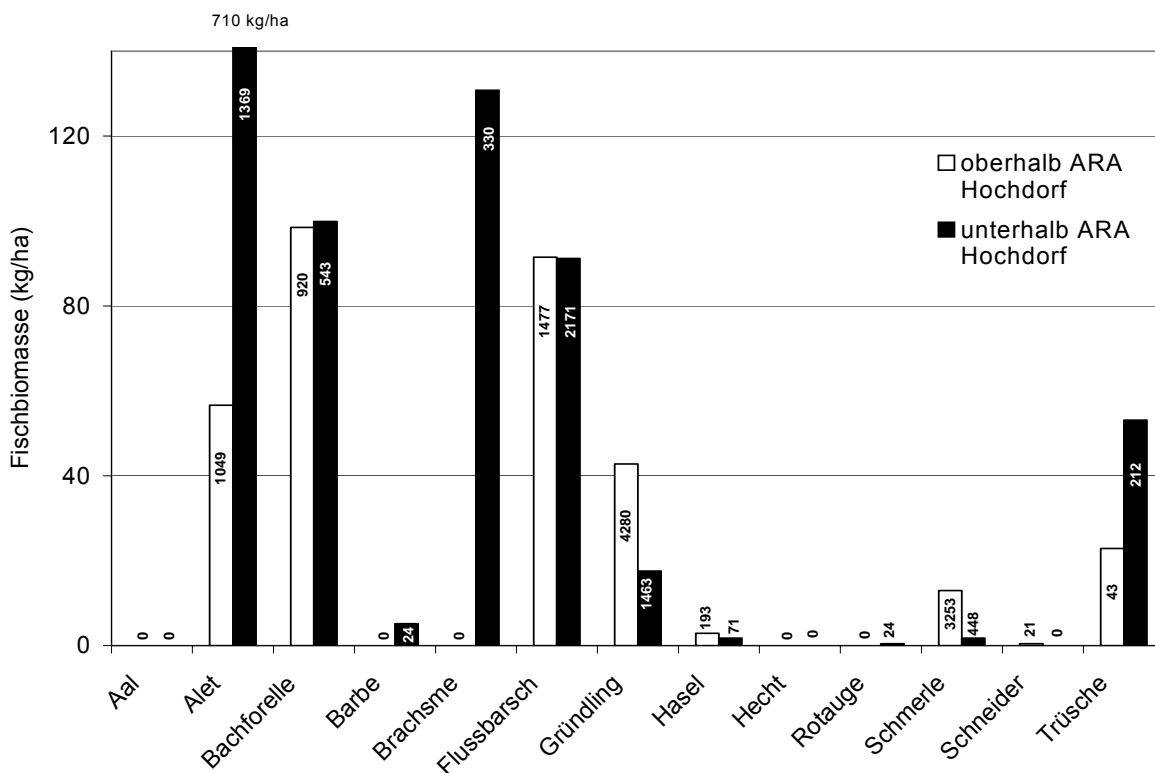


Abbildung 25: Biomasse in Kilogramm pro Hektar der unterschiedlichen Fischarten die 2001 ober- und unterhalb der ARA Hochdorf gefangen wurden. Die Anzahl der Individuen pro Hektare ist angegeben.

Abbildung 27 bis 29 stellen den Populationsaufbau der Bachforellen nach Grössenklassen dar. Bachforellenbestände oberhalb der Kläranlageneinleitungen waren jeweils grösser als unterhalb. Unterhalb der Kläranlageneinleitungen fehlten vor allem junge Bachforellen. Nur oberhalb der ARA Rain war der Bestand an Jungforellen (Gössenklassen bis 10 cm) höher.



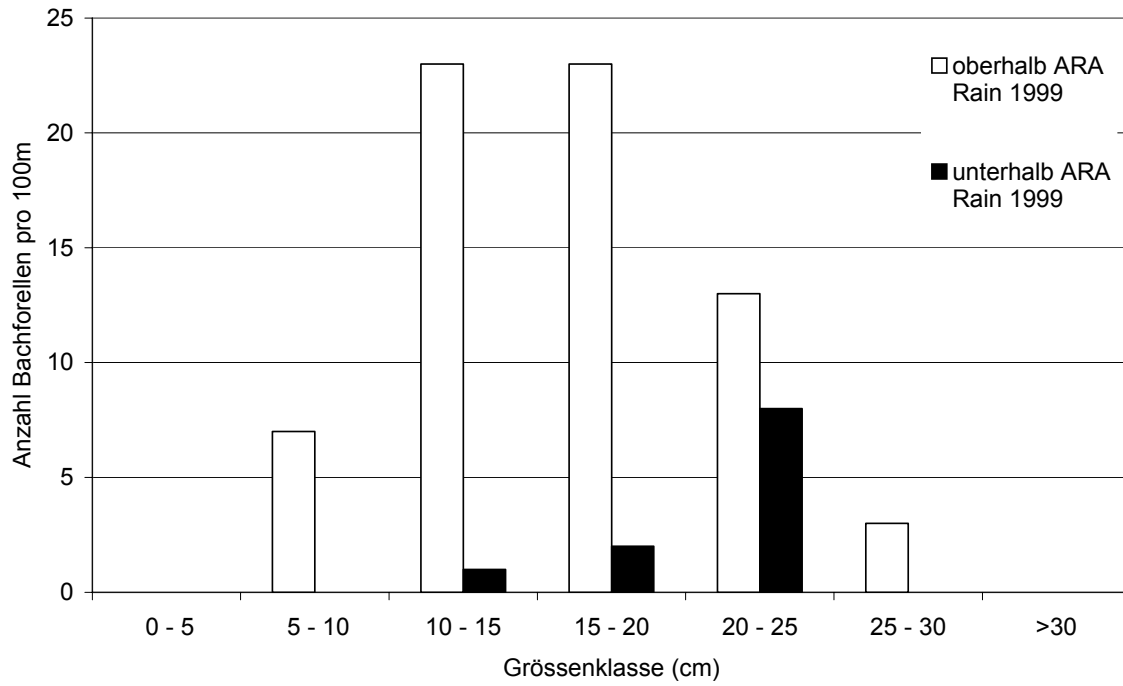


Abbildung 27: Populationsaufbau der Bachforellen oberhalb und unterhalb der ARA Rain im Jahr 1999.

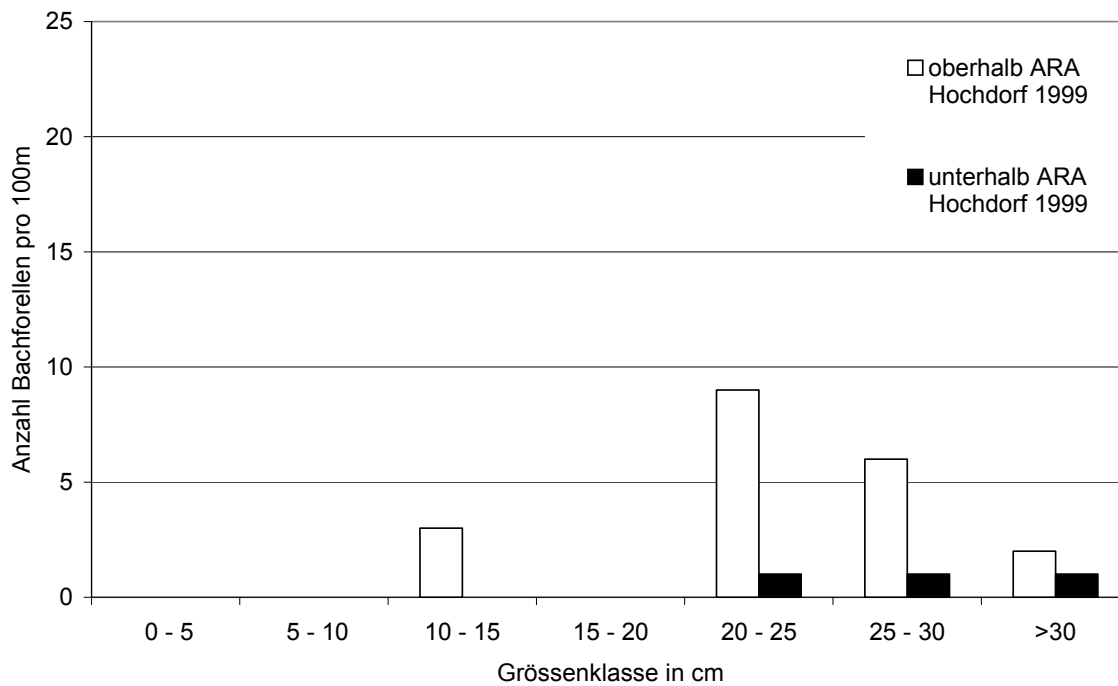


Abbildung 28: Populationsaufbau der Bachforellen oberhalb und unterhalb der ARA Hochdorf im Jahr 1999.

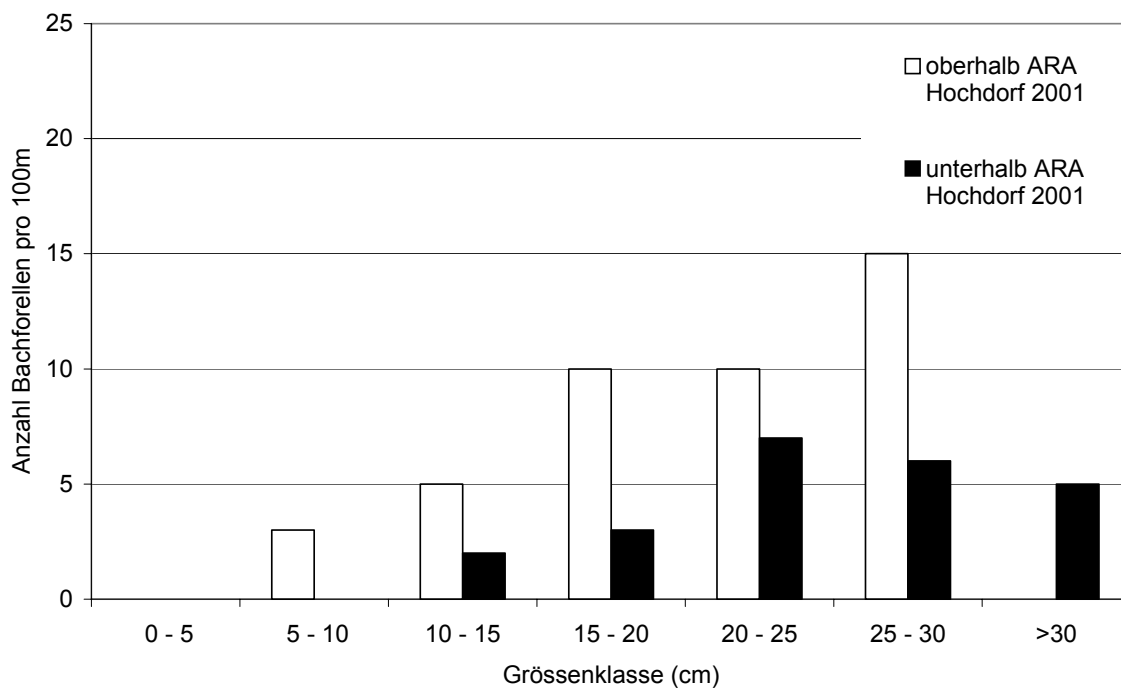


Abbildung 29: Populationsaufbau der Bachforellen oberhalb und unterhalb der ARA Hochdorf im Jahr 2000.

## 4.8 Exposition von Bachforelleneiern

Tabelle 11 zeigt den Anteil überlebender Bachforelleneier ober- und unterhalb der Abwassereinleitungen. Unterhalb der ARA Hochdorf erreichten im Jahr 2000 nur 5% der ausgesetzten Eier das Augenpunktstadium, im Jahr 2002 waren es 29%.

Die Untersuchung der ARA Rain beschränkte sich auf die Exposition zwischen dem 7. Januar und dem 21. Februar 2000. Die Resultate zeigen, dass trotz Abwassereinleitung aus der ARA Rain der Anteil überlebender Bachforelleneier 97% betrug. Dies entspricht einer unbelasteten Referenzstelle. Zur Zeit der Exposition konnte somit kein negativer Einfluss der ARA auf die Eientwicklung festgestellt werden. Da an der Vergleichsstelle oberhalb der ARA Rain eine Eikammer abgedeckt wurde und die andere zeitweilig trocken fiel, war das Überleben der Eier dort stark reduziert.

Tabelle 11: Das Überleben von Bachforelleneiern in Prozenten oberhalb und unterhalb der ARA Rain und ARA Hochdorf. Die ARA Rain war beim zweiten Experiment (28. Nov. 2000 - 18. Jan. 2001), aufgehoben.

		ARA Rain		ARA Hochdorf	
		Oberhalb	Unterhalb	Oberhalb	Unterhalb
<b>Exposition: 7. Jan. 2000 - 21. Feb. 2000</b>					
Anzahl ausgewertete Eikammern		2	4	3	2
Anteil geäugte Eier	Mittelwert	30%*	97%	93%	5%
	Standardabweichung	5.7%*	3.4%	7.0%	1.4%
<b>Exposition: 28. Nov. 2001 – 18. Jan. 2002**</b>					
Anzahl ausgewertete Eikammern		-	4	4	2
Anteil geäugte Eier	Mittelwert	-	85%	94%	29%
	Standardabweichung	-	6.2%	5.9%	1.4%

\*Vergleich nicht möglich, weil eine Eikammer abgedeckt wurde und die andere trocken fiel.

\*\* ARA Rain wurde Mitte 2000 aufgehoben

## 5 Diskussion

### 5.1 Auswirkung von Abwasser auf die Ron

Die Untersuchungen des AfU konzentrierten sich besonders auf die Auswirkungen von eingeleiteten Abwässern aus den beiden Kläranlagen auf die Ron. Negative Effekte wurden in folgenden Bereichen festgestellt:

- Zusammensetzung der Kieselalgenflora
- Zusammensetzung der wirbellosen Kleintiere
- Fischgesundheit
- Populationsaufbau der Forellen
- Entwicklung von Forelleneiern

Tabelle 12 bietet eine Übersicht zu den Untersuchungen ober- und unterhalb der ARA Hochdorf. Gleichzeitig wird der Wasserlebensraum, die Wasserqualität sowie die Zusammensetzung von Flora und Fauna bewertet. Durch die Abwassereinleitung der überlasteten ARA Hochdorf wurde der ökologische Zustand der Ron stark beeinträchtigt

Tabelle 12: Zustand der Ron vor und nach der Abwassereinleitung der ARA Hochdorf. Zur Bewertung der Untersuchungsstellen der Ron wurden, wenn möglich, die Farben gemäss Methoden zur Beurteilung von Fliessgewässern in der Schweiz (BUWAL, Modulstufenkonzept) verwendet. Angaben zur Überschreitung beziehen sich, falls nichts anderes vermerkt ist, auf die gesetzlichen Anforderungen gemäss GSchV (1998).

		<b>ARA Hochdorf</b>	
Untersuchung		Oberhalb	Unterhalb
<b>1.</b>	<b><u>Abflussregime/Hydrologie</u></b>	niedriger Wasserrückhalt	ständiger ARA-Anteil
<b>2.</b>	<b><u>Temperatur</u></b>	nicht beeinflusst	Erhöhung um 0.4–2.6°C
<b>3.</b>	<b><u>Ökomorphologie</u></b> (BUWAL, 1998)	stark beeinträchtigt	stark beeinträchtigt
<b>4.</b>	<b><u>Wasserqualität</u></b> (Einzelproben, farbliche Bewertung in Anlehnung an BUWAL, 2003a) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (je 3 Messungen 2001/2002) NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (je 3 Messungen 2001/2002) Gesamt-P (je 3 Messungen 2001/2002) DOC (je 3 Messungen 2001/2002) BSB <sub>5</sub> (je 3 Messungen 2001/2002)	eingehalten	3x deutlich übersch.
		eingehalten	1x überschritten
		Zielwert 1x übersch.	Zielwert 2x überschritten
		1x übersch., 2x im Ber.	3x überschritten
		2x im Bereich	3x überschritten
<b>5.</b>	<b><u>Kieselalgen</u></b> (AquaPlus, 2002) Index DI-CH, Bewertung nach BUWAL (2002)	4.7, deutlich belastet	5.5, stark belastet
<b>6.</b>	<b><u>Wirbellose Kleintiere</u></b> (Breitenstein & Kirchhofer, Saprobienindex (SI), Belastung Makroindex (MI), Bewertung nach BUWAL (2003b)	1.9, mässig	2.2, mässig
		3, wenig beeinträchtigt	4, stark beeinträchtigt
<b>7.</b>	<b><u>Fische</u></b> (Escher, 2001a, 2003) Organindex Total (Mittel 1999 und 2001) Histologieindex regressive Veränderungen (Mittel Gesundheitsstörungen) Vitellogenin (Fent & Meylan, 2000; Dietrich, 2002) Diversitätsindex nach Shannon & Weaver Populationsaufbau (Grössenklassen)  Eientwicklung der Bachforellen	24	39
		19	33
		PKD nachgewiesen	PKD nachgewiesen
		nicht nachgewiesen	nicht nachgewiesen
		0.69	0.69
		keine 0-5	geringere Anzahl 0-30 keine 0-5 und 5-10
		94% überlebten	17% überlebten

## 5.2 Abflussregime der Ron

Durch die zunehmende Versiegelung und Drainierung der Böden wurde der Wasserrückhalt im Einzugsgebiet der Ron verändert. Das Einzugsgebiet der Ron ist heute nicht mehr in der Lage, grosse Wassermengen zu speichern. Längere Trockenperioden führen zu sehr niedrigen Abflussmengen in der Ron. Starke Regenereignisse führen sehr schnell zu sehr hohen Abflussmengen.

Infolge der Einleitung von gereinigtem Abwasser aus der ARA Hochdorf, führt die Ron ständig einen mehr oder weniger grossen Anteil an Abwasser mit. Sie trägt somit zu einer minimalen Abflussmenge in der Ron bei. Je nach Wasserführung der Ron, findet jedoch nur eine geringe

oder sogar keine Verdünnung des Abwassers statt. Mitte 2001 wurde die ARA Rain aufgehoben, um die Ron von Abwasser zu befreien. Solange aber die geringeren Abflussmengen der Ron nicht mit Frischwasser kompensiert werden, besteht die Gefahr, dass die Ron zeitweise trocken fällt. Für die Flora und Fauna ist dies ein grosser Stress. Aus diesem Grund muss das Abflussregime und der Wasserrückhalt der Ron unbedingt verbessert werden.

### **5.3 Einfluss der Temperatur**

Messungen zwischen 1985 und 2003 zeigen in der Ron oberhalb der ARA Hochdorf eine Temperaturerhöhung der Jahresmittelwerte von etwa 2°C. Das Abwasser der ARA Hochdorf bewirkt ebenfalls eine Temperaturerhöhung in der Ron, die im Rahmen dieser Untersuchungen zwischen 0.4 und 2.6°C lag.

Küttel et al. (2002) fassen zusammen, dass für verschiedene Fischarten sich die optimalen Temperaturbedingungen für Wachstum und Überleben zum Teil stark unterscheiden. Eine längerfristige Veränderung der Temperaturverhältnisse kann auch zu einer Verschiebung der Fischgemeinschaften führen. Hendrick et al. (1993) zeigten, dass die Mortalität von mit PKD infizierten Forellen bei Temperaturen über 15°C stark erhöht wird. In Anbetracht dessen, dass auch Bachforellen aus der Ron mit PKD infiziert sind und gleichzeitig die Wassertemperaturen in der Ron die 15°C-Schwelle zunehmend häufiger und länger überschreiten, kann sich diese Situation auch negativ auf die Überlebensfähigkeit von Bachforellen in der Ron auswirken.

### **5.4 Ökomorphologie**

Der Ober- und Unterlauf der Ron unterscheiden sich bezüglich ihrer Morphologie deutlich. Im Oberlauf ist die Ron ein Bach mit einer geringen Wassertiefe mit teils kiesigem, teils felsigem Bachbett. Man kann diesen Abschnitt der Forellenregion zuordnen.

Im Unterlauf, vor der Mündung in den Baldeggersee, ist die Ron ein begradigter Kanal. Das Wasser wird vom See her bis 500 Meter zurückgestaut, die Fliessgeschwindigkeiten sind geringer und die Wassertiefen grösser.

Besonders dieser unterste Flussabschnitt wurde in den letzten 200 Jahren stark verändert.

Ein erster Eingriff erfolgte durch die Absenkung des Baldeggersees zur Landgewinnung im Jahr 1806 um 35 cm und im Jahr 1870 um 115 cm (Liechti, 1994; Stadelmann 1984).

Ein zweiter Eingriff wurde mit der Kanalisierung und Begradigung der Ron vorgenommen, wobei der Bachverlauf verlegt wurde. Die Alte Ron, die auf dem untersten Kilometer parallel zur heutigen Ron verläuft, ist ein Zeugnis aus der Zeit vor diesen wasserbaulichen Eingriffen.

Die Erhebung der Ökomorphologie durch das AfU zeigte auf, dass der unterste Teilabschnitt ökomorphologisch beeinträchtigt ist. Bemerkenswert ist, dass eine 2 km lange Strecke im Unterlauf, die zwischen 1998 und 2000 verbaut wurde, als „stark beeinträchtigt“ bewertet werden musste (Rappo, 2001). Die ökomorphologische Erhebung zeigt zudem auf, dass auch Teilstrecken im Oberlauf der Ron streckenweise in ihrer Struktur beeinträchtigt sind.

Verantwortlich für die schlechte Bewertung der Lebensraumstruktur in der Ron sind Verbauungen am Gewässer, eine monotone Gerinnestruktur und der fehlende Raum für Dynamik.

Dadurch weist der Lebensraum wenig Nischen für aquatische Organismen auf. Renaturierungen sind notwendig, um diese Situation in der Ron zu entschärfen.

## **5.5 Längs- und Seitenvernetzung**

Viele künstliche Abstürze und Eindolungen unterbrechen die Längs- und Seitenvernetzung der Ron. Besonders hohe künstliche Abstürze von mehr als 70 cm können auch von Forellen mit guter Kondition nicht mehr überwunden werden. Diese Abstürze reduzieren die Fischdurchgängigkeit. Für Fische vom Baldeggersee sind die untersten 3.1 Kilometer frei durchwanderbar. Ohne diese künstlichen Abstürze von mehr als 70 cm Höhe im Oberlauf wären es 7.7 Kilometer. Gleichzeitig sind aber auch die meisten Seitenbäche vom Hauptarm der Ron abgetrennt.

Die Längs- und Seitenvernetzung ist eingeschränkt und behindert die Laichwanderung von Fischen und die Besiedlung von Abschnitten im Oberlauf und in kleinen Seitenbächen. Die Laichwanderung ist eine wichtige Phase im Lebenszyklus von Seeforellen, welche im Baldeggersee vorkommen und eingesetzt werden.

Peter (1998) zeigte am Beispiel der Töss und dem Sagentobelbach im Kanton Zürich, dass bereits kleine Schwellen die Mobilität von Fischen stark behindern und dadurch auch die Artenvielfalt der Fische deutlich reduziert wird. Die künstlichen Abstürze in der Ron sollten deshalb entfernt, beziehungsweise für Fische durchgängig gemacht werden.

## **5.6 Chemische Untersuchungen**

Für die Fische in der Ron sind hohe Ammonium- und Nitrit-Konzentrationen ein Problem. Müller (1990) fasst für Nitrit zusammen, dass bereits bei einer Konzentration von 0.14 mg Nitrit-N pro Liter die Hälfte der Regenbogenforellen innerhalb von 96 Stunden absterben können ( $LC_{96h50} = 0.14-1.67 \text{ mg NO}_2\text{-N/l}$ ). Dies gilt für Chloridkonzentrationen zwischen 1 bis 2 mg/l. Höhere Chloridkonzentrationen reduzieren die Toxizität von Nitrit. So liegen die letalen Konzentrationen ( $LC_{96h50}$ ) für Nitrit bei 8 bis 10 mg Cl/l höher mit 3.7 bis 12.1 mg  $\text{NO}_2\text{-N/l}$ . Die Chloridkonzentrationen in der Ron oberhalb der Abwassereinleitung bei Hochdorf lagen mit 8 bis 80 mg Cl/l oft in einem noch höheren Bereich. Da die maximal gemessene Konzentration von Nitrit in der Ron bei Urswil bei 0.77 mg  $\text{NO}_2\text{-N/l}$  lag, war dort nicht direkt mit einer akut toxischen Wirkung von Nitrit auf Fische zu rechnen. Dies gilt auch für Strecken unterhalb der ARA Hochdorf, da gleichzeitig mit dem Abwasser die Chloridkonzentration erhöht und dadurch die Toxizität von Nitrit reduziert wird.

Trotzdem ist bei langer Exposition auch bei niedrigeren Nitritkonzentrationen eine chronische Wirkung auf Fische zu erwarten. Müller (1990) zeigt, dass bereits ab 0.090 mg  $\text{NO}_2\text{-N/l}$  chronische Wirkungen auftreten. Aus diesem Grund beurteilt das BUWAL (2003a) Nitrit-Konzentrationen von über 0.100 mg  $\text{NO}_2\text{-N/l}$  als „schlecht“. Die Nitrit-Konzentrationen in der Ron überschreiten diese Werte häufig und es sind deshalb Schädigungen der Fische zu erwarten.

Sehr problematisch waren aber die hohen Konzentrationen von Ammonium. Abhängig vom pH-Wert und der Temperatur befinden sich Ammonium und Ammoniak in einem chemischen Gleichgewicht (Emmerson et al., 1975). Dabei ist das freie Ammoniak fischtoxisch. Akut toxische Ammoniak-Konzentrationen werden für erwachsene Forellen bereits ab 0.08 mg NH<sub>3</sub>-N/l (LC<sub>24h</sub>50) erreicht (Müller, 1990). Die No-Effect-Konzentrationen (NOEC) liegen zwischen 0.005 und 0.014 mg NH<sub>3</sub>-N/l (Müller, 1990). Unter der Annahme, dass die pH-Werte in der Ron zwischen 8.0 und 8.3 und die Temperatur zwischen 4 und 20° C liegt, erreichte Ammoniak bereits im Oberlauf bei Urswil akut toxische Konzentrationen von bis zu 0.33 mg NH<sub>3</sub>-N/l. Die Einleitung von gereinigten Abwässern aus der ARA Hochdorf im Unterlauf stellt eine zusätzliche Gefahr für Fische dar.

Das Ziel muss sein, die gesetzlichen Anforderungen an die Wasserqualität von Fließgewässern auch in den Flussstrecken unterhalb der Abwassereinleitungen zu erfüllen. Ammonium, Nitrit, gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) und BSB<sub>5</sub> sollten mit Hilfe einer angemessenen Abwasserbehandlung deutlich reduziert werden. Um dieses Ziel zu erreichen sind in der ARA Hochdorf bereits Massnahmen getroffen worden, indem die Abwasserfrachten in die ARA Hochdorf ab dem Jahr 2002 um 50% reduziert wurden. Dies erfolgte durch den Bau von Abwasservorbehandlungsanlagen bei zwei Industriebetrieben.

In der Ron und im Baldeggersee wurden weiter Pflanzenschutzmittel (PSM) wie Herbizide, Insektizide, Fungizide, Molluskizide und Phyto regulatoren untersucht. Von 30 PSM aus den Gruppen der Triazine, Acrylanilide und Phenoxyalkansäuren, die im Baldeggersee zwischen 1997 und 2000 monatlich gemessen wurden, konnten zehn analytisch nachgewiesen werden (Poiger et al., 2001).

Auch Messungen direkt in der Ron zeigten hohe PSM Konzentrationen auf (Tabelle 13). Atrazin erreichte Konzentrationen von rund 3 µg/l und überschritt damit deutlich den Grenzwert gemäss GSchV von 0.1 µg/l je Einzelstoff. Auch Desethylatrazin und Metolachlor lagen in einem Fall mit 0.268 µg/l bzw. 0.846 µg/l weit über diesem Grenzwert.



Tabelle 13: Konzentrationswerte von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in der Ron. Wo nicht anders erwähnt, wurden 24h- Sammelproben entnommen und analysiert (Daten von Thomas Poiger, Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil).

Probentyp	Datum	Konzentrationen (ng/L)			Abfluss (m <sup>3</sup> /s)
		Atrazin	Desethylatrazin	Metolachlor	
Regulär (Einzelprobe)	16.03.2002	29	21	1	0.373
Regulär	07.04.2002	38	51	5	0.109
Regulär	29.04.2002	59	<b>108<sup>a</sup></b>	10	0.239
Regulär	21.05.2002	52	24	5	0.238
Regulär	26.07.2002	58	32	4	0.264
Hochwasser	07.05.2002	33	41	25	0.255
Hochwasser	15.05.2002	<b>156<sup>a</sup></b>	31	38	0.264
Hochwasser	30.05.2002	<b>465<sup>a</sup></b>	70	84	0.458
Hochwasser	11.06.2002	<b>2891<sup>a</sup></b>	<b>268<sup>a</sup></b>	<b>846<sup>a</sup></b>	1.133
Hochwasser (Einzelprobe)	12.06.2002	<b>206<sup>a</sup></b>	50	19	0.509
Hochwasser (Einzelprobe)	25.06.2002	<b>203<sup>a</sup></b>	49	8	0.246
Hochwasser	14.08.2002	58	64	8	0.456

<sup>a</sup> Grenzwert für Gewässer (100 ng/Liter) je Einzelstoff (GSchV, 1998), Überschreitungen **fett**

Auch Human- und Veterinärpharmazeutika konnten in der Ron und im Baldeggersee nachgewiesen werden (Nipales et al., 2000).

Tabelle 14 zeigt Messungen unterhalb und oberhalb der ARA Hochdorf in der Ron. Humanpharmazeutika gelangen mit dem eingeleiteten Abwasser in die Ron. Veterinärpharmazeutika hingegen werden in der Tierproduktion eingesetzt. Diese werden von den Tieren wieder ausgeschieden und können über die ausgebrachte Jauche in die Gewässer eingetragen werden. Dies erklärt die relativ hohen Veterinärpharmazeutika - Konzentrationen bereits vor der ARA Hochdorf.

Tabelle 14: Macrolide und Sulfonamide oberhalb und unterhalb der ARA Hochdorf. Messungen vom Februar 2000 durch Nipales et al. (2000).

Probenahmeort	Humanpharmazeutika		Veterinärpharmazeutika	
	Sulfamethoxazol	Trimethoprim	Sulfamethazin	Chloramphenicol
Vor ARA Hochdorf	0 ng/l	Nachgewiesen	38 ng/l	0 ng/l
Nach ARA Hochdorf	103 ng/l	24 ng/l	24 ng/l	0 ng/l

Pflanzenschutzmittel (PSM) und Pharmazeutika sind biologisch aktive Substanzen. Gelangen solche Stoffe in die Umwelt, muss man mit ökologischen Auswirkungen rechnen.

## 5.7 Kieselalgenflora und wirbellose Kleintiere

Die Artengemeinschaften der Kieselalgen wie der wirbellosen Kleintiere wurden durch die Abwassereinleitung der ARA Hochdorf stark beeinträchtigt. Die Reinigungsleistung der ARA Hochdorf war zum Zeitpunkt der Untersuchung ungenügend. Der Biochemische Sauerstoffbedarf BSB<sub>5</sub>, gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), Nitrit und Ammonium lagen weit über den gesetzlichen Anforderungen und beeinflussten die Lebensgemeinschaft der Kieselalgenflora und der wirbellosen Kleintiere. Als die Kieselalgenflora unterhalb der ARA Rain untersucht wurde, war die ARA Rain bereits ausser Betrieb. Die Bewertung der Kieselalgen unterhalb der ARA Rain fiel im Vergleich mit der Untersuchungsstelle oberhalb der ARA Rain schlechter aus.

Da wirbellose Kleintiere einen Hauptbestandteil der Fischnahrung bilden, wird durch eine Verschiebung der Artengemeinschaft der wirbellosen Kleintiere das Nahrungsangebot für Fische verändert. Die Untersuchungen unterhalb der ARA Hochdorf zeigen, dass insbesondere das Nahrungsangebot für insektenfressende Fische wie Bachforellen, Barbe, Bartgrundel sowie Schneider kleiner ist, weil der Grossteil der Biomasse aus Würmern (Oligochaeta) besteht.

## 5.8 Gesundheitszustand der Bachforellen

Patho-Histologische Untersuchungen zeigten deutlich, dass der Gesundheitszustand der Bachforellen durch die Abwassereinleitung der ARA Hochdorf beeinträchtigt wird. Hohe Ammoniak-Konzentrationen können Schäden bei Kiemen, Leber und Niere verursachen (Müller, 1990). Es ist möglich, dass die hohe chemische Belastung durch die ARA Hochdorf den Gesundheitszustand der Forellen verschlechterte.

Zusätzlich zeigen die Untersuchungen, dass einige Forellen aus der Ron mit der proliferativen Nierenkrankheit (PKD) infiziert waren. PKD wird durch einen parasitären Einzeller verursacht und wurde bereits bei der Erhebung von Escher (1999) in mehreren Flüssen der Schweiz nachgewiesen. Da erst ab einer Temperatur über 15°C die Entwicklung des Einzellers möglich

ist, sind hohe Wassertemperaturen für infizierte Forellen problematisch und sie können eine hohe Mortalität verursachen. Weiter hat auch die schlechte Wasserqualität einen Einfluss auf den Krankheitsverlauf von PKD-infizierten Fischen (Hendrick et al. 1993).

In diesem Zusammenhang kann sich die Temperaturerhöhung der Ron, die zusätzliche Temperaturveränderung durch die Einleitung von Abwasser sowie die schlechte Wasserqualität negativ auf den Krankheitsverlauf der Bachforellen aus der Ron auswirken.

## 5.9 Vitellogenin in Bachforellen

Verschiedene chemische Substanzen wie Hormone oder hormonähnliche Stoffe werden in kommunalen Kläranlagen nur ungenügend zurückgehalten. Solche Stoffe können im Fluss direkt auf das Hormonsystem der Fische wirken.

Schlumpf et al. (2000) haben die Problematik östrogen wirkender Abwässer in acht Kläranlagen des Kantons Luzern genauer untersucht. Dabei wurde die östrogene Wirkung von Abwasser aus Vorklärbecken und Nachklärbecken und im Vorfluter mit einem Brustzellen-Test (MCF-7 Brustzellenlinie) bestimmt. Diese Messungen sind in Tabelle 15 aufgelistet und zeigen, dass die Abwasserreinigungsanlagen über 90% der östrogenen Aktivität eliminieren können. Trotz guter Elimination wurden aber immer noch hohe östrogene Aktivitäten im Ablauf gemessen. Besonders hohe Aktivitäten wurden für die ARA Rain und die ARA Eschenbach-Inwil nachgewiesen.

Tabelle 15: Östrogenäquivalente (EEQ) gemäss Brustzellentest im Abwasser von Kläranlagen des Kantons Luzern (Schlumpf et al., 2000).

Kläranlagen	Probenahme am	Vorklärbecken EEQ (ng/l)	Nachklärbecken EEQ (ng/l)	Wirkungsgrad % (VKB/NKB)	Vorfluter EEQ (ng/l)
<b>ARA Rain</b>	<b>18.08.2000</b>	<b>1364.0</b>	<b>116.9</b>	<b>91.4</b>	<b>75.1</b>
<b>ARA Hochdorf</b>	<b>21.03.2000</b>	<b>122.7</b>	<b>7.6</b>	<b>93.8</b>	<b>1.3</b>
ARA Surental	07.03.2000	112.9	7.4	93.4	0.5/2.4
ARA Wolhusen	12.04.2000	21.8	0.3	98.6	-*
ARA Rontal	19.04.2000	162.7	2.54	98.4	-*
ARA Sempach	25.04.2000	63.3	5.6	91.2	-*
ARA Ruswil	29.03.2000	62.0	2.6	95.8	0.4
ARA Eschenbach-Inwil	09.03.2000	2132.0	42.06	98.0	47.21

\*keine Messung

Unterhalb der ARA Eschenbach-Inwil (LU) konnte in der Leber von freilebenden männlichen Forellen das Eidotterprotein Vitellogenin immunhistologisch nachgewiesen werden (Wahli et al., 1998). Diese männlichen Forellen bildeten Vitellogenin (Vtg), das normalerweise von weiblichen Tieren produziert wird. Dies war eine Bestätigung, dass östrogene Substanzen im Vorfluter der ARA Eschenbach-Inwil eine Wirkung bei Forellen zeigen. In weiteren Fischnetz-Teilprojekten des Kantons Luzern im Bereich der ARA Eschenbach-Inwil konnte im Blut männlicher Bachforellen aus dem Winkelbach 1999 vorerst noch kein Vitellogenin nachgewiesen werden (Escher, 2001b). Der Nachweis gelang jedoch im Jahr 2003, als bei der Wiederholung der Untersuchungen bei 7 männlichen Bachforellen Vitellogenin nachgewiesen wurde und bei einer männlichen Bachforelle eine stark erhöhte Vitellogenin-Konzentration, wie bei Weibchen, auftrat (Dietrich & Heussner, 2003). Daneben konnten zwei weitere Studien in der Schweiz Vitellogenin im Blut von freilebenden Bachforellenmännchen in der Schüss im Kanton Bern und in der Wyna im Kanton Aargau nachweisen (Bernet, 2003; Kobler, 2003).

Da Schlumpf et al. (2000) die höchste östrogene Aktivität in der Ron unterhalb der ARA Rain fand, wurde vermutet, dass auch hier in Bachforellenmännchen Vitellogenin (Vtg) nachgewiesen werden könnte. Die Messungen aus dem Jahr 2000 gaben jedoch in männlichen Forellen keine Hinweise auf abnormal hohe Vtg-Konzentrationen.

Trotz diesen Befunden kann eine östrogene Wirkung von Abwasser auf Fische in der Ron nicht ausgeschlossen werden. Die Anzahl untersuchter männlicher Forellen war gering und die Aufenthaltsdauer der untersuchten Forellen in den belasteten Flussabschnitten könnte zu kurz gewesen sein, um eine messbare Reaktion zu entwickeln. Um diese Frage östrogen wirkender Abwässer zu klären, müssten Forellen direkt im Kläranlagen-Abwasser gehalten und auf Vitellogenin hin untersucht werden (Aerni et al., im Druck).

## **5.10 Fischbestand**

Der Populationsaufbau der Bachforellen im Allgemeinen und der Bestand an Jungforellen im Speziellen war unterhalb durchwegs kleiner als oberhalb der ARA Rain und der ARA Hochdorf (Escher, 2001a). Daraus ergeben sich zwei Interpretationsmöglichkeiten.

Erstens kann die Fortpflanzung unterhalb der Abwassereinleitungen gestört sein, was geringere Jungfischdichten verursacht. Hinweise dafür liefert die Exposition von Bachforelleneiern. Unterhalb der ARA Hochdorf überlebten nur 5% bzw. 29% der Eier.

Zweitens können die Lebensräume für Jungforellen ungeeignet sein, was zu einer Vermeidung, Abwanderung oder zu einer hohen Mortalität führt. Da unterhalb der Abwassereinleitung zeitweise fischtoxische Konzentrationen von Ammoniak und Nitrit vorlagen, hat dies besonders für sensible Jungfische Folgen.

Von den insgesamt 17 Fischarten, die im Baldeggersee vorkommen (Muggli, 2000), konnten 13 Fischarten auch in der Ron nachgewiesen werden.

Betrachtet man die Artenvielfalt der Fische, so konnte keine deutliche Auswirkung der Abwassereinleitung der ARA Hochdorf festgestellt werden. Eine Erklärung dafür ist, dass die Fische die Fliesstrecken ober- und unterhalb der Abwassereinleitung frei durchwandern können. Bemerkenswert ist, dass trotz einem massiven Fischsterben im Oktober 1999 bei Hochdorf rund zwei Jahre später kein negativer Effekt auf die Artenvielfalt der Fische festgestellt wurde. Im Gegenteil, der Diversitätsindex war im September 2000 leicht höher. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Fischbestand im Unterlauf der Ron in einem ständigen Austausch mit dem Baldeggersee steht, so dass nach einem Fischsterben oder einer massiven Gewässerverunreinigung jeweils eine Einwanderung von Fischen aus dem Baldeggersee und aus den Zuflüssen erfolgen kann.

### **5.11 Entwicklung von Bachforelleneiern**

Die Entwicklung von Bachforelleneiern unterhalb der ARA Hochdorf war deutlich reduziert. Möglicherweise haben hierbei Ammonium, Nitrit und sauerstoffzehrende organische Schmutzstoffe den Ausschlag gegeben. Die Wirkung von weiteren, nicht erfassten chemischen Substanzen kann aber nicht ausgeschlossen werden.

Unterhalb der ARA Rain konnte kein negativer Einfluss der Kläranlage auf die Bachforelleneier festgestellt werden.

Die Resultate der Ei-Exposition unterhalb der ARA Hochdorf bestätigen, dass die Reproduktion von Fischen durch die Abwassereinleitung beeinträchtigt wurde. Da Flussmündungsgebiete auch von Seefischen als Laichgebiete benutzt werden, könnte sich die Abwassereinleitung der ARA Hochdorf auch auf Fische in der Seeuferzone des Baldeggersees auswirken.

## **6 Vergleich mit den Hypothesen des Projekts „Netzwerk Fischrückgang Schweiz“**

Im Projekt „Netzwerk Fischrückgang Schweiz“ (Fischnetz) wurden 12 Hypothesen formuliert, die mögliche Erklärungsansätze zum gesamtschweizerischen Rückgang des Forellenertrags beinhalten (Burkhardt-Holm et al., 2002).

In der vorliegenden Studie wurden für die Ron verschiedene Grundlagenerhebungen in den Bereichen Hydrologie, Lebensraumstruktur, physikalische und chemische Wasserqualität sowie biologische Indikatoren (Algen, wirbellose Kleintiere und Fische) vorgenommen. Somit lassen sich die 12 Hypothesen des „Netzwerkes Fischrückgang Schweiz“ für das Gewässersystem der Ron überprüfen (Tabelle 16). Auch für die Ron konnte ein Rückgang der Fangerträge an Forellen seit der Inbetriebnahme der ARA Hochdorf und ARA Rain festgestellt werden.

Tabelle 16: Aufgelistet werden Untersuchungen und Kenntnisse zur Ron. Es wird eine Bewertung gegeben, inwiefern der ökologische Zustand der Ron beeinträchtigt oder gestört wird. Unterschieden wird zwischen sehr starken (+ +) und starken (+) Auswirkungen. Bei fehlenden Untersuchungen oder Unsicherheit erfolgte keine Bewertung (?).

	<b>Fischnetzthesen: Der Fischrückgang ist Ursache von...</b>	<b>Untersuchungen//Feststellungen zur Ron</b>	<b>Bewertung der Relevanz</b>
1.	<b>vielen Effekten</b>	Eine Vielzahl von Effekten auf den Fischrückgang wurde festgestellt.	<b>+ +</b>
2.	<b>Fortpflanzungsschwäche</b>	Bei freilebenden männlichen Bachforellen wurde keine hormonelle Störung nachgewiesen.	<b>?</b>
3.	<b>zu wenig nachwachsenden Fischen</b>	Unterhalb Kläranlageneinleitungen starben Bachforelleneier ab und im Populationsaufbau waren Jungforellen untervertreten.	<b>+ +</b>
4a.	<b>einer reduzierten Gesundheit der Fische</b>	Unterhalb der Kläranlagen wurden in Bachforellen Organschäden festgestellt.	<b>+</b>
4b.	<b>einer reduzierten Gesundheit, die zum Tod von Fischen führt</b>	Bachforellen waren mit der proliferativen Nierenkrankheit (PKD) infiziert.	<b>+</b>
5.	<b>chemischer Wasserverschmutzung</b>	Die Reinigungsleistung der ARA Hochdorf war schlecht und die Abwasserverdünnung in der Ron gering. Es wurden Ammonium - Konzentrationen festgestellt, die als akut fischtoxischen gelten. Im Durchschnitt trat jedes Jahr ein Fischsterben auf. Es wurden Pflanzenschutzmittel, Veterinär- und Humanpharmazeutika nachgewiesen.	<b>+ +</b>
6.	<b>schlechtem Lebensraum und fehlender Vernetzung</b>	Die Ökomorphologie ist beeinträchtigt und die Längs- und Seitenvernetzung stark eingeschränkt	<b>+ +</b>
7.	<b>Feinsedimenten</b>	Im Einzugsgebiet hat die Bodenerosion zugenommen. Im Unterlauf wurden bei biologischen Untersuchungen Kolmatierungen festgestellt.	<b>+</b>
8.	<b>zu wenig Fischnährtieren</b>	Unterhalb der Abwassereinleitung war die Artenzusammensetzung der wirbellosen Kleintiere verändert.	<b>+</b>
9.	<b>unangepasster fischereilicher Bewirtschaftung</b>	Die Ron wurde mit Bachforellen aller Altersklassen besetzt.	<b>+</b>
10a.	<b>Überfischen durch Vögel (Prädatoren)</b>	Die geringen Rückzugsmöglichkeiten ermöglichen ein Überfischen durch Vögel.	<b>?</b>
10b.	<b>verändertem Anglerverhalten</b>	Keine Informationen.	<b>?</b>
11.	<b>höheren Temperaturen</b>	Höhere Wassertemperaturen wurden langfristig festgestellt. Abwassereinleitungen erhöhen die Temperatur im Vorfluter ebenfalls.	<b>+</b>
12.	<b>häufigerem Winterhochwasser mit Geschiebetrieb</b>	Durch die Versiegelung und Drainierung von Böden im Einzugsgebiet der Ron wurde das Abflussregime verändert.	<b>?</b>

Gemäss den Ergebnissen dieser Untersuchung sind für die Beeinträchtigung der Fischhabitate in der Ron hauptsächlich folgende vier Hypothesen verantwortlich:

„Chemische Wasserverschmutzung“ (Hypothese 5)

Die chemische Verunreinigung der Ron durch Abwassereinleitungen und Stoffe aus der Landwirtschaft (Düngestoffe, Pflanzenschutzmittel, Veterinärpharmazeutika) bewirkte eine starke Beeinträchtigung der Kieselalgenflora, der wirbellosen Kleintiere und der Fische.

„Schlechter Lebensraum und fehlende Vernetzung“ (Hypothese 6)

Die Struktur der Wasserlebensräume in der Ron ist beeinträchtigt. Die Längs- und Seitenvernetzung der Ron ist eingeschränkt. Künstliche Abstürze verhindern die Wanderung von Fischen zwischen Baldeggersee und dem Oberlauf.

Häufige Fischsterben und die eingeschränkte Durchgängigkeit verstärken den Druck auf die Fische in der Ron.

„Zu wenig nachwachsende Fische“ (Hypothese 3)

Das Überleben von Forelleneiern unterhalb der ARA Hochdorf ist sehr stark beeinträchtigt und Jungforellen sind unterhalb der Kläranlageneinleitungen in Rain und Hochdorf untervertreten.

„Einfluss vieler Effekte“ (Hypothese 1)

Die Untersuchungen zeigen auf, dass:

- die Wasserqualität durch Abwassereinleitungen und geringes Verdünnungspotential schlechter wird,
- die Vielfalt der Wasserlebensräume eingeschränkt ist,
- die Fischdurchgängigkeit durch Hindernisse eingeschränkt ist
- und das Abflussregime verändert ist.

Der gewässerökologische Zustand in der Ron ist vor allem unterhalb der ARA Hochdorf stark beeinträchtigt.

## **7 Massnahmen zur Verbesserung des ökologischen Zustandes der Ron**

Der Wasserlebensraum der Ron ist heute durch mehrere Faktoren, die in Tabelle 16 aufgelistet sind, deutlich belastet und beeinträchtigt. Insbesondere die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Wasserqualität und Lebensraum für Fische werden in der Ron nicht erfüllt. Diese Situation verlangt nach Massnahmen, um den Zustand der Ron zu verbessern. Dabei sollte auch berücksichtigt werden, dass die Ron und der Baldeggersee ein zusammenhängendes Gewässersystem bilden. Mit Massnahmen in verschiedenen Bereichen müsste der Gesamtzustand der Ron als Wasserlebensraum für Pflanzen und Tiere verbessert werden.

### **7.1 Reinigungsleistung der ARA Hochdorf verbessern**

Die Grenzwerte der Gewässerschutzverordnung für das Einleiten von Abwasser in die Ron konnte die überlastete ARA Hochdorf während der Untersuchungsperiode nicht einhalten. Zwischenzeitlich wurde die ARA Hochdorf entlastet, indem zwei Industriebetriebe eigene Abwasserbehandlungen in Betrieb nahmen und ihr behandeltes Abwasser gemeinsam mit der ARA Hochdorf in die Ron einleiten. Die Reinigungsleistung der ARA Hochdorf hat sich im Jahr 2003 verbessert.

### **7.2 Fernhalten von Abwässern aus Kläranlagen**

Die gesetzliche Anforderungen an die Wasserqualität von Fließgewässern (GSchV 1998) wurden in der Ron wegen der geringen Verdünnung nicht eingehalten. Beim nächsten Ausbau der ARA sollten die gereinigten Abwässer über eine Tiefenwassereinleitung direkt in den Baldeggersee eingeleitet werden. Die Tiefenwassereinleitung müsste bei 15 Metern Tiefe in den Baldeggersee erfolgen. In dieser Tiefe findet auch im Sommer wegen Lichtmangel kein Algenwachstum mehr statt.

Der Bau einer Pflanzenkläranlage wäre eine andere Alternative. Feuchtgebiete sind biologisch hoch aktiv. Es finden dort aerobe und anaerobe Abbauprozesse statt. In verschiedenen Ländern werden für die Abwassernachbehandlung grosse Feuchtgebiete angelegt (USEPA, 1993). Eine Pflanzenkläranlage könnte das Abwasser der ARA Hochdorf und der Industriebetriebe nachbehandeln und die Ron zusätzlich entlasten. Schwer abbaubare oder toxische Stoffe werden aber auch von Pflanzenkläranlagen nicht vollständig entfernt.

### **7.3 Gewässerstruktur aufwerten**

Mit Renaturierungsmassnahmen sollte die ökomorphologische Qualität der Wasserlebensräume der Ron verbessert werden. Dabei müsste erreicht werden, dass die Ron mehr Raum für eine Dynamik erhält und damit auch die Vernetzung mit dem Umland verbessert wird. Ausweitungen sollten besonders im Unterlauf durchgeführt werden, da die Ron dort aufgrund ihres kanalartigen



Charakters einen stark beeinträchtigten Zustand aufweist. In diesem Zusammenhang könnten gleichzeitig Strecken mit abwechslungsreichen Fliessgeschwindigkeiten geschaffen werden. Daneben würde auch eine standorttypische Ufervegetation wie Röhricht, Sträucher und Bäume helfen, den Lebensraum der Ron aufzuwerten. Eine ausgewogene Beschattung könnte das Temperaturregime der Ron positiv beeinflussen. Mit diesen Aufwertungsmassnahmen würden neue Gewässerlebensräume geschaffen werden.

#### **7.4 Längs- und Seitenvernetzung verbessern**

Durch eine bessere Vernetzung der Ron würden Fischwanderungen und Wiederbesiedlungen nach Fischsterben verbessert. Insbesondere die drei Abstürze bei Meter 3105, 4542 und 4690 ab der Mündung in den Baldeggersee sollten fischdurchgängig gemacht werden. Dadurch würden zusätzliche freie Wanderstrecken für Fische aus dem Baldeggersee erschlossen. Als weiterer Schritt müsste auch die Fischdurchgängigkeit zu den wichtigsten Seitengewässern hergestellt werden.

Die Herstellung der Fischdurchgängigkeit durch die Sanierung von Abstürzen sind relativ kostengünstige und einfache Aufwertungsmassnahmen.

#### **7.5 Diffuse Einträge von Schadstoffen aus landwirtschaftlichen Flächen und Gülleunfälle verhindern**

Die Schadstoffbelastung der Ron durch die Landwirtschaft sollte weiter vermindert werden. Die Schaffung von Pufferstreifen mit Düng- und Herbizidverbot im Uferbereich der Ron könnte den diffusen Eintrag von Schadstoffen in die Gewässer reduzieren. Eine weitere Massnahme wäre die Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung der Böden im Einzugsgebiet sowie die Reduktion der hohen Tierbestände.

Gewässerverschmutzungen sowie Fischsterben sollten verhindert werden. Hauptsächlich nach Gülleunfällen können akut toxische Konzentrationen von Ammoniak und Nitrit im Gewässer auftreten, die in kurzer Zeit einen grossen ökologischen Schaden verursachen.

## **7.6 Wasserrückhalt und Abflussregime verbessern**

Zur Verbesserung des Abflussregimes sollte der Wasserrückhalt im Einzugsgebiet der Ron verbessert werden. Dies könnte durch Erstellung von Feuchtgebieten und Wasserrückhaltegebieten im Einzugsgebiet erreicht werden. Diese müssten insbesondere in der Lage sein grosse Mengen an Niederschlagswasser zu speichern.

Diese Rückhalte - Massnahmen würden eine Zunahme der Mindestabflussmengen und eine Abnahme der Maximalabflussmengen bewirken. Dadurch würde sich einerseits der Wasserlebensraum im Oberlauf vergrössern, andererseits würde sich auch die Abschwemmung und Auswaschung von Düngstoffen im Einzugsgebiet reduzieren. In Hinblick auf den diffusen Eintrag von Düngstoffen und Pflanzenschutzmitteln in das Gewässersystem würde sich vor allem eine längere Wasseraufenthaltszeit im Einzugsgebiet positiv auswirken.

## **7.7 Leitbild für fischereiliche Bewirtschaftung erstellen**

Der Besatz der Bachforellen ist im Oberlauf der Ron unter den gegebenen Umständen sinnvoll. In erster Linie sollte erreicht werden, dass die Bachforellenpopulationen sich selbst erhalten können. Bis sich der ökologische Zustand der Ron auch für die Fische verbessert hat, ist ein gezielter Besatz mit Forellen verantwortbar, da sonst das Risiko besteht, dass die Forellen aus der Ron verschwinden. Der Besatz von Zucht-Forellen birgt die Gefahr, dass diese Tiere viel Lebensraum besetzen aber wenig zur Reproduktion oder zur genetischen Qualität der Forellen-Population beitragen. Es sollte deshalb ein Konzept für einen sinnvollen Besatz von Forellen erstellt werden, das den Aufbau eines standorttypischen Bachforellenstammes aus dem Einzugsgebiet des Baldeggersees beinhaltet.

Der Unterlauf der Ron ist wegen der langsamen Strömung und der Nähe des Baldeggersees kein typisches Forellengewässer. Trotzdem ist auch dieser Flussabschnitt fischbiologisch wertvoll. Bis zu 13 Fischarten, die aus dem Baldeggersee einwandern, können gefangen werden. Diese Artenvielfalt sollte erhalten und gefördert werden. Insbesondere sollte die Laichwanderung der stark gefährdeten Seeforelle in die obere Region der Ron gefördert werden.

## 8 Schlussfolgerung und Empfehlungen

Durch die Landnutzung und die Siedlungsentwässerung mit Abwasserreinigungsanlagen, die direkt in die Ron entwässern, ist die Wasserqualität, das Abflussregime und die Qualität der Lebensräume für Fische in der Ron stark beeinträchtigt. Durch die vorgeschlagenen Massnahmen soll die ökologische Beeinträchtigung der Ron verringert werden.

Erste Priorität hat dabei die Reduktion der massiven Belastung durch gereinigte Abwässer der ARA Hochdorf. Bei der ARA Hochdorf sollte deshalb die Reinigungsleistung so verbessert werden, dass die gesetzlichen Vorschriften und Anforderungen an die Wasserqualität erfüllt werden. Gewässerschutzmassnahmen im ländlichen Raum und zur Verhinderung der Abschwemmung und Auswaschung von Schadstoffen in die Gewässer sind gezielt weiter zu führen.

Die Herstellung der Durchgängigkeit der Ron für Fische hat zweite Priorität. Künstliche hohe Abstürze müssten entfernt oder durchgängig gemacht werden.

Dritte Priorität hat die Aufwertung der Lebensraumstruktur und die Verbesserung des Abflussregimes. Diese beiden Bereiche verlangen eine extensivere Landnutzung im Einzugsgebiet der Ron. Wasserrückhalte-Flächen im Einzugsgebiet sollten auch in Zukunft nicht stärker genutzt werden, damit diese weiterhin zu einem naturnahen Wasserhaushalt einen Beitrag leisten können.

Der Besatz von Bachforellen soll mit standorttypischen Stämmen erfolgen und die fischereiliche Nutzung soll eine Artenvielfalt ermöglichen. Als Leitbild könnte die Schaffung von abwechslungsreichen Lebensräumen dienen, damit sich eine vielfältige Fischgemeinschaft, einschliesslich der Bach- und Seeforelle, entwickeln kann.

## 9 Literaturhinweise

- Aerni, H.-R., B. Kobler, B.V. Rutishauser, F.E. Wettstein, R. Fischer, W. Giger, A. Hungerbühler, M.D. Marazuella, A. Peter, R. Schönenberger, A.C. Vögeli, M.J.-F. Suter & R.I.L. Eggen, 2003. Combined biological and chemical assessment of estrogenic activities in wastewater treatment plant effluents. Analytical and bioanalytical chemistry. Im Druck.
- Amt für Umweltschutz (AfU) des Kantons Luzern, 1993-2002. Überwachungsberichte der ARA Hochdorf und ARA Rain. Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, Abteilung Abwasserbehandlung und Gewässerüberwachung.
- Amt für Umweltschutz (AfU) des Kantons Luzern, 2001. Beurteilung der Struktur und Durchgängigkeit der Fliessgewässer – Anleitung zur Felderhebung, Datenerfassung und Darstellung im GIS. 29 Seiten.
- AquaPlus, 2002. Kieselalgenflora und Beurteilung der biologisch indizierten Wasserqualität in der Ron (LU). Untersuchungen vom 18. März 2002. AquaPlus, Zug, im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Luzern, 21. Oktober 2002, 47 Seiten.
- Bernet, D., H. Schmidt, W. Meier, P. Burkhardt-Holm, & T. Wahli, 1999. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. *Journal of Fish Diseases* 22: 25-34.
- Bernet, D., 2003. Biomonitoring in Fliessgewässern des Kantons Bern: Synthesebericht. Fischnetz-Teilprojekt Nr. 99/16 im Auftrag des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft der Kantons Bern, 57 Seiten.
- Boller, M., J. Eugster & A. Weber, 1981. Erfahrungen mit der ersten schweizerischen Flockungsfiltrationsanlage auf der Kläranlage Hochdorf. *Gas, Wasser, Abwasser* 11: 349-365.
- Breitenstein, M. & A. Kirchhofer, 2002. Untersuchungen Ron ARA Hochdorf, Teilbereich Makrozoobenthos. Untersuchungsbericht für das Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, November 2002, 14 Seiten.
- Burkhardt-Holm, P., A. Peter & H. Segner, 2002. Decline of fish catch in Switzerland - A balance between analysis and synthesis. *Aquatic Sciences* 64: 36-54.
- BUWAL, 1998. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz: Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). *Mitteilungen zum Gewässerschutz* Nr. 27, 65 Seiten.
- BUWAL, 2002. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz: Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Bern, Version vom 4 Januar 2002.
- BUWAL, 2003a. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz: Modul Chemie, Chemisch-physikalische Erhebungen, Stufen F & S. Bern, 47 Seiten.
- BUWAL, 2003b. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz: Makrozoobenthos Stufe F (flächendeckend). Bern, Version vom 31. März 2003, 51 Seiten.
- Dietrich, D.R., 2002. Untersuchungsbericht zur Vitellogeninbestimmung im Blutplasma von Bachforellen ober- und unterhalb der ARA Hochdorf und Teufenthal. Untersuchungsbericht von „EUREGIO Ökotoxikologisches Service Labor, Universität Konstanz, Deutschland“ für das Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, Dezember 2002, 7 Seiten.

- Dietrich, D.R. & A. Heussner, 2003. Untersuchungsbericht zur Vitellogenin-Bestimmung im Blutplasma von Bachforellen unterhalb der ARA Eschenbach im Winkelbach. Universität Konstanz, November 2003, 6 Seiten.
- Escher, M., 1999. Einfluss von Abwassereinleitungen aus Kläranlagen auf Fischbestände und Bachforelleneier. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 61, BUWAL, 201 Seiten.
- Escher, M., 2001a. Fischbiologische Untersuchungen in der Ron (ober- und unterhalb der Kläranlagen Rain und Hochdorf). Aqua-Sana, Ulmiz, im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Luzern, September 2001, 23 Seiten.
- Escher, M., 2001b. Fischereibiologische Untersuchungen im Bereich der ARA Eschenbach-Inwil. Aqua-Sana, Ulmiz, im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Luzern, Januar 2001, 27 Seiten + Anhang.
- Escher, M., R. Lovas & P. Stadelmann, 2002. Fischbiologische Untersuchungen der Ron: oberhalb und unterhalb der Kläranlagen Rain und Hochdorf. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern 37: 167-202.
- Escher, M., 2003. Histologische Untersuchungen von Bachforellen aus der Ron (Ober- und unterhalb der Kläranlage Hochdorf). Aqua-Sana, Ulmiz, im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Luzern, Januar 2003, 6 Seiten.
- Emmerson, K., R.C. Russo, R.E. Thurston & R.V. Lund, 1975. Aqueous ammonia equilibrium calculations: Effects of pH and temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32: 2379-2383.
- Fent, K. & S. Meylan, 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.
- Hendrick, R.P., D. Monge & P. De Kinkelin, 1993. Proliferative kidney disease of salmonid fish. *Annual review of fish diseases* 3: 277-290.
- Herzog, P., 1999. Baldeggersee-Auswertung der Zuflussuntersuchungen 1995-1999. Herausgabe Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern.
- Kobler, B., 2003. Hormonelle Störungen freilebender Bachforellen im Fluss Wyna ober- und unterhalb von Abwasserreinigungsanlagen. Bericht des Amtes für Umweltschutz des Kantons Luzern, 19 Seiten.
- Küttel, S., A. Peter, A. Wüest, 2002. Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizer Fließgewässer. EAWAG Kastanienbaum (Fischnetz-Teilprojekt Nr. 01/25), Mai 2002, 36 Seiten.
- Landeshydrologie und -geologie (LHG), 1992. Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel.
- Liechti, P., 1994. Der Zustand der Seen in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 237, BUWAL, Bern, 159 Seiten.
- Müller, R., 1990. Stickstoff-Toxizität für Fische und herzuleitende Grenzwerte. EAWAG-News 30: 33-37.

- Muggli, J., 2000. Baldeggersee: Fischereiliche Standortbestimmung. Unterlagen zum Workshop „Wie weiter mit der Sanierung des Hallwiler- und Baldeggersees?“ Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Luzern, Mai 2000, 10 Seiten.
- Nipales, N.S., C.S. McArdell, E. Molnar, W. Giger. 2000. Occurance of the Macrolide and Sulfonamide Antibiotics in the Aquatic Environment of Switzerland. Presented at the 219th ACS National meeting in San Francisco, USA, March 2000.
- Perret, P., 1977. Zustand der schweizerischen Fließgewässer in den Jahren 1974/1975 (Projekt Mapos). Eidgenössisches Amt für Umweltschutz & EAWAG, 276 Seiten.
- Peter, A., 1998. Interruption of the River Continuum by Barriers and the Consequences for Migratory Fish. In: Fish Migration and Fish Bypasses, editors. M. Jungwirth, S. Schmutz, S. Weiss, S. 99-112.
- Poiger, T., H.R. Buser, M.D. Müller, H. Singer, S. Müller, L. Keller & M. Amaudruz, 2001. Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme: Bereich Pflanzenschutzmittel. Vierter Zwischenbericht. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, April 2001, 29 Seiten.
- Rappo, A., 2001. Untersuchung der Lebensraumstruktur und Fischdurchgängigkeit der Ron. Eine ökomorphologische Erhebung nach der Methode des BUWAL (Stufe F). Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, 53 Seiten.
- Rippmann, U.C., 2000. Bericht und Schadensberechnung zur Fischvergiftung am Gerenbach und am Ronkanal bei Hochdorf vom 27.10.1999. Fischerei und Jagdverwaltung der Kantons Luzern, unveröffentlicht, 10 Seiten.
- Schlumpf, M., M. Buchmann, M. Conscience-Egli, B. Cotton, S. Durrer, I. Fleischmann, M. Müller, N. Schwendener & W. Lichtensteiger, 2000. Östrogene Aktivität: Abwasserreinigungsanlagen und UV-Filter. Institut für Pharmakologie und Toxikologie, Universität Zürich, 8 Seiten.
- Schmedtje, U. & F. Kohmann, 1992. Bestimmungsschlüssel für die Saprobier-DIN-Arten (Makroorganismen). Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Informationsberichte Heft 2/88: 1-274.
- Shannon, C. & W. Weaver, 1948. The mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal 27: 398-403.
- Stadelmann, P., 1984. Die Zustandsentwicklung des Baldeggersees (1900 bis 1980) und die Auswirkung von seeinternen Massnahmen. Wasser, Energie, Luft, 76: 83 – 95.
- Stadelmann, P., R. Lovas & E. Butscher, 2002. 20 Jahre Sanierung und Überwachung des Baldeggersees. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern 37: 113-164.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1993. Constructed wetlands for wastewater treatment and wildlife habitat: 17 case studies. Washington, USA, EPA 832-R-93-005.
- Wahli, T., W. Meier, H. Segner, & P. Burkhardt-Holm, 1998. Immunohistological detection of vitellogenin in male brown trout of Swiss rivers. Histochem. Journal 30: 753-758.

## 10 Verdankung

Der vorliegende Bericht wurde von Bernd Kobler, dipl. phil. nat. Universität Bern, während eines Praktikums in der Stabsstelle Forschung unter der Leitung von Dr. Pius Stadelmann zusammengestellt. Ohne die Vorarbeiten, Studien und Untersuchungen in den Bereichen Hydrologie, Ökomorphologie, chemische Wasseruntersuchung, Kieselalgenzusammensetzung, Biologie der wirbellosen Kleintiere und vor allem Fischbiologie wäre dieser Bericht als zusammenfassende Darstellung nicht möglich gewesen. Die Autoren danken folgenden Personen und Institutionen:

- Dr. Matthias Escher, „Aqua-Sana“, 3214 Ulmiz, der die „Fischnetz“-Projekte des Kantons Luzern an der Ron und im Bereich der ARA Eschenbach-Inwil geleitet und sämtliche fischbiologischen Untersuchungen durchgeführt hat
- Dr. Arthur Kirchhofer und Martina Breitenstein, „WFN - Wasser Fisch Natur“, 3205 Gümmenen
- Dr. Joachim Hürlimann, AquaPlus, 6300 Zug
- Dr. Thomas Poiger, Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst, Wein- und Gartenbau FAW, 8820 Wädenswil
- Prof. Dr. Daniel Dietrich, Universität Konstanz
- PD Dr. Margret Schlumpf, Universität Zürich
- PD Dr. Karl Fent, ETH Zürich, Departement für Umweltwissenschaften und Fachhochschule beider Basel FHBB, 4132 Muttenz

Bei den Feldarbeiten haben mitgeholfen:

- Philipp Amrein: Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Luzern
- Cornelia Crespi, Peter Herzog, Ernst Butscher und Jean-Claude Bernegger:  
Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern

Yves Brechbühl, Umweltnaturwissenschaftler ETH, hat den Bericht redaktionell überarbeitet.