

Zeitschrift: Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft
Herausgeber: St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft
Band: - (2005)

Artikel: Die Rheinwasserqualität zwischen Bodensee, Tössegg und Basel
Autor: Hardmeier, Hermann U.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-832683>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 01.05.2026

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

Die Rheinwasserqualität zwischen Bodensee, Tössegg und Basel

Hermann U. Hardmeier

1 VIELE FAKTOREN BESTIMMEN DIE WASSERQUALITÄT

Der Rhein zwischen Bodensee und Nordsee dient in seinem Einzugsgebiet mehr als 20 Millionen Menschen als Trinkwasserspender. Allein aus dieser Sicht ist eine einwandfreie Wasserqualität in stetiger Anstrengung anzustreben und zu erhalten. Auch die Nutzung als Bade- und Fischgewässer sowie als Erholungsraum für Einheimische und Touristen setzen ein sauberes und appetitliches Flusswasser voraus (Abb. 1).



Abb. 1. Der Rhein bei der Tössegg.

Das Ziel, eines der bedeutendsten Fließgewässer Europas sauber und den Nutzungen zugänglich zu erhalten, setzt verantwortungsvolles Handeln aller Oberlieger an der Flussstrecke voraus. Unseren heutigen Ohren mag diese Forderung selbstverständlich klingen. Bis gegen Ende der Sechzigerjahre des letzten Jahrhunderts diente jedoch der Rhein, wie viele andere Fließgewässer auch, als Abwasser- und Abfallentsorgungskanal und präsentierte sich dementsprechend vielerorts verschmutzt und unappetitlich. Das Selbstreinigungsvermögen des Flusses wurde eindeutig überstrapaziert und

die Fantasie, auch an die Unterlieger zu denken, fehlte.

Ab den Siebzigerjahren wurden am Rhein und in seinem weiteren Einzugsgebiet zunehmend Kläranlagen gebaut und in Betrieb genommen. So die Anlage für die Stadt Schaffhausen und angrenzende Gemeinden im Jahre 1970. In den letzten Jahren sind viele dieser Anlagen bereits in zweiter Generation erneuert und ihre Reinigungsleistung noch einmal verbessert worden.

Auch die gesetzlichen Anforderungen an die anzustrebende Flusswasserqualität und an die zulässigen Restschadstoffgehalte in Kläranlagenausläufen und Abwässern aus Industrieanlagen sind zunehmend verschärft worden (EIDGENÖSSISCHE GEWÄSSERSCHUTZVERORDNUNG, 1998). Dies hat es den Vollzugsorganen ermöglicht, überall wo notwendig, Sanierungsmaßnahmen zu fordern und auch durchzusetzen. Als Folge des Grossbrandes in einem Lagerhaus der Sandoz in Basel (1986) und des damit verbundenen Abgangs von mehr als 20 Tonnen hochgiftiger Pestizide in den Rhein, verabschiedeten 1987 die Rheinminister das «Aktionsprogramm Rhein 2000» und, nach dessen Ablauf, das Folgeprogramm «Aktionsprogramm Rhein 2020». Die bisherigen Erfolge werden weiter unten dargestellt.

Neben diesen technischen und rechtlichen Massnahmen wird die Qualität des Rheins durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Zunächst bestimmt natürlich der Bodensee und sein Einzugsgebiet ganz wesentlich die Wasserqualität des Hochrheins und der unterliegenden Abschnitte. Für die Verbesserung der Rheinwasserqualität mussten deshalb auch Massnahmen im ganzen Bodenseegebiet durchgesetzt werden. Zwischen Stein am Rhein und Basel wurden aber zwischen 1898 und 1966 auch nicht

weniger als 11 Flusskraftwerke gebaut, die einen grossen Einfluss auf die Fliessgeschwindigkeit und damit auf die Sohlen- und Uferbeschaffenheit der Flussstrecke haben (BUWAL, SU 375, 2004). Der durchgehende Geschiebetransport mit seinem Einfluss auf die Sohlenbeschaffenheit ist nicht mehr möglich. Die Durchgängigkeit des Gewässers für die Wanderfische, z.B. für den Lachs, ist durch die Stauanlagen verunmöglicht worden. Inzwischen verhelfen kostspielige Massnahmen an den Wehren, die Durchgängigkeit schrittweise wieder herzustellen.

Wie steht es nun aber mit der Rheinwasserqualität heute? (Vgl. auch VISCHER in diesem Buch).

2 DIE RHEINWASSERQUALITÄT HEUTE

Nach all den gemachten und noch andauernden Anstrengungen und erheblichen Investitionen zur Verbesserung und Sicherung der Rheinwasserqualität sind entsprechende Erfolge zu verzeichnen. Anhand einiger Betrachtungen soll dies im Folgenden veranschaulicht werden:

2.1 Anorganisch chemische Parameter

Im Vergleich der **Phosphorgehalte** im Bodensee für die Probenahmestelle Uttwil (IGKB, NR. 31, 2004) und im Rhein für die Probenahmestelle Salzstadel, SH (ALU, 1975–2005), kann gezeigt werden, wie technische Massnahmen bei den Kläranlagen (Einführung der Phosphatfällung) und gesetzliche Vollzugsmassnahmen (EIDGEN. STOFFVERORDNUNG, 1986) zu einer markanten Senkung der Gehalte in Bodensee und Rhein geführt haben.

Die Abb. 2 veranschaulicht für den Bodensee die stetige Zunahme der Phosphorgehalte bis auf über 80 mg/m³ in den Siebzigerjahren und ab den Achzigerjahren, bedingt durch die erwähnten Massnahmen, die markante Absenkung bis auf 10 mg/m³.

Aus Abb. 3 ist die Absenkung der P-Gehalte für den Rhein ab ebenfalls den Achzigerjahren ersichtlich. Die grössere Dynamik des Fliessgewässers und die direktere Zusatzwirkung der Kläranlagen begünstigte, im Vergleich zum

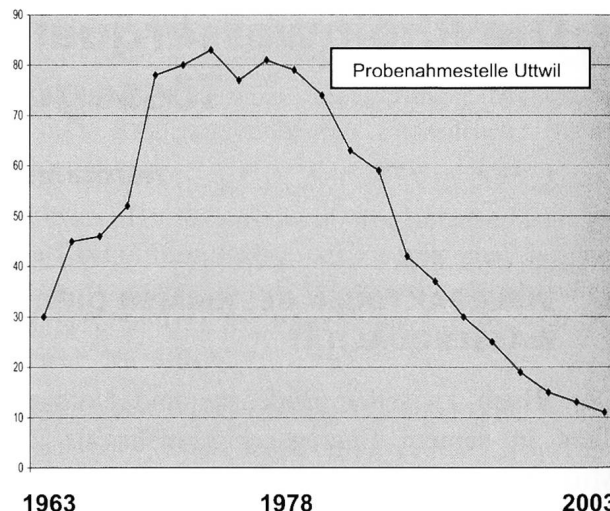


Abb. 2. Gesamtphosphorgehalt im Bodensee in mg/m³.

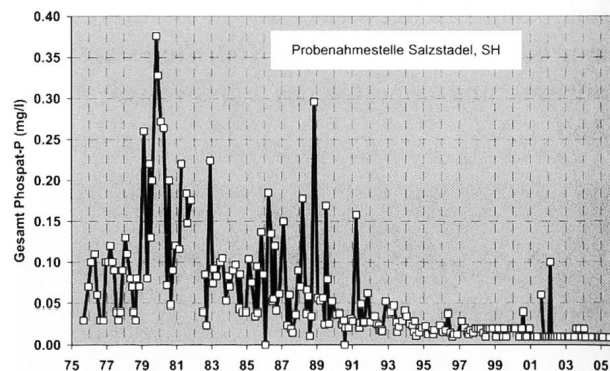


Abb. 3. Phosphat-P-Gehalte im Rhein in mg/l.

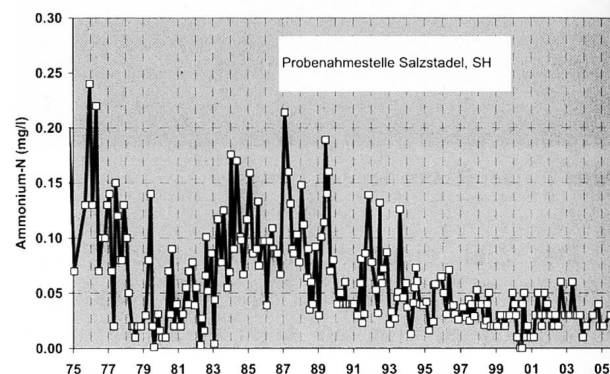


Abb. 4. Ammoniumstickstoffgehalte im Rhein in mg/l.

trägeren Seespeicher, einen beschleunigten Abbau.

Für Werte < 50 mg P/m³ gilt ein Gewässer als weitgehend unbelastet und wird zur Güteklasse I gezählt (LAWA-RICHTLINIEN).

Ähnlich erfolgreich zeigt sich in Abb. 4 die Abnahme der **Ammoniumstickstoffwerte** im

Rhein. Dies ist vor allem auf die Nitrifizierung in den Kläranlagen und auf die vorsorglichen Massnahmen in der Landwirtschaft zurückzuführen.

Gemäss den LAWA-Richtlinien wird ein Gewässer mit Konzentrationen $< 40 \text{ mg N/m}^3$ ebenfalls als relativ unbelastet bewertet.

Analoge Verbesserungen der Rheinwasserqualität ab Ende der Siebzigerjahre bis heute sind für andere von uns routinemässig gemessenen Parameter festzustellen. So können für **Nitratstickstoff** im Mittel Gehalte unter 1 g/m^3 , für den **gelösten organischen Kohlenstoff** (DOC) unter 2 g/m^3 und für den Sauerstoffgehalt um 10 g/m^3 gemessen werden. Dies sind alles Werte, die nach den erwähnten LAWA-Richtlinien für unbelastete Gewässer der Güteklasse I gelten. Einzig die **Nitritstickstoffgehalte** können in Einzelfällen den als unbelastet taxierten Wert von unter 10 mg/m^3 übersteigen und bis 20 mg/m^3 erreichen. Ein solches Gewässer ist der Güteklasse I-II zuzuordnen und gilt somit immer noch als sehr gering belastet.

Zwischen Stein am Rhein und Tössegg schwanken die Werte nur geringfügig. Mit Ausnahme der Probenahmestelle Tössegg selbst, wo, wegen dem Einfluss der gegenüber dem Rhein deutlich mehr belasteten Töss erhöhte Gehalte bei den chemischen Parametern festgestellt werden. Vom Bodensee bis oberhalb der Tössegg kann deshalb der Rhein generell als unbelastet bis sehr gering belastet gelten.

2.2 Mikrobiologie

In den Sommermonaten, zwischen Juni und August, werden zwischen Stein am Rhein und Tössegg durch das ALU regelmässig bei allen Badeplätzen Proben für mikrobiologische Untersuchungen erhoben. Bestimmt werden *Escherichia coli* und Salmonellen, letztere bei positiven Befunden auch typisiert. Die Bewertung erfolgt nach den EMPFEHLUNGEN FÜR DIE HYGIENISCHE BEURTEILUNG VON SEE- UND FLUSSBÄDERN, 1991.

Seit 15 Jahren können bis auf die Höhe von Rüdlingen in aller Regel sog. A- und B-Bewertungen vorgenommen werden. Dies bedeutet, in

der Terminologie der Empfehlungen, dass von der Mikrobiologie her eine gesundheitliche Beeinträchtigung beim Baden auf diesem Rheinabschnitt nicht zu erwarten ist.

Erhöhte, aber immer noch tolerierbare Belastungen (C-Bewertungen) sind fallweise im Bereiche der Thureinmündung, sowie bei Rüdlingen und bei der Tössegg feststellbar, dort im Einflussbereich der Töss.

Obwohl durch Witterungseinflüsse, punktuelle landwirtschaftliche Abgänge, Vogelkot und dergleichen kurzfristige Verschlechterungen stellenweise auftreten können, musste an keiner Stelle je eine D-Bewertung vorgenommen und damit ein Badeverbot verfügt werden.

2.3 Biologische Untersuchungen am Hochrhein

Seit 1990 wird im Rahmen eines koordinierten Untersuchungsprogramms am Hochrhein im Fünfjahresturnus der biologische Zustand erfasst. Träger des Programms sind die Rhein-anliegerkantone, der Bund und das Land Baden-Württemberg. Zwischen Stein am Rhein und Basel wurden an 9 Flussquerschnitten Tauchprobenahmen zu den Wasserwirbellosen und an 126 Stellen Uferprobenahmen durchgeführt. An zusätzlich 2 Stellen erfolgten Probenahmen von Phytoplankton.

Aus der zusammenfassenden Bewertung 2002 ist zu entnehmen:

- Die **Planktonentwicklung** wird weitgehend durch die Ausschwemmungen aus dem Bodensee bestimmt. Auf der Fließsstrecke ist die zusätzliche Bildung von Plankton und Algen nur bedingt gegeben. Dominant sind Kieselalgen und Blaualgen.
- Von den **Wasserpflanzen** im Hochrheinabschnitt oberhalb Schaffhausen dominiert der strömungsliebende Flutende Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans*), der sich, im Vergleich zu den Probenahmen 1990/1992, mindestens vorübergehend, stark zurückgebildet hat.
- Im Hochrhein konnten erfreulicherweise 232 **Wirbellose** taxiert werden. Damit erweist sich die Hochrheinestrecke, insbesondere

oberhalb der Aaremündung, als ein bedeutendes Artenreservoir für den gesamten Rhein! Die grösste Artenvielfalt findet sich in den Freifliessstrecken.

- Von den **Fischen** sind, ausgenommen der Aal, die Langdistanzwanderer, zu denen etwa der Lachs gehört, noch nicht in den Hochrhein vorgedrungen. In der freien Fließstrecke zwischen dem Untersee und Schaffhausen dominiert die Äsche (Abb. 5), daneben Bachforelle, Barbe und Alet. In den Staubecken des Hochrheins ist das einst dominierende Rotaugen, aber auch Barben und Brachsen im Bestand seit Mitte der Neunzigerjahre rückläufig.



Abb. 5. Rheinäsche.

2.4 Organische Spurenstoffe und Schwermetalle

Der Rhein weist oberhalb des Rheinfalls in der Regel 300–500 m³/s, bis Basel dann rund den zweifachen Durchfluss auf. Einträge von Spurenstoffen aus hauptsächlich Landwirtschaft und Kläranlagenabläufen unterliegen deshalb einer sehr grossen Verdünnung.

Regelmässig gemessen werden die wichtigsten organischen Spurenstoffe und Schwermetalle seit 1993 mit der **Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein**, die vom Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt im Auftrag des BUWAL's und des Landes Baden-Württemberg betrieben wird. Die organischen Spurenstoffe in der Wasserphase werden online kontinuierlich (teilweise 14-täglich) gemessen, die Schwermetalle in zweiwöchigen Mischproben, die Schwebstoffe monatlich zweimal.

Aus dem JAHRESBERICHT 2003 für diese Station ist zu entnehmen:

- Die Konzentrationen der **Schwermetalle** Cd und Hg liegen in der Regel unterhalb der Bestimmungsgrenze. Pb, Cr, Cu, Ni und Zn sind im Jahresmittel, je nach Metall, von unterhalb 1 µg/l bis gegen 2 µg/l feststellbar.
- Von den 60 untersuchten gängigen **Pestiziden (Insektiziden, Herbiziden u. a.)** konnten 21 in Konzentrationen meist knapp oberhalb der Nachweisgrenze (> 0,005 µg/l) gefunden werden. Konzentrationen > 0,1 µg/l (Grenzwert) wurden, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nicht gefunden. 2003 wurde z. B. Atrazin in einer mittleren Jahreskonzentration von 0,014 µg/l detektiert. Obwohl dieser Gehalt unbedenklich ist, ergibt sich rechnerisch mit der grossen Wasserführung des Rheins immerhin doch noch eine Jahresfracht von 370 kg! Im Mehrjahresvergleich stellt man eine erfreuliche stetige Abnahme der Atrazinkonzentrationen fest, was auf die positive Wirkung von rechtlichen Regelungen schliessen lässt.
- Für die 14-täglich untersuchten Phenylharnstoff- und Phenoxialkylcarbonsäure-**herbizide**, für die untersuchten Organochlor- und Nitrophenon**insektizide** sowie für die während unterschiedlichen Zeitperioden untersuchten gängigen **Pharmaka** gelten vergleichbare Feststellungen, wie für die Pestizide. Interessant ist dabei z. B. der Coffeingehalt von an sich ebenfalls unbedenklichen 0,07 µg/l im 145-Tage-Mittel, was aber einer Fracht von ca. 550 kg entspricht oder einem Äquivalent von 7,37 Mio. Tassen Kaffee. Coffein ist biologisch schlecht abbaubar und gelangt via Kläranlageausläufe und Regenentlastungen in den Rhein.
- Täglich werden auch 23 leichtflüchtige **chlorierte Lösungsmittel** analysiert. Deren gesamter Summenmittelwert wurde über das Jahr zu 0,132 µg/l bestimmt, also in einer sehr niedrigen Konzentration.
- Von den 9 untersuchten leichtflüchtigen nichthalogenierten Verbindungen (**BTX-Aromaten, MTBE**) lagen 6 immer unterhalb

der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l. Das treibstoffbürtige MTBE (Antiklopfzusatz) dagegen wurde auch im Rhein mehrfach bis zu einer Maximalkonzentration von 4,5 µg/l festgestellt. Dagegen lagen die Konzentrationen der 32 untersuchten **schwerflüchtigen organischen Verbindungen** alle unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l.

Die Untersuchung der **Schwebestoffe** zeigt, dass dort, wegen den kumulativen adsorptiven Effekten, in der Regel bedeutend höhere Konzentrationen von Spurenstoffen gefunden werden können, als in der Wasserphase. Je nach Herkunft, Sedimentaufwirbelung usw. sind auch Verbindungen noch nachweisbar, die längst nicht mehr angewendet werden dürfen. Von den Pestiziden sind das längst verbotene Lindan und Hexachlorbenzol, allerdings über die Jahre stetig abnehmend, immer noch nachweisbar. Die PCB-Kongeneren sind 2003 zu 84 µg/kg und die PAK zu 3,3 mg/kg Schwebematerial bestimmt worden.

Bei den Schwermetallgehalten sind die Zielvorgaben der IKSР im Aktionsprogramm «Rhein 2000» erreicht. Erhöhte Werte sind bei Zn, Cu und Ni feststellbar.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass sowohl in der Wasserphase wie auch im Schwebestoffmaterial die vorgegebenen Ziel- oder Grenzwerte, soweit vorhanden, für die meisten untersuchten Verbindungen eingehalten werden.

2.5 Spezialuntersuchungen

- In einer ARBEIT VON CHRISTIAN WEGNER, UNIVERSITÄT JENA, 2001, wurde das seit Jahren jeden Sommer, etwa zwischen Juni und September, auftretende **Schaumproblem** unterhalb des Rheinfalls untersucht.

Da zwischen 1967 und 1971 die vom Flutenden Hahnenfuss (*Ranunculus fluitans*) besiedelte Flussfläche von 2,2 auf 31,1 ha und parallel dazu auch die Schaumbildung im Rheinfallbecken mit Verschleppung bis mehrere Kilometer stromabwärts, explosionsartig zugenommen hatte, wurde bald einmal ein ursächlicher Zusammenhang zwischen beiden Erscheinungen vermutet. Dies insbesondere

auch deshalb, weil der Hahnenfuss stark schaubildende Substanzen (u. a. Saponine) bildet und synthetische Detergentien als Alleinursache für den Schaum nicht in genügendem Ausmass nachgewiesen werden konnten. Im Verlaufe der Arbeit fand Wegner in Extrakten von *R. fluitans* **sechs Saponine**, davon zwei bisher noch unbekannt. Ferner konnte er **vier Glykoglycerolipide**, deren Vorkommen in Ranunculaceen erstmals konkret festgestellt wurde, beschreiben. Der Nachweis wurde u. a. mittels Liquidchromatografie mit massenspektrometrischer Detektion (LC-MS) geführt, mit einer Nachweisgrenze < 1 ng.

Die oberflächenaktiven Saponine wurden im weiteren Fortgang der Arbeit sowohl im Rheinwasser als auch in den Schaumproben (hier mit ihrem charakteristischen Fragmentierungsmuster) gefunden. Im Schaum, nicht aber im Wasser, wurden auch einzelne, aber nicht alle der Lipide detektiert.

Naheliegender ist, dass die Kläranlageausläufe auch Restkonzentrationen von synthetischen Tensiden enthalten und damit solche auch im Rheinwasser vorkommen müssen. Diese wurden denn auch gefunden. Allerdings konnte nur ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Schaumbildung und der Wasserkonzentration der natürlichen Saponine gefunden werden. Für die synthetischen Schaumbildner war kein logischer Zusammenhang feststellbar. Ausserdem sind die Hahnenfussaponine nur im Sommer, also während der Schaumbildung, im Wasser vorhanden, die synthetischen Verbindungen jedoch ganzjährig.

Gemäss Wegner ist davon auszugehen, dass die Hauptursache für die Bildung von Schaum im gigantischen Mixer Rheinfall mit den Inhaltsstoffen des *R. fluitans* gegeben ist. Detergentien aus Haushalt und Industrie, die in den Kläranlagen weitgehend aber nicht 100-prozentig abbaubar sind, sowie allenfalls andere Effekte, können möglicherweise unterstützend für die Schaumbildung wirken.

- An heissen und sonnenintensiven Sommertagen wurde schon mehrmals das Phänomen der **«biogenen Entkalkung»** festgestellt

(HELLMANN, 1986, und ALU, 1998 und 2003), z. B. im Juni 03 auf der Höhe von Diessenhofen. Beobachtet werden kann dabei eine plötzlich auftretende weissliche Trübung des Wassers über den ganzen Flussquerschnitt.

Verantwortlich für diese Erscheinung ist eine durch Hitze und Sonneneinstrahlung explosionsartig auftretende Vermehrung von assimilierenden Grünalgen. Durch deren stressartigen CO₂-Konsum wird das Kalk-Kohlendioxidgleichgewicht gestört und feinkristalliner Kalk ausgeschieden.

Im oben beschriebenen Fall haben wir entsprechende Proben mittels Rasterelektronenmikroskop, REM, untersuchen lassen und damit sowohl die feinkristalline Struktur wie auch deren Spektrallinien von Calciumcarbonat eindeutig nachweisen können (Abb. 6 und 7).

- Wie bereits erwähnt, haben, in der Nachbearbeitung des Sandoz-Grossbrandes in Basel, bei dem 1986 rund 500 km Flussstrecke durch Insektizide belastet und dadurch ein grosses Fisch- und Nährtiersterben ausgelöst wurde, die Minister der Rheinanliegerstaaten 1987 das sog. **Aktionsprogramm Rhein 2000** ins Leben gerufen. Ziel dieses Programms war und ist es, das Ökosystem Rhein erheblich zu verbessern. Zum Symbol dafür wurde die Wiederansiedlung des Lachses gewählt. Weiter sollte der Rhein als Trinkwasserreservoir nachhaltig gesichert werden. Ausserdem wurde angestrebt, die Schadstoffbelastung der Flusswassersedimente zu reduzieren und die Wasserqualität in der Nordsee zu verbessern.

In der Bilanzierung (IKSR, 2003) kann dieses Programm der **Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins**, in der auch Schaffhausen vertreten ist, als sehr erfolgreich bezeichnet werden:

1. Die punktförmigen Schadstoffdirekteinleitungen wurden um 70–100% reduziert und der Anschlussgrad von Kommunen und Industrie von 85 auf 95% gesteigert. Die Elimination des nordseebelastenden Stickstoffs wurde, u. a. auch mit dem Neubau der ARA Röti in Schaffhausen, stark vorangetrieben.



Abb. 6. Ausgeschiedene CaCO₃-Kristalle an Pflanzenmaterial angelagert.

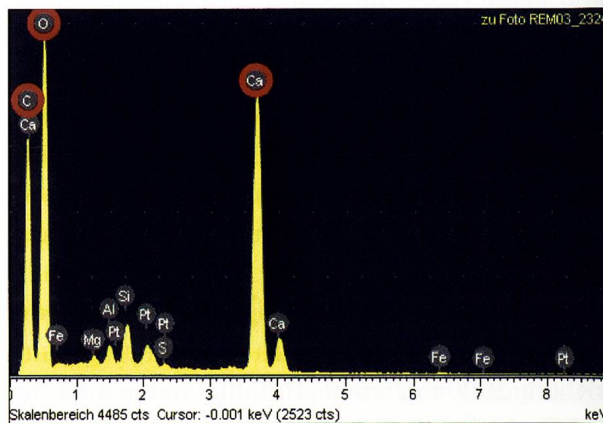


Abb. 7. Die REM-Spektralaufnahme eines Einzelkristalls zeigt, neben Verunreinigungen, die typischen Elemente des CaCO₃.

Hier besteht aber noch Handlungsbedarf. Die Zielvorgaben der IKSR für die Belastung der Sedimente, wir haben es weiter oben ausgeführt, sind für einzelne Stoffe ganz oder nahezu erfüllt. Die Belastung des Rheinwassers mit Schadstoffen hat sich erheblich vermindert, und die IKSR-Ziele sind für fast alle Verbindungen eingehalten.

2. Die Empfehlungen der IKSR zur Störfallvorsorge wurden, in der Schweiz mit dem Erlass der Eidgen. Störfallverordnung, 1991, umgesetzt. Die Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen sind erheblich zurückgegangen.
3. Die Tierwelt im Rhein hat sich erholt, und die Fische, mit Ausnahme der fettreichen Aale, sind wieder essbar. Im Rhein leben heute 63 Fischarten und es fehlt eigentlich nur noch der Stör. Dank hohen Aufwändungen für

die Herstellung der Passierbarkeit der Wehre können die Wanderfische, Lachs und Meerforelle, von der Nordsee bis in den Oberrhein und von dort in einige Nebenflüsse gelangen und laichen. Bis Anfang 2003 konnten mindestens 1900 Lachse in das Rheinsystem zurückkehren. Basel und damit auch Schaffhausen sind für diese Fische aber noch nicht erreichbar.

- Die ab 2000 vorgenommene Bewertung der Gewässerstruktur zwischen Bodensee und Nordsee (Sohle, rechtes und linkes Ufer mit Umfeld) zeigt durchgehend grosse ökologische Defizite und damit noch einen entsprechenden Handlungsbedarf.

Um die Arbeit am Rhein weiterführen zu können, wurde von der IKSР das Nachfolgeprogramm **Rhein 2020** gestartet, das sich den vorhandenen Defiziten und der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinien (WRRL) am Rhein widmen wird.

3 LITERATUR

Eidg. Gewässerschutzverordnung (SR 814.201). 1998.

BUWAL. 2004. Koordinierte biologische Untersuchungen am Hochrhein, 1999–2002. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 375.

Hermann U. Hardmeier, Amt für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz, ALU, CH-8201 Schaffhausen, E-Mail: hermann.hardmeier@ktsh.ch

IGKB. 2004. Limnologischer Zustand des Bodensees 2003–2004, Bericht Nr. 31.

Amt für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz, ALU. Div. Jahre. Analysendaten und Fallbeschreibungen Biogene Entkalkung auf www.umweltschutzsh.ch.

Eidgenössische Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (SR 814.013). 1986.

Amt für Umweltschutz und Energie Basel-Stadt. 2003. Jahresbericht der Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein.

WEGNER, C. 2001. *Ranunculus fluitans* und Rheinfallschaum, Dissertation an der Friedrich-Schiller-Universität, Jena.

HELLMANN, H. 1986. Analytik von Oberflächengewässern. Georg Thieme Verlag Stuttgart.

Internationale Kommission zum Schutze des Rheins, IKSР. 2003. Bilanz Aktionsprogramm Rhein.

IKSР. 2004. Rhein Lachs 2020.

IKSР. 2004. Schriftenreihe Rhein Aktuell. Nr. 22.

Umweltbundesamt Berlin: Daten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).

BAG, BUWAL, Verband der Kantonschemiker und Verband der Kantonsärzte der Schweiz. 1991. Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von Flussbädern.

Eidgenössische Verordnung über den Schutz vor Störfällen (SR 814.012). 1991.

Ökologische Aspekte der Wasserkraftnutzung und des Hochwasserschutzes am Rhein

Ruedi Schneider (Schaffhausen)

1 EINLEITUNG

Zur Deckung des Energiebedarfs für die aufstrebende Industrialisierung wurden am Hochrhein im angehenden 20. Jahrhundert die ersten Laufkraftwerke gebaut. Die technischen Möglichkeiten im Wasserbau machten aber auch die grossräumige Korrektur von Flüssen zum Schutz gegen Hochwasser und für die Landgewinnung möglich. Im Vordergrund stand der ökonomische Nutzen und der Hochwasserschutz. Ökologie war damals ein noch wenig bekannter Begriff. Wie sich jetzt herausstellt, hat diese einseitige Betrachtungsweise gravierende Folgen.

Das erste Kraftwerk am Hochrhein wurde in Rheinfelden vor über hundert Jahren gebaut. Die Betriebsaufnahme erfolgte im Jahre 1898. Es war das erste grosse Flusskraftwerk Europas. Die angehende Industrialisierung benötigte Energie, und so folgten Schlag auf Schlag weitere Kraftwerke. Doch nicht allein die Energiegewinnung war Motor dieser Entwicklung, sondern auch die Pläne zur Schiffbarmachung des Hochrheins. Der Einstau war unabdingbar für eine genügende Fahrwassertiefe zu jeder Jahreszeit.

Die Auswirkungen dieser Eingriffe in die Ökosysteme zeigen schon früh negative Folgen. Doch erst mit den in den letzten Jahren gewonnenen Erkenntnissen im Bereich der Ökologie und Hydrologie lassen sich die negativen Folgen wissenschaftlich erklären. Die «Flusssünden» mögen aus dem Zeitgeist der beginnenden Industrialisierung und in Anbetracht der mangelhaften Kenntnisse ökologischer und hydrologischer Zusammenhänge noch zu entschuldigen sein. Heute jedoch, im Wissen um die Folgen und um deren Ursachen ist es höchste Zeit zu sanieren, was noch möglich ist.

2 NEGATIVE FOLGEN

Ein natürliches Fließgewässer stellt ein Kontinuum dar, d. h. es ist ein zusammenhängendes System, in welchem sich von der Quelle bis zur Mündung alles Leben grundsätzlich frei bewegen kann. Ausnahmen sind grosse Wasserfälle, welche auch für Fische unüberwindbar sind. Flüsse sind sehr vielfältige Lebensräume. Sie umfassen nicht nur den aquatischen Lebensraum, sondern auch wechselfeuchte Uferzonen, Auen und trockene Erosionshänge.

Der ca. 120 km messende Hochrhein zwischen Untersee und Basel ist durch insgesamt 11 Kraftwerke schwer beeinträchtigt. Die gesamte Flussstrecke ist eine Abfolge von Stauhaltungen, das Flusskontinuum ist mehrfach unterbrochen. Dadurch hat sich die Zusammensetzung der Biozöosen deutlich verändert. Wo früher strömungsliebende Arten mit hohem Sauerstoffbedarf dominierten, finden sich heute weniger anspruchsvolle Stillwasserarten. Darüber hinaus ist der genetische Austausch der Organismen erschwert oder verhindert. Am gesamten Hochrhein gibt es nur noch etwa 25 km frei fließende Flussstrecke.

Verlorener Fließcharakter: Der Hochrhein war früher ein sehr dynamischer Fluss mit starker Strömung, stellenweise wurden die Ufer erodiert, andernorts erfolgten Auflandungen. Der Hochrhein transportierte Unmengen von Geschiebe, welche durch die Seitenflüsse insbesondere die Thur und die Aare eingetragen wurden. Die Flusssohle war zumindest bei Hochwasser in Bewegung und wurde dadurch immer wieder gereinigt. Sie war Lebensraum für vielerlei Kleintiere und Laichgrund für viele Fischarten (z. B. Äsche), welche auf lockeren Kies als Laichgrund angewiesen sind. Die starke Strömung erodierte insbesondere Steilhänge, so dass Hangrutschungen entstanden. Auf dem

freien Rohboden siedelten sich Pionierpflanzen an. Diese Gebiete waren besonders reich an heute seltenen und geschützten Pflanzen. Sie waren Lebensraum für Reptilien und Vögel. Steile Hangrutschungen boten dem Eisvogel und Uferschwalben Gelegenheit, ihre Niströhren zu graben.

Innere Kolmation: In den Staubereichen ist die Fliessgeschwindigkeit stark reduziert. Damit reicht die Schleppkraft nicht mehr aus, das Geschiebe flussabwärts zu transportieren, und die Flusssohle wird nicht mehr umgelagert. Bei tiefer liegendem Grundwasserspiegel infiltriert Wasser durch die Gewässersohle in den Boden. Die im Wasser enthaltenen Schwebstoffe werden im Porenraum der Filterschicht eingelagert. Damit nimmt die Durchlässigkeit ab, und die Gewässersohle verfestigt sich. Der Austausch mit dem Grundwasser (Infiltration/Exfiltration) wird dadurch behindert. Die kolmatierte Sohle ist als Lebensraum für viele Kleinlebewesen und als Laichgrund verloren.

Äussere Kolmation (Sedimentation): In den Bereichen mit sehr kleinen Fliessgeschwindigkeiten, insbesondere im Nahbereich der Wehre, werden Feinsedimente in mächtigen Schichten abgelagert. In Extremfällen kann ein Staubeereich komplett verlanden. Dieser Vorgang ist am Klingnauer Stausee (Aare) bereits sehr weit fortgeschritten.

Konstante Staupegel: In den Stauhaltungen werden die Pegel durch die Wehrstellung geregelt. D. h. die Wasserstandsschwankungen betragen in hydrologischen Normaljahren nur wenige Dezimeter. Wechselfeuchte Zonen fehlen. Kiesbänke und Felsen, welche in den Wintermonaten regelmässig zum Vorschein kamen, sind allesamt eingestaut. In den Staubereichen führte dies zum gänzlichen Verschwinden jener Flora und Fauna, welche auf solche Lebensräume spezialisiert ist (Rehsteiners Vergissmeinnicht, Gift-Hahnenfuss usw.).

Behinderte Fischwanderung: Mit dem Bau der Kraftwerke am Hochrhein verschwanden die Wanderfische, wie insbesondere Nase, Schneider und Lachs. Die Kraftwerke wurden zwar teilweise mit Fischtreppen versehen, doch

funktionieren sie in vielen Fällen schlecht, keine davon ist lachsgängig. Viele Fischpopulationen sind genetisch voneinander abgeschottet, was teilweise zu Inzucht führt.

Unpassierbare Seitenbäche (Abb. 1): Viele Seitengewässer sind ebenfalls verbaut, mit Abstürzen versehen, oder der Mündungsbereich ist verlandet. Damit wird den Fischen der Zugang zu wichtigen Laichplätzen und zu kühlerem Wasser verwehrt.

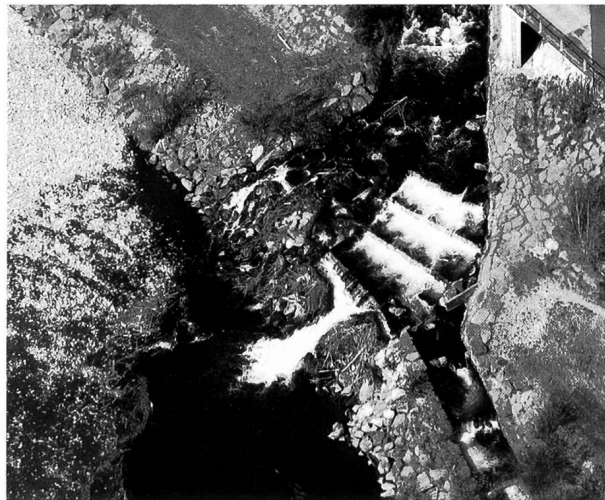


Abb. 1. Die nicht niveaugleiche Mündung des Saarkanal unterhalb Sargans verhindert den Fischaufstieg in das Seitengewässer. (Foto: P. Rey).

Restwasserstrecken am Hochrhein: Die meisten Kraftwerke am Hochrhein sind Laufkraftwerke, welche das Wasser unmittelbar nach der Turbinierung wieder in den Fluss abgeben. Albruck-Dogern, vor allem aber Rheinau sind Ausleitungskraftwerke: Das Nutzwasser wird ausgeleitet und nach der Turbinierung über einen Kanal oder Stollen dem Fluss wieder zugeleitet. Damit kann ein grösseres Gefälle genutzt werden. Es entsteht jedoch eine Restwasserstrecke, welche nur noch einen Bruchteil der natürlichen Wassermenge führt.

Hartverbauungen: Bedingt durch die Kraftwerkbauten wurden oft Hartverbauungen (z. B. Blockwurf) durchgeführt, im Extremfall die Ufer sogar zubetoniert und begradigt. In den monoton verbauten Ufern finden sich kaum noch Nischen und Unterstände für Kleinfische oder Kleintiere.

Uferbereiche und Auen: Auen werden von der Flussdynamik immer wieder umgestaltet. Sie zeichnen sich durch eine Vielzahl unterschiedlichster Lebensräume aus, auch abhängig vom Fortschritt der Sukzession. Die Begradigung der Flüsse und die Abtrennung der Auen vom Flusssystem, deren Entwässerung und Nutzbarmachung für die Landwirtschaft und zur Gewinnung von neuem Siedlungsgebiet waren schwere Eingriffe in die Ökosysteme. Die Auen waren natürliche Retentionsflächen, welche Hochwasserspitzen speicherten und das Wasser später kontinuierlich an den Fluss zurückgaben. Als Folge der Trockenlegung der Auen haben die Hochwasserspitzen für die Unterlieger zugenommen.

Der menschliche Landbedarf hat die Uferbereiche schrumpfen lassen, etwa wenn Verkehrsträger entlang von Ufern gebaut werden und so das Hinterland vom Fluss abgeschnitten wird. Im Gegenzug mussten Siedlungen und technische Infrastrukturen vor Hochwasser mit Hartverbauungen und Hochwasserschutzdämmen geschützt werden. Weil der Hochrhein auf langen Strecken in tiefen Rinnen zwischen Steilufern fliesst, fehlt das Potenzial zu grossen Korrekturen, wie sie am Alpenrhein stattfanden.

Ökologische Verarmung am Alpenrhein (Abb. 2): Der einst mäandrierende Fluss mit teilweise mehreren Armen, riesigen Auen und Giessen war ein vielfältiges Gewässersystem von 90 km Länge. Der Alpenrhein war jedoch unberechenbar, und wer sich in Flussnähe an-



Abb. 2. Das regulierte Gewässernetz des Alpenrheins auf der Höhe Schaan (Liechtenstein) ist an den begleitenden Baumstreifen zu erkennen. (Foto: P. Rey).

siedelte, riskierte sein Leben. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde deshalb im Rahmen der Internationalen Rheinregulierung der Alpenrhein in ein Doppeltrapezprofil gezwängt, verbaut, begradigt und der Lauf verkürzt. Bei den grossen Seitengewässern wurde gleichermassen verfahren. Diese Korrekturen erschlossen zwar neue Siedlungsgebiete und neues Landwirtschaftsland und dämmten die Hochwassergefahr. Andererseits zeigen sich heute gravierende ökologische Folgen. Durch die Begradigung und Einengung erhöhte sich die Fliessgeschwindigkeit. Damit nahm die Schleppkraft zu und die Sohle wurde abgetieft. In der Folge sank der Grundwasserspiegel, und die wertvollen Giessen in den alten Auen versiegten. Die Torfböden der Riedgebiete beginnen sich zu zersetzen. Der Eintiefungsprozess ist oberhalb Buchs noch immer im Gange. Die Eintiefung hat zur Folge, dass die Seitengewässer über Rampen in den Rhein stürzen, die für Fische nicht mehr passierbar sind.

Der allgemeine Artenschwund ist am Beispiel der Fische besonders deutlich zu erkennen. Von den 30 um 1850 noch festgestellten Arten existieren heute noch 17. Aus den abgeschnittenen Nebenarmen verschwanden die Stillwasserarten wie Schleie, Karpfen oder der Bitterling. Häufig sind heute nur noch 6 Arten: Bachforelle, Elritze, Äsche, Hasel, Groppe und Brachsen.

Restwassertrecken an Gebirgsflüssen (Abb. 3): Wie im gesamten Alpenraum werden in den Einzugsgebieten von Vorder- und Hinterrhein Bäche um- und abgeleitet und durch Stollensys-

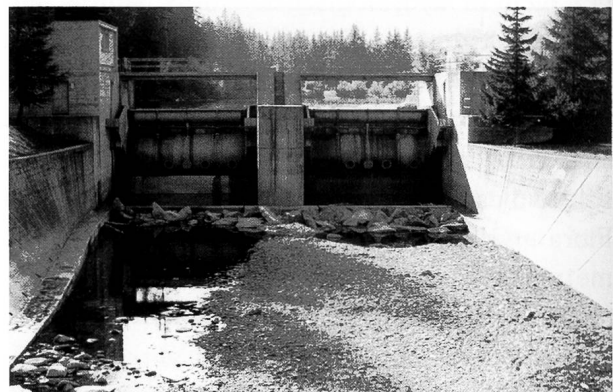


Abb. 3. Ableitung des Rheins bei Sedrun durch die Kraftwerke Vorderrhein AG. Das im Gerinne belassene Restwasser ist gleich Null. (Foto: Archiv Rheinaubund).

teme den Speicherseen zugeführt. Die Bestimmungen des Gewässerschutzgesetzes, wonach eine Bewilligung für Wasserentnahmen nur erteilt werden kann, wenn eine angemessene Restwassermenge gewährleistet ist, gilt nur für neue Konzessionen. Fast alle Konzessionen wurden jedoch in den Boom-Jahren 1950 bis 1970 noch vor der Inkraftsetzung des Gewässerschutzgesetzes erteilt. In vielen Fluss- und Bachbetten ist daher kaum noch Wasser zu finden. Die Wasserläufe sind aus der Gebirgslandschaft als gestaltende Elemente vielfach verschwunden.

Sunk und Schwall am Alpenrhein (Abb. 4): Der Verbrauch von elektrischer Energie ist im Tagesverlauf nicht konstant. Während der Verbrauchsspitzen werden daher Maschinen zugeschaltet – es wird Spitzenenergie produziert. Moderne Anlagen können innert Sekunden auf Abruf hochgefahren werden. Diese Art der intervallmässigen Energieerzeugung im 6000 km² grossen Einzugsbereich des Rheins hat grosse Abflussschwankungen über den Tagesverlauf zur Folge. Flussflächen können trocken fallen, und somit gehen die im Flussbett lebenden Kleinlebewesen und Jungfische zugrunde, wenn sie der Wasserlinie nicht folgen können. Bei Schwall werden sie (und die Fischeier) abgeschwemmt. Der Schwall trübt zudem das Wasser und fördert die Kolmation.



Abb. 4. Sunk, Schwall und Trübung durch Feinsedimente infolge intermittierendem Kraftwerksbetrieb aus der Landquart. (Foto: P. Rey).

Verminderter Erholungswert: Der aktuelle Zustand der Landschaft ist für die darin aufgewachsene Generation der Referenzzustand. So findet jede Generation die Landschaft in der Regel schön, so wie sie ist. Die Erinnerung an verlorene Naturwerte ist das «Privileg» der älteren Generation. Die Änderungen in der Landschaft erfolgen häufig in kleinen Schritten und werden kaum wahrgenommen. Tatsache ist, dass sich unsere Landschaft in den vergangenen 100 Jahren massiv verändert hat. So sind etwa 90% unserer Flüsse durch technische Massnahmen beeinträchtigt. Wo früher kilometerlange Uferpartien mit Kiesufeln und Kiesbänken zum Lagern und Spielen einluden, sind in den Stauhaltungen die Ufer meist steil und auf weite Strecken verbaut. Unsere Flüsse gehören trotzdem zu den attraktivsten Erholungsräumen für den Menschen. Erholungssuchende finden sich daher in Massen an den wenigen verbliebenen Flachufeln und naturnahen Flächen ein. Augenfällig wird der erhöhte Erholungswert der Gewässer an der Thur, am Rhein (Schaaren, Petri) und auch am Bodensee (vgl. LEUTERT und PFÄNDLER, in diesem Werk bzw. auch BAUMANN et al.).

3 HOFFNUNG FÜR DEN RHEIN?

Der Handlungsbedarf ist auf Regierungsebene erkannt, die bestehenden Gesetze und Richtlinien sind gute Grundlagen für einen effizienten Gewässerschutz. Sowohl am Hochrhein wie auch am Alpenrhein haben sich die Länder und Kantone in internationalen Gremien zusammengeschlossen, und die Umweltverbände haben eigene Initiativen lanciert. Auch verschiedene Kraftwerke wie beispielsweise das Kraftwerk Schaffhausen investieren erhebliche Mittel, um im Stau- bzw. Konzessionsbereich vermehrt Renaturierungsarbeiten durchzuführen; als Lohn winkt mit dem nature-made-star-Strom-Label die höchste Auszeichnung, welche ein Wasserkraftwerk erreichen kann (vgl. den Beitrag von VOGELSANGER, in diesem Werk). Die Absichten geben zur Hoffnung Anlass, dass der Rhein und seine Seitengewässer zumindest langfristig

wieder etwas von ihrer ursprünglichen ökologischen Qualität zurückgewinnen werden.

Leider gibt es auch umgekehrte Tendenzen, etwa die Lockerung der raumplanerischen Vorgaben oder der Restwasservorschriften des Gewässerschutzgesetzes. Wie schon in den 50er Jahren, als die wilde Flusslandschaft durch den Bau des Kraftwerkes Rheinau in den gestauten Wassermassen unterzugehen drohte und dem Rheinfall zwei Meter Fallhöhe abgezwickelt werden sollten, setzen sich auch heute noch verantwortungsbewusste und weitblickende Menschen, Vereine und Kommunen für den Erhalt unserer Gewässer ein – zum Wohl der zukünftigen Generationen (Abb. 5).

Der Rheinaubund, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Natur und Heimat, ist hervorgegangen aus den Volksbewegungen gegen den Bau der Kraftwerke in Rheinau und am Spöl. Der Kampf ging zwar verloren, doch wurde die Diskussion um Naturwerte erstmals breit in der Bevölkerung und auf Regierungsebene diskutiert. Mit dem Rheinaukampf wurden die Grundlagen für die Einführung des Verfassungsaufsatzes für Natur- und Heimatschutz gelegt, dem später die Einführung des Natur- und Heimatschutzgesetzes (NHG) folgte.



Abb. 5. Durch den Einstau des Kraftwerkes Rheinau verminderte sich die Fallhöhe des Rheinfalls bei Niedrigwasser um zwei Meter. Die Querlatte zeigt den Pegel nach dem Einstau. (Foto: Archiv Rheinaubund).

4 LITERATUR

REY, P. 2004. Alpenrheinzuflüsse und Bäche am Alpenrhein, *Natur und Mensch* (6), 10–15.

KÜRRY, D. & ZOLLHÖFER, J. 2003. Kriterien für einen Biotopverbund am Hochrhein, *Gewässerdirektion südlicher Oberrhein/Hochrhein*.

SCHÄLCHLI, ABEGG + HUNZIKER, 2000. Geschiebehaushalt am Hochrhein, Bundesamt für Wasser und Geologie.

Ruedi Schneider, Geschäftsführer Rheinaubund, Postfach 1157, CH-8201 Schaffhausen, E-Mail: info@rheinaubund.ch