



**SCHRIFTENREIHE
UMWELT NR. 358**

**Gewässerschutz
Protection des eaux**

**Restwassermengen –
Was nützen sie dem
Fließgewässer ?**

**Débits résiduels –
quel bénéfice pour
les cours d'eau ?**



**Bundesamt für
Umwelt, Wald und
Landschaft
BUWAL**

**SCHRIFTENREIHE
UMWELT NR. 358**

**Gewässerschutz
Protection des eaux**

**Restwassermengen –
Was nützen sie dem
Fließgewässer ?**

**Débits résiduels –
quel bénéfice pour
les cours d'eau ?**

**Herausgegeben vom Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft
BUWAL**

**Publié par l'Office fédéral
de l'environnement, des forêts et
du paysage OFEFP
Bern, 2004**

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

Das BUWAL ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Autoren

Urs Vogel, Limnex AG, Zürich
Arthur Kirchhofer, Matina Breitenstein,
«WFN – Wasser, Fisch, Natur», Gümmenen BE

Begleitung

Dienst Restwasser, Abteilung Gewässerschutz und Fischerei, BUWAL

Zitiervorschlag

Vogel, U., Kirchhofer, A., Breitenstein, M., 2004:
«Restwassermengen – Was nützen sie dem Fliessgewässer?» / «Débits résiduels – quel bénéfice pour les cours d'eau?», BUWAL, Schriftenreihe Umwelt Nr. 358.

Hinweis

Broschüre «Restwasser», BUWAL, 2003; Bezug: BBL, Vertrieb Publikationen, CH-3003 Bern, Tel. 031 325 50 50, Fax 031 325 50 58; E-Mail: verkauf.zivil@bbl.admin.ch; Bestellnummer: 319.504 (d,f,i)

Fotos Titelblatt

Bild gross: Schüss in Taubenlochschlucht (BE)
Bild klein: Wasserfassung Flembach (GR)

Bezug

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
Dokumentation
CH-3003 Bern
Fax + 41 (0)31 324 02 16
E-Mail: docu@buwal.admin.ch
Internet: www.buwalshop.ch

Bestellnummer und Preis
SRU-358-D / CHF 25.– (inkl. MWSt)

© BUWAL 2004

Editeur

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP)
L'OFEFP est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC)

Auteurs

Urs Vogel, Limnex AG, Zurich
Arthur Kirchhofer, Matina Breitenstein,
«WFN – Wasser, Fisch, Natur», Gümmenen BE

Accompagnement

Service Débits résiduels, division Protection des eaux et pêche, OFEFP

Citations

Vogel, U., Kirchhofer, A., Breitenstein, M., 2004:
«Restwassermengen – Was nützen sie dem Fliessgewässer?» / «Débits résiduels – quel bénéfice pour les cours d'eau?», OFEFP, Cahier de l'environnement N° 358.

Remarque

Brochure «Débits résiduels», OFEFP, 2003; commande: OFCL, Diffusion publications, CH-3003 Berne, Tél. 031 325 50 50, Fax 031 325 50 58; E-Mail: verkauf.zivil@bbl.admin.ch; numéro de commande: 319.504 (d,f,i)

Photos de couverture

Grande image: La Suze dans les gorges du Taubenloch (BE)
Petite image: prise d'eau sur le Flembach (GR)

Commande

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Documentation
CH-3003 Berne
Fax + 41 (0)31 324 02 16
E-mail: docu@buwal.admin.ch
Internet: www.buwalshop.ch

Numéro de commande et prix
SRU-358-D / CHF 25.– (TVA incluse)

© OFEFP 2004

Inhaltsverzeichnis / Table des matières

Abstracts	5	4.4 Bockibach (UR)	84
Vorwort / <i>Avant-propos</i>	7	Einleitende Angaben	
Zusammenfassung / <i>Résumé</i>	9	Bilddokumentation, Morphologie und Strukturen	
1 Einleitung und Zielsetzung / <i>Introduction et objectifs</i>	21	Fischökologische Aspekte	
2 Methodik / <i>Méthodologie</i>	25	Kleintiere des Gewässerbodens	
2.1 Untersuchungsparameter und -methodik / <i>Paramètres et méthode d'étude</i>	25	Wasserqualität und Äusserer Aspekt	
2.2 Messgenauigkeit/Zuverlässigkeit der Resultate / <i>Exactitude des mesures/fiabilité des résultats</i>	31	Beurteilung der Restwasserstrecke	
2.3 Referenzstellen / <i>Sites de référence</i>	33	4.5 Flembach (GR)	93
2.4 Kriterien für die Beurteilungsmatrix / <i>Critères de la matrice d'appréciation</i>	34	Einleitende Angaben	
3 Resultateübersicht in Kurzform / <i>Aperçu des résultats sous forme abrégée</i>	37	Landschaftselement	
4 Resultate / <i>Résultats</i>	55	Morphologie und Strukturen	
4.1 Aabach (AG)	55	Fischökologische Aspekte	
Einleitende Angaben		Kleintiere des Gewässerbodens	
Bilddokumentation, Morphologie und Strukturen		Wasserqualität und Äusserer Aspekt	
Fischökologische Aspekte		Beurteilung der Restwasserstrecke	
Kleintiere des Gewässerbodens		4.6 Schüss (BE)	102
Wasserqualität und Äusserer Aspekt		Einleitende Angaben	
Beurteilung der Restwasserstrecke		Landschaftselement	
4.2 Aare, Bern (BE)	64	Morphologie und Strukturen	
Einleitende Angaben		Fischökologische Aspekte	
Bilddokumentation, Morphologie und Strukturen		Kleintiere des Gewässerbodens	
Fischökologische Aspekte		Wasserqualität und Äusserer Aspekt	
Kleintiere des Gewässerbodens		Kolmation	
Wasserqualität und Äusserer Aspekt		Beurteilung der Restwasserstrecke	
Kolmation		4.7 La Vièze (VS)	112
Beurteilung der Restwasserstrecke		Données générales	
4.3 Aare, Interlaken (BE)	75	Documentation photographique, morphologie et structures	
Einleitende Angaben		Aspects piscicoles	
Bilddokumentation, Morphologie und Strukturen		Macroinvertébrés du lit (macrozoobenthos)	
Fischökologische Aspekte		Qualité de l'eau et aspect extérieur	
Kleintiere des Gewässerbodens		Appréciation du tronçon à débit résiduel	
Wasserqualität und Äusserer Aspekt		4.8 Vorderer Schächen (UR)	120
Grundwasser		Einleitende Angaben	
Beurteilung der Restwasserstrecke		Bilddokumentation, Morphologie und Strukturen	
		Fischökologische Aspekte	
		Kleintiere des Gewässerbodens	
		Wasserqualität und Äusserer Aspekt	
		Beurteilung der Restwasserstrecke	
		5 Literaturverzeichnis / <i>Bibliographie</i>	127
		6 Anhang / <i>Annexe</i>	131
		6.1 Beschreibung flussmorphologischer Kriterien	
		6.2 Rohdaten chemisch/physikalische Untersuchungen	
		6.3 Rohdaten Makrozoobenthos	
		6.4 Rohdaten Fischerei	

Abstracts

A review was conducted of eight Swiss watercourses utilized by hydropower stations with a view to establishing whether it is possible, given the residual water regulations in force since 1992 pursuant to Articles 31-33 of the Water Protection Law (GSchG), to fulfil the requirements regarding qualitative and quantitative maintenance of the diversity of species and their habitats. From 15 individual parameters, 9 primary indicators were formulated, whose values in the stretch of residual water were compared with those of a comparable reference stretch within the same watercourse or with a legally prescribed nominal value. Large segments of four of the stretches of residual water examined are comparable with the reference sections. In the remaining four watercourses, marked deviations were recorded for one or more indicators. When all of the stretches of residual water were taken into consideration without the application of any weighting, around 90% of the parameters examined either did not deviate from the reference or nominal value or else displayed only a moderate deviation.

Key words: residual water flow, Water protection law, generation of hydroelectric power, rivers and streams, water quality, fish fauna, macroinvertebrate fauna, habitat

Bei acht durch Wasserkraftwerke genutzten Fließgewässern der Schweiz wurde überprüft, ob mit der seit 1992 in Kraft stehenden Restwasserregelung gemäss Artikel 31-33 Gewässerschutzgesetz (GSchG) die Anforderungen an die qualitative und quantitative Erhaltung der Vielfalt der Arten und ihrer Lebensräume eingehalten werden können. Aus 15 Einzelparametern wurden 9 Hauptindikatoren formuliert, deren Werte in der Restwasserstrecke mit denjenigen einer vergleichbaren Referenzstrecke im gleichen Gewässer oder mit einem gesetzlichen Sollwert verglichen wurden.

Vier der untersuchten Restwasserstrecken sind zu grossen Teilen mit den Referenzabschnitten vergleichbar. In den übrigen vier Gewässern wurden bei einem oder mehreren Indikatoren starke Abweichungen registriert. Von allen untersuchten Parametern – unter Berücksichtigung aller Restwasserstrecken und ohne Gewichtung – wiesen rund 90 % keine oder höchstens eine mässige Abweichung zur Referenz oder zum Sollwert auf.

Stichwörter: Restwasser, Gewässerschutzgesetz, Wasserkraftnutzung, Fließgewässer, Wasserqualität, Fischfauna, Makroinvertebratenfauna, Habitat

Huit cours d'eau exploités par des centrales hydrauliques en Suisse ont été examinés, afin de vérifier si la réglementation des débits résiduels en vigueur depuis 1992 en vertu des articles 31-33 de la loi sur la protection des eaux (LEaux) permet de préserver la diversité qualitative et quantitative des espèces et de leurs biotopes. Les valeurs sur le tronçon à débit résiduel de 9 indicateurs principaux tirés de 15 paramètres ont été comparées à celles d'un tronçon de référence sur le même cours d'eau ou à une valeur cible légale.

Quatre des tronçons à débits résiduels examinés sont en grande partie comparables aux tronçons de référence. Sur les quatre autres cours d'eau, de fortes différences ont été enregistrées pour un ou plusieurs indicateurs. De tous les paramètres examinés – en tenant compte de tous les tronçons à débits résiduels et sans effectuer de pondération –, environ 90 % ne présentaient aucune différence par rapport à la valeur de référence ou théorique ou tout au plus une différence moyenne.

Mots-clés: débits résiduels, loi fédérale sur la protection des eaux, force hydraulique, cours d'eau, qualité de l'eau, ichthyofaune, macroinvertébrés, habitat

Su otto corsi d'acqua svizzeri utilizzati per la produzione di energia elettrica è stato condotto uno studio al fine di verificare se la regolamentazione sui deflussi residuali, in vigore dal 1992 e fondata sugli articoli dal 31 al 33 della legge federale sulla protezione delle acque (LPAC), garantisce il rispetto dei requisiti volti ad assicurare la conservazione, dal punto di vista sia qualitativo che quantitativo, della diversità delle specie e dei loro spazi vitali. Partendo da 15 singoli parametri si è proceduto alla determinazione di 9 indicatori principali, i cui valori registrati nel tratto con deflusso residuale sono stati comparati con quelli rilevati in un altro tratto simile (preso come riferimento) dello stesso corso d'acqua o con un valore auspicato fissato per legge.

Quattro dei tratti con deflusso residuale esaminati sono risultati in larga parte comparabili con i tratti utilizzati come riferimento. Nei restanti quattro corsi d'acqua sono invece state riscontrate forti divergenze in relazione ad uno o più indicatori. Il 90% circa dei parametri utilizzati, infine, senza ponderazione e tenuto conto di tutti i tratti con deflusso residuale, non si è discostato dai valori di riferimento o dal valore auspicato, facendo registrare al massimo differenze alquanto modeste.

Parole chiave: deflussi residuali, legge sulla protezione delle acque, utilizzazione delle forze idriche, corsi d'acqua, qualità dell'acqua, fauna ittica, fauna di macroinvertebrati, habitat

Vorwort

Im Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz GSchG) vom 24. Januar 1991 wurden Bestimmungen zur Sicherung von angemessenen Restwassermengen aufgenommen. Die Anforderungen an die Wasserführung in Entnahmestrecken, den sogenannten Restwasserstrecken, sind in den Artikeln 31 bis 33 konkretisiert. Seit dem Inkrafttreten des Gesetzes (am 1. November 1992) wurden bis heute bereits bei einer wesentlichen Anzahl Wasserfassungen für Wasserkraftanlagen neue Mindestrestwassermengen festgelegt. Dies erfolgte im Zuge der Erteilung einer Neukonzession oder einer Konzessionserneuerung. Die vorliegende Publikation soll die mit der Anwendung der Restwasserbestimmungen des GSchG in der Praxis erreichten Resultate bezüglich der ökologischen Struktur und Funktionsfähigkeit derjenigen Gewässer aufzeigen, die durch die Wasserentnahmen beeinträchtigt werden. Geprüft wurde insbesondere, ob das durch die Wasserentnahme geschmälerete Gewässer seine ursprüngliche Funktion noch erfüllen kann und ob die Kontinuität im Gewässer zwischen der Wasserentnahme und der Wasserrückgabe erhalten bleibt.

Der Bericht soll zeigen, dass die Restwasservorschriften wirksam sind: Zehn Jahre nach ihrem Inkrafttreten kann die ökologische Situation bei einer grösseren Anzahl von Gewässern mit Restwasserstrecken heute als zufriedenstellend beurteilt werden. Was den Vollzug dieser Vorschriften betrifft, wurde viel geleistet, aber es sind noch Verbesserungen möglich: In ökologisch wichtigen Fließgewässern sind die Untersuchungen vor der Konzessionserteilung besonders sorgfältig durchzuführen, und den ökologischen Interessen sind bei der Interessenabwägung zwischen Nutzung und Schutz besonders Rechnung zu tragen.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
(BUWAL)
Abteilung Gewässerschutz und Fischerei
Abteilungschef

Peter Michel

Avant-propos

La loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) du 24 janvier 1991 comprend des dispositions pour garantir des débits résiduels convenables. Les exigences relatives au débit sur les tronçons à l'aval des prélèvements, appelés tronçons à débits résiduels, sont formulées dans les articles 31 à 33, LEaux. Depuis l'entrée en vigueur de la loi le 1er novembre 1992, de nouveaux débits résiduels ont déjà été fixés pour un nombre important de captages effectués pour des aménagements hydroélectriques. Cela s'est fait dans le cadre de l'octroi d'une nouvelle concession ou du renouvellement d'une concession.

La présente publication a pour but de présenter les résultats obtenus sur le terrain suite à l'application des dispositions relatives aux débits résiduels en ce qui concerne la structure et les fonctions écologiques de cours d'eau affectés par des prélèvements. Le cours d'eau amoindri par le prélèvement a été examiné, en particulier pour savoir s'il peut encore remplir ses fonctions originelles et si la continuité du cours d'eau est conservée entre le prélèvement et la restitution d'eau.

Les études effectuées indiquent donc que les prescriptions relatives aux débits résiduels sont efficaces: dix ans après leur entrée en vigueur, la situation écologique a pu être jugée satisfaisante pour un nombre important de cours d'eau en aval de captages. En ce qui concerne l'exécution de ces prescriptions, beaucoup a été fait, mais des améliorations sont encore possibles: dans les cours d'eau importants sur le plan écologique, les études doivent être effectuées avec un soin particulier avant l'octroi de la concession et il faut porter une attention spéciale aux intérêts écologiques dans la pesée des intérêts plaidant en faveur de l'utilisation ou de la protection.

Office fédéral de l'environnement, des forêts
et du paysage (OFEFP)
Division protection des eaux et pêche
Chef de division

Peter Michel

Zusammenfassung

Im Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz GSchG) vom 24. Januar 1991 sind erstmals in der Schweiz Bestimmungen zur Sicherung von angemessenen Restwassermengen aufgenommen worden. Aufgrund von diesen in Art. 31 bis 33 konkretisierten Anforderungen an die minimale Wasserführung in Entnahmestrecken sind seit Inkrafttreten des Gesetzes (am 1. November 1992) bis ins Jahr 2000 bereits bei einer grösseren Anzahl Fassungen neue Mindestrestwassermengen festgesetzt worden. Dabei handelt es sich um Anlagen, die dem neuen Recht im Zuge einer Neukonzession oder einer Konzessionserneuerung unterstellt wurden.

Die hier vorliegende Wirkungskontrolle der Restwasserregelung hat in erster Linie zum Ziel, die mit der Anwendung des GSchG in der Praxis erreichten Verbesserung der ökologischen Struktur und Funktionsfähigkeit der Gewässer aufzuzeigen. Zu diesem Zweck wurden acht möglichst repräsentative Restwasserstrecken, die seit mindestens zwei Jahren gemäss Art. 31 bis 33 GSchG dotiert wurden, ausgesucht und mit ausgewählten naturwissenschaftlichen Indikatoren untersucht.

Der Erfolg der neuen Restwasserregelung gemäss GSchG wurde vor allem im Vergleich zu Referenzstellen, die von Wasserkraftnutzung unbeeinflusst waren und die vorzugsweise am gleichen Gewässer lagen, untersucht. Die Referenzstellen repräsentierten einen Zielwert, mit dem der Zustand in den Restwasserstrecken verglichen und Abweichungen festgestellt werden sollten. Darüber hinaus wurden aber auch gesetzlich festgelegte Sollwerte, z.B. bezüglich Wasserqualität oder Minimaltiefen für die Fischwanderung, überprüft. Falls vorhanden, wurden auch ältere Daten zum Vergleich herangezogen. Zusätzlich wurde bei einer Restwasserstrecke der Einfluss auf das Grundwasser untersucht.

Die Untersuchungen in den acht Restwasserstrecken (Abb. A) erstreckten sich über ein Jahr (Juni 2001 bis Mai 2002).

Résumé

La loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) du 24 janvier 1991 comprend pour la première fois en Suisse des dispositions pour garantir des débits résiduels convenables. Sur la base des exigences formulées dans les articles 31 à 33, LEaux, de nouveaux débits résiduels ont déjà été fixés pour un grand nombre de captages entre l'entrée en vigueur de la loi (le 1er novembre 1992) et 2000. Il s'agit d'aménagements soumis au nouveau droit dans le cadre d'une nouvelle concession ou du renouvellement d'une concession.

L'évaluation des effets de la réglementation des débits résiduels présentée ici a pour premier objectif de montrer l'amélioration sur le terrain de la structure et des fonctions écologiques du cours d'eau grâce à l'application sur le terrain de la LEaux. Dans ce but, huit tronçons à débits résiduels ont été choisis, les plus représentatifs possibles, dotés depuis au moins deux ans conformément aux exigences des articles 31 à 33, LEaux, puis les valeurs de paramètres écologiques sélectionnés ont été déterminées.

Le succès de la nouvelle réglementation des débits résiduels en vertu de la LEaux a surtout été étudié par comparaison avec des sites de référence non influencés par l'utilisation de la force hydraulique, de préférence sur le même cours d'eau. Pour quelques paramètres, les valeurs cibles fixées par la loi ont aussi été examinées, par exemple pour la qualité de l'eau ou les profondeurs minimales nécessaires à la migration des poissons. Lorsqu'elles existaient, les données antérieures ont été utilisées pour la comparaison. De plus, l'influence sur les eaux souterraines a été examinée sur un tronçon à débit résiduel.

Les études effectuées sur les huit tronçons à débits résiduels (fig. A) se sont étendues sur une année (de juin 2001 à mai 2002).

Die wichtigsten Untersuchungsparameter waren:

- Qualitative Erhaltung Fischfauna (Erhalt der Artenvielfalt),
- Quantitative Erhaltung Fischfauna (Erhalt der Produktionsfähigkeit und der gesetzlich geforderten fischereilichen Ertragsfähigkeit in einem Gewässer),
- Fischgängigkeit Fassung (Überprüfung der Durchgängigkeit von Fassungsbauwerken für wandernde Fische),
- Qualitative/Quantitative Erhaltung Makrozoobenthos (Erhalt der Artenvielfalt und des mengenmässigen Bestandes der Klein- resp. Fischnährtiere eines Gewässers),
- Morphologie und Strukturen (Beurteilung der Eignung eines Gewässers als Fischlebensraum anhand der Substratzusammensetzung, der Strömungstypen und der potentiellen Unterstände für Fische),
- Wasserqualität (Überprüfung der Anforderungen gemäss Gewässerschutzverordnung),
- Äusserer Aspekt (Überprüfung verschiedener sinnlich erfassbarer Kriterien wie z.B. Geruch, Trübung, Schlammabildung oder Algenwucherungen),

Les études ont principalement porté sur les paramètres suivants:

- Conservation qualitative de la faune piscicole (conservation de la diversité des espèces),
- Conservation quantitative de la faune piscicole (conservation de la productivité et de la capacité de rendement piscicole d'un cours d'eau),
- Possibilité de franchissement du captage par les poissons (examen de la possibilité pour les poissons de franchir les ouvrages de prélèvement),
- Conservation qualitative/quantitative du macrozoobenthos (conservation de la diversité des espèces et des effectifs des petits animaux et des organismes servant de nourriture aux poissons),
- Morphologie et structures (appréciation de l'aptitude d'un cours d'eau comme biotope pour les poissons selon la composition du substrat, les types de courant et les abris potentiels pour les poissons),
- Qualité de l'eau (examen des exigences de l'ordonnance sur la protection des eaux),



Abb. A: Für die Wirkungskontrolle der Restwasserregelung ausgewählte Restwasserstrecken.

Fig. A: Tronçons à débits résiduels choisis pour l'évaluation de la réglementation des débits résiduels.

- Kolmation (Ablagerung von Feinpartikeln im Porenraum der Gewässersohle; solche Ablagerungen können den Lebensraum von kieslaichenden Fischen und Kleintieren beeinträchtigen und die Sauerstoffzufuhr reduzieren).

Für die einzelnen Restwasserstrecken ergaben sich folgende Resultate:

Aabach (AG): Im Aabach wurde mit den untersuchten Parametern keine oder nur eine mässige Abweichung gegenüber der Referenz resp. den Sollwerten festgestellt. Eine starke Abweichung wurde einzig bei der qualitativen Erhaltung der Fischfauna festgestellt. Vom Artenspektrum der Fischfauna her beeinflussen 2 fehlende Fischarten in der Restwasserstrecke (Egli, Elritzen) die Beurteilung. Die quantitative Erhaltung der Fischfauna wird aufgrund der gegenüber der Referenzstrecke höheren Fischdichte und der ungefähr gleich grossen Nährtierbiomasse als nicht abweichend beurteilt.

Das Fassungsbauwerk ist mit einem Umgehungsgerinne ausgestattet, wegen hohen Schwellen innerhalb der Restwasserstrecke ist aber das Kontinuum nicht gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge teilweise gewährleistet.

Aare Bern (BE): Trotz der heutigen Restwassersituation und der Einleitung von gereinigtem Abwasser aus der ARA Worblental zeigten sich bei einigen der untersuchten Parameter (Naturverlaichung, Fischgängigkeit, innere Kolmation) höchstens geringe Abweichungen von der Referenz. Bei verschiedenen Aspekten konnte aber eine mässige (Morphologie/Strukturen, Makrozoobenthos, Wasserqualität, Sommertemperaturen) bis starke Abweichung von der Referenz (qualitative Erhaltung Fische und seltene Arten, quantitative Erhaltung Fischfauna, Äusserer Aspekt) festgestellt werden.

Die mageren Abfischungsergebnisse in der unteren Restwasserstrecke, die höhere Biomasse an Fischnährtieren und der massiv stärkere Aufwuchs lassen vermuten, dass die Verdünnung der eingeleiteten Abwässer aus der ARA Worblental zumindest bei niedriger Wasserführung ungenügend ist und neben der Restwasserführung für diese Situation mitverantwortlich ist.

- Aspect extérieur (examen de différents critères détectables par les sens, comme l'odeur, la turbidité, la formation de vase ou la prolifération d'algues),
- Colmatage (dépôt de fines particules dans les pores du lit du cours d'eau; de tels dépôts peuvent nuire aux poissons frayant dans le gravier et aux macroinvertébrés et réduire l'approvisionnement en oxygène).

Pour les différents tronçons à débits résiduels, les résultats ont été les suivants:

Aabach (AG): Dans l'Aabach, on a constaté pour les paramètres examinés une différence nulle ou seulement moyenne par rapport au tronçon de référence ou aux valeurs cibles. Une forte différence n'a été observée que pour la conservation qualitative de la faune piscicole: 2 espèces de poissons (perche, vairon) sont absentes sur le tronçon à débit résiduel. La conservation quantitative de la faune piscicole n'est pas considérée comme différente de celle du tronçon de référence en raison de la densité supérieure des poissons et de la biomasse presque équivalente d'organismes servant de nourriture aux poissons.

Le prélèvement d'eau est équipé d'un ruisseau de contournement; mais, à cause des seuils élevés à l'intérieur du tronçon à débit résiduel, la continuité n'est pas garantie.

Les fonctions écologiques du cours d'eau sont partiellement garanties par les débits résiduels existants.

L'Aar à Berne (BE): Malgré la situation actuelle des débits résiduels et le déversement d'eaux usées épurées de la STEP de Worblental, plusieurs paramètres examinés (frai naturel, possibilité de franchissement par les poissons, colmatage du lit) ont montré tout au plus une faible différence par rapport au tronçon de référence. Mais, pour de nombreux aspects, on a pu constater par rapport au tronçon de référence une différence moyenne (morphologie/structures, macrozoobenthos, qualité de l'eau, températures en été), à forte (conservation qualitative des poissons et des espèces rares, conservation quantitative de la faune piscicole, aspect extérieur).

Beim Äusseren Aspekt fielen vor allem das erhöhte Vorkommen von Feststoffen aus häuslichen Abwässern, die vermehrte Schlamm- und Eisensulfidbildung sowie der flächigere Algenbewuchs unterhalb der ARA Worblental ins Gewicht.

Bei der Wasserfassung gewährleistet ein Fischpass die Durchgängigkeit, innerhalb der Restwasserstrecke befinden sich keine Wanderhindernisse. Das Gewässerkontinuum ist gewährleistet.

Die Flusssdynamik erlaubt keine permanente Kolmation des Flussbettes. Allfällige lokale Kolmationserscheinungen während den Wintermonaten sind aufgrund der Flusssdynamik als temporär zu betrachten.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge nicht gewährleistet, wobei die Ursache dafür nicht nur in der Restwassermenge, sondern auch in der Kläranlage Worblental, welche die gesetzlichen Einleitbedingungen nicht erfüllt, zu suchen sind.

Aare Interlaken (BE): Die Restwasserstrecke zeigt keine starken Abweichungen gegenüber der Referenz. Einzige Einschränkungen betreffen die quantitative Erhaltung der Fischfauna, bei der in der Restwasserstrecke knapp 60 % der Fischdichte der Referenz festgestellt wurden und die Wasserqualität, bei der einzelne Werte den gesetzlichen Anforderungen nicht genügen; die beiden erwähnten Beeinträchtigungen sind jedoch nur mässig. Die Restwasserstrecke der Aare bei Interlaken zeigt heute somit eine ökologisch genügende Funktionsfähigkeit.

Verglichen mit dem morphologisch stark beeinträchtigten Schifffahrtskanal (Referenz) schneidet die Restwasserstrecke weit besser ab, und die lockere Sohle in der Restwasserstrecke ist bei genügend grosser Wasserführung ein ideales Laichsubstrat für Bach- und Seeforellen, sowie für Äschen und andere Kieslaicher.

Ein Fischpass bei der Wasserfassung stellt die freie Fischwanderung sicher, in der Restwasserstrecke sind keine Hindernisse vorhanden, sodass das Kontinuum gewährleistet ist.

Die Auswertung bestehender Grundwasserdaten erlaubte keine allgemeine Aussage bezüglich der Beeinflussung des Grundwassers durch die Restwasserstrecke.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vor-

Les résultats de la pêche électrique sur le secteur aval du tronçon à débit résiduel, la biomasse importante en animaux servant de pâture et le fort développement des algues font supposer que la dilution des eaux usées de la STEP de Worblental est insuffisante, du moins en cas de faibles débits, et porte en plus des débits résiduels une part de responsabilité dans cette situation.

L'évaluation négative de l'aspect extérieur résulte surtout de la présence accrue de substances solides provenant des eaux usées domestiques, de la formation accrue de vase et de sulfure de fer et du périphyton algal plus étendu en aval de la STEP de Worblental.

A la prise d'eau, une passe à poissons garantit le franchissement; il n'existe pas d'obstacles sur le tronçon à débit résiduel. La continuité du cours d'eau est garantie.

La dynamique du cours d'eau permet d'éviter un colmatage permanent du lit de la rivière. Les éventuels colmatages locaux pendant les mois d'hiver devraient être considérés comme temporaires en raison de la dynamique du cours d'eau.

Les fonctions écologiques du cours d'eau ne sont pas garanties en l'état. Ceci résulte des débits résiduels, mais surtout de la station d'épuration de Worblental, laquelle ne remplit pas les conditions légales de déversement.

L'Aar à Interlaken (BE): Le tronçon à débit résiduel ne présente pas de fortes différences par rapport au tronçon de référence. Des atteintes moyennes ont été observées en ce qui concerne la conservation quantitative de la faune piscicole avec, sur le tronçon à débit résiduel, environ 60 % de la densité de poissons du tronçon de référence, et la qualité de l'eau, avec certaines valeurs qui ne remplissent pas les exigences légales. Les fonctions écologiques de l'Aar à Interlaken sont donc aujourd'hui garanties.

En comparaison du canal navigable fortement affecté sur le plan morphologique (référence), le tronçon à débit résiduel fait bien meilleure figure, et le lit meuble du tronçon à débit résiduel constitue un lieu de frai idéal pour les truites de rivière et lacustres, les ombres et d'autres espèces qui fraient dans le gravier en cas de débit suffisant.

Une passe à poissons à la prise d'eau garantit la libre migration des poissons; il n'y a pas d'obstacles

handenen Restwassermenge weitgehend gewährleistet.

Bockibach (UR): Der Bockibach gilt bei seiner Fassungsstelle nicht als Fischgewässer und wurde entsprechend gemäss Art. 32 GSchG mit einer Mindestrestwassermenge unter dem Minimum nach Art. 31 GSchG konzessioniert. Bei allen untersuchten nicht-fischökologischen Kriterien wurden keine Beeinträchtigungen festgestellt, ausser bei den strömungsliebenden Kleintieren, wo Hinweise auf eine höchstens mässige Abweichung gegenüber der Referenz vorliegen.

Im untersten Abschnitt der Restwasserstrecke handelt es sich beim Bockibach eindeutig um ein Fischgewässer. Die Referenzstrecke unterhalb der Wasserrückgabe ist sehr hart verbaut, wogegen die Restwasserstrecke naturnah ist und eine vielfältige Sohle mit günstigen Unterständen aufweist und daher als nicht beeinträchtigt klassiert wird. Der heute verhältnismässig gute Bachforellenbestand in der untersten Restwasserstrecke zeigt, dass die quantitative Erhaltung der Fischfauna (ohne Einbezug der Nährtierbiomasse) nicht beeinträchtigt ist. Wenn der vergleichbare Alpbach für die Fischfauna als Referenzstrecke beigezogen wird, muss die qualitative Erhaltung der Fischfauna aber als stark beeinträchtigt klassiert werden, da in der Restwasserstrecke des Bockibachs mehrere Arten fehlen, die aus der Reuss einwandern könnten. Neben der geringen Restwassermenge muss dies aber auch den massiven Verbauungen unterhalb der Wasserrückgabe aus dem Kraftwerk angelastet werden, die den Aufstieg aus der Reuss verunmöglichen.

Die Restwasserstrecke ist nur zuunterst auf einem kurzen Abschnitt für die Fische erreichbar, der Rest sowie die Wasserfassung sind natürlicherweise nicht fischgängig.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge nur teilweise gewährleistet.

Flembach (GR): In der Restwasserstrecke des Flembaches bestehen heute verschiedenste mässige bis starke Abweichungen von einem Sollwert bzw. der Referenz. Mitverantwortlich dafür ist eine Versickerungsstrecke im unteren Teil der Restwasserstrecke, wo rund die Hälfte der konzessionierten Restwassermenge von 60 l/s versickert, sodass im

sur le tronçon à débit résiduel, si bien que la continuité est assurée.

L'exploitation des données existantes sur les eaux souterraines n'a pas permis de conclusion générale sur l'influence du tronçon à débit résiduel sur les eaux souterraines.

Les fonctions écologiques du cours d'eau sont largement garanties par les débits résiduels existants.

Bockibach (UR): Le Bockibach n'est pas considéré comme piscicole au point de captage et, conformément à l'art. 32, LEaux, a fait l'objet d'une concession avec un débit résiduel inférieur au minimum selon l'art. 31, LEaux. Pour tous les critères écologiques examinés autres que piscicoles, aucune atteinte n'a été constatée, sauf pour les macroinvertébrés rhéophiles pour lesquels des indices existent d'une différence tout au plus moyenne par rapport à la référence.

Le secteur aval du tronçon à débit résiduel est clairement piscicole dans le cas du Bockibach. Le tronçon de référence en aval de la restitution d'eau est très fortement aménagé en dur tandis que le tronçon à débit résiduel est proche de l'état naturel et présente un lit varié avec des abris favorables, ce qui le fait classer comme non affecté. Les effectifs actuels relativement bons de truites de rivière sur le secteur aval du tronçon à débit résiduel indiquent que la conservation quantitative de la faune piscicole (sans prise en compte de la biomasse des organismes servant de pâture) n'est pas affectée. Si l'on fait appel comme tronçon de référence à l'Alpbach, qui est comparable pour la faune piscicole, la conservation qualitative de la faune piscicole doit cependant être classée comme fortement affectée, car plusieurs espèces qui pourraient remonter depuis la Reuss manquent dans le tronçon à débit résiduel du Bockibach. La cause réside non seulement dans les faibles débits résiduels, mais aussi dans les importants aménagements en dur en aval de la restitution d'eau de la centrale électrique, qui empêchent la remontée à partir de la Reuss.

Le tronçon à débit résiduel n'est accessible aux poissons que tout en aval sur un court secteur; le reste, ainsi que la prise d'eau, ne sont pas franchissables naturellement par les poissons.

Les fonctions écologiques du cours d'eau ne sont que partiellement garanties par les débits résiduels existants.

Winter nur noch ca. 30 l/s vor der Wasserrückgabe abfliessen. Hier sind die Minimaltiefen für die freie Fischwanderung und die quantitative Erhaltung der Fischfauna stark beeinträchtigt. Dazu zeigen sich aber auch beim Äusseren Aspekt, bei den strömungsabhängigen Kleintieren, bei der Morphologie des Gewässers und bei der Fischgängigkeit der Fassungen weitere, wenn auch nur mässige Abweichungen. Diese Beurteilungen sind teilweise eine direkte Folge der unterhalb der Fassung festgestellten starken Grundeisbildung in der kältesten Jahreszeit. Bei der Wasserqualität und der qualitativen Erhaltung der Fischfauna (nur Bachforelle) wurden keine Defizite festgestellt.

Die Erhöhung der Sommerdotierung vom Mai bis September zeigt im Gegensatz zur Mindestrestwassermenge eine deutliche Aufwertung für das Landschaftsbild. Die untersuchten flussmorphologischen Kriterien wie z.B. Erreichen des Böschungsfusses, Überströmen von flachliegenden grösseren Steinen oder Rauschen des Gewässers wurden meist erfüllt.

Hohe Schwellen und natürliche Abstürze verhindern die freie Fischwanderung in der Restwasserstrecke, die Wasserfassung ist dank einer vorgelagerten Blockrampe bedingt fischgängig. Das Gewässerkontinuum ist somit auch natürlicherweise nicht gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge nur teilweise gewährleistet.

Schüss (BE): Im Vergleich zu allen hier untersuchten Restwasserstrecken weist die Schüss den besten ökologischen Zustand auf. So werden insbesondere die Erhaltung der Fisch- und Kleintierfauna, Wasserqualität und Äusserer Aspekt gewährleistet. Die freie Fischwanderung ist sowohl im fischgängigen Abschnitt der Restwasserstrecke (Minimaltiefen überall mehr als 20 cm), als auch bei der Wasserfassung (funktionierende Fischtreppe) gewährleistet. Die einzige Einschränkung betrifft die geringere Nährtierbiomasse in der Restwasserstrecke, was den quantitativen Erhalt der Fischfauna jedoch höchstens mässig beeinträchtigt.

Die Restwassermenge in der Schüss wurde gemäss Art. 33 GSchG über dem gesetzlichen Minimum auf 700 l/s festgesetzt. Die Überprüfung verschiedener flussmorphologischer Kriterien (Land-

Flembach (GR): Sur le tronçon à débit résiduel du Flembach, il existe aujourd'hui des différences très variées, de moyennes à fortes, par rapport à une valeur cible ou au tronçon de référence. La responsabilité en incombe, en partie, à des infiltrations dans la partie aval du tronçon à débit résiduel, où environ la moitié du débit résiduel de 60 l/s fixé dans la concession s'infiltré, si bien qu'en hiver le débit n'est plus que de 30 l/s environ à cet endroit. Les profondeurs minimales nécessaires à la libre migration des poissons et la conservation quantitative de la faune piscicole en sont fortement affectées. Mais d'autres différences, fussent-elles moyennes, se manifestent dans l'aspect extérieur, les macroinvertébrés rhéophiles, la morphologie du cours d'eau et la possibilité pour les poissons de franchir les captages. Ces appréciations sont en partie une conséquence directe de l'importante formation de glace de fond en aval du captage pendant la saison froide. Pour la qualité de l'eau et la conservation qualitative de la faune piscicole (seulement truite de rivière), aucun déficit n'a été constaté.

L'augmentation de la dotation estivale de mai à septembre entraîne une nette revalorisation paysagère par rapport au débit résiduel minimal. Les critères examinés pour la morphologie de la rivière, comme l'eau atteignant le pied de la berge, la submersion des grandes pierres peu profondes ou le murmure du cours d'eau, ont été le plus souvent remplis.

Des seuils élevés et des chutes naturelles empêchent la libre migration des poissons sur le tronçon à débit résiduel; la prise d'eau peut être franchie par les poissons grâce à une rampe en enrochement. La continuité du cours d'eau n'est pas garantie, même dans les conditions naturelles.

Les fonctions écologiques du cours d'eau ne sont que partiellement garanties par les débits résiduels existants.

La Suze (BE): De tous les tronçons à débits résiduels qui ont été examinés, c'est la Suze qui présente le meilleur état écologique. En particulier, la conservation de la faune piscicole et des macroinvertébrés, la qualité de l'eau et l'aspect extérieur sont garantis. La libre migration des poissons est garantie tant sur le secteur piscicole du tronçon à débit résiduel (profondeurs minimales partout supérieures à 20 cm) qu'à la prise d'eau (échelle à poissons

schaftsbild) zeigen, dass diese in der Restwasserstrecke weitgehend erfüllt sind und damit bezüglich Landschaftsbild höchstens geringe Abweichungen gegenüber der Referenz festgestellt werden konnten.

Untersuchungen haben gezeigt, dass Kolmation allenfalls als untergeordnetes und vorübergehendes Phänomen auftreten kann.

Beim Fassungsbauwerk stellt ein Fischpass die Durchgängigkeit sicher, innerhalb der Restwasserstrecke verhindern natürliche Abstürze die Fischwanderung. Das Gewässerkontinuum ist somit auch natürlicherweise nicht gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge gewährleistet.

Vièze (VS): Abgesehen von der Fischgängigkeit der Fassung (keine Aufstiegshilfe oder Fischtreppe), kann die Restwasserstrecke der Vièze insgesamt als nicht oder höchstens mässig beeinträchtigt beurteilt werden. Beim qualitativen Erhalt der Fischfauna fällt das Fehlen der stark gefährdeten Seeforelle in der Restwasserstrecke als mässige Beeinträchtigung ins Gewicht. Bei der Wasserqualität können wegen der Kläranlage Champéry die gesetzlichen Anforderungen zwar weitgehend, aber nicht durchwegs eingehalten werden. Die Besiedlungsdichte bei den strömungsabhängigen Kleintieren des Gewässerbodens war in der Restwasserstrecke reduziert.

Der untere Teil der Restwasserstrecke ist für Fische frei zugänglich, beim Fassungsbauwerk sowie im Rest der Schlucht ist die Durchgängigkeit und somit das Gewässerkontinuum auch natürlicherweise nicht gewährleistet.

Insgesamt ist die ökologische Gewässerfunktion mit der vorhandenen Restwassermenge weitgehend gewährleistet.

Vorderer Schächten (UR): Die Wassertiefen bezüglich Fischwanderung im oberen Teil der Restwasserstrecke waren z.T. ungenügend. Die strömungsabhängigen Kleintiere wiesen ebenfalls ein mässiges Defizit auf. Die Fischgängigkeit der Fassung ist durch den Venturi-Kanal zur Dotierwasserabgabe nur bedingt sichergestellt. Bei den übrigen Untersuchungsparametern wie z.B. Fischfauna, Gewässerstrukturen, Äusserer Aspekt und Wasser-

funktionelle). La seule restriction concerne la biomasse plus faible des organismes servant de pâture sur le tronçon à débit résiduel, mais cela n'affecte que moyennement la conservation quantitative de la faune piscicole.

Les débits résiduels de la Suze ont été fixés en vertu de l'art. 33, LEaux, au-dessus du minimum légal de 700 l/s. L'examen de différents critères de la morphologie de la rivière (aspect paysage) montrent que ceux-ci sont largement remplis sur le tronçon à débit résiduel. En conséquence, seules de faibles différences ont été établies par rapport au tronçon de référence en ce qui concerne l'aspect paysage.

Les examens ont montré que le colmatage ne peut survenir que comme phénomène secondaire et temporaire.

Une passe à poissons garantit le franchissement de l'ouvrage de captage; sur le tronçon à débit résiduel, des chutes naturelles empêchent la migration des poissons. La continuité du cours d'eau n'est donc pas non plus garantie dans les conditions naturelles.

Les fonctions écologiques du cours d'eau sont garanties avec les débits résiduels existants.

La Vièze (VS): Abstraction faite de la possibilité pour les poissons de franchir le captage (pas de dispositif de franchissement ou d'échelle à poissons), le tronçon à débit résiduel de la Vièze peut être considéré dans l'ensemble comme non affecté ou tout au plus moyennement. Pour le critère de la conservation qualitative de la faune piscicole, l'absence de la très menacée truite lacustres sur le tronçon à débit résiduel est considérée comme une atteinte moyenne. En ce qui concerne la qualité de l'eau, les exigences légales sont en bonne partie respectées grâce à la station d'épuration de Champéry, mais pas entièrement. La densité des macroinvertébrés rhéophiles du lit est réduite sur le tronçon à débit résiduel.

Le secteur aval du tronçon à débit résiduel est librement accessible aux poissons; à l'ouvrage de captage ainsi que dans le reste de la gorge, le passage et donc la continuité du cours d'eau ne sont pas garantis, même dans les conditions naturelles.

Globalement, les fonctions écologiques du cours d'eau sont largement garanties avec les débits résiduels existants.

qualität wurden keine Beeinträchtigungen resp. Abweichungen zum Sollwert bzw. der Referenz festgestellt. Insgesamt sind die Abweichungen gering bis mässig.

Die Wasserfassung ist bedingt fischgängig, in der Restwasserstrecke verhindern hohe natürliche Abstürze die freie Fischwanderung, weshalb das Gewässerkontinuum auch natürlicherweise nicht gewährleistet ist.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge weitgehend gewährleistet.

Bekanntermassen reagieren Gewässer sehr individuell auf die Wasserführung, weshalb es nicht immer einfach ist, allgemeingültige Aussagen über die Gesamtheit eines Gewässers als Lebensraum zu machen. Die hier vorliegende Wirkungskontrolle bei acht Restwasserstrecken hat aber gezeigt, welche positiven Auswirkungen durch die Dotierung nach Gewässerschutzgesetz in ökologischer Hinsicht im allgemeinen zu erwarten sind und wo nach wie vor Defizite bestehen. Zur übersichtlichen Veranschaulichung wurde eine Beurteilungsmatrix mit den in Kapitel 2.4 beschriebenen Kriterien erstellt; die entsprechende Matrix ist in Abbildung B dargestellt. Zusammenfassend kann, über die ganze Untersuchung gesehen, folgendes gesagt werden:

- Ein Grossteil der untersuchten Restwasserstrecken weist heute – wenn auch nicht bei allen Parametern – eine funktionierende ökologische Struktur auf, die mit den entsprechenden Referenzabschnitten vergleichbar ist. Die Hälfte der Restwasserstrecken (Schüss, Aare Interlaken, Vorderer Schächen, Vièze) zeigte keine starken Beeinträchtigungen. Von allen in den verschiedenen Gewässern untersuchten Parametern wiesen – ohne Gewichtung derselben – rund 90 % keine oder höchstens eine mässige Beeinträchtigung gegenüber der Referenz resp. Abweichung zum Sollwert auf. Dies bedeutet jedoch umgekehrt auch, dass bei rund 10 % aller Parameter die vom Gesetz festgelegten ökologischen Ziele nicht erreicht wurden und immer noch ein ökologisches Defizit besteht, das unter den gegebenen Restwasserbedingungen noch nicht entscheidend verbessert werden konnte.
- Die stichprobenartig gemessene Restwasser-

Schächen anterior (UR): En ce qui concerne la migration des poissons dans la partie amont du tronçon à débit résiduel, les profondeurs d'eau étaient en partie insuffisantes. Les macroinvertébrés rhéophiles indiquaient aussi un déficit moyen. La possibilité de franchissement du captage par les poissons n'est que partiellement assurée par le canal de Venturi apportant le débit de dotation. Pour les autres paramètres examinés, comme la faune piscicole, les structures du cours d'eau, l'aspect extérieur et la qualité de l'eau, on n'a constaté ni atteintes, ni différences par rapport à la valeur cible ou au tronçon de référence. Dans l'ensemble, les différences sont faibles à moyennes.

La prise d'eau est franchissable dans une certaine mesure par les poissons. Sur le tronçon à débit résiduel, de hautes chutes naturelles empêchent la libre migration des poissons; la continuité du cours d'eau n'est donc pas non plus garantie dans les conditions naturelles.

Les fonctions écologiques du cours d'eau sont largement garanties avec les débits résiduels existants.

On sait que les cours d'eau réagissent de façon très variée aux débits. Il n'est donc pas toujours simple de se prononcer globalement sur l'ensemble d'un cours d'eau en tant que biotope. Mais l'évaluation de huit tronçons à débits résiduels a montré les effets écologiques positifs que l'on peut escompter en général d'une dotation selon la loi sur la protection des eaux et les déficits qui subsistent. Pour permettre un aperçu synthétique, une matrice d'appréciation a été élaborée avec les critères décrits dans le chapitre 2.3. Elle est présentée dans la figure B. On peut résumer ainsi l'ensemble de l'étude:

- Une grande partie des tronçons à débits résiduels examinés présentent aujourd'hui – même si certains paramètres varient – des fonctions écologiques assurées de façon comparable à celles des tronçons de référence correspondants. La moitié des tronçons à débits résiduels (Suze, Aar à Interlaken, Schächen anterior, Vièze) ne présentaient pas de fortes atteintes. Dans les différents cours d'eau, environ 90 % des paramètres étudiés, non pondérés, ne présentaient pas d'atteinte ou une atteinte moy-

menge unterhalb der Dotierwasserabgabe entsprach in allen untersuchten Restwasserstrecken dem Sollabfluss gemäss Konzession.

- Die Wasserqualität der meisten Gewässer entspricht heute den gesetzlichen Anforderungen. Bei der Aare Interlaken konnte dies durch die Verlegung der Einleitungsstelle der ARA erreicht werden. Die grössten Probleme bestehen heute noch in der Aare bei Bern, wo jedoch die Kläranlage selbst die gesetzlichen Einleitbedingungen nicht einzuhalten vermag.
- Die fischökologischen Untersuchungen zeigten, dass die qualitative Erhaltung der Fischfauna in praktisch allen Restwasserstrecken höchstens mässig beeinträchtigt war. Einzige Ausnahmen bildeten der Aabach (AG) und die Aare bei Bern, wo fehlende Arten eine starke Beeinträchtigung anzeigen. Die räumlich und zeitlich inhomogene Verteilung der Fischarten in einem artenreichen Gewässer relativieren allerdings diese Aussagen bis zu einem gewissen Grade. Die quantitative Erhaltung der Fische zeigte hingegen in einem Viertel der Strecken eine mässige und in zwei Strecken (Flembach, Aare Bern) eine starke Abweichung gegenüber der Referenz.
- Bei den Kleintieren des Gewässerbodens (Makrozoobenthos) waren der quantitative und qualitative Erhalt meist genügend gewährleistet und die Verhältnisse in den Restwasserstrecken im allgemeinen genügend bis gut; die Restwasserstrecken bieten diesen Organismen offensichtlich in den meisten Fällen eine gute Lebensgrundlage. Das Vorkommen strömungsabhängiger Tiergruppen war jedoch in der Hälfte der Restwasserstrecken mässig beeinträchtigt.
- Die morphologischen Verhältnisse und die Strukturvielfalt waren in den meisten Restwasserstrecken gut bis genügend.
- Beim Äusseren Aspekt entsprachen die Verhältnisse in den meisten Restwasserstrecken denjenigen in den jeweiligen Referenzen. Grosse Abweichungen fanden sich in der Aare bei Bern (v.a. erhöhter Algenbewuchs und viele Feststoffe aus häuslichen Quellen). In den meisten Restwasserstrecken wurde ein erhöhter Algenbewuchs festgestellt, dessen Ausmass jedoch im Allgemeinen gering war. Lästige Algenwucherungen, wie sie aus verschiedensten Untersuchungen bei spärlich dotierten

enne par rapport au tronçon de référence ou une différence nulle ou moyenne par rapport à la valeur cible. Inversement, cela signifie aussi que pour environ 10 % de tous les paramètres les buts écologiques fixés par la loi ne sont pas atteints et qu'il subsiste par rapport aux exigences minimales un déficit écologique qui n'a pas encore pu être amélioré de façon décisive.

- Les débits résiduels mesurés ponctuellement en aval de la dotation correspondaient aux débits fixés dans la concession dans tous les tronçons à débits résiduels étudiés.
- La qualité de l'eau de la plupart des cours d'eau satisfait aujourd'hui aux exigences légales. Pour l'Aar à Interlaken, cela a pu être obtenu en déplaçant le lieu de déversement de la STEP. Les problèmes les plus graves concernent aujourd'hui l'Aar à Berne, où la station d'épuration elle-même n'est pas en mesure de respecter les conditions légales de déversement.
- Les études piscicoles ont montré que la conservation qualitative de la faune piscicole n'est pas affectée sur pratiquement tous les tronçons à débits résiduels ou tout au plus moyennement. Les seules exceptions sont l'Aabach (AG) et l'Aar à Berne, où les espèces absentes indiquent une forte atteinte. Mais la distribution spatiale et temporaire hétérogène des espèces de poissons dans un cours d'eau riche en espèces relativise dans une certaine mesure ce constat. En revanche, la conservation quantitative des poissons a présenté sur un quart des tronçons une différence moyenne et dans deux tronçons (Flembach, Aar à Berne) une forte différence par rapport au tronçon de référence.
- Chez les macroinvertébrés, la conservation quantitative et qualitative étaient le plus souvent suffisamment assurées et les conditions dans les tronçons à débits résiduels étaient en général suffisantes à bonnes; les tronçons à débits résiduels offrent apparemment à ces organismes, dans la plupart des cas, de bonnes bases de vie. Les groupes d'animaux rhéophiles étaient cependant moyennement affectés sur la moitié des tronçons à débits résiduels.
- Les conditions morphologiques et la diversité des structures étaient bonnes à suffisantes sur la plupart des tronçons à débits résiduels.
- En ce qui concerne l'aspect extérieur, les condi-

Restwasserstrecken bekannt sind, traten keine auf.

Der beste ökologische Zustand wurde in derjenigen Restwasserstrecke festgestellt (Schüss), bei der die Dotierung ganzjährig über dem gesetzlichen Minimum gemäss Art. 31 GSchG lag.

Die Resultate der hier vorliegenden Wirkungskontrolle der Restwasserregelung gemäss GSchG haben deutlich aufgezeigt, dass die Bedingungen für das Überleben und Gedeihen verschiedenster Organismen und die Erhaltung als wertvoller Lebensraum in den untersuchten Restwasserstrecken mit der geltenden Restwasserregelung gewährleistet werden kann, auch wenn trotz dieses Erfolges noch Defizite festgestellt wurden und entsprechendes Aufwertungspotenzial besteht.

tions correspondaient, sur la plupart des tronçons à débits résiduels, à celles des tronçons de référence respectifs. De grandes différences ont été constatées sur l'Aar à Berne (surtout périphyton algal et substances solides d'origine domestique).

- Sur la plupart des tronçons à débits résiduels, un développement du périphyton algal a été constaté, mais dans une mesure en général modeste. Aucune prolifération indésirable d'algues analogues à celles mises en évidence par de nombreuses études sur des tronçons à débits résiduels, où le débit de dotation est faible n'ont été observées.

Le meilleur état écologique a été observé sur le tronçon à débit résiduel de la Suze, bénéficiant toute l'année d'une dotation supérieure au minimum d'après l'art. 31, LEaux.

L'évaluation des effets de la réglementation des débits résiduels selon la LEaux ont clairement montré qu'il est possible, par la réglementation en vigueur, d'assurer sur les tronçons à débits résiduels examinés les conditions de survie et de développement d'organismes les plus variés et de conserver les cours d'eau en aval de prélèvements comme biotopes précieux, même s'il subsiste encore des déficits et qu'il existe un potentiel de revalorisation.

			Abiotische und biotische Parameter im Vergleich mit Referenz						abiotische Parameter im Vergleich mit Soll-/ Grenzwert	ökologische Gewässerfunktion mit vorh. Restwassermenge gewährleistet?			
			<i>paramètres abiotiques et biotiques comparés à la référence</i>						<i>Paramètres abiotiques comparés à la valeur cible/limite</i>	<i>Fonction écologique du cours d'eau assurée avec les débits résiduels existants?</i>			
			Qual. Erhaltung Fischfauna <i>Conservation qual. de la faune piscicole</i>	Quant. Erhaltung Fischfauna <i>Conservation quant. de la faune piscicole</i>	Strömungsabhängige Kleintiere <i>Macroinvertébrés rheophiles</i>	Morphologie und Strukturen <i>Morphologie et structures</i>	Qual./Quant. Erhaltung Kleintiere <i>Conservation qual./quant. des macroinvertébrés</i>	Ausserer Aspekt <i>Aspect extérieur</i>	Minimaltiefe für Fischwanderung <i>Profondeur minimale nécessaire à la migration des poissons</i>	phys./chem. Wasserqualität <i>Qualité phys./chim. de l'eau</i>	weitgehend gewährleistet <i>largement assurée</i>	teilweise gewährleistet <i>partiellement assurée</i>	nicht gewährleistet <i>non assurée</i>
	Gewässer Cours d'eau	Kanton Canton											
Gewässer über 1000 m.ü.M. <i>Cours d'eau au-dessus de 1000 m</i>	Flembach	GR	■	■	■	■	—	■	■	■			
	Vorderer Schächen <i>Schächen antérieur</i>	UR	■	■	■	■	—	■	■	■	✗		
Gewässer unter 900 m.ü.M. <i>Cours d'eau au-dessous de 900 m</i>	Bockibach	UR	(1)	(2)	■	■	—	■	(3)	■			
	La Vièze	VS	■	■	■	■	—	■	■	■	✗		
	Aare, Interlaken <i>Aar, Interlaken</i>	BE	■	■	■	■	—	■	■	■	✗		
	Aare, Bern <i>Aar, Berne</i>	BE	■	■	■	■	—	■	■	■		(4)	✗
	Schüss <i>La Suze</i>	BE	■	■	■	■	—	■	■	■	✗		
	Aabach	AG	■	■	■	■	—	■	■	■		✗	

im Vergleich zur Referenz resp. Sollwert / *en comparaison avec la référence ou la valeur cible* :

- = keine/geringe Abweichung gegenüber Sollwert bzw. Veränderung gegenüber Referenz
= *différence par rapport à la valeur cible / changement par rapport à la référence: aucun ou faible*
- = mässige Beeinträchtigung/Veränderung
= *différence par rapport à la valeur cible / changement par rapport à la référence: moyen*
- = starke Beeinträchtigung/Veränderung
= *différence par rapport à la valeur cible / changement par rapport à la référence: important*
- = Kriterium untersucht, keine Aussage möglich
= *critère étudié, classification impossible*
- = Kriterium nicht untersucht resp. nicht vorhanden
= *critère non étudié*

Abb. B: Beurteilungsmatrix für alle 8 untersuchten Restwasserstrecken (geordnet nach Höhenlage) und die wichtigsten Untersuchungsparameter.

Fig. B: Matrice d'appréciation pour les 8 tronçons à débits résiduels examinés et principaux paramètres d'étude.

- (1) Die Beurteilung der Artenzahl erfolgte unter Berücksichtigung des Potentials (Einwanderung aus der Reuss), wie dies im vergleichbaren Alpbach in der Nähe des Bockibaches gefunden wurde: entsprechend liegt eine starke Beeinträchtigung vor, die aber nicht nur der Restwassermenge, sondern v.a. auch den starken Verbauungen unterhalb des Kraftwerkes angelastet werden muss.
L'appréciation du nombre d'espèces s'est faite en tenant compte des potentialités (migration vers l'amont depuis la Reuss, telle que constatée dans l'Alpbach, cours d'eau comparable et voisin du Bockibach). Il en résulte une forte atteinte, qui ne doit cependant pas être imputée seulement aux débits résiduels, mais aussi aux importants aménagements en dur en aval de la centrale électrique.
- (2) Zur Beurteilung der quantitativen Erhaltung der Fischfauna wurde die Nährtierbiomasse nicht berücksichtigt.
La biomasse des organismes servant de nourriture aux poissons n'a pas été prise en compte dans l'appréciation de la conservation quantitative de la faune piscicole.
- (3) Der Bockibach gilt bei der Fassungsstelle nicht als Fischgewässer und wurde entsprechend konzessioniert; im untersten Abschnitt oberhalb der Wasserrückgabe handelt es sich aber um ein Fischgewässer.
Le Bockibach n'est pas considéré comme piscicole au point de prélèvement et la concession en a tenu compte; mais le secteur aval en amont de la restitution d'eau est piscicole.
- (4) Die ökologische Gewässerfunktion in der Aare bei Bern ist stark beeinträchtigt. Neben der Restwasserführung ist aber vor allem die Kläranlage Worblental, welche die gesetzlichen Einleitbedingungen nicht erfüllt, mitverantwortlich.
Les fonctions écologiques de l'Aar à Berne sont fortement affectées. La responsabilité en incombe non seulement aux débits résiduels, mais surtout à la station d'épuration de Worblental, qui ne satisfait pas aux exigences légales de déversement.

1 Einleitung und Zielsetzung

Im Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz; GSchG) vom 24. Januar 1991 sind erstmals in der Schweiz Bestimmungen zur Sicherung von angemessenen Restwassermengen aufgenommen worden. Aufgrund von diesen in Art. 31 bis 33 konkretisierten Anforderungen an die minimale Wasserführung in Entnahmestrecken wurden seit Inkrafttreten des Gesetzes (1. November 1992) bis ins Jahr 2000 bereits fast 50 Wasserfassungen nach diesen neuen Mindestrestwassermengen konzessioniert.

Die hier vorliegende Wirkungskontrolle der neuen Restwasserregelung hat in erster Linie zum Ziel, die mit der Anwendung des GSchG in der Praxis erhoffte Verbesserung der ökologischen Struktur und Funktionsfähigkeit der Gewässer zu überprüfen. Zu diesem Zweck wurden möglichst repräsentative, gemäss Art. 31 bis 33 GSchG dotierte Restwasserstrecken nach ausgewählten naturwissenschaftlichen Kriterien untersucht.

Für die meisten Kraftwerke sollte ein Umweltverträglichkeitsbericht oder (bei kleineren Anlagen) ein Restwasserbericht vorliegen (Art. 33 GSchG), in welchem der Ausgangszustand des genutzten Gewässers vor der neuen Restwasserregelung zumindest in groben Zügen beschrieben ist. Für die Wirkungskontrolle war entsprechend geplant, aufbauend auf diesen Grundlagen und ergänzenden aktuellen Untersuchungen, Schlüsse über die zu erwartenden ökologischen Verbesserungen ziehen zu können. In der Praxis hat es sich aber gezeigt, dass in vielen Fällen – v.a. bei kleineren Kraftwerken – keine oder nur sehr rudimentäre Angaben zum Ausgangszustand des genutzten Gewässers zur Verfügung standen. Der Erfolg der neuen Restwasserregelung wurde deshalb weniger an älteren Daten gemessen als vielmehr an möglichst unbeeinflussten Referenzstellen, die meist am gleichen Gewässer lagen und zeitgleich mit den Restwasserstrecken untersucht wurden. Die Referenzstellen repräsentierten einen Zielwert, mit dem der Zustand in den Restwasserstrecken verglichen und Abweichungen festgestellt werden konnten. Darüber hinaus wurden aber auch gesetzlich festgelegte Sollwerte, z.B. bezüglich Wasserqualität oder Minimaltiefen für die Fischwanderung, überprüft.

1 Introduction et objectifs

La loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) du 24 janvier 1991 comprend pour la première fois en Suisse des dispositions pour garantir des débits résiduels convenables. Depuis l'entrée en vigueur de la loi (le 1er novembre 1992) jusqu'en 2000, une concession a été octroyée à près de 50 captages en tenant compte des nouvelles exigences de débit résiduel sur les tronçons de prélèvement formulées dans les articles 31 à 33.

L'évaluation de la réglementation des débits résiduels présentée ici a pour premier objectif de montrer l'amélioration de la structure et des fonctions écologiques du cours d'eau escomptée de l'application pratique de la LEaux. Dans ce but, des tronçons à débits résiduels les plus représentatifs possibles, dotés conformément aux articles 31 à 33, LEaux, ont été étudiés par rapport à un choix de critères écologiques.

Pour la plupart des centrales hydroélectriques, on devrait disposer d'un rapport d'impact sur l'environnement, ou, pour les petits aménagements, d'un rapport sur les débits résiduels (art. 33, LEaux), décrivant au moins dans les grandes lignes l'état initial du cours d'eau exploité avant la nouvelle réglementation des débits résiduels. Pour cette étude, il était donc prévu, sur la base de ces éléments et des études complémentaires portant sur l'état actuel, de tirer des conclusions sur les améliorations écologiques escomptées. Mais, dans la pratique, il s'est avéré dans de nombreux cas – surtout pour les petites centrales hydroélectriques – que les données disponibles sur l'état initial du cours d'eau exploité étaient inexistantes ou très sommaires. Le succès de la nouvelle réglementation des débits résiduels a donc été mesuré moins d'après les données anciennes qu'en fonction de sites de référence aussi peu influencés que possible, le plus souvent sur les mêmes cours d'eau. Les sites de référence représentaient une valeur cible permettant de comparer l'état des tronçons à débits résiduels et de déterminer les différences. Mais les valeurs cibles fixées par la loi ont également été examinées, par exemple pour la qualité de l'eau ou la profondeur minimale nécessaire à la migration des poissons.

Im Rahmen einer Vorstudie wurden die konzeptionellen und methodischen Grundlagen für die hier vorliegende, eigentliche Wirkungskontrolle der zu untersuchenden Gewässerstrecken erarbeitet. Eine Wirkungskontrolle anhand biologischer Kriterien setzt voraus, dass die Dotierung einer Restwasserstrecke bereits über eine längere Zeit erfolgte, in der sich die Biozönose an die neue Situation anpassen konnte. Aus diesem Grund wurden nur solche Restwasserstrecken berücksichtigt, die seit mindestens zwei Jahren gemäss den neuen gesetzlichen Bestimmungen dotiert wurden. Aus 34 entsprechenden Fassungen bzw. Restwasserstrecken wurden acht repräsentative und bezüglich Gewässer- resp. Nutzungstypen möglichst unterschiedliche Strecken ausgewählt und die zu untersuchenden Parameter festgelegt.

Vier der in der Vorstudie ausgewählten Restwasserstrecken mussten aus verschiedenen Gründen (laufende Dotierversuche, Unzugänglichkeit, extreme Hochwasser, längerer Betriebsausfall Kraftwerk) für die Hauptuntersuchung ersetzt werden.

Die acht untersuchten Anlagen resp. Restwasserstrecken weisen folgende Charakteristika auf:

- Sechs der untersuchten Strecken weisen eine mittlere Höhenlage unter 900 m.ü.M. auf, die restlichen zwei liegen zwischen 1100 und 1200 m.ü.M. Auffällig ist, dass keine hochalpinen Restwasserstrecken zur Auswahl standen, also Gewässertypen, die in der Schweiz verbreitet genutzt werden. Die einzige solche neukonzessionierte Wasserkraftanlage von Zermatt (mit Fassungen bis zu 2000 m.ü.M.) ist erst seit 2002 in Betrieb.
- Es wurden Gewässer von 2 bis 40 m Breite berücksichtigt. Die Restwassermengen der kleinen und mittelgrossen Gewässer bewegen sich zwischen 60 und 700 l/s. Bei den zwei grossen Gewässern liegen die jahreszeitlich abgestuften Dotierwassermengen zwischen 4 und 15 m³/s.
- Von den acht Restwasserstrecken werden 3 gemäss Art. 31/1 GSchG (Mindestrestwassermenge) dotiert, bei zwei Strecken wurde die Mindestrestwassermenge gemäss Art. 33 erhöht, im Bockibach wurde gemäss Art. 32 eine tiefere Restwassermenge für Nichtfischgewässer angesetzt und bei zwei Gewässern wurde Art. 31 und 33 angewendet (jahreszeitlich abgestufte Restwassermengen).

Dans le cadre d'une étude préliminaire, on a élaboré les bases conceptuelles et méthodologiques. Une évaluation basée sur des critères biologiques suppose que le tronçon à débit résiduel bénéficie déjà d'une dotation depuis un temps qui a permis à la biocénose de s'adapter à la nouvelle situation. Pour cette raison, seuls ont été pris en compte des tronçons à débits résiduels dotés depuis au moins deux ans selon les nouvelles dispositions légales. Parmi 34 captages, ou tronçons à débits résiduels satisfaisant à ces exigences, on a choisi huit tronçons représentatifs et aussi différents que possible quant aux types de cours d'eau et d'utilisation et fixé les paramètres à examiner.

Quatre des tronçons à débits résiduels choisis dans l'étude préliminaire ont dû être remplacés dans l'étude principale pour différentes raisons (essais de dotation en cours, inaccessibilité, crues extrêmes, arrêt assez long de l'exploitation de la centrale hydroélectrique).

Les huit aménagements ou tronçons à débits résiduels étudiés présentent les caractéristiques suivantes:

- L'altitude moyenne de six des tronçons étudiés est inférieure à 900 m, celle des deux autres est comprise entre 1100 et 1200 m. Étonnamment, aucun tronçon alpin à débit résiduel n'était disponible pour la sélection, alors que ce type de cours d'eau est largement exploité en Suisse. L'unique aménagement hydroélectrique alpin bénéficiant d'une concession récente, celui de Zermatt (avec des captages jusqu'à 2000 m), n'est en exploitation que depuis 2002.
- On a pris en considération des cours d'eau de 2 à 40 m de largeur. Les débits résiduels des cours d'eau de taille faible ou moyenne varient entre 60 et 700 l/s. Pour les deux grands cours d'eau, les débits de dotation, différenciés selon les saisons, varient entre 4 et 15 m³/s.
- Des huit tronçons à débits résiduels, 3 sont dotés selon l'art. 31, al. 1, LEaux (débits résiduels minimaux), deux tronçons ont un débit résiduel minimal augmenté en vertu de l'art. 33, le Bockibach a un débit résiduel plus faible fixé en vertu de l'art. 32 en tant que cours d'eau non piscicole et deux cours d'eau sont dotés en vertu des art. 31 et 33 (débits résiduels différenciés selon les saisons).

- Die im hydrologischen Atlas der Schweiz definierten Abflusstypen sind wie folgt vertreten: nival-glacial (3), nival-alpin (1), nivo-pluvial (1), pluvial (1), Mischtypen bei grossen Gewässern (2). Rein glaziale Abflusstypen sind keine vertreten.
- Bei den meisten Restwasserstrecken handelt es sich um Fischgewässer; nur der Bockibach wurde im Rahmen der Konzessionserteilung als Nichtfischgewässer eingestuft.
- Die Summe der Tage, an denen die Ausbauwassermenge an den Fassungen erreicht oder überschritten wird (Überlauf an der Fassung) variiert zwischen 80 und 240 Tagen.
- Geographisch liegt 1 Gewässer im Jura, 3 im Mittelland und 4 in den nördlichen Alpen (siehe Zusammenfassung, Abb. A)
- Bezüglich Kraftwerkstypen sind ausschliesslich Laufkraftwerke vertreten.
- Les types de débits définis dans l'Atlas hydrologique de la Suisse sont représentés dans les proportions suivantes : nival-glaciaire (3), nival-alpin (1), nivo-pluvial (1), pluvial (1), types mixtes pour les grands cours d'eau (2). Les types de débits purement glaciaires ne sont pas représentés.
- La plupart des tronçons à débits résiduels sont piscicoles; seul le Bockibach a été classé comme cours d'eau non piscicole dans le cadre de l'octroi de la concession.
- La somme des jours pendant lesquels le débit équipé est atteint ou dépassé (surverses) varie entre 80 et 240.
- Du point de vue géographique, 1 cours d'eau est dans le Jura, 3 sur le Plateau et 4 au Nord des Alpes (voir résumé, fig. A).
- En ce qui concerne les types de centrale hydroélectrique, seuls les aménagements au fil de l'eau sont représentés.

2 Methodik

2.1 Untersuchungsparameter und -methodik

Die Auswahl der Untersuchungsparameter stützt sich auf naturwissenschaftliche und landschaftliche Aspekte der Beurteilung von Restwasserstrecken, welche in den Artikeln 31 bis 33 des GSchG aufgeführt sind und auf weitere für eine Wirkungskontrolle geeignete und in der Praxis verbreitet angewandte Parameter. Die sogenannten Standardparameter – v.a. jene in Art. 31 eindeutig definierten Mindestanforderungen, welche vergleichsweise einfach zu erfassen sind – wurden in allen für die Wirkungskontrolle vorgesehenen Restwasserstrecken überprüft (Routinekontrolle). Von Fall zu Fall wurden weitere für die entsprechende Restwasserstrecke relevante Ergänzungsparameter – alle in Art. 31 und 33 aufgeführten oder damit zusammenhängenden Bereiche – untersucht.

Es folgt eine detaillierte Beschreibung der Standard- und Ergänzungsparameter mit Verweis auf den entsprechenden Artikel des Gewässerschutzgesetzes und gegebenenfalls mit Literaturangabe:

Standardparameter

- **Äusserer Aspekt** (Art. 31 und Art. 33/Abs. 3 GSchG resp. GSchV, Anhang 2): dieser umfasst eine Sinnenprüfung (Geruch, Trübung/Verfärbungen, Schaum-/Schlammbildungen), die Beurteilung des Ausmasses von Eisensulfidflecken und Algen-Wucherungen sowie die Grobbeurteilung der Kolmation. Die Methodik richtete sich dabei nach dem im Modul Stufen Konzept vorgesehenen Modul „Äusserer Aspekt“, das zum Untersuchungszeitpunkt jedoch erst in Form eines Entwurfs vorlag (BUWAL 1998). Mit dem Äusseren Aspekt werden die Anforderungen an die Wasserqualität gemäss Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV) überprüft. Die Beurteilung erfolgte anhand einer dreistufigen Bewertungsskala (1 bedeutet keine, 2 eine leichte und 3 eine starke Ausprägung des jeweiligen Parameters). Der pflanzliche Bewuchs wurde detaillierter nach Thomas & Schanz (1976) 6-stufig bewertet (Abbildung 2.1.1).

2 Méthodologie

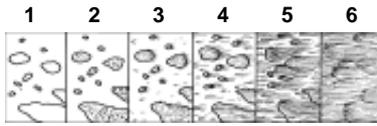
2.1 Paramètres et méthode d'étude

Le choix des paramètres d'étude repose sur des aspects écologiques et paysagers d'appréciation des tronçons à débits résiduels, mentionnés dans les articles 31 à 33, LEaux, et sur d'autres paramètres largement utilisés dans la pratique. Les paramètres dits standards – surtout les exigences minimales clairement définies dans l'art. 31, qui sont comparativement simples à relever – ont été examinés sur tous les tronçons à débits résiduels étudiés (contrôle de routine). De cas en cas, on a examiné d'autres paramètres complémentaires pour un tronçon à débit résiduel, à savoir tous les domaines mentionnés dans les art. 31 et 33, LEaux, ou liés.

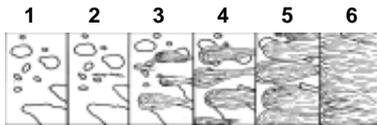
Les paramètres standards et complémentaires sont décrits en détail ci-dessous, avec référence aux articles correspondants de la loi sur la protection des eaux et, le cas échéant, référence bibliographique:

Paramètres standards

- **Aspect extérieur** (art. 31 et art. 33, al. 3, LEaux, et annexe 2, OEaux): Il comprend un examen sensoriel (odeur, formation d'écume/vase, turbidité/changements de couleur), l'appréciation de l'étendue des taches de sulfure de fer et des proliférations d'algues, ainsi que l'appréciation sommaire du colmatage. La méthodologie est donc axée sur le module « aspect extérieur » prévu dans le système modulaire gradué, mais il n'était encore qu'à l'état de projet au moment de l'étude (BUWAL 1998). Avec l'aspect extérieur, on examine les exigences de qualité de l'eau en vertu de l'ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998 (OEaux). L'appréciation s'est faite au moyen d'une échelle d'évaluation à trois degrés (1 = nul, 2 = faible/moyen, 3 = fort). Le périphyton végétal a été évalué plus en détail, sur 6 degrés, selon Thomas et Schanz (1976) (figure 2.1.1).

Algen / Algues

- 1 = kein Bewuch; 1 = *absentes*
 2 = Krustenalgen, deutliche Überzüge ohne Zotten; 2 = *algues incrustantes, recouvrements apparents sans filaments*
 3 = Ansätze von Fäden und Zotten; 3 = *ébauches de filaments*
 4 = gut ausgebildete Fäden und Zotten; 4 = *filaments bien développés*
 5 = Sohle zum grössten Teil bedeckt; 5 = *lit en grande partie recouvert*
 6 = ganze Sohle bedeckt, Konturen der Steine nicht mehr sichtbar; 6 = *tout le lit recouvert, le contours des pierres n'est plus visible*

Makrophyten und Moose / Macrophytes et mousses

- 1 = ohne Bewuchs; 1 = *absents*
 2 = 1-10% der Sohle bedeckt; 2 = *1-10 % du lit recouvert*
 3 = 11-25%;
 4 = 26-50%;
 5 = 51-75%;
 6 = 76-100%

Abb. 2.1.1: Schätzung der Bewuchsdichte nach Thomas & Schanz (1976).

Fig. 2.1.1 : Estimation de la densité du périphyton végétal d'après Thomas et Schanz (1976).

- **Wasserqualität** (Art. 31/Abs. 2 GSchG): Bei Gewässern ohne Abwassereinleitungen erfolgte die Überprüfung stichprobenartig durch Entnahme von mindestens zwei Wasserproben zu verschiedenen Tageszeiten oberhalb der Fassung (Referenz) und am Ende der Restwasserstrecke. Das entnommene Wasser wurde auf folgende Parameter untersucht: Nitrat, Ortho-Phosphat, pH, Leitfähigkeit, Temperatur und Sauerstoff. Neben dem Vergleich mit der Referenzstelle wurde auch die Einhaltung der Anforderungen an die Wasserqualität gemäss GSchV überprüft.
- **Wassertiefe** (Art. 31/Abs. 2 GSchG): Die erforderliche Wassertiefe für die freie Fischwanderung von 20 cm (Botschaft zum GSchG, S. 73) wurde an den kritischen Stellen der Restwasserstrecken (sowie in der Referenz) entlang der tiefsten Rinne (Talweg) gemessen.
- **Qualitative/quantitative Erhaltung Fischfauna** (Art. 31 und Art. 33/Abs. 3 GSchG): Die Erhebungen zur Fischfauna wurden mit Elektrofischerei, unter Anwendung der Punkt-Sammel-Methode (Point Abundance Sampling, Copp & Penaz 1988) vorgenommen. Dabei wird jedes Eintauchen der Anode als eine Fangeinheit gezählt und die Anzahl Fische pro Fangeinheit berechnet (= CPUE, catch per unit effort). Diese standardisierten Häufigkeiten erlauben einen Vergleich der Resultate innerhalb und zwischen den verschiedenen Gewässern, unabhängig von der Abfischungsstrecke und der Gewässer-
- **Qualité de l'eau** (art. 31, al. 2, LEaux): Pour les cours d'eau sans déversements d'eaux usées, l'examen s'est effectué en prélevant au moins deux échantillons d'eau à différents moments de la journée en amont du captage (référence) et à la fin du tronçon à débit résiduel. Les paramètres suivants ont été analysés dans l'eau prélevée: nitrate, ortho-phosphate, pH, conductibilité, température et oxygène. En plus de la comparaison avec le site de référence, on a examiné le respect des exigences de qualité de l'eau en vertu de l'OEaux.
- **Profondeur de l'eau** (art. 31, al. 2, LEaux): la profondeur de l'eau de 20 cm nécessaire à la libre migration des poissons (message relatif à la LEaux, p. 76) a été mesurée aux points critiques des tronçons à débits résiduels (ainsi que sur le tronçon de référence) le long du profil le plus bas (talweg).
- **Conservation qualitative/quantitative de la faune piscicole** (art. 31 et art. 33, al. 3, LEaux): Les relevés de la faune piscicole ont été effectués par pêche électrique, en appliquant la méthode de collecte par point (Point Abundance Sampling, Copp et Penaz 1988). Chaque immersion de l'anode est considérée comme une unité de capture pour laquelle le nombre de poissons est compté (= CPUE, catch per unit effort). Cette méthode standardisée permet une comparaison des résultats entre différents tronçons d'un même cours d'eau ou de cours d'eau différents, indépendamment du tronçon de

grösse. Je nach örtlichen Verhältnissen wurden pro Abfischungsstrecke auf ca. 150 m Länge mindestens 34, maximal 57 Punkte befischt. Zusammen mit der Fischnährtierbiomasse (s.u.) erlaubt der CPUE die Beurteilung der quantitativen Erhaltung der Fischfauna. Die Abfischungen wurden immer von denselben Personen mit dem gleichen Gerät (Grassl, 5 kW, 300-700 V, 3-5 A) durchgeführt. Artvorkommen, CPUE und Längenverteilung der Bachforellen der Restwasserstrecken wurden mit der Referenz verglichen und kommentiert.

- **Bilddokumentation:** Die Referenz- und Restwasserstrecken wurden fotografisch dokumentiert und die optische Wahrnehmung der Restwasserstrecke kommentiert.
- **Fischlebensraum** (Art. 31 und Art. 33/Abs. 3 GSchG): Als geeignete Indikatoren für den Fischlebensraum können einerseits die Nährtierbiomasse (=flächenspezifische Biomasse der Wirbellosenfauna, s.u.), andererseits die Habitatestruktur bezeichnet werden.

Die Erhebung der für die Fischfauna wichtigen Strukturen (Substratzusammensetzung, Strömungstypen und potentielle Unterstände nach Bisson et al. 1981, Crisp 1996) ermöglichte eine qualitative Aussage über die Eignung des Gewässers als Fischlebensraum. In jeder Probe-strecke (Restwasser und Referenz) wurden diese Parameter auf 5 Teilstrecken von je 10 m Länge erhoben.

- **Fischnährtierbiomasse:** Aus der Nährtierbiomasse lässt sich der potentielle Jahreshektarertrag der Fischgemeinschaft schätzen, der Auskunft über die Produktionsfähigkeit des Gewässers gibt und so die Überprüfung der gesetzlich geforderten Erhaltung der fischereilichen Ertragsfähigkeit erlaubt (Roth 1965, 1985). Diese wurde in allen Gewässern als Grundlage für die fischökologische Interpretation und zur Überprüfung des quantitativen Erhalts des Benthos (Art. 33/Abs. 3 GSchG) anhand von mindestens 3 Parallelproben bestimmt. Aus den Parallelproben wurde der Median, sowie die mittlere absolute Abweichung bestimmt.
- **Restwassermenge:** Die Abflussmenge in der Restwasserstrecke der kleineren und mittleren Fliessgewässer wurde mittels Salzverdünnung (5-Sonden-Messgerät) oder bei grösseren Gewässern mittels Flügelprofilmessung (Aare Inter-laken) bestimmt.

pêche électrique et de la taille du cours d'eau. Selon les conditions locales, au minimum 34 et au maximum 57 points ont été analysés par tronçon pêché d'environ 150 m de longueur. Avec la biomasse servant de nourriture aux poissons (voir ci-dessous), le CPUE permet d'apprécier la conservation quantitative de la faune piscicole. Les pêches électriques ont toujours été effectuées par les mêmes personnes avec le même appareil (Grassl, 5 kW, 300-700 V, 3-5 A). On a comparé les espèces présentes, le CPUE et la distribution des tailles des truites de rivière sur les tronçons à débits résiduels et sur les tronçons de référence et commenté les résultats.

- **Documentation photographique:** Les tronçons de référence et à débits résiduels ont fait l'objet d'une documentation photographique et la perception optique du tronçon à débit résiduel a été commentée.
- **Biotope à poissons** (art. 31 et art. 33, al. 3, LEaux): On peut considérer comme indicateurs appropriés des biotopes à poissons la biomasse des organismes servant de nourriture (= biomasse des invertébrés par unité de surface, voir ci-dessous) et la structure de l'habitat.

Le relevé des structures importantes pour la faune piscicole (composition du substrat, types de courant et abris potentiels selon Bisson et al. 1981, Crisp 1996) a permis une appréciation qualitative de l'aptitude du cours d'eau en tant que biotope à poissons. Dans chaque tronçon étudié (débit résiduel et référence), ces paramètres ont été relevés sur 5 secteurs de 10 m de longueur chacun.

- **Biomasse des organismes servant de nourriture aux poissons:** Elle permet d'estimer le rendement annuel potentiel à l'hectare de la communauté piscicole. Il donne une indication sur la productivité du cours d'eau et permet donc d'examiner la conservation de la productivité piscicole exigée par la loi (Roth 1965, 1985). La biomasse a été déterminée au moyen d'au moins 3 échantillons étalons dans tous les cours d'eau comme base de l'interprétation touchant l'écologie des poissons et de l'examen de la conservation quantitative du benthos (art. 33, al. 3, LEaux). La médiane et la déviation standard moyenne ont été calculées à partir des échantillons étalons.

Ergänzungsparameter

- **Sommertemperaturen und Vereisung im Winter:** In Restwasserstrecken können bei ungenügender Wasserführung die Sommertemperaturen ansteigen und ungünstige Lebensbedingungen insbesondere für Fische entstehen. Oder es kann im Winter bei geringer Wasserführung zu unnatürlichen Vereisungen oder sogar zu Grundeisbildung kommen. Die Temperatur wurde deshalb in den kritischsten Restwasserstrecken mithilfe elektronischer Temperatursonden während einer längeren Zeitspanne alle 30 Minuten gemessen und aufgezeichnet. Temperaturamplitude sowie Maximal- und Minimaltemperaturen wurden bezüglich Ausprägung für die wichtigste(n) Fischart(en) kommentiert.
- **Naturverlaichung der Fischfauna** (Art. 31 und Art. 33/Abs. 3 GSchG): Die natürliche Fortpflanzung der winterlaichenden Kieslaicher wurde mit Zählungen der von blossen Auge sichtbaren Laichgruben im November/Dezember (Bachforelle), der Längenverteilung der Bachforellen, und der im Uferbereich sichtbaren Brütlinge der Äsche im April/Mai in Äschengewässern (Aare Interlaken und Bern) vorgenommen und Restwasser- mit Referenzstrecke verglichen
- **Genutztes Grundwasser** (Art. 31/Abs. 2 GSchG) **und Grundwasserhaushalt** (Art. 33/Abs. 3 GSchG): Untersuchungen zur Beeinflussung des Grundwasserspiegels durch Infiltration aus Restwasserstrecken sind sehr aufwändig – es existieren keine einfachen Indikatoren – und darüber hinaus fehlen oft die Kenntnisse über den natürlichen Referenzzustand. Die Wirkungskontrolle bezüglich Grundwasser beschränkte sich deshalb auf die Auswertung bestehender Messungen und Daten, die bei den kantonalen Fachstellen und den betroffenen Grundwassernutzern zur Verfügung standen.
- **Qualitative/quantitative Erhaltung Makrozoobenthos** (Art. 33/Abs. 3 GSchG): Die Untersuchungen beim Makrozoobenthos konzentrierten sich auf die Überprüfung des qualitativen und quantitativen Erhalts in 3 ausgewählten Restwasserstrecken; in diesen wurde das Makrozoobenthos anhand von jeweils 5 Parallelproben untersucht. Wegen der meist groben Struktur der Gewässersohle wurden die Proben mittels Kicknetz entnommen, wobei eine möglichst ge-
- **Débit résiduel:** Le débit du tronçon à débit résiduel a été déterminé par dilution du sel (5 appareils de mesure de type sonde) pour les cours d'eau petits et moyens ou par mesure des vitesses d'écoulement dans un profil en travers à l'aide d'un moulinet pour les grands cours d'eau (L'Aar à Interlaken).

Paramètres complémentaires

- **Températures estivales et glace en hiver:** Sur les tronçons à débits résiduels, les températures estivales peuvent monter en cas de débits insuffisants et se traduire par des conditions de vie défavorables, en particulier pour les poissons. En hiver, un faible débit peut entraîner la formation de glace ou même le gel du lit. La température a donc été mesurée et enregistrée toutes les 30 minutes sur les tronçons critiques à débits résiduels, au moyen de sondes électroniques, pendant une longue durée. L'amplitude de température ainsi que les températures maximales et minimales ont été commentées quant à leurs effets sur les principales espèces de poissons.
- **Reproduction naturelle de la faune piscicole** (art. 31 et art. 33, al. 3, LEaux): En ce qui concerne la reproduction naturelle des espèces frayant en hiver dans le gravier, on a effectué le comptage des frayères visibles à l'œil nu en novembre/décembre (truite de rivière), noté la distribution des tailles des truites de rivière et relevé les géniteurs d'ombres reproducteurs visibles près des berges en avril/mai dans les eaux à ombres (l'Aar à Interlaken et à Berne) et comparé les tronçons à débits résiduels et de référence.
- **Eaux souterraines exploitées** (art. 31, al. 2, LEaux) **et équilibre des eaux souterraines** (art. 33, al. 3, LEaux): Les études de l'influence sur la nappe d'eau souterraine de l'infiltration à partir des tronçons à débits résiduels demandent de grands moyens – il n'existe pas d'indicateurs simples – et, en plus, les données sur l'état de référence naturel font souvent défaut. Le suivi des mesures relatif aux eaux souterraines s'est donc limité à l'exploitation des mesures et des données disponibles dans les services cantonaux et chez les utilisateurs des eaux souterraines concernées.

naue Fläche von 7 dm² beprobt wurde. Die Individuenzahlen pro m² in der Referenz- und Restwasserstrecke wurden darauf geschätzt und mittels Rangtest (U-Test nach Wilcoxon, Mann und Whitney) statistisch verglichen (Irrtumswahrscheinlichkeit: 10 %).

- **Strömungsliebende Kleintiere (aquatische Wirbellose und Insektenlarven)** (Art. 33/Abs. 3 GSchG): Um die Insektenhabitate in Fließgewässern auf ihre Funktionsfähigkeit zu überprüfen haben sich die Lidmücken (Blephariceridae) als gute Indikatoren erwiesen, die mit relativ einfachen Mitteln (wenige einfach bestimmbare Arten) zu untersuchen sind (Niederhauser 1997, Moosmann 1998, Frutiger & Gammeter 1998, Frutiger & Jolidon 2000). Da sie jedoch nur ganz spezielle Teillebensräume besiedeln, sind sie oft in den „normalen“ Makrozoobenthosproben nicht zu finden und müssen deshalb speziell beprobt werden. Der Nachteil dieses Indikators ist, dass die Lidmücken eher in Berg- resp. Alpenbächen, jedoch weniger in Mittellandgewässern zu finden sind. Weiter eignen sich auch die Heptageniidae (Eintagsfliegen) als Strömungsindikatoren. Diese sind im Gegensatz zu den Lidmücken auch in den Mittellandgewässern weit verbreitet.

In der Referenz- sowie in der Restwasserstrecke wurden die typischen Blephariceriden- und Heptageniideanhabitate gezielt beprobt (halbquantitativ) und miteinander verglichen. Die Unterschiede (inkl. Artenverschiebungen) werden beschrieben und interpretiert.

- **Erhalt seltener Lebensräume und -gemeinschaften** (Art. 31/Abs. 2 GSchG): Bei allen Gewässern wurde das Vorkommen resp. Überleben von gefährdeten Arten der Fisch- und Wirbellosenfauna in der Restwasserstrecke überprüft. Dazu gehören gemäss Roter Liste (Kirchhofer et al. 1994) die Seeforelle (Aare Interlaken), die Nase, das Bachneunauge und die Äsche (alle Aare Felsenau) und gemäss Roter Liste (BUWAL 1994) die Eintagsfliegenarten *Torleya major* sowie *Potamanthus luteus* (beide Aare Felsenau).
- **Bedeutung als Landschaftselement** (Art. 33/Abs. 3 GSchG): Alle Restwasserstrecken wurden fotografisch dokumentiert. Bei denjenigen Restwasserstrecken, die eine besondere Bedeutung als Landschaftselement besitzen,

- **Conservation qualitative/quantitative du macrozoobenthos** (art. 33, al. 3, LEaux): Les études du macrozoobenthos se sont concentrées sur l'examen de la conservation qualitative et quantitative sur 3 tronçons à débits résiduels sélectionnés; sur ceux-ci, le macrozoobenthos a été étudié au moyen de 5 échantillons parallèles. En raison de la structure le plus souvent grossière du lit du cours d'eau, les échantillons ont été prélevés au moyen d'un filet Kick sur une surface de 7 dm² aussi exacte que possible. Le nombre d'individus par m² a été estimé sur cette base dans les tronçons de référence et à débits résiduels et les résultats ont été comparés statistiquement au moyen d'un test non paramétrique (test de U selon Wilcoxon, Mann et Whitney) (probabilité d'erreur: 10 %).

- **Macroinvertébrés rhéophiles (invertébrés aquatiques et larves d'insectes)** (art. 33, al. 3, LEaux): Pour examiner les effets des débits résiduels sur les habitats d'insectes dans les cours d'eau, les diptères Blephariceridae se sont révélés de bons indicateurs, étudiables avec des moyens relativement simples (peu d'espèces facilement déterminables) (Niederhauser 1997, Moosman 1998, Frutiger et Gammeter 1998, Frutiger et Jolidon 2000). Mais comme ils n'occupent que des niches écologiques très spécialisées, ils sont souvent absents des échantillons « normaux » de macrozoobenthos et doivent donc être échantillonnés spécialement. L'inconvénient des Blephariceridae comme indicateurs est qu'on les rencontre davantage dans les ruisseaux montagnards et alpins que dans ceux du Plateau. Les Heptageniidae (éphémères) conviennent aussi comme indicateurs du courant. Contrairement aux Blephariceridae, ils sont aussi largement répandus dans les cours d'eau du Plateau.

Sur les tronçons de référence et à débits résiduels, on a échantillonné de façon ciblée les habitats typiques des Blephariceridés et des Heptageniidés (semi-quantitatif) et on les a comparés. Les différences (y c. déplacements des espèces) sont décrites et interprétées.

- **Conservation des biotopes et des biocénoses rares** (art. 31, al. 2, LEaux): Sur le tronçon à débit résiduel de tous les cours d'eau, on a examiné la présence et la survie des espèces menacées de poissons et d'invertébrés, à savoir, d'après la Liste rouge des poissons (Kirch-

wurde zusätzlich das Erscheinungsbild anhand optischer Kriterien (wie z.B. benetzte Breite, Wahrnehmung als naturnahes Gewässer) beschrieben und mit der Referenzstrecke verglichen. Bei den Gebirgsbächen wurden flussmorphologische Kriterien gemäss Schälchli (1991) für die Beurteilung herangezogen, unter Anwendung einer 5-stufigen Skala: dazu gehören u.a. das Spritzen, das Geräusch und die Sichtbarkeit des Abflusses sowie das Anspringen von Seitengerinnen (ausführliche Beschreibung der Kriterien siehe Anhang 6.1). Bei Restwasserstrecken mit zeitweise erhöhter Dotation aus landschaftlichen Gründen wurden die Kriterien bei dieser höheren Dotation überprüft.

- **Wasserqualität/Abwasser** (Art. 31/Abs. 2 GSchG): In denjenigen Restwasserstrecken, in denen eine direkte Beeinflussung durch Abwasser besteht, wurden vorhandene Daten oder Informationen bei den zuständigen kantonalen Fachstellen beschafft und ausgewertet. Für die Aare Bern und die Vièze standen solche Daten zur Verfügung. Für die Aare bei Interlaken wurden die Konzentrationen verschiedener Stoffe in der Restwasserstrecke anhand der bekannten Ablaufkonzentration der ARA Interlaken berechnet. Die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen (GSchV) wurde überprüft und die Wasserqualität anhand von Erfahrungswerten (z.B. in EDI, 1982) sowie anhand von Empfehlungen der EAWAG (1990) bezüglich des toxischen Stoffes Nitrit beurteilt.
 - **Fischgängigkeit Fassungen:** Die Durchgängigkeit der Fassungsbauwerke für wandernde Fische wurde mit einer visuellen Überprüfung einer ev. vorhandenen Fischaufstiegshilfe beurteilt, unter Berücksichtigung von Beobachtungen oder Fischzählungen der kantonalen Fischereiaufsicht. Weiter wurden natürliche oder künstliche Wanderhindernisse innerhalb der Restwasserstrecke mit erfasst.
 - **Kolmation:** In zwei ausgewählten Restwasserstrecken wurde die Kolmation eingehender untersucht. Dies erfolgte anhand von Korngrössenanalysen und entsprechenden Abschätzungen sowie durch optische Beobachtungen im Flussbett und Algenbewuchs am Substrat.
- Als weiterer wichtiger Parameter im Zusammenhang mit der Wirkungskontrolle wären die Untersuchungen zu den Auswirkungen der Restwasserre-
- hofer et al. 1994), la truite lacustre (Aar à Interlaken), le nase, la petite lamproie et l'ombre (tous dans l'Aar à Felsenau) et, selon la Liste rouge des éphémères (BUWAL 1994), *Torleya major* et *Potamanthus luteus* (les deux sur l'Aar à Felsenau).
- **Importance comme élément du paysage** (art. 33, al. 3, LEaux): Tous les tronçons à débits résiduels ont fait l'objet d'une documentation photographique. En plus, pour les tronçons à débits résiduels revêtant une importance particulière comme élément du paysage, l'apparence a été décrite au moyen de critères optiques (p. ex. la largeur du lit mouillé, la perception comme cours d'eau proche de l'état naturel) et comparée avec celle du tronçon de référence. Pour les ruisseaux de montagne, on a fait appel pour l'appréciation aux critères morphologiques de Schälchli (1991), en utilisant l'échelle à 5 degrés: il s'agit notamment de la formation d'écume, du bruit et de la visibilité du courant, ainsi que de la présence de bras latéraux (description détaillée des critères en annexe 6.1). Sur les tronçons à débits résiduels bénéficiant d'une dotation augmentée pour des raisons paysagères, les critères ont été examinés avec cette dotation plus élevée.
 - **Qualité des eaux/eaux usées** (art. 31, al. 2, LEaux): Sur les tronçons à débits résiduels directement influencés par des eaux usées, les données disponibles ou des informations ont été obtenues auprès des services cantonaux compétents, puis exploitées. De telles données étaient disponibles pour l'Aar à Berne et la Vièze. Pour l'Aar à Interlaken, les concentrations de différentes substances ont été calculées sur le tronçon à débits résiduels sur la base des concentrations connues à l'exutoire de la STEP d'Interlaken. Le respect des exigences légales (OEaux) a été examiné et la qualité de l'eau a été appréciée sur la base de valeurs empiriques (par exemple dans DFI, 1982) et des recommandations de l'EAWAG (1990) relatives à la substance toxique qu'est le nitrite.
 - **Possibilité de franchissement des captages par les poissons:** La possibilité de franchissement des ouvrages de captage par les poissons a été appréciée par l'examen visuel d'un dispositif de franchissement, le cas échéant, en tenant compte des observations ou des comptages de poissons du service cantonal de la pêche. De

gelung auf die **Auenv egetation** (Untersuchungskriterien wurden durch die EAWAG im Zusammenhang mit dem Ökostrom-Projekt erarbeitet) zu nennen. Aus fachlicher Sicht erschien uns jedoch eine Wirkungskontrolle nicht als sinnvoll, da die meisten Restwasserstrecken erst seit wenigen Jahren nach dem neuen Gesetz dotiert werden und Auenv egetationen deutlich längere Regenerationszeiten haben.

Die quantitative Überprüfung der **Drift** von Makroinvertebraten durch die Fassung in die Restwasserstrecke ist sehr aufwändig, weshalb sie nicht in die Liste der Untersuchungsparameter aufgenommen wurde. Die Überprüfung anhand theoretischer Kriterien (BUWAL 1997) schien uns in dieser praxisbezogenen Untersuchung nicht sinnvoll zu sein.

2.2 Messgenauigkeit/Zuverlässigkeit der Resultate

Die Messgenauigkeit der Abflussmessungen mittels Salzverdünnung liegt in der Regel unter 5%, da durch den Einsatz eines 5-Sonden-Messgerätes einerseits eine gute Kontrolle über die Salzeinmischung möglich ist und andererseits das Gerät auch bei nicht vollständiger Einmischung eine hohe Messgenauigkeit erreicht.

Bei Parametern wie z.B. der qualitativen/quantitativen Erhaltung der Fischfauna oder des Makrozoobenthos wurde die Untersuchungsmethodik so gewählt, dass möglichst viele Gewässer untersucht werden konnten. Da die einmalige Abfischung einer kurzen Strecke vor allem in Gewässern mit einem artenreichen Fischbestand (Aabach, Aare Bern und Interlaken) unter Umständen ein unvollständiges Bild ergibt, wurden zur besseren Beurteilung der Situation zusätzlich Daten aus weiteren Untersuchungen einbezogen. Beim Makrozoobenthos wurde durch die Entnahme von 5 Parallelproben versucht ein möglichst genaues Bild der Verhältnisse zu erhalten. Trotzdem muss bei der scharfen Beurteilung, wie sie in der Beurteilungsmatrix vorgenommen wird, mit Unsicherheiten gerechnet werden. Insgesamt erachten wir jedoch die Zuverlässigkeit der Resultate als genügend hoch.

Die Makrozoobenthos-Organismen im Gewässer sind oft sehr unregelmässig verteilt. Ein Vergleich von Mittelwerten zwischen Referenz und Restwasser kann somit zu ungenauen Resultaten führen, da Einzelproben mit sehr vielen Individuen überbewer-

plus, les obstacles naturels ou artificiels à la migration ont été relevés sur le tronçon à débit résiduel.

- **Colmatage:** Sur deux tronçons à débits résiduels sélectionnés, le colmatage a été étudié plus en détail au moyen d'analyses granulométriques, d'estimations et d'observations visuelles du lit de la rivière et du périphyton algal sur le substrat.

Comme autre paramètre important, on pourrait citer l'évaluation de la réglementation des débits résiduels sur la **végétation alluviale** (les critères d'étude ont été élaborés par l'EAWAG en relation avec le projet Ökostrom). Une telle étude ne nous apparaissait cependant pas judicieuse car la plupart des tronçons à débits résiduels ne sont dotés que depuis quelques années selon la LEaux et parce que la végétation alluviale a un temps de régénération nettement plus long.

L'examen quantitatif du **drift** des macroinvertébrés due au captage sur le tronçon à débit résiduel demande de grands moyens; c'est pourquoi il ne figure pas sur la liste des paramètres d'étude. L'examen de critères théoriques (BUWAL 1997) ne nous a pas semblé judicieux dans cette étude axée sur la pratique.

2.2 Exactitude des mesures/fiabilité des résultats

L'imprécision des mesures de débit effectuées au moyen de la dilution du sel est normalement inférieure à +/- 5 %, parce que, d'une part, l'utilisation de 5 appareils de mesure de type sonde permet un bon contrôle du mélange du sel et que, d'autre part, l'appareil atteint une haute précision de mesure même en cas de mélange incomplet.

Pour les paramètres comme la conservation qualitative/quantitative de la faune piscicole ou du macrozoobenthos, la méthodologie a été choisie pour permettre d'étudier un aussi grand nombre que possible de cours d'eau. Comme une pêche électrique unique sur un court tronçon, surtout dans les cours d'eau à peuplement piscicole riche en espèces (Aabach, Aar à Berne et à Interlaken), donne une image incomplète dans certaines conditions, des données d'autres études ont été incluses pour une meilleure appréciation de la situation.

tet werden. Deshalb wurde der Häufigkeitsvergleich zwischen den beiden Untersuchungsstellen anhand des sogenannten U-Tests vorgenommen, bei dem nicht die absoluten Häufigkeiten, sondern nur die Rangordnungen der entnommenen Parallelproben verglichen wird. Dadurch wird vermieden, dass eine Einzelprobe mit sehr vielen Individuen die Gesamtbeurteilung zu stark beeinflusst. Unterschiede zwischen Untersuchungsstellen treten somit nur dann auf, wenn sie genügend gross sind.

Die Wasserqualität wurde in Gewässern ohne bekannte Abwassereinleitungen nur stichprobenartig überprüft (hier wurden keine Beeinträchtigungen erwartet). In den übrigen Restwasserstrecken mit Abwassereinleitungen wurden neben den Stichproben bestehende Daten der kantonalen Fachstellen in die Auswertungen miteinbezogen, so dass eine genügend genaue Beurteilung vorgenommen werden konnte.

Zur Beurteilung von Morphologie und Strukturen mussten die einzelnen Parameter (Substratzusammensetzung, Strömungsmuster, Unterstände) gewichtet werden, damit eine Aussage zum Gewässer als Fischlebensraum möglich wurde. Dabei wurden die Habitatansprüche der Fischfauna so berücksichtigt, dass denjenigen kieslaichender Arten (die Hauptvertreter in Gewässerstrecken mit einem nutzbaren Gefälle) mehr Gewicht beigemessen wurde als denjenigen von sand- oder pflanzenlaichenden Arten.

Pour le macrozoobenthos, on a recherché une image aussi exacte que possible des conditions en prélevant 5 échantillons parallèles. Mais on doit tout de même s'attendre à des incertitudes dans une représentation comme celle effectuée dans la matrice d'appréciation. Dans l'ensemble, nous considérons cependant la fiabilité des résultats comme suffisamment élevée.

Les organismes du macrozoobenthos sont souvent très irrégulièrement distribués dans le cours d'eau. La comparaison des valeurs moyennes du tronçon de référence et du tronçon à débit résiduel peut donc donner des résultats inexacts, puisque les échantillons comprenant de très nombreux individus sont surévalués. C'est pourquoi la comparaison des fréquences des deux points d'analyse a été effectuée au moyen du test dit de U, qui ne compare pas les fréquences absolues, mais le rang des échantillons parallèles prélevés. On évite ainsi qu'un seul échantillon à nombreux individus influence trop fortement l'appréciation globale. Des différences entre les points d'analyse n'apparaissent donc que si elles sont suffisamment grandes.

Dans les cours d'eau sans déversements d'eaux usées connus, la qualité de l'eau n'a été examinée que par échantillonnage (on n'escomptait pas d'atteintes). Dans les autres tronçons à débits résiduels avec des déversements d'eaux usées, les données existantes des services cantonaux ont été prises en compte dans l'interprétation en plus des échantillons si bien qu'une appréciation suffisamment précise a pu être faite.

Pour l'appréciation de la morphologie et des structures, les différents paramètres (composition du substrat, modèle de courant, abris) ont dû être pondérés pour pouvoir se prononcer sur le cours d'eau en tant que biotope pour les poissons. Cette pondération a été faite en donnant davantage de poids aux espèces frayant dans le gravier (représentants principaux dans les tronçons de cours d'eau avec une chute utilisable) qu'à celles frayant dans le sable ou la végétation.

2.3 Referenzstellen

Für viele der untersuchten Parameter existieren keine Vergleichsdaten für die Zeit vor der Neukonzessionierung gemäss neuem GSchG resp. vor der Inbetriebnahme des Kraftwerkes. Insbesondere bei kleineren Gewässern hat es sich gezeigt, dass die naturwissenschaftlichen Grundlagen, wie sie für kleinere Kraftwerke in den Restwasserberichten beschrieben sein sollten, in der Praxis nur sehr beschränkt oder gar nicht vorhanden sind. Bei grösseren Kraftwerken – wie z.B. Kraftwerk Felsenau in der Aare bei Bern – existieren zwar Daten aus der Zeit vor der Konzessionserneuerung, doch ist ein Vergleich auch in einem solchen Fall nur möglich, falls sich in der Zwischenzeit keine Veränderungen bezüglich Wasserqualität oder Gewässermorphologie ergeben haben. Aus den erwähnten Gründen wurde deshalb bei allen Gewässern eine geeignete Referenzstelle in die Untersuchungen miteinbezogen.

Die Referenzstellen (und Untersuchungsstellen in den Restwasserstrecken) wurden nach einer ersten Feldbesichtigung festgelegt. Folgendes wurde dabei berücksichtigt:

- Die Referenzstrecke für die fischereilichen Untersuchungen wurde möglichst so gewählt, dass zwischen dieser und der Restwasserstrecke eine Fischwanderung in beiden Richtungen möglichst gewährleistet war. Deshalb wurde das Gewässer meist unterhalb der Wasserrückgabe, seltener auch oberhalb der Wasserentnahme untersucht. Aufgrund der speziellen örtlichen Verhältnisse wurde beim Flembach zusätzlich eine Referenzstrecke oberhalb der Wasserfassung, beim Aabach nur eine oberhalb der Fassung und in der Aare Interlaken nur eine im parallel fliessenden Schifffahrtskanal ausgewählt.
- Für die übrigen Untersuchungsparameter wurde darauf geachtet, dass die Untersuchungsstellen in der Referenz- und Restwasserstrecke möglichst ähnlich bezüglich Struktur und Gefälle waren.

In verschiedenen Fällen wurden für die fischereilichen Aspekte andere Untersuchungsstellen gewählt als für die übrigen Parameter.

2.3 Sites de référence

Pour beaucoup de paramètres examinés, il n'existe pas de données de comparaison antérieures à la nouvelle concession selon la LEaux ou avant la mise en activité de la centrale hydroélectrique. En particulier pour les petits cours d'eau, il s'est avéré que les bases écologiques qui devraient être décrites pour les petites centrales hydroélectriques dans les rapports sur les débits résiduels n'existent dans la pratique que de façon très limitée ou pas du tout. Pour les grandes centrales hydroélectriques – comme celle de Felsenau sur l'Aar à Berne –, des données existent bien sur la période antérieure au renouvellement de la concession, mais une comparaison n'est possible dans un tel cas que si aucun changement de la qualité de l'eau ou de la morphologie du cours d'eau n'est survenu entre-temps. Pour les raisons mentionnées, un site de référence approprié a été inclus dans les études pour tous les cours d'eau.

Les sites de référence (et les endroits d'analyse sur les tronçons à débits résiduels) ont été fixés après une première visite sur le terrain. On a pris en compte les critères suivants:

- Le tronçon de référence pour les études piscicoles a été choisi autant que possible là où la migration des poissons est assurée dans les deux sens entre lui et le tronçon à débit résiduel. Le cours d'eau a donc été étudié le plus souvent en aval de la restitution d'eau, plus rarement en amont. En raison de conditions locales particulières, un site de référence supplémentaire a été choisi pour le Flembach en amont de la prise d'eau. Pour l'Aabach, un seul site a été choisi en amont du captage et, pour l'Aar à Interlaken, le canal navigable qui s'écoule parallèlement a été retenu comme référence.
- Pour les autres paramètres d'étude, on a veillé à ce que les points d'analyse du tronçon de référence et du tronçon à débit résiduel soient aussi semblables que possible en ce qui concerne la structure et la pente.

Dans différents cas, on a choisi pour les aspects piscicoles d'autres points d'analyse que pour les autres paramètres.

2.4 Kriterien für die Beurteilungsmatrix

In der Zusammenfassung dieses Berichtes wird eine Beurteilung aller Restwasserstrecken mit Hilfe der wichtigsten in Kapitel 2.1 aufgeführten Untersuchungsparameter vorgenommen und in einer übersichtlichen Matrix dargestellt. Die Beurteilung erfolgte entweder aufgrund eines Vergleichs der Resultate mit einem vom Gesetz vorgegebenen Grenz- oder Sollwert, oder bei Fehlen entsprechender Vorgaben auf der Basis eines Vergleichs von Restwasser- mit Referenzstrecke im selben Gewässer. Für die Beurteilungsmatrix wurden folgende Klassen verwendet:

	= keine/geringe Abweichung gegenüber Sollwert bzw. Veränderung gegenüber Referenz <i>différence par rapport à la valeur cible / changement par rapport à la référence: aucun ou faible</i>
	= mässige Beeinträchtigung/Veränderung <i>différence par rapport à la valeur cible / changement par rapport à la référence: moyen</i>
	= starke Beeinträchtigung/Veränderung <i>différence par rapport à la valeur cible / changement par rapport à la référence: important</i>
	= Kriterium untersucht, keine Aussage möglich <i>critère étudié, classification impossible</i>

Im folgenden sind die entsprechenden Beurteilungskriterien der einzelnen Parameter in Kurzform zusammengestellt:

Äusserer Aspekt

blau	Höchstens 1 Parameter um höchstens eine Stufe gegenüber Referenz erhöht (verschlechtert)
orange	Höchstens 2 Parameter um höchstens eine Stufe und/oder 1 Parameter um mehr als 1 Stufe erhöht (verschlechtert)
rot	übrige Fälle

Wasserqualität

blau	Anforderungen gem. GSchV eingehalten
orange	Anforderungen gem. GSchV vereinzelt nicht eingehalten
rot	Anforderungen gem. GSchV über längere Zeit nicht eingehalten

Minimaltiefen im Talweg für Fischwanderung (bei Fischgewässern)

blau	Anteil der Messpunkte mit Tiefen < 20cm ist kleiner als 10% aller Messpunkte (je nach Strecke sind dies 2 – 7 m)
orange	10 – 20 % der Messpunkte < 20cm
rot	> 20 % der Messpunkte < 20 cm

2.4 Critères de la matrice d'appréciation

Dans le résumé de ce rapport, une appréciation de tous les tronçons à débits résiduels est effectuée à l'aide des paramètres d'étude les plus importants mentionnés dans le chapitre 2.1. Elle est présentée dans une matrice synthétique. L'appréciation s'est faite soit sur la base d'une comparaison des résultats avec une valeur limite ou d'une valeur cible définie par la loi, ou, en l'absence de normes, sur la base d'une comparaison du tronçon à débit résiduel avec le tronçon de référence sur le même cours d'eau. Pour la matrice d'appréciation, les classes suivantes ont été utilisées:

Les critères d'appréciation des différents paramètres sont abrégés ci-dessous:

Aspect extérieur

bleu	Pas plus de 1 paramètre ayant au maximum 1 degré de plus que le tronçon de référence (dégradation)
orange	Pas plus de 2 paramètres ayant au maximum 1 degré de plus que le tronçon de référence (dégradation) et/ou 1 paramètre ayant davantage que 1 degré de plus
rouge	Autres cas

Qualité de l'eau

bleu	Exigences de l'OEaux respectées
orange	Certaines exigences de l'OEaux non respectées
rouge	Exigences de l'OEaux non respectées pendant une longue durée

Profondeurs minimales dans le thalweg nécessaires à la migration des poissons (pour les cours d'eau piscicoles)

bleu	Moins de 10 % de tous les points de mesure avec une profondeur < 20 cm (selon les tronçons, ils sont 2 à 7 par mètre)
orange	10 - 20 % des points de mesure < 20 cm
rouge	> 20 % des points de mesure < 20 cm

Qualitative Erhaltung Fischfauna

blau	Artenzahl gleich wie in Referenz
orange	1 Art weniger als in Referenz
rot	Mindestens 2 Arten weniger als in Referenz

Quantitative Erhaltung Fischfauna

blau	CPUE RW > 80 % Referenz und Biomasse Fischnährtiere > 80 % Referenz
orange	CPUE RW 50 - 80 % Referenz und/oder Biomasse Fischnährtiere 50 - 80 % Referenz
rot	CPUE RW < 50 % Referenz und/oder Biomasse Fischnährtiere < 50 % Referenz

Morphologie und Strukturen

Beurteilungsbasis: Substrat (9 Klassen, Anteile in %), Strömungshabitate (4 Klassen, Mittelwert aus Anzahl/100m² und Fläche/100m²), Fischunterstände (8 Klassen, Anzahl/100m²). Für jeden der 3 Parameter wird die prozentuale Differenz der Restwasser- zur Referenzstrecke berechnet und die Abweichung beurteilt. Eine Differenz < ±25% ergibt 0; ±25 - 49% = ±1; ±50 - 74% = ±2; ±75 - 99% = ±3; >±99% = ±4 Punkte. Eine Differenz > 0 ergibt Positivpunkte, ausser bei zwei Parametern, welche negativ gewertet werden (Substrat = "Schlick/Schlamm" und Strukturen = "Blöcke aus dem Wasser ragend"), einer wird nur halb (Substrat = "Sand"), zwei werden doppelt gewichtet (Substrat = "Schlick/Schlamm" und "Kies 2.5 - 6 cm").

Der Mittelwert aus den Punktesummen für die 3 Parameter dient zur Gesamtbeurteilung "Morphologie und Strukturen":

blau	Mittelwert Punkte-Differenz >= 0
orange	Mittelwert Punkte-Differenz = -1 - 0
rot	Mittelwert Punkte-Differenz < -1

Strömungsabhängige Kleintiere (Blephariceridae/ Heptageniidae)

blau	höchstens 30 % Abnahme der Individuendichte (Ind./m ²) bei beiden Familien
orange	30-80 % Abnahme der Individuendichte bei einer Familie
rot	> 80 % Abnahme der Individuendichte bei einer Familie

Qual./quant. Erhaltung Makrozoobenthos

blau	alle Arten mit mindestens 1 % Anteil an der Besiedlungsdichte in Referenz sind auch im Restwasser in ähnlicher Häufigkeitsverteilung vertreten; keine signifi-
------	--

Conservation qualitative de la faune piscicole

blau	Même nombre d'espèces que sur le tronçon de référence
orange	1 espèce en moins que sur le tronçon de référence
rouge	Au moins 2 espèces en moins que sur le tronçon de référence

Conservation quantitative de la faune piscicole

blau	CPUE du tronçon à débit résiduel (TDR) > 80 % du tronçon de référence et biomasse des organismes servant de nourriture aux poissons > 80 % du tronçon de référence
orange	CPUE TDR 50 - 80 % du tronçon de référence et/ou biomasse des organismes servant de nourriture aux poissons 50 - 80 % du tronçon de référence
rouge	CPUE TDR < 50 % du tronçon de référence et/ou biomasse des organismes servant de nourriture aux poissons < 50 % du tronçon de référence

Morphologie et structures

Base d'appréciation: substrat (9 classes, parts en %), habitats du courant (4 classes, nombre moyen/100 m² et surface/100 m²), abris pour les poissons (8 classes, nombre/100 m²). Pour chacun des 3 paramètres, la différence en pour cent entre le cours d'eau à débit résiduel et le tronçon de référence est calculée et l'écart apprécié. Une différence < ±25 donne 0 ; ±25 - 49 % = ±1 ; ±50 - 74 % = ±2 ; ±75 - 99 % = ±3 ; > ±99 % = ±4 points. Une différence > 0 donne des points positifs, sauf pour deux paramètres considérés comme défavorables (substrat = « vase/boue » et structures = « blocs sortant de l'eau »); un paramètre n'est compté que pour moitié (substrat = « sable »); deux sont comptés deux fois (substrat = « vase/boue » et « gravier 2.5 - 6 cm »).

La valeur moyenne des points des 3 paramètres sert à l'appréciation globale « morphologie et structures »:

blau	Valeur moyenne de la différence de points >= 0
orange	Valeur moyenne de la différence de points = -1 - 0
rouge	Valeur moyenne de la différence de points < -1

	kante Abnahme bei strömungsabhängigen Arten im Restwasser;
orange	Artenzahl mit mind. 1 % Anteil an der Besiedlungsdichte im Restwasser höchstens minus 1 bis minus 2 und/oder Zusammensetzung mit deutlich veränderter Häufigkeitsverteilung und/oder signifikant weniger strömungsabhängige Arten im Restwasser,
rot	Artenzahl mit mind. 1 % Anteil an der Besiedlungsdichte im Restwasser minus 3 oder mehr.

Ökologische Gewässerfunktion

weitgehend gewährleistet	bei allen Untersuchungsparametern treten keine (blau) bis höchstens mässige (orange) Veränderungen zur Referenz resp. Abweichungen zum Sollwert auf,
teilweise gewährleistet	bei höchstens zwei Untersuchungsparametern tritt eine starke Veränderung/ Abweichung (rot) auf,
nicht gewährleistet	bei mehr als zwei Untersuchungsparametern tritt eine starke Veränderung/ Abweichung (rot) auf.

Macroinvertébrés rhéophiles (Blephariceridae/Heptageniidae)

bleu	Au maximum 30 % d'individus en moins (ind./m ²) pour les deux familles
orange	30-80 % d'individus en moins pour une famille
rouge	> 80 % d'individus en moins pour une famille

Conservation qualitative/quantitative du macrozoobenthos

bleu	Toutes les espèces représentant au moins 1 % des individus sur le tronçon de référence sont aussi présentes sur le tronçon à débit résiduel avec des fréquences semblables; pas de réduction significative des espèces rhéophiles sur le tronçon à débit résiduel;
orange	Au maximum 2 espèces représentant au moins 1 % des individus absentes du tronçon à débit résiduel et/ou composition avec fréquences nettement différentes et/ou nombre d'espèces rhéophiles significativement moindre sur le tronçon à débit résiduel,
rouge	Au moins 3 espèces représentant au moins 1 % des individus absentes du tronçon à débit résiduel.

Fonction écologique du cours d'eau

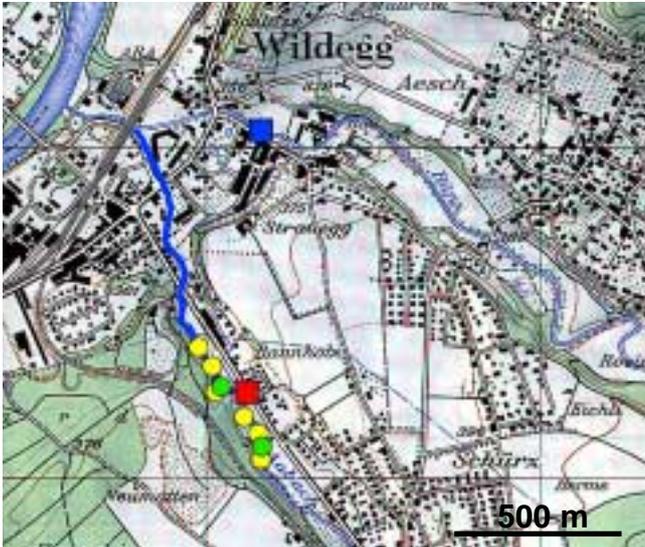
largement garantie	Pour tous les paramètres d'étude, différence nulle (bleu) ou au maximum moyenne (orange) par rapport au tronçon de référence ou à la valeur cible,
partiellement garantie	Pour deux paramètres d'étude au maximum, forte différence (rouge),
non garantie	Pour plus de deux paramètres d'étude, forte différence (rouge).

3 Resultateübersicht in Kurzform / Aperçu des résultats sous forme abrégée

Aabach (AG)

Geographische Lage

-  Restwasserstrecke / Tronçon à débit résiduel
-  Wasserfassung / Prise d'eau
-  Wasserrückgabe / Restitution d'eau
-  Abfischungen / Péches électriques
-  Untersuchungsstellen für übrige Aspekte / Points d'analyse pour d'autres aspects



Aabach mit Wasserfassung, Restwasserstrecke, Wasserrückgabe-stelle sowie Abfischungsstrecken und allgemeinen Untersuchungsstellen. Die Wasserrückgabe erfolgt in die Bünz. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Hydrologische Angaben

- Q_{347} : 1240 l/s
- angewandter Artikel des GSchG: Art. 31/1
- Dotierwassermenge gem. Konzession: 500 l/s
- Restwassermenge am 29.10.01: 480 l/s

Referenzstelle oberhalb Fassung



Wasserfassung



Restwasserstrecke



Umgehungsgerinne



Qual./Quant. Erhaltung Fische

Mit 5 Arten in der Restwasser- und deren 7 in der Referenzstrecke ist die Fischfauna relativ artenreich. In einer Erhebung im November 2001 wurde im Bereich des Umgehungsgerinnes zusätzlich ein Individuum der stark gefährdeten Nase gefunden. Die qualitative Erhaltung der Fischfauna wird als stark beeinträchtigt beurteilt. Mit einer um 40 % grösseren Fischdichte in der Restwasserstrecke bei ungefähr gleichen Nährtierbiomassen scheint die quantitative Erhaltung der Fischfauna sichergestellt.

Fischgängigkeit Fassung/Kontinuum

Die Wasserableitung ist mit einem Umgehungsgerinne ausgestattet, wegen hohen künstlichen Schwellen innerhalb der Restwasserstrecke ist aber das Kontinuum nicht gewährleistet.

Wassertiefen für freie Fischwanderung

Die Wassertiefen im Talweg des Aabaches (Referenz) liegen überall deutlich über 50 cm. In einem Abschnitt der Restwasserstrecke erreichen rund 20 % der Wassertiefen des Talweges Werte von weniger als 20 cm. Die freie Fischwanderung ist damit mässig beeinträchtigt.

Morphologie und Strukturen

Die Restwasserstrecke weist ein- oder beidseitig verbaute Ufer auf, währenddem die Referenzstrecke naturnah und wenig verbaut ist. Das Substrat ist in beiden Abschnitten recht heterogen, aber in der Restwasserstrecke finden sich deutlich mehr organische Ablagerungen und Totholz. Gesamthaft wird die Restwasserstrecke aufgrund der stärkeren Schlammablagerungen und der geringeren Strukturvielfalt als mässig beeinträchtigt klassiert.

Qual./Quant. Erhaltung Makrozoobenthos

Die Taxazahl ist in beiden Strecken sehr ähnlich: von 25 Taxa oberhalb der Wasserfassung wurden 22 auch im Restwasser gefunden (3 Taxa fanden sich nur im Restwasser). Das Benthos wird in beiden Untersuchungsstrecken dominiert von der Köcherfliegenlarve *Hydropsyche* sp.; daneben sind aber auch Käferlarven (*Limnius* sp.), Zuckmücken (Chironomidae), Würmer (*Eiseniella tetraedra*) sehr häufig.

Ein Vergleich der geschätzten Individuendichten in der Referenz mit dem Restwasser zeigt, dass kaum Unterschiede in der Besiedlungsdichte der einzelnen Artengruppen bestehen.

Der qualitative und quantitative Erhalt des Makrozoobenthos im Aabach ist weitgehend gewährleistet. Es konnten höchstens geringe Abweichungen von der Referenz beobachtet werden.

Äusserer Aspekt

Der Äussere Aspekt der Restwasserstrecke unterschied sich einzig im pflanzlichen Bewuchs von der Referenzstrecke. So zeigten sich in der Referenz nur Ansätze von Algenfäden und -zotten, während diese im Restwasser bereits gut ausgebildet waren.

Wasserqualität/Abwasser

Der Aabach gilt oberhalb der Wasserfassung bei Niedenz als mässig bis kritisch belastetes Gewässer. In der Restwasserstrecke bestehen keine bekannten Einleitungen, welche die Wasserqualität entscheidend verändern würden. Die grobe Überprüfung der Wasserqualität anhand von Stichproben ergab keine relevanten Unterschiede zwischen Referenz- und Restwasserstrecke.

Sommertemperaturen/Vereisung Winter

Mit Höchsttemperaturen über 22 °C während längerer Zeit – mit einem Maximum von 24.9 °C am 2. August – wurde der für Bachforellen zulässige Temperaturbereich deutlich überschritten. Allerdings ist der Aabach aufgrund der Höhenlage und des Gefälles nicht ein Forellengewässer. Die Wintertemperaturen zeigten keine Vereisung an (Minimum von 2.1°C).

Gesamtbeurteilung:

Im Aabach wurde mit den untersuchten Parametern keine oder nur eine mässige Abweichung gegenüber der Referenz resp. den Sollwerten festgestellt. Eine starke Abweichung wurde einzig bei der qualitativen Erhaltung der Fischfauna festgestellt. Vom Artenspektrum der Fischfauna her beeinflussen 2 fehlende Fischarten in der Restwasserstrecke (Egli, Elritzen) die Beurteilung. Die quantitative Erhaltung der Fischfauna wird aufgrund der gegenüber der Referenzstrecke höheren Fischdichte und der ungefähr gleich grossen Nährtierbiomasse als nicht abweichend beurteilt.

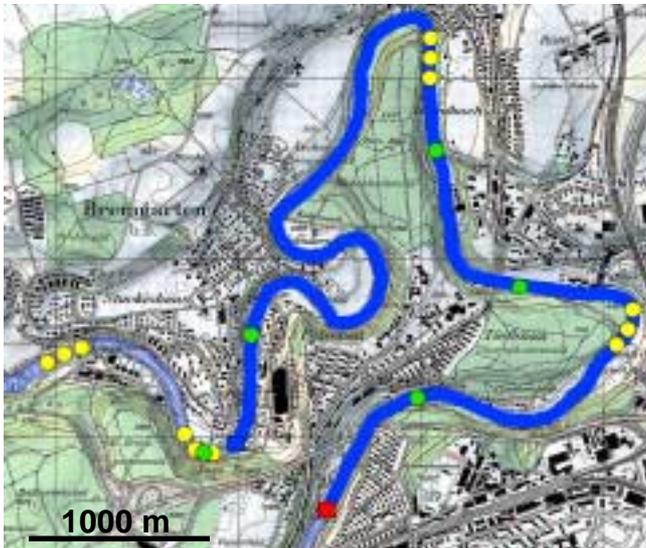
Die Wasserableitung ist mit einem Umgehungsgerinne ausgestattet, wegen hohen Schwellen innerhalb der Restwasserstrecke ist aber das Kontinuum nicht gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge teilweise gewährleistet.

Aare Bern (BE)

Geographische Lage

-  Restwasserstrecke / Tronçon à débit résiduel
-  Wasserfassung / Prise d'eau
-  Wasserrückgabe / Restitution d'eau
-  Abfischungen / Pêches électriques
-  Untersuchungsstellen für übrige Aspekte / Points d'analyse pour d'autres aspects



Aare bei Bern mit Wasserfassung, Restwasserstrecke, Wasserrückgabestelle sowie Abfischungsstrecken und allgemeinen Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Wasserfassung



Referenzstelle unterhalb Wasserrückgabe



Hydrologische Angaben

- Q_{347} : 43'000 l/s
- angewandter Artikel des GSchG: Art. 31
- Dotierwassermenge gem. Konzession: 10'000/12'000 l/s

Restwasserstrecke



Qual./Quant. Erhaltung Fische

Gemäss aktuellen Daten des Verbreitungsatlas der Fische im Kanton Bern sind Restwasser- und Referenzstrecke mit 21 Arten beide sehr artenreich. In der Restwasserstrecke wurden allerdings bei unseren Erhebungen 4 Arten weniger festgestellt als unterhalb der Wasserrückgabe, was als deutliche Abweichung beurteilt wird. Von besonderer Bedeutung ist die stark gefährdete Nase, sowie das vom Aussterben bedrohte Bachneunauge. Für die gefährdeten Äsche und Schneider konnte auch die natürliche Fortpflanzung nachgewiesen werden.

In der Restwasserstrecke war die relative Fischdichte deutlich geringer als in der Referenz. Dies führt zur Beurteilung einer starken Beeinträchtigung der quantitativen Erhaltung der Fischfauna.

Fischgängigkeit Fassung/Kontinuum

Wasserfassung und Dotierkraftwerk sind linksufrig mit einem neuen Fischpass ausgestattet. Dessen Funktionstüchtigkeit wird mit Videoaufzeichnungen überwacht. Der Fischpass wird von den meisten vorhandenen Fischarten benutzt. Innerhalb der Restwasserstrecke befinden sich keine Wanderhindernisse.

Wassertiefen für freie Fischwanderung

Die Wassertiefen im Talweg der Aare erreichen auch in der Restwasserstrecke Werte von durchgehend über 50 cm. Die freie Fischwanderung wird somit bezüglich Wassertiefen nicht beeinträchtigt.

Morphologie und Strukturen

Die Restwasserstrecke ist stellenweise mit Blockwurf befestigt, doch mehrheitlich morphologisch nur wenig beeinträchtigt. Das Substrat weist eine grosse Variabilität auf und die Strömungsmuster sind in allen untersuchten Strecken (Restwasser und Referenz) sehr ähnlich. In der oberen Referenz ist viel Totholz vorhanden, im unteren Bereich der Restwasserstrecke ist der Bewuchs mit Wasserpflanzen und Moosen erhöht.

Äusserer Aspekt

Beim Äusseren Aspekt traten in der Restwasserstrecke der Aare deutliche Unterschiede zum Referenzabschnitt unterhalb der Wasserrückgabe zu Tage. Die Schlamm- und Eisensulfidbildung war an allen vier untersuchten Stellen der Restwasserstrecke erhöht. Teilweise erhöht waren auch Abwassergeruch und die Schaumbildung, v.a. unterhalb der Abwassereinleitung aus der ARA Worblental. Bei der obersten Untersuchungsstelle in der Restwasserstrecke fanden sich viele Feststoffe aus häuslichen Quellen (z.B. WC-Papier, Binden usw.). Der pflanzliche Bewuchs war überall in der Restwasserstrecke erhöht. In der Restwasserstrecke können die gesetzlichen Anforderungen heute beim Äusseren Aspekt nicht eingehalten werden und auch im Vergleich zur Referenz sind deutliche Veränderungen festzustellen.

Kolmation

Die Restwasserstrecke Felsenau ist à priori ein Exfiltrationsgebiet. Infiltration erfolgt lokal in randliche Schotterbänke. Die Flussdynamik erlaubt keine permanente Kolmation des Flussbettes.

Qual./Quant. Erhaltung Makrozoobenthos

Die häufigsten Arten(-gruppen) mit mindestens 1% Anteil in der Referenz kommen in der Restwasserstrecke sowohl ober- wie unterhalb der Abwassereinleitung aus der ARA Worblental vor; das Überleben der häufigsten Tiere ist damit in der Restwasserstrecke gewährleistet.

Bei den Dominanz- und Häufigkeitsverhältnissen des Makrozoobenthos wurden deutliche Unterschiede zwischen der Referenz und der Restwasserstrecke und damit eine Beeinträchtigung gegenüber der Referenz festgestellt. Das Makrozoobenthos gilt in der Restwasserstrecke der Aare insgesamt (in qualitativer und quantitativer Hinsicht) als mässig beeinträchtigt.

Wasserqualität/Abwasser

In der Mitte der Restwasserstrecke werden heute die gereinigten Abwässer aus der Kläranlage Worblental eingeleitet. Diese Anlage kann heute die Einleitbedingungen gem. Gewässerschutzverordnung nicht einhalten. Die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Wasserqualität wurden am Ende der Restwasserstrecke meist, aber nicht immer eingehalten. Da die Kläranlage die gesetzlichen Einleitbedingungen nicht einzuhalten vermag, können die Probleme in der Restwasserstrecke nur teilweise der Restwasserführung angelastet werden.

Sommertemperaturen/Vereisung Winter

Die sommerlichen Maxima von 21.8 °C und die tiefsten Werte von 2.7 °C im Januar ergeben ein Temperaturspektrum im oberen Grenzbereich für Kaltwasserarten. Gegenüber einer Messstelle oberhalb der Wasserfassung ist im Winter eine deutliche Abkühlung (Differenz der Tagesmittel maximal -1.9 °C im Dezember), im Frühling eine Erwärmung (Tagesmittel + 1.5 °C im April) innerhalb der Restwasserstrecke festzustellen.

Gesamtbeurteilung:

Trotz der heutigen Restwassersituation und der Einleitung von gereinigtem Abwasser aus der ARA Worblental zeigten sich bei verschiedenen der untersuchten Parameter (Naturverlaichung, Fischgängigkeit, innere Kolmation) höchstens geringe Abweichung von der Referenz. Bei verschiedenen Aspekten konnte aber eine mässige (Morphologie/Strukturen, Makrozoobenthos, Wasserqualität, Sommertemperaturen) bis starke Abweichung (qualitative Erhaltung Fische und seltene Arten, quant. Erhaltung Fischfauna, Äusserer Aspekt) festgestellt werden.

Die mageren Abfischergebnisse in der unteren Restwasserstrecke, die höhere Biomasse an Fischnährtieren und der massiv stärkere Aufwuchs lassen vermuten, dass die Verdünnung der eingeleiteten Abwässer aus der ARA Worblental zumindest bei niedriger Wasserführung ungenügend ist und neben der Restwasserführung für diese Situation mitverantwortlich ist.

Beim Äusseren Aspekt fielen vor allem das erhöhte Vorkommen von Feststoffen aus häuslichen Abwässern, die vermehrte Schlamm- und Eisensulfidbildung sowie der flächigere Algenbewuchs unterhalb der ARA Worblental ins Gewicht.

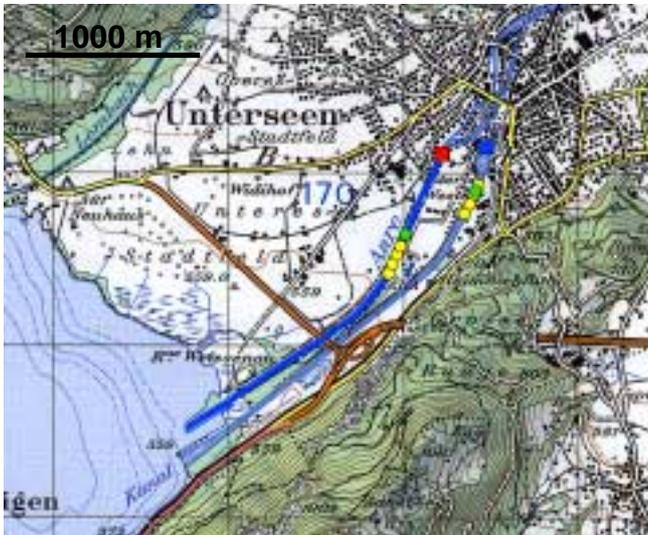
Bei der Wasserfassung gewährleistet ein Fischpass die Durchgängigkeit, innerhalb der Restwasserstrecke befinden sich keine Wanderhindernisse. Das Gewässerkontinuum ist gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge insgesamt nicht gewährleistet, wobei die Ursache dafür nicht nur in der Restwassermenge, sondern auch in der Kläranlage Worblental, welche die gesetzlichen Einleitbedingungen nicht erfüllt, zu suchen sind.

Aare Interlaken (BE)

Geographische Lage

-  Restwasserstrecke / Tronçon à débit résiduel
-  Wasserfassung / Prise d'eau
-  Wasserrückgabe / Restitution d'eau
-  Abfischungen / Pêches électriques
-  Untersuchungsstellen für übrige Aspekte / Points d'analyse pour d'autres aspects



Aare bei Interlaken mit Wasserfassung, Restwasserstrecke, Wasserrückgabestelle sowie Abfischungsstrecken und allgemeinen Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Hydrologische Angaben

- Q_{347} : 19'200 l/s
- angewandter Artikel des GSchG: Art. 33
- Dotierwassermenge gem. Konzession: 4'000-15'000 l/s
- Restwassermenge am 11.3.02: 8'000 l/s
(Dotierwassermenge gem. Konz. im März: 6'000 l/s)

Restwasserstrecke



Wasserfassung mit Dotierkraftwerk



Referenzstelle im Schiffahrtskanal



Qual./Quant. Erhaltung Fische

Aufgrund der Daten des Verbreitungsatlas der Fische im Kanton Bern leben 15 Fischarten in der Restwasserstrecke, deren 14 im Schifffahrtskanal (Referenz). Im Uferbereich wurden 7 Arten in der Restwasser- und 8 in der Referenzstrecke festgestellt, allerdings mit deutlich geringerer Dichte in ersterer. Weiter könnte die natürliche Fortpflanzung von Äschen und Bachforellen in der Restwasserstrecke nachgewiesen werden. Die qualitative Erhaltung der Fischfauna ist damit sichergestellt, die quantitative Erhaltung wird dagegen als mässig beeinträchtigt beurteilt.

Morphologie und Strukturen

Das Ufer der untersuchten Abschnitte in der Restwasser- und in der Referenzstrecke ist durchgehend mit Blöcken befestigt, das Sohlensubstrat jedoch natürlich belassen. Substrat und Strömungsvielfalt sind deutlich besser als in der Referenzstrecke. Der grosse Anteil an Totholz bildet eine wichtige strukturelle Aufwertung für die Restwasserstrecke, die gesamthaft als nicht beeinträchtigt beurteilt wird.

Fischgängigkeit Fassung/Kontinuum

Bei der Wasserfassung gewährleistet ein Fischpass neuerer Bauart die freie Fischwanderung, die in der Restwasserstrecke durch keine Hindernisse beeinträchtigt wird.

Wassertiefen für freie Fischwanderung

Die Wassertiefen in der Aare betragen auch bei winterlichem Niederwasser immer über 50 cm. In der Restwasserstrecke wurden auch im kritischsten Abschnitt überall Wassertiefen von über 50 cm gemessen. Die Wassertiefen gewährleisten eine freie Fischwanderung.

Strömungsliebende Kleintiere

In der Aare bei Interlaken wurde nur das Vorkommen von strömungsliebenden Kleintieren der Familie der Heptageniidae untersucht. Es wurde keine Abweichung zur Referenz festgestellt. Vor der heute geltenden Restwasserregelung bestand noch ein deutlicher Unterschied in der Besiedlungsdichte.

Äusserer Aspekt

Der pflanzliche Bewuchs (Algen und Moose) in der Restwasserstrecke nahm gegenüber der Referenz nur leicht zu. Bei verschiedenen Parametern konnten kaum Unterschiede zur Referenz festgestellt werden. Insgesamt liegt beim Äusseren Aspekt höchstens eine geringe Veränderung vor.

Wasserqualität/Abwasser

Etwa in der Mitte der Restwasserstrecke befindet sich die Kläranlage Interlaken. Das gereinigte Abwasser dieser Anlage wird heute alternierend in die Restwasserstrecke (März bis Oktober) und den Schifffahrtskanal (November bis Februar) eingeleitet.

Durch die winterliche Einleitung der gereinigten Abwässer in den Schifffahrtskanal und die grosse Verdünnung der Abwässer auf der Restwasserstrecke in der übrigen Zeit, können die gesetzlichen Anforderungen meist eingehalten werden. Die einzelnen erhöhten Werte beim Ammonium und Nitrit müssen jedoch als mässige Abweichung gegenüber dem Sollwert (gesetzliche Anforderungen) angesehen werden.

Grundwasser

Die Wirkungskontrolle bezüglich Grundwasser beschränkte sich auf die Auswertung bestehender Messungen und Daten.

Aus den zusammengetragenen Daten konnten einige punktuelle Schlüsse bezüglich Grundwasserbeeinflussung durch die Restwasserstrecke gezogen werden. Es war jedoch nicht möglich eine allgemeine Aussage bezüglich der Beeinflussung des Grundwassers durch die Restwasserstrecke zu machen.

Gesamtbeurteilung:

Die Restwasserstrecke zeigt keine starken Abweichungen gegenüber der Referenz. Einzige Einschränkungen betreffen die quantitative Erhaltung der Fischfauna, bei der in der Restwasserstrecke knapp 60 % der Fischdichte in der Referenz festgestellt wurde, und die Wasserqualität, bei der einzelne Werte den gesetzlichen Anforderungen nicht genügen; die beiden erwähnten Beeinträchtigungen sind jedoch nur mässig. Die Restwasserstrecke der Aare bei Interlaken zeigt heute somit eine für ein solches Gewässer genügende Funktionsfähigkeit.

Verglichen mit dem morphologisch stark beeinträchtigten Schifffahrtskanal (Referenz) schneidet die Restwasserstrecke weit besser ab, und die lockere Sohle in der Restwasserstrecke ist bei genügend grosser Wasserführung ein ideales Laichsubstrat für Bach- und Seeforellen, sowie für Äschen und andere Kieslaicher.

Ein Fischpass bei der Wasserfassung stellt die freie Fischwanderung sicher, in der Restwasserstrecke sind keine Hindernisse vorhanden, sodass das Kontinuum gewährleistet ist.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge weitgehend gewährleistet.

Bockibach (UR)

Geographische Lage

-  Restwasserstrecke / Tronçon à débit résiduel
-  Wasserfassung / Prise d'eau
-  Wasserrückgabe / Restitution d'eau
-  Abfischungen / Pêches électriques
-  Untersuchungsstellen für übrige Aspekte / Points d'analyse pour d'autres aspects



Bockibach mit Wasserfassungen, Restwasserstrecke, Wasserrückgabestelle sowie Abfischungsstrecken und allgemeinen Untersuchungsstellen. Nur die untere Restwasserstrecke (Bocki I) wurde untersucht. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Wasserfassung Bocki I



Referenzstelle unterh. KW



Hydrologische Angaben

- Q_{347} : 180 l/s (Bocki I, untere Fassung)
- angewandter Artikel des GSchG: Art. 32
- Dotierwassermenge gem. Konzession: 60 l/s (Bocki I)
- Restwassermenge am 19.10.01: 52 l/s (Bocki I)

Restwasserstrecke Bocki I



Wasserqualität/Abwasser

Die Wasserqualität in der Restwasserstrecke erfüllt die gesetzlichen Bestimmungen gem. GSchV und zeigt keine Beeinträchtigung gegenüber der Referenz.

Qual./Quant. Erhaltung Fische

Für die Konzessionserteilung wurde der Bockibach als Nichtfischgewässer eingestuft. Im untersten Bereich der Restwasserstrecke wurde allerdings ein recht schöner Bachforellenbestand mit verhältnismässig vielen Jungfischen vorgefunden.

Die Strecke unterhalb der Wasserrückgabe ist als Fischlebensraum ungeeignet und weist nur einen sehr geringen Bachforellenbestand auf. Zur Abklärung des möglichen Potentials unter Berücksichtigung der Aufwanderung aus der Reuss wurde deshalb der benachbarte Albach als Referenz ausgewählt. Hier wurden 4 Arten festgestellt, darunter die stark gefährdete Seeforelle und die gefährdete Äsche. Bei entsprechender Gestaltung der Strecke zwischen Kraftwerk und Reuss könnte auch der Bockibach als Lebensraum für mehrere Arten dienen. Die qualitative Erhaltung der Fischfauna wird deshalb als stark beeinträchtigt beurteilt. Die quantitative Erhaltung der Fischfauna konnte nicht beurteilt werden, da die harte Sohlenverbauung unterhalb der Wasserrückgabe keine vergleichbare Probenahme der Fischnährtiere erlaubte.

Fischgängigkeit Fassung/Kontinuum

Die Wasserfassung liegt hoch über einer senkrechten Felswand, die den Beginn einer Schlucht mit vielen natürlichen Abstürzen bildet. Die Restwasserstrecke ist nur auf den untersten rund 300 m fischgängig. Eine Aufwanderung von Fischen aus der Reuss wird durch die hart verbaute Strecke unterhalb der Wasserrückgabe verhindert. Die Renaturierung dieser Strecke war eine Konzessionsauflage, die bis heute nicht verwirklicht worden ist.

Äusserer Aspekt

Der Äussere Aspekt in der Restwasserstrecke erfüllt die gesetzlichen Bestimmungen gem. GSchV und zeigt keine Beeinträchtigung gegenüber der Referenz.

Strömungsliebende Kleintiere

Die Untersuchung von strömungsabhängigen Kleintieren der Gruppe Heptageniidae (Eintagsfliegen) ergab keine negative Abweichung gegenüber der Referenz. In der Restwasserstrecke war die Individuendichte sogar deutlich höher als in der Referenz unterhalb der Wasserrückgabe. Bei den noch deutlich stärker von der Strömung abhängigen Blephariceridae (Lidmücken) wurden nur Einzelexemplare von Puppen und viele leere Puppengehäuse unterhalb der Wasserrückgabe gefunden; in der Restwasserstrecke wurden keine gefunden, was auf eine mögliche Beeinträchtigung gegenüber der Referenz hinweist. Zu einem späteren Zeitpunkt aber fanden sich einige Exemplare in der Restwasserstrecke.

Sommertemperaturen/Vereisung Winter

Die höchsten Temperaturen wurden mit 17.5 °C Ende August, die tiefsten mit -0.1 °C anfangs Januar gemessen. Die in allen Gewässern festgestellte Erwärmung im Dezember war hier mit rund 4°C deutlich ausgeprägter.

Morphologie und Strukturen

Im Vergleich zum Abschnitt unterhalb der Wasserrückgabe ist die Restwasserstrecke sehr gut strukturiert, mit grosser Strömungsvielfalt und heterogenem Substrat, das auch Laichmöglichkeiten für Bachforellen bietet. Allerdings schränken die geringen Wassertiefen den Fischlebensraum stark ein. Gesamthaft kann die Morphologie und Strukturvielfalt der Restwasserstrecke des Bockibachs als nicht beeinträchtigt klassiert werden.

Wassertiefen für freie Fischwanderung

Unter Restwasserbedingungen erreichen nur gerade 40 % der Wassertiefen Werte von 20 cm oder mehr und zeigen damit eine starke Beeinträchtigung an.

Gesamtbeurteilung:

Der Bockibach gilt bei seiner Fassungsstelle nicht als Fischgewässer und wurde entsprechend gemäss Art. 32 GSchG mit einer Mindestrestwassermenge unter dem Minimum gemäss Art. 31 GSchG konzessioniert. Bei allen untersuchten nicht-fischökologischen Kriterien wurden keine Beeinträchtigungen festgestellt ausser bei den strömungsliebenden Kleintieren, wo Hinweise auf eine höchstens mässige Abweichung vorliegen.

Im untersten Abschnitt der Restwasserstrecke oberhalb der Wasserrückgabe handelt es sich beim Bockibach eindeutig um ein Fischgewässer. Die Referenzstrecke unterhalb der Wasserrückgabe ist sehr hart verbaut, wogegen die Restwasserstrecke naturnah ist und eine vielfältige Sohle mit günstigen Unterständen aufweist und daher als nicht beeinträchtigt klassiert wird. Der heute verhältnismässig gute Bachforellenbestand in der untersten Restwasserstrecke zeigt, dass die quantitative Erhaltung der Fischfauna (ohne Einbezug der Nährtierbiomasse) nicht beeinträchtigt ist. Wenn der vergleichbare Albach für die Fischfauna als Referenzstrecke beigezogen wird, muss die qualitative Erhaltung der Fischfauna aber als stark beeinträchtigt klassiert werden, da in der Restwasserstrecke des Bockibachs mehrere Arten fehlen, die aus der Reuss einwandern könnten. Neben der geringen Restwassermenge muss dies aber auch den massiven Verbauungen unterhalb der Wasserrückgabe aus dem Kraftwerk angelastet werden, die den Aufstieg aus der Reuss verunmöglichen.

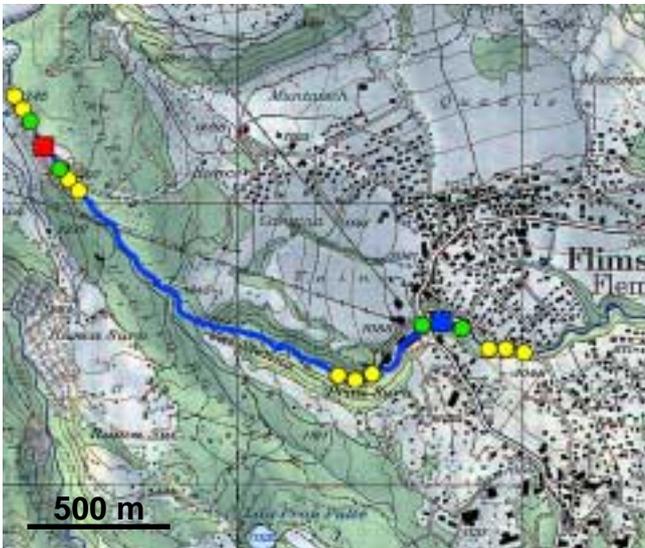
Die Restwasserstrecke ist nur zuunterst auf einem kurzen Abschnitt für die Fische erreichbar, der Rest sowie die Wasserfassung sind natürlicherweise nicht fischgängig.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge nur teilweise gewährleistet.

Flembach (GR)

Geographische Lage

-  Restwasserstrecke / Tronçon à débit résiduel
-  Wasserfassung / Prise d'eau
-  Wasserrückgabe / Restitution d'eau
-  Abfischungen / Péches électriques
-  Untersuchungsstellen für übrige Aspekte / Points d'analyse pour d'autres aspects



Flembach mit Wasserfassung, Restwasserstrecke, Wasserrückgabestelle sowie Abfischungsstrecken und allgemeinen Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Wasserfassung



Referenzstelle oberhalb Fassung



Hydrologische Angaben

- Q_{347} : 50 l/s
- angewandter Artikel des GSchG: Art. 31/33
- Dotierwassermenge gem. Konzession: 60/300 l/s
- Restwassermenge am 22.11.01:
 - 55 l/s (unterhalb Fassung)
 - 30 l/s (Ende Restwasserstrecke)

Restwasserstrecke



Qual./Quant. Erhaltung Fische

Nur im obersten Abschnitt der Restwasserstrecke wurden wenige Bachforellen festgestellt. Im Vergleich mit den Referenzstrecken unten und oben ist der Bestand aber deutlich kleiner. Die qualitative Erhaltung der Fischfauna ist im Flembach mit nur einer Art sichergestellt.

Die deutlich geringere Nährtierbiomasse und die geringe Abundanz der Bachforellen zeigen, dass die quantitative Erhaltung des Fischbestandes in diesem wenig produktiven Gewässer stark beeinträchtigt ist.

Fischgängigkeit Fassung/Kontinuum

Die Restwasserstrecke ist für die Fischfauna von unten her nur auf einem sehr kurzen Abschnitt zugänglich. Mehrere hohe Schwellen und natürliche Abstürze verhindern alsdann die Fischwanderung. Die vorgelagerte Blockrampe bei der Wasserfassung erlaubt mindestens bei einer Wasserführung über der Kapazität der Fassung eine Aufwärtswanderung der Fische.

Wassertiefen für freie Fischwanderung

Die Wassertiefen im Talweg des Flembaches erreichten im Referenzabschnitt unterhalb der Wasserrückgabe zu 95 % Werte über 20 cm. Im kritischsten Abschnitt der Restwasserstrecke (Ende der Versickerungsstrecke und wenig oberhalb der Wasserrückgabe) hingegen lagen fast zwei Drittel der Werte zum Teil deutlich unter 20 cm. Die Fischwanderung ist im unteren Teil der Restwasserstrecke somit beeinträchtigt.

Morphologie und Strukturen

Im oberen Bereich des Flembachs ist die Restwasserstrecke natürlich strukturiert und reich an unterschiedlichen Kleinhabitaten und Strömungsverhältnissen. Die recht grosse Breite im unteren Bereich der Restwasserstrecke hat zur Folge, dass mehr Feinmaterial (Schlick und Sand) abgelagert wird und mehr flache "pools" vorhanden sind als in den Referenzstrecken.

Strömungsliebende Kleintiere

Unterhalb der Wasserfassung wurde die Besiedlung durch strömungsliebende Kleintiere wegen Grundeisbildung stark einschränkt resp. behindert. Im unteren Abschnitt der Restwasserstrecke konnte hingegen keine Beeinträchtigung der Besiedlungsdichte beobachtet werden.

Äusserer Aspekt

Beim Äusseren Aspekt konnten bei den meisten Untersuchungsparametern keine Abweichungen zur Referenz festgestellt werden. Die grösste Beeinträchtigung betraf die sehr starke Kolmation resp. Grundeisbildung im obersten Abschnitt der Restwasserstrecke. Es bleibt jedoch unklar, ob diese Grundeisbildung auf die Restwasserstrecke beschränkt bleibt, oder ob sie hier nur früher auftritt als im Referenzabschnitt oberhalb der Fassung. Einzige Beeinträchtigung der unteren Restwasserstrecke konnte in Form von wenig Schaum- und Schlammablagung beobachtet werden.

Wasserqualität/Abwasser

In die Restwasserstrecke des Flembaches werden keine Abwässer eingeleitet. Die Wasserqualität in der Restwasserstrecke zeigte sich entsprechend kaum beeinträchtigt.

Sommertemperaturen/Vereisung Winter

Während zwei längeren Perioden im Winter wurden Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt aufgezeichnet und anlässlich einer Begehung wurde punktuell (aber nicht flächig) auch Grundeis festgestellt. Im Herbst wurden mässige Extremwerte von 10.1 °C erreicht.

Landschaftselement

Um den Erfolg der erhöhten sommerlichen Dotierung von 300 l/s überprüfen zu können, wurden verschiedene flussmorphologische Kriterien beurteilt und mit einem sommerlichen Referenzabfluss von 1000 l/s sowie dem winterlichen Restwasserminimum von 60 l/s verglichen. Es hat sich deutlich gezeigt, dass die untersuchten Kriterien bei einer Dotierwassermenge von 350 l/s meist vollständig (z.B. Sichtbarkeit des Abflusses, Rauschen, Bildung von weissem Wasser), in wenigen Fällen nur teilweise erfüllt sind (z.B. Erreichen des Böschungsfusses, Überströmen von flachliegenden grösseren Steinen). Bei dieser Abflussmenge wird die Restwasserstrecke des Flembaches vorwiegend als unbeeinflusstes Gewässer wahrgenommen. Im Gegensatz zur winterlichen Mindestrestwassermenge (56 l/s), bei der die beurteilten Kriterien höchstens noch teilweise bis nicht mehr erfüllt werden (v.a. am Ende der Versickerungsstrecke bei 30 l/s), kann die Sommerdotierung von 350 l/s als erfolgreiche Aufwertung bezeichnet werden.

Gesamtbeurteilung:

In der Restwasserstrecke des Flembaches bestehen heute verschiedenste mässige bis starke Abweichungen gegenüber der Referenz. Mitverantwortlich dafür ist eine Versickerungsstrecke im unteren Teil der Restwasserstrecke, wo rund die Hälfte der konzessionierten Restwassermenge von 60 l/s versickert, sodass im Winter nur noch ca. 30 l/s vor der Wasserrückgabe abfliessen. Hier sind die Minimalstiefen für die freie Fischwanderung und die quantitative Erhaltung der Fischfauna stark beeinträchtigt. Dazu zeigen sich aber auch beim Äusseren Aspekt, bei den strömungsabhängigen Kleintieren, bei der Morphologie des Gewässers und bei der Fischgängigkeit der Fassungen weitere, wenn auch nur mässige Abweichungen. Diese Beurteilungen sind teilweise eine direkte Folge der unterhalb der Fassung festgestellten starken Grundeisbildung in der kältesten Jahreszeit. Bei der Wasserqualität und der qualitativen Erhaltung der Fischfauna (nur Bachforelle) wurden keine Defizite festgestellt.

Die Erhöhung der Sommerdotierung vom Mai bis September zeigt im Gegensatz zur Mindestrestwassermenge eine deutliche Aufwertung für das Landschaftsbild. Die untersuchten flussmorphologischen Kriterien wie z.B. Erreichen des Böschungsfusses, Überströmen von flachliegenden grösseren Steinen oder Rauschen des Gewässers wurden meist erfüllt.

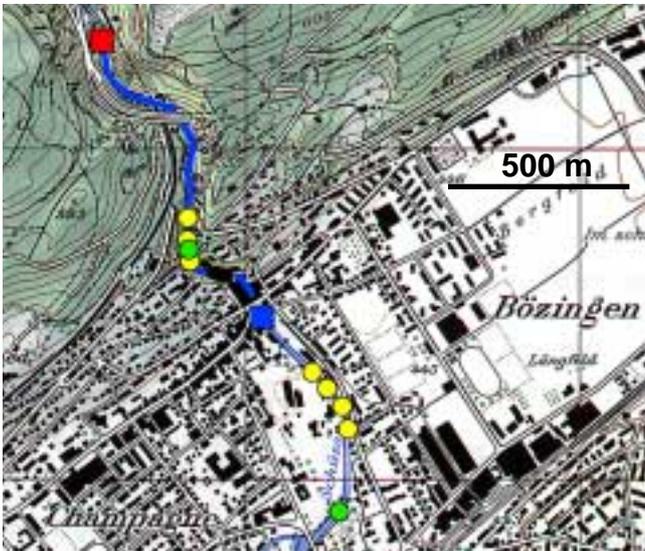
Hohe Schwellen und natürliche Abstürze verhindern die freie Fischwanderung in der Restwasserstrecke, die Wasserfassung ist dank einer vorgelagerten Blockrampe bedingt fischgängig. Das Gewässerkontinuum ist somit auch natürlicherweise nicht gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge nur teilweise gewährleistet.

Schüss (BE)

Geographische Lage

-  Restwasserstrecke / Tronçon à débit résiduel
-  Wasserfassung / Prise d'eau
-  Wasserrückgabe / Restitution d'eau
-  Abfischungen / Péches électriques
-  Untersuchungsstellen für übrige Aspekte / Points d'analyse pour d'autres aspects



Schüss mit Wasserfassung, Restwasserstrecke, Wasserrückgabestelle sowie Abfischungsstrecken und allgemeinen Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Hydrologische Angaben

- Q_{347} : 1392 l/s
- angewandter Artikel des GSchG: Art. 33
- Dotierwassermenge gem. Konzession: 700 l/s
- Restwassermenge am 6.11.01: 760 l/s

Restwasserstrecke



Wasserfassung mit Fischtreppe



Qual./Quant. Erhaltung Fische

In der Restwasser- und Referenzstrecke wurden Bachforellen und Groppen gefangen. Der Fischbestand ist relativ klein. Aufgrund der Substratzusammensetzung ist die natürliche Fortpflanzung der Bachforelle in der Restwasserstrecke nur beschränkt, in der Referenzstrecke dagegen auf grösseren Flächen möglich.

Die hohe Nährtierbiomasse weist die Schüss als produktives Gewässer aus. In der Restwasserstrecke wurden allerdings beträchtlich weniger Fischnährtiere festgestellt, was als mässige Beeinträchtigung beurteilt wird.

Referenzstelle unterhalb Fassung



Fischgängigkeit Fassung/Kontinuum

Das Fassungsbauwerk ist mit einem naturnahen Fischpass ausgestattet, der für Bachforelle und Groppenfunktionstüchtig ist. Innerhalb der Restwasserstrecke verhindern hohe natürliche Abstürze eine Fischwanderung auf längeren Strecken und unterhalb der Wasserrückgabe verhindert ein Bauwerk den freien Einstieg.

Wassertiefen für freie Fischwanderung

Die Wassertiefen in der Schüss erreichen sowohl im Referenz- wie im Restwasserabschnitt Werte von durchgehend über 20 cm und genügen damit den Anforderungen für eine freie Fischwanderung.

Morphologie und Strukturen

Das Substrat der Restwasserstrecke ist wenig diversifiziert und weist im Vergleich zur Referenz viel mehr Blöcke, aber deutlich weniger Geröll, groben und mittleren Kies auf. Bezüglich Strömungstypen ist die Restwasserstrecke vielfältiger und kleinräumig heterogener als die Referenzstrecke, wenn auch relativ arm an Fischunterständen.

Qual./Quant. Erhaltung Makrozoobenthos

Im Vergleich zur Referenz ist die Artenzusammensetzung in der Restwasserstrecke sehr ähnlich. Von den 24 Arten in der Referenz wurden 19 auch im Restwasser gefunden; 5 Arten kamen nur in der Restwasserstrecke vor. Alle Arten(-gruppen) mit mehr als 1% Individuenanteil an der Referenz wurden auch im Restwasser gefunden.

Strömungsliebende Eintagsfliegen- und Lidmückenlarven waren wegen den hohen Fliessgeschwindigkeiten in der Restwasserstrecke signifikant häufiger.

In der Restwasserstrecke der Schüss wird unter den heutigen Restwasserverhältnissen der qualitative sowie quantitative Erhalt der Kleintiere weitgehend gesichert.

Äusserer Aspekt

Beim Äusseren Aspekt können die Anforderungen an die Wasserqualität nach GSchV bereits in der Referenz nicht bei allen Parametern erfüllt werden. So wurde an dieser Stelle erhöhte Schlamm- und Schaumbildung sowie leicht grössere äussere Kolmation der Deckschicht beobachtet. Die gleichen Beeinträchtigungen traten auch in der Restwasserstrecke auf, sind jedoch nicht eine Folge der Wasserentnahme. Gegenüber dem Referenzzustand konnte somit keine Veränderung beobachtet werden.

Wasserqualität/Abwasser

Die Wasserqualität wird in der Schüss stark von den verschiedenen Abwassereinleitungen oberhalb von Bözingen geprägt. Da aber keine direkten Einleitungen in die Restwasserstrecke erfolgen, konnten anhand von Stichproben keine relevanten Unterschiede zwischen der Referenz und der Restwasserstrecke festgestellt werden.

Sommertemperaturen/Vereisung Winter

Die Temperaturen (Maximum von 15.4 °C, Minimum von 1.8 °C) erreichten keine biologisch unverträglichen Extremwerte.

Landschaftselement

Der genutzte Gewässerabschnitt wird – begünstigt durch die eingeebte und schluchtartige Gewässerstruktur – nicht sofort als Restwasser wahrgenommen, da an den meisten Stellen das Bachbett auf seiner ganzen Breite benetzt ist und durch das grosse Gefälle das Gewässer als dynamisch empfunden wird.

In drei Restwasserabschnitten der Schüss wurden verschiedene flussmorphologische Kriterien beurteilt und mit der Schüss oberhalb der Wasserentnahme verglichen. Insgesamt weichen die Kriterien in der Restwasserstrecke im Mittel nur wenig von der Referenz ab und zeigen damit höchstens geringe Veränderungen gegenüber der Referenz.

Kolmation

Die Taubenlochschlucht ist ein typisches Exfiltrationsgebiet. Dabei tritt Kluft- und Karstwasser direkt aus dem Fels ins Oberflächenwasser aus. Eine Kolmatierung kann hier aus hydrogeologischen Gründen praktisch ausgeschlossen werden. Kolmation könnte hier allenfalls als vorübergehendes Phänomen aufgrund eines starken Algenwuchses in den Sommermonaten auftreten. Auf die ganze Restwasserstrecke übertragen, handelt es sich aber um ein untergeordnetes Phänomen.

Gesamtbeurteilung:

Im Vergleich zu allen hier untersuchten Restwasserstrecken weist die Schüss den besten ökologischen Zustand auf. So werden insbesondere die Erhaltung der Fisch- und Kleintierfauna, Wasserqualität und Äusserer Aspekt gewährleistet. Die freie Fischwanderung ist sowohl im fischgängigen Abschnitt der Restwasserstrecke (Minimaltiefen überall mehr als 20 cm), als auch bei der Wasserfassung (funktionierende Fischtreppe) gewährleistet. Einzige Einschränkung betrifft die geringere Nährtierbiomasse in der Restwasserstrecke, was den quantitativen Erhalt der Fischfauna jedoch höchstens mässig beeinträchtigt.

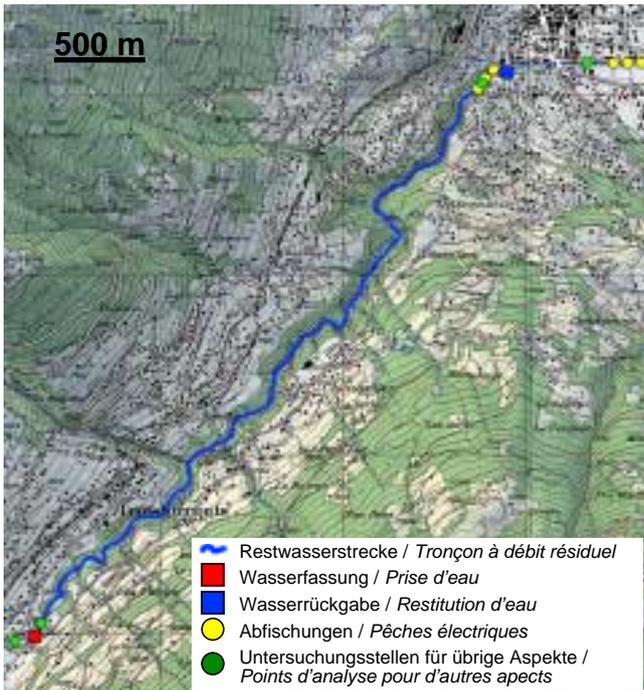
Die Restwassermenge in der Schüss wurde gemäss Art. 33 GSchG über dem gesetzlichen Minimum auf 700 l/s festgesetzt. Die Überprüfung verschiedener flussmorphologischer Kriterien (Landschaftsbild) zeigen, dass diese in der Restwasserstrecke weitgehend erfüllt sind und damit bezüglich Landschaftsbild höchstens geringe Abweichungen gegenüber der Referenz festgestellt werden konnten.

Beim Fassungsbauwerk stellt ein Fischpass die Durchgängigkeit sicher, innerhalb der Restwasserstrecke verhindern natürliche Abstürze die Fischwanderung. Das Gewässerkontinuum ist somit auch natürlicherweise nicht gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge gewährleistet.

La Vièze (VS)

Situation géographique

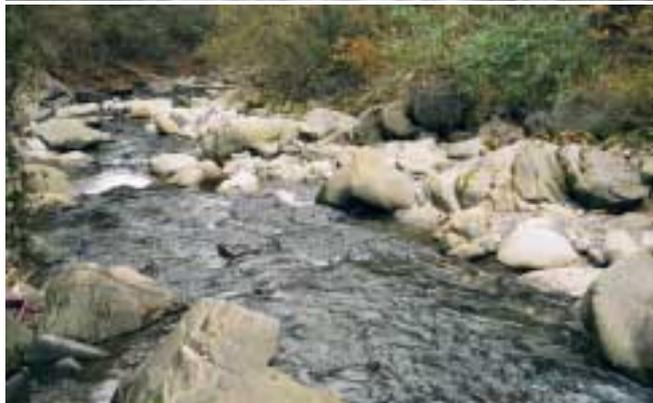
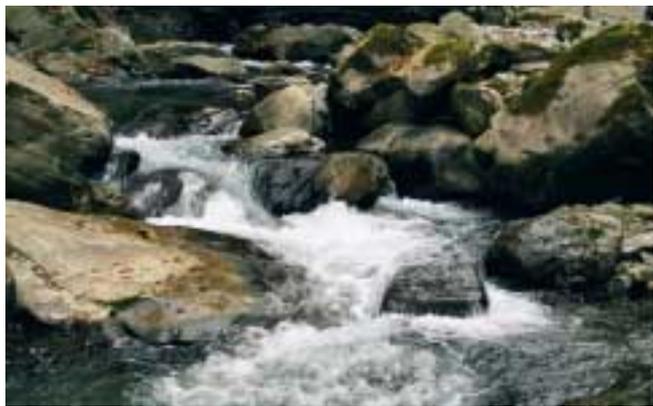


La Vièze avec la prise d'eau, le tronçon à débit résiduel, le lieu de restitution, les tronçons de pêche électrique et les sites généraux d'étude. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA035367).

Données hydrologiques

- Q_{347} : 970 l/s
- Article appliqué de la LEaux: art. 31, al. 1
- Débit de dotation selon la concession: 425 l/s
- Débit résiduel le 20.11.01: 460 l/s

Tronçon à débit résiduel



Prise d'eau



Site de référence en aval de la restitution d'eau



Conservation qualitative/quantitative des poissons

La population de poissons est adaptée et abondante avec la truite de rivière et le chabot sur le tronçon à débit résiduel et, en plus, sur le tronçon de référence, la truite lacustre, une espèce menacée. La présence de frayères sur les deux tronçons confirme la reproduction naturelle de la truite de rivière. Ce qui frappe dans l'appréciation de la population de poissons, c'est l'absence de jeunes truites sur le tronçon à débit résiduel. Elle est peut-être due aux mesures massives de réempoissonnement de l'association de pêche locale.

La biomasse des organismes servant de nourriture est pratiquement la même sur les deux tronçons, ce qui indique une base alimentaire de la faune piscicole non affectée par les débits résiduels.

Possibilité de franchissement du captage par les poissons/continuum

La partie aval du tronçon à débit résiduel est accessible aux poissons et aux invertébrés. Dans la gorge qui lui fait suite, plusieurs chutes naturelles empêchent la libre migration des poissons et l'ouvrage de captage est dépourvu de dispositif de franchissement pour les poissons.

Profondeurs d'eau pour la libre migration des poissons

Les profondeurs d'eau sur le tronçon de référence de la Vièze en aval de la restitution d'eau et dans deux secteurs (au début et à la fin) du tronçon à débit résiduel étaient en général nettement supérieures à 20 cm. La libre migration des poissons n'est donc pas affectée par les profondeurs d'eau.

Morphologie et structures

En ce qui concerne la morphologie, le tronçon à débit résiduel doit être classé comme naturel. Sur le tronçon à débit résiduel et sur le tronçon de référence en aval, le substrat est lâche et permet la reproduction des espèces de poissons frayant dans le gravier. Les types de courant et d'habitat du tronçon à débit résiduel offrent une diversité de structures supérieure et en particulier davantage de bois mort.

Macroinvertébrés rhéophiles

L'exploitation des données existantes montre environ 35 % d'éphémères (Heptageniidae) en moins en aval du prélèvement d'eau par rapport à l'amont; sur le secteur aval du tronçon à débit résiduel, peu d'exemplaires ont été trouvés. La survie des Heptageniidae en aval de la prise d'eau peut apparemment être garantie par la dotation, mais la densité des individus est moyennement affectée par rapport au tronçon de référence en amont du captage. La disparition plus ou moins complète des Heptageniidae sur le secteur aval du tronçon à débit résiduel ne dépend guère des conditions de débit résiduel, puisqu'en aval de la restitution d'eau, avec un débit nettement plus élevé, les Heptageniidae n'ont pas non plus été trouvés. Les études de canton ont relevé quelques individus de Blephariceridae tant sur le tronçon de référence en amont du prélèvement que sur le tronçon à débit résiduel, où ils peuvent apparemment survivre.

Aspect extérieur

En ce qui concerne l'aspect extérieur, aucune différence significative n'a pu être relevée entre les sites de référence (en amont du captage, en aval de la restitution d'eau) et deux secteurs à débits résiduels.

Qualité de l'eau/eaux usées

La qualité de l'eau dans le secteur amont du tronçon à débit résiduel se distingue à peine du tronçon de référence en amont de la prise d'eau et peut être considérée comme suffisante.

Dans la partie aval du tronçon à débit résiduel, la qualité de l'eau est un peu plus mauvaise que sur le site de référence en amont du captage à cause du déversement des eaux usées épurées d'une station d'épuration. Les dispositions légales concernant la qualité de l'eau sont en bonne partie respectées, mais pas totalement, ce qui correspond à une atteinte moyenne.

Températures estivales/ glace en hiver

La température maximale de 16.8 °C en été et le minimum de 0.3 °C en hiver se situent à l'intérieur de la fourchette tolérée par les organismes présents.

Appréciation globale:

Abstraction faite du captage (pas de dispositif de franchissement ou d'échelle à poissons), le tronçon à débit résiduel de la Vièze dans son ensemble peut être jugé comme non affecté ou tout au plus comme moyennement affecté. En ce qui concerne la conservation qualitative de la faune piscicole, l'absence sur le tronçon à débit résiduel de la truite lacustre, une espèce fortement menacée, est considérée comme une atteinte moyenne. Quant à la qualité de l'eau, grâce à la station d'épuration de Champéry, les exigences légales sont en bonne partie respectées, mais pas entièrement. La densité des macroinvertébrés rhéophiles du lit est moyennement réduite sur le tronçon à débit résiduel.

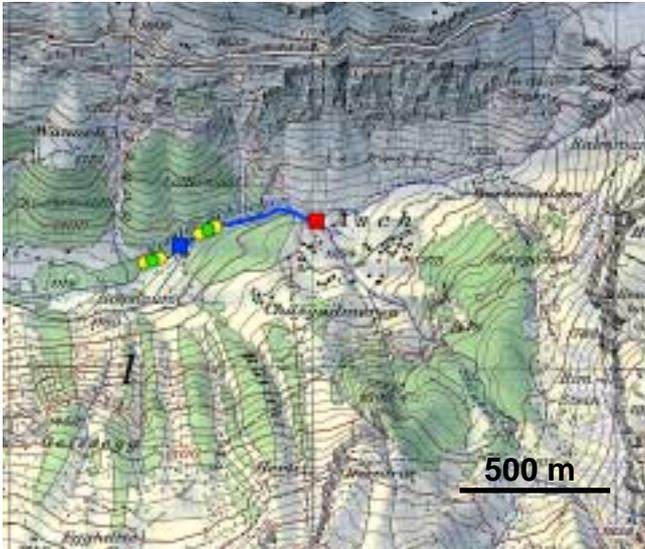
La partie aval du tronçon à débit résiduel est librement accessible aux poissons. Dans l'ouvrage de captage et le reste de la gorge, la possibilité de franchissement et donc la continuité du cours d'eau ne sont pas garanties, même dans les conditions naturelles.

Dans l'ensemble, les fonctions écologiques du cours d'eau sont largement garanties avec les débits résiduels existants.

Vorderer Schächen (UR)

Geographische Lage

-  Restwasserstrecke / Tronçon à débit résiduel
-  Wasserfassung / Prise d'eau
-  Wasserrückgabe / Restitution d'eau
-  Abfischungen / Péches électriques
-  Untersuchungsstellen für übrige Aspekte / Points d'analyse pour d'autres aspects



Vorderer Schächen mit Wasserfassung, Restwasserstrecke, Wasserrückgabestelle sowie Abfischungsstrecken und allgemeinen Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

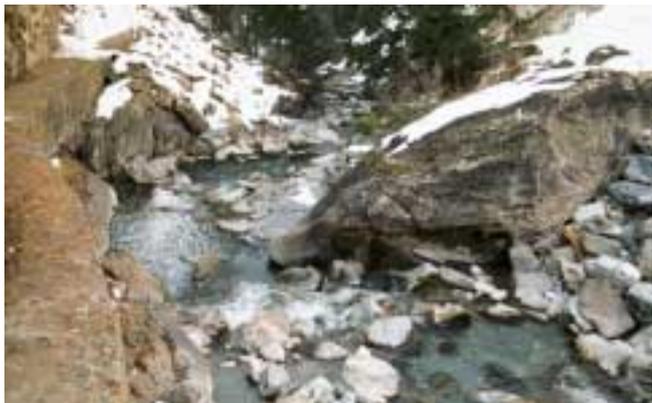
Hydrologische Angaben

- Q_{347} : 113 l/s
- angewandter Artikel des GSchG: Art. 31
- Dotierwassermenge gem. Konzession: 92-180 l/s
- Restwassermenge am 11.12.01: 73 l/s

Wasserfassung



Restwasserstrecke



Referenzstelle unterhalb Fassung



Qual./Quant. Erhaltung Fische

In beiden Probestrecken im Vorderen Schächten wurden ausschliesslich Bachforellen festgestellt. Die Fischdichte war in beiden Abschnitten klein, aber in der Restwasserstrecke deutlich grösser als in der Referenz.

Die Biomasse der Fischnährtiere weist auf eine geringe Produktivität des Gewässers hin und ist in der Restwasserstrecke rund einen Viertel höher als in der Referenz. Die qualitative und quantitative Erhaltung der Fischfauna in der Restwasserstrecke ist damit sichergestellt.

Fischgängigkeit Fassung/Kontinuum

Der Venturi-Kanal bei der Wasserrfassung kann unter Umständen die Aufwanderung einer Bachforelle ermöglichen. Allerdings ist die steile Schlucht der Restwasserstrecke mit vielen natürlichen Abstürzen nicht durchgängig für aufwärtswandernde Fische und Wirbellose.

Wassertiefen für freie Fischwanderung

Die Wassertiefen im Referenzabschnitt des Vorderen Schächten lagen am Untersuchungstag durchwegs deutlich über 20 cm. In der Restwasserstrecke erreichten hingegen rund 12 % der Werte die erforderliche Wassertiefe von 20 cm nicht. Die freie Fischwanderung ist im Vergleich zur Referenz mässig beeinträchtigt.

Morphologie und Strukturen

Das grosse Gefälle der Schlucht hat zur Folge, dass das Substrat der Restwasserstrecke deutlich gröber ist als in den Referenzstrecken. In allen untersuchten Abschnitten sollte jedoch die Fortpflanzung der Bachforelle möglich sein. Die Vielfalt an Strömungstypen ist in der Restwasserstrecke deutlich grösser als in der Referenz. Viel Totholz trägt zudem zu einer guten Strukturierung der Restwasserstrecke bei.

Strömungsliebende Kleintiere

Bei den Eintagsfliegen (Heptageniidae) erreichte die geschätzte Individuendichte in der Restwasserstrecke nur gerade 50 % derjenigen in der Referenz und bedeutet eine mässige Beeinträchtigung. Bei den Lidmücken konnten hingegen keine Unterschiede in der Besiedlungsdichte zwischen Referenz und Restwasser festgestellt werden.

Äusserer Aspekt

Die Beurteilung des Äusseren Aspektes ergab zwischen der Referenz und dem Restwasser kaum Unterschiede. Die erhöhte Trübung im unteren Abschnitt der Restwasserstrecke und der Referenz ist natürlichen Ursprungs (trüber Seitenbach). Der pflanzliche Bewuchs war im Vergleich zur Referenzstelle nur in der Restwasserstrecke oberhalb des trüben Seitenzuflusses leicht erhöht.

Wasserqualität/Abwasser

Im Vorderen Schächten bestehen im Bereich der hier behandelten Nutzungsstrecke keine Abwassereinleitungen. Die grobe Untersuchung der Wasserqualität von Referenz und Restwasser anhand von Stichproben ergab entsprechend keine relevanten Unterschiede.

Gesamtbeurteilung:

Die Wassertiefen bezüglich Fischwanderung im oberen Teil der Restwasserstrecke waren mässig beeinträchtigt. Die strömungsabhängigen Kleintiere wiesen ebenfalls ein mässiges Defizit auf. Die Fischgängigkeit der Fassung ist durch den Venturi-Kanal zur Dotierwasserabgabe nur bedingt sichergestellt. Bei den übrigen Untersuchungsparametern wie z.B. Fischfauna, Gewässerstrukturen, Äusserer Aspekt und Wasserqualität wurden keine Beeinträchtigungen resp. Abweichungen zum Sollwert bzw. zur Referenz festgestellt. Insgesamt sind die Abweichungen gering bis mässig.

Die Wasserrfassung ist bedingt fischgängig, in der Restwasserstrecke verhindern hohe natürliche Abstürze die freie Fischwanderung, weshalb das Gewässerkontinuum auch natürlicherweise nicht gewährleistet ist.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge weitgehend gewährleistet.

4 Resultate / Résultats

4.1 Aabach (AG)

Einleitende Angaben

Beim Aabach handelt es sich um den Seeabfluss des Hallwilersees, der bei Wildeggen in die Aare mündet. Oberhalb von Wildeggen wird das Wasser vom Kupferdraht-Isolierwerk AG gefasst, im firmeneigenen Kraftwerk in Wildeggen turbinieren und anschliessend in die Bünz – ein Parallelgewässer des Aabachs – eingeleitet (Abbildung 4.1.1). Die Bünz mündet zwar in Wildeggen wieder in den Aabach, da aber auch dieses Gewässer hydroelektrisch genutzt wird (KW JOWA, Wildeggen) gelangt nur ein Restwasseranteil zurück in den Aabach; dadurch wird der Aabach nicht nur bis zur Mündung der Bünz, sondern bis zum Zusammenfluss mit der Aare zur Restwasserstrecke. Verschiedene Kennwerte des Kraftwerks Wildeggen und des Aabaches sind in Tabelle 4.1.2 zusammengestellt.

Die ökomorphologischen Kartierungen des Kantons Aargau zeigen, dass der Aabach zwischen Niederlenz und Wildeggen sowohl natürliche oder wenig beeinträchtigte als auch stark beeinträchtigte und naturfremde Abschnitte aufweist. Der Gewässerabschnitt zwischen Niederlenz und der Wasserfassung sowie die obere Hälfte der Restwasserstrecke sind naturnah bis höchstens wenig beeinträchtigt. Sowohl die Referenz- als auch die Restwasseruntersuchungen beschränkten sich auf diese naturnahen und somit vergleichbaren Abschnitte (Abbildung 4.1.1).

Die Restwassermenge unterhalb der Wasserfassung im Aabach betrug am 29.10.01 rund 480 l/s (gemessen mit der Salzverdünnungsmethode) und entsprach damit, unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit, der Restwasserauflage von 500 l/s gemäss Konzession.

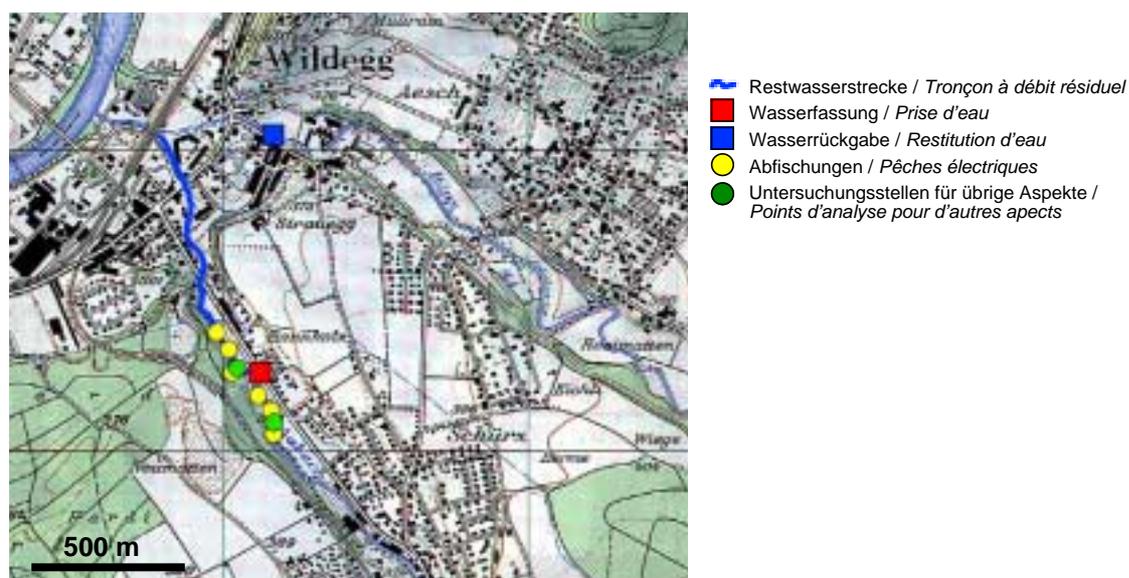


Abb. 4.1.1: Restwasserstrecke im Aabach bei Wildeggen mit Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Fig. 4.1.1: Tronçon à débit résiduel de l'Aabach près de Wildeggen avec les points d'analyse. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA035367).

Kraftwerk	KIW Wildegg
Standortkanton	AG
Standort Zentrale	Wildegg
Genutztes Gewässer	Aabach
genutzte Gewässerstrecke [km]	0.9
Kote Maschinenhaus [m.ü.M.]	356
Fassung [m.ü.M.]	362
Rückgabe [m.ü.M.]	356
Fallhöhe [m]	6
Fischgewässer	Ja
Tage mit Überlauf	–
Abflussregime	Pluvial
Q347 [l/s]	1240
Leistung [MW]	0.117
Inbetriebnahme	1993
Dotierung gemäss Konzession [l/s]	500
angewendeter Artikel GSchG	31/1
Qmax [m ³ /s]	2.4

Tab. 4.1.2: Kennwerte für das Kraftwerk KIW Wildegg und den Aabach.

Tab. 4.1.2: Caractéristiques de la centrale hydroélectrique KIW Wildegg et de l'Aabach.

Bilddokumentation, Morphologie und Strukturen

Die folgende Bildserie (Abbildungen 4.1.3 bis 4.1.8) zeigt den Aabach im unbeeinflussten Abschnitt oberhalb der Wasserfassung sowie an verschiedenen Stellen der Restwasserstrecke. Obwohl in der Restwasserstrecke deutlich weniger Wasser fliesst, wird sie optisch nicht sofort als solche wahrgenommen, denn der Böschungsfuss wird wie im Referenzabschnitt meistens erreicht, sodass nur wenige trockene Kiesflächen hervortreten. Grössere Steine ragen auch in der Restwasserstrecke kaum aus dem Wasser und werden meist gut überströmt. Bei genauerer Betrachtung und im Vergleich zur unbeeinflussten Fließstrecke des Aabaches wirkt die Restwasserstrecke jedoch weniger turbulent und somit zahmer; dadurch bildet sich auch weniger weisses Wasser. Im Restwasser ist der erhöhte Algen- und Moosbewuchs (siehe „Äusserer Aspekt“) wegen der beruhigten Wasseroberfläche besser sichtbar.

Da die Wasserrückgabe des Kraftwerkes KIW direkt in die Bünz erfolgt, wurde die Referenzstrecke nicht wie üblich unterhalb der Restwasserstrecke, sondern ca. 300 m oberhalb der Wasserableitung gewählt. Die Restwasserstrecke wurde etwa 400 m unterhalb der Fassung untersucht (Abb. 4.1.1). Die Referenzstrecke ist naturnah und wenig verbaut, währenddem die Untersuchungsstrecke im Restwasser ein- oder beidseitig verbaute Ufer aufweist und eine über 1 m hohe Schwelle umfasst. Das Substrat ist in beiden Abschnitten recht heterogen, mit deutlich mehr Geröll (6 – 25 cm) in der Referenz-, dagegen mehr Kies (2.5 – 6 cm), Sand und Schlick in der Restwasserstrecke (Abb. 4.1.9 A). Zudem finden sich in der Restwasserstrecke mehr organische Ablagerungen. Die Habitate sind in beiden Strecken von der Strömung geprägt, mit etwas mehr turbulenten Stellen (Riffles) und tiefen Pools in der Referenzstrecke (Abb. 4.1.9 B). Bei den Strukturen wurde bedeutend mehr Totholz in der Restwasserstrecke festgestellt, dagegen sind weniger überspülte Blöcke und Uferunterspülungen vorhanden (Abb. 4.1.9 C) – eine Folge der zum grossen Teil hart verbauten Ufer. Gesamthaft wird die Restwasserstrecke aufgrund der stärkeren Schlammablagerungen und der geringeren Strukturvielfalt als mässig von der Referenz abweichend klassiert.



Abb. 4.1.3: Referenzstrecke im Aabach ca. 200 m oberhalb der Wasserfassung. Q ca. $3 \text{ m}^3/\text{s}$.
 Fig. 4.1.3: Tronçon de référence sur l'Aabach env. 200 m en amont de la prise d'eau. Q env. $3 \text{ m}^3/\text{s}$.



Abb. 4.1.4: Wasserfassung im Aabach mit Wehr und Ausleitungskanal.
 Fig. 4.1.4: Prise d'eau sur l'Aabach avec ouvrage de retenue et canal de dérivation.



Abb. 4.1.5: Umgehungsgerinne für die freie Fischwanderung bei der Wasserfassung im Aabach.
 Fig. 4.1.5: Ruisseau de contournement pour la libre migration des poissons à la prise d'eau sur l'Aabach.



Abb. 4.1.6: Aabach im oberen naturnahen Teil der Restwasserstrecke. $Q=480 \text{ l/s}$.
 Fig. 4.1.6: L'Aabach dans la partie amont, proche de l'état naturel, du tronçon à débit résiduel. $Q=480 \text{ l/s}$.



Abb. 4.1.7: Restwasserstrecke mit nicht fischgängigem Absturz. $Q=480 \text{ l/s}$.
 Fig. 4.1.7: Tronçon à débit résiduel avec seuil non franchissable par les poissons. $Q= 480 \text{ l/s}$.



Abb. 4.1.8: Stark verbauter Abschnitt der Restwasserstrecke des Aabachs in Wildegg. $Q=480 \text{ l/s}$.
 Fig. 4.1.8: Secteur fortement aménagé en dur du tronçon à débit résiduel de l'Aabach à Wildegg. $Q=480 \text{ l/s}$.

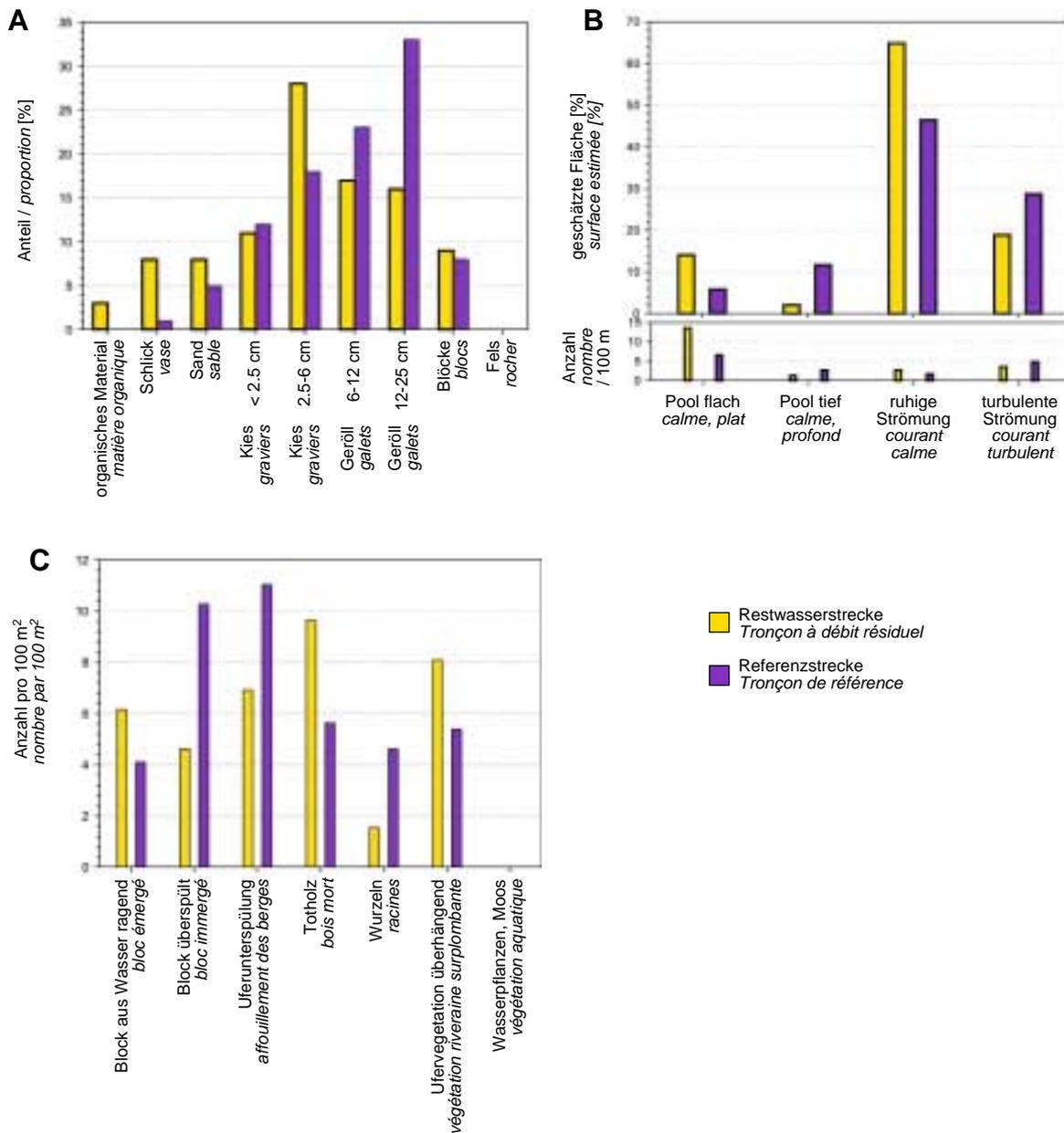


Abb. 4.1.9: Morphologie und Strukturen in der Referenz- und Restwasserstrecke des Aabaches: A = Substrattypen, B = Strömungsmuster, C = Strukturen.

Fig. 4.1.9: Morphologie et structures sur le tronçon de référence et sur le tronçon à débit résiduel. A = types de substrat, B = types de courant, C = structures.

Fischökologische Aspekte

Fischbestand

Bei unseren Abfischungen (12.6.02) wurden in der Restwasserstrecke 5 Fischarten gefunden, in der Referenzstrecke deren 7 (Abb. 4.1.10). Bei einer Controllererhebung im Dezember 2000 wurden in der Restwasserstrecke und oberhalb des Umgehungsgerinnes zusätzlich Egli und Elritze festgestellt, oben fehlte dagegen die Barbe (Marrer 2001). Bei dieser Erhebung fehlte in der Referenzstrecke eine Art gegenüber der Restwasserstrecke. In einer Abfischung der EAWAG im November 2001 wurde im Bereich des Umgehungs-

gerinnes zusätzlich ein Individuum der stark gefährdeten Nase gefunden (A. Peter, EAWAG, pers. Mitteilung). Die qualitative Erhaltung der Fischfauna wird aufgrund unserer Resultate (- 2 Arten) als stark von der Referenz abweichend beurteilt.

Mit einer um 40 % grösseren Fischdichte in der Restwasserstrecke scheint die quantitative Erhaltung der Fischfauna sichergestellt. Allerdings wird dieses Resultat stark beeinflusst durch die grosse Anzahl Schneider, die im Uferbereich der Restwasserstrecke gefangen wurden. Anlässlich der Erhebung 2000 wurde die Fischbiomasse unterhalb des Umgehungsgerinnes bloss auf ca. 14 % derjenigen oberhalb der Wasserfassung geschätzt (Marrer 2001), wobei allerdings diese Resultate durch eine sehr grosse Zahl Aale (rund 2/3 der Gesamtbiomasse) oberhalb des Umgehungsgerinnes beeinflusst wurden. Diese Ergebnisse zeigen, dass einerseits die Fische sehr mobil sind und andererseits punktuelle Abfischungen immer eine räumliche und zeitliche Momentaufnahme darstellen und eine gewisse Varianz mitberücksichtigt werden muss. Die Längenverteilung der Bachforellen zeigt, dass in der Restwasserstrecke ein geringer, in der Referenz dagegen ein recht grosser Anteil Jungfische des Jahres erfasst wurde (siehe Anhang 6.4). Da von den Pächtern auch Besatz mit Brütlingen getätigt wird, erlaubt dies nur bedingt, auf eine erfolgreiche natürliche Fortpflanzung zu schliessen.

Die mittlere Biomasse der Fischnährtiere ist in beiden Abschnitten ungefähr gleich gross. Die Streuung der Einzelproben ist in der Referenzstrecke klein, in der Restwasserstrecke dagegen sehr gross (2 von 3 Proben weisen im Vergleich zur Referenz die doppelte bis vierfache Biomasse auf). Aufgrund dieser Ergebnisse beurteilen wir die quantitative Erhaltung der Fischfauna als nicht beeinträchtigt.

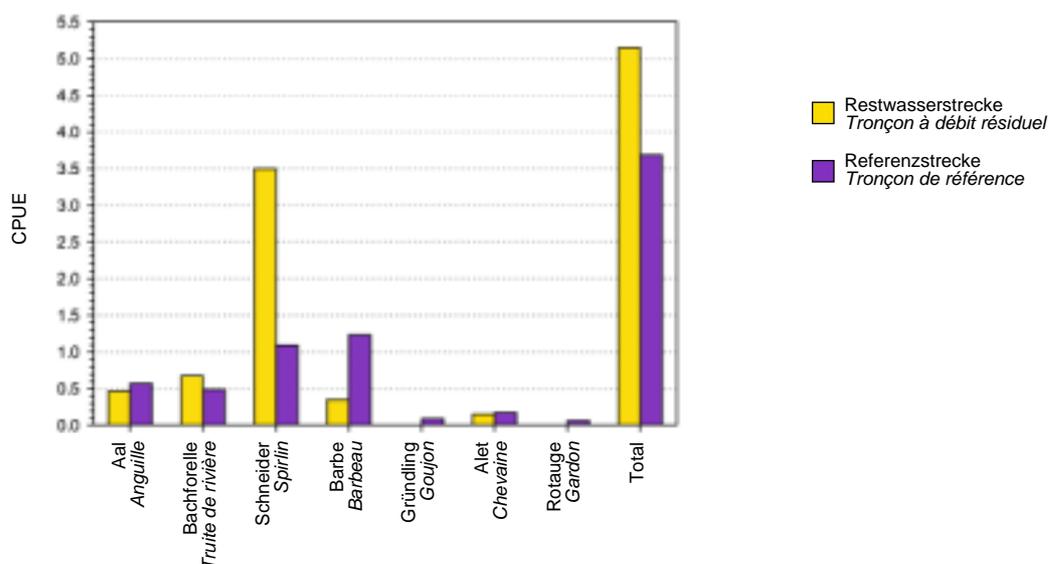


Abb. 4.1.10: Fischbestand im Aabach am 12.6.02. CPUE = catch per unit effort.

Fig. 4.1.10: Population de poissons dans l'Aabach le 12.6.02. CPUE = catch per unit effort.

Fischgängigkeit

Bei der Wasserableitung wird mit einem naturnah gestalteten Umgehungsgerinne die Fischgängigkeit sichergestellt. Im Dezember 2000 wurde eine Funktionskontrolle durchgeführt, bei der 8 Arten ober- und unterhalb und deren 4 (Aal, Bachforelle, Barbe, Schneider) im Umgehungsgerinne festgestellt werden konnten (Marrer 2001). Innerhalb der Restwasserstrecke befinden sich allerdings mehrere hohe Schwellen, die eine freie Aufwärtswanderung von Fischen und Wirbellosen verunmöglichen.

Wassertiefen

Die Wassertiefen im Talweg des Aabaches (Referenz) liegen überall deutlich über 50 cm (Abbildung 4.1.11). In einem eher ungünstigen Abschnitt der Restwasserstrecke wenig unterhalb der Wasserfassung erreichen rund 20 % der Wassertiefen des Talweges Werte von weniger als 20 cm. In der Restwasserstrecke des Aabaches ist somit die freie Fischwanderung mässig beeinträchtigt (durch künstliche Abstürze ist diese zusätzlich stark eingeschränkt resp. verhindert).

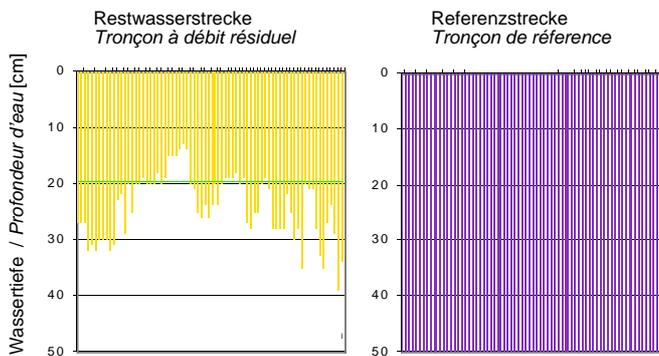


Abb. 4.1.11: Wassertiefen im Talweg des Aabaches – Abstand zwischen den Messwerten ca. 0.5 m – in einem Referenz- und einem ungünstigen Restwasserabschnitt.

Fig. 4.1.11: Profondeurs d'eau le long du thalweg de l'Aabach tous les 0.5 m env. sur un tronçon de référence et sur un tronçon à débit résiduel défavorable.

Kleintiere des Gewässerbodens (Makrozoobenthos)

Die benthisch lebenden Kleintiere des Aabaches wurden im Rahmen der Überwachung der Gewässergüte durch den Kanton Aargau bereits mehrmals untersucht (Baudepartement Kt. AG, 1997/1999). Die Untersuchungsstelle entspricht unserer Referenzstelle; die Restwasserstrecke im Aabach wurde in der kantonalen Untersuchung jedoch nicht berücksichtigt. Die kantonale Untersuchung zeigte eine mässige bis kritische organische Belastung des Aabaches bei einer recht grossen Artenvielfalt, welche die reichlich vorhandenen Habitatstrukturen widerspiegelt.

Bei unserer Untersuchung stand weniger die Wasserqualität im Vordergrund, sondern Unterschiede in der qualitativen und quantitativen Besiedlung zwischen Referenz- und Restwasserstrecke. Die Resultate dieses Vergleichs sind in Abbildung 4.1.12 dargestellt. Die Taxazahl ist in beiden Strecken sehr ähnlich: von 25 Taxa oberhalb der Wasserfassung wurden 22 auch im Restwasser gefunden (3 Taxa fanden sich nur im Restwasser). Alle nicht nur als Einzelexemplare vorgekommenen Taxa (Anteil in der Referenz > 1%) waren auch in der Restwasserstrecke vertreten. Das Benthos wird in beiden Untersuchungsstrecken dominiert von der Köcherfliegenlarve *Hydropsyche* sp.; daneben sind aber auch Käferlarven (*Limnius* sp.), Zuckmücken (Chironomidae), Würmer (*Eiseniella tetraedra*) sehr häufig. Obwohl der Aabach Strömungen von über 1m/s aufweist sind keine auf hohe Strömungen angewiesenen Artengruppen (wie z.B. Heptageniidae oder Blephariceridae) vertreten. Das Überleben von speziell strömungsliebenden Arten konnte damit nicht überprüft werden.

Ein statistischer Vergleich (U-Test) der geschätzten Individuendichten in der Referenz mit dem Restwasser zeigt, dass kaum Unterschiede in der Besiedlungsdichte der einzelnen Artengruppen bestehen (Anhang 6.3). Einzig bei den Larven von *Baetis* sp., *Hydroptila* sp. und *Antocha* sp. waren die Besiedlungsdichten in der Restwasserstrecke signifikant höher (Signifikanzniveau: 10%). Möglicherweise ist der erhöhte Algen- und Moosbewuchs dafür verantwortlich, da dieser in der Restwasserstrecke zusätzliche Strukturen bietet.

Der qualitative und quantitative Erhalt des Makrozoobenthos im Aabach ist weitgehend gewährleistet. Es konnten höchstens geringe Beeinträchtigungen beobachtet werden.

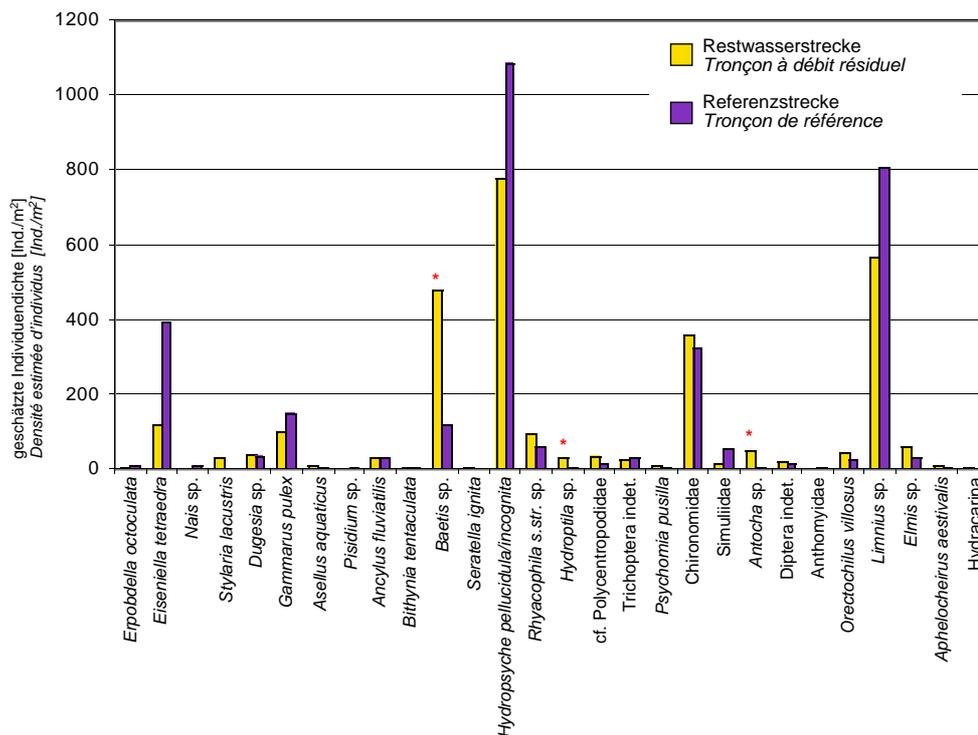


Abb. 4.1.12: Zusammensetzung des Makrozoobenthos im Aabach am 21.12.01 in einem Referenzabschnitt (200 m oberhalb Fassung) und in der Restwasserstrecke (100 m unterhalb Fassung). An beiden Stellen wurden jeweils 5 Parallelproben halbquantitativ entnommen und die Individuendichte geschätzt.

* = Signifikante Unterschiede in der Besiedlungsdichte anhand des U-Testes.

Fig. 4.1.12: Composition du macrozoobenthos dans l'Aabach le 21.10.01 sur un tronçon de référence (200 m en amont du captage) et sur le tronçon à débit résiduel (100 m en aval du captage). Sur les deux points, 5 échantillons parallèles semi-quantitatifs ont été prélevés et la densité des individus a été estimée.

* = différences significatives de la densité d'occupation sur la base d'un test de U.

Wasserqualität und Äusserer Aspekt

Der Aabach gilt oberhalb der Wasserrfassung bei Niederlenz als mässig bis kritisch belastetes Gewässer. In der Restwasserstrecke bestehen keine bekannten Einleitungen, welche die Wasserqualität entscheidend verändern würden. Die grobe Überprüfung der Wasserqualität anhand von Stichproben ergab für die Parameter Nitrat, Ortho-Phosphat, Sauerstoff, pH und Leitfähigkeit keine relevanten Unterschiede zwischen Referenz- und Restwasserstrecke (Daten siehe Anhang 6.2).

Der Äussere Aspekt der Restwasserstrecke unterschied sich einzig im pflanzlichen Bewuchs von der Referenzstrecke (Abbildung 4.1.13). So zeigten sich in der Referenz nur Ansätze von Algenfäden und -zotten, während diese im Restwasser gut ausgebildet waren. Moose traten nur in der Restwasserstrecke auf (ca. 10 % Deckung).

Ein Temperaturlogger wurde im Aabach am 26.7.01 eingesetzt und bis zum 10.4.02 wurden Daten aufgezeichnet (Abb. 4.1.14). Mit Höchsttemperaturen permanent über 22°C zwischen 27.7. und 4.8. und einem Maximum von 24.9°C am 2. August wurde der für Bachforellen zulässige Temperaturbereich deutlich überschritten. Allerdings handelt es sich beim Aabach aufgrund der Höhenlage und der Gewässercharakteristik nicht unbedingt um ein Forellengewässer, und die gemessenen Werte liegen im selben Bereich wie bei andern Gewässern dieser Region. Die winterlichen Minimaltemperaturen wurden im Dezember und Januar erreicht und lagen mit einem Minimum von 2.1°C deutlich über dem Gefrierpunkt. Die maximalen Tagesschwankungen erreichten 3.6°C.

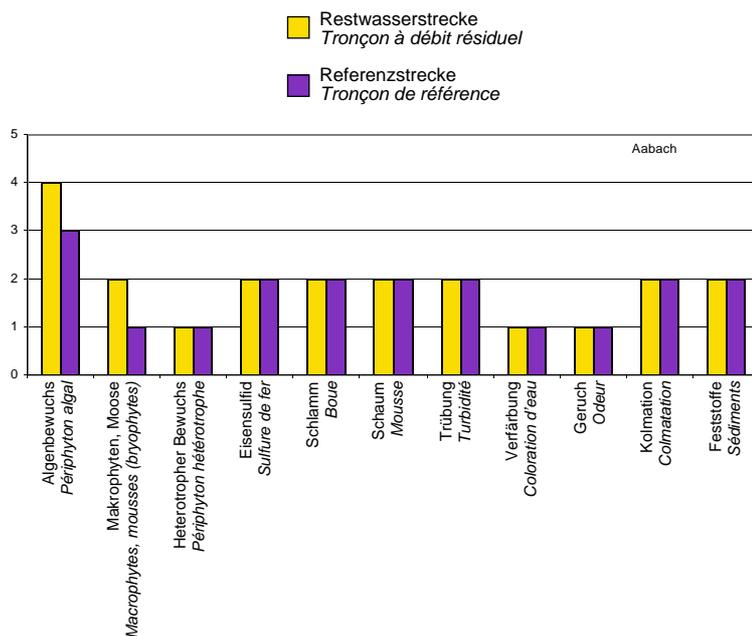


Abb. 4.1.13: Beurteilung des Äusseren Aspektes im Aabach am 29.10.01. Der pflanzliche Bewuchs wurde 6-stufig, die übrigen Aspekte mit einer 3-stufigen Skala beurteilt.

Fig. 4.1.13: Appréciation de l'aspect extérieur de l'Aabach le 29.10.01. Le périphyton végétal a été apprécié sur une échelle à 6 degrés, les autres aspects sur une échelle à 3 degrés.



Abb. 4.1.14: Temperaturverlauf im Aabach vom August 2001 bis April 2002.

Fig. 4.1.14: Variation de la température dans l'Aabach entre août 2001 et avril 2002.

Beurteilung der Restwasserstrecke

Im Aabach wurde mit den untersuchten Parametern keine oder nur eine mässige Abweichung gegenüber der Referenz resp. den Sollwerten festgestellt. Eine starke Abweichung wurde einzig bei der qualitativen Erhaltung der Fischfauna festgestellt. Vom Artenspektrum der Fischfauna her beeinflussen 2 fehlende Fischarten in der Restwasserstrecke (Egli, Elritzen) die Beurteilung. Die quantitative Erhaltung der Fischfauna wird aufgrund der gegenüber der Referenzstrecke höheren Fischdichte und der ungefähr gleich grossen Nährtierbiomasse als nicht abweichend beurteilt.

Die Wasserableitung ist mit einem Umgehungsgerinne ausgestattet, wegen hohen Schwellen innerhalb der Restwasserstrecke ist aber das Kontinuum nicht gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge teilweise gewährleistet.

4.2 Aare Bern (BE)

Einleitende Angaben

Das Wasserkraftwerk in der Aare bei Bern wurde 1998 neukonzessioniert und zusätzlich mit einer Dotierturbine versehen (wichtige Kennwerte des Kraftwerkes siehe Tabelle 4.2.2). Die Restwasserstrecke erstreckt sich über 12 km und ist damit die längste der in dieser Untersuchung berücksichtigten Strecken (Abbildung 4.2.1). Bereits vor der Neukonzessionierung wurde 1989 die Dotationsmenge auf 12 m³/s (bei Niederwasser auf 10 m³/s) festgelegt. Diese Mengen entsprechen auch denjenigen der Neukonzession.

In der Mitte der Restwasserstrecke mündet heute der Auslauf (gereinigtes Abwasser) der ARA Worblental in die Aare. Diese Anlage (Einwohnergleichwert von ca. 200'000) führt der Aare grosse Stoffmengen zu und kann sie entsprechend belasten. Die Einleitbedingungen gemäss Gewässerschutzverordnung können mit der Anlage heute nicht eingehalten werden (Ryser & CSD 2000); ein Ausbau resp. eine Erweiterung der Anlage ist im Bau.

Die Aare unterhalb der Wasserrückgabe diente in unseren Untersuchungen als Referenzabschnitt. Teilweise wurden auch ältere Daten vor der Restwassererhöhung von 1989 als Vergleichsbasis herangezogen. Die Restwasserstrecke wurde an mehreren Stellen ober- und unterhalb der ARA Worblental untersucht; die Wasserqualität oberhalb der ARA dürfte sich nicht allzustark von derjenigen in der Referenz unterscheiden, während unterhalb der ARA ein bezüglich Wasserqualität anderes Gewässer vorliegt.

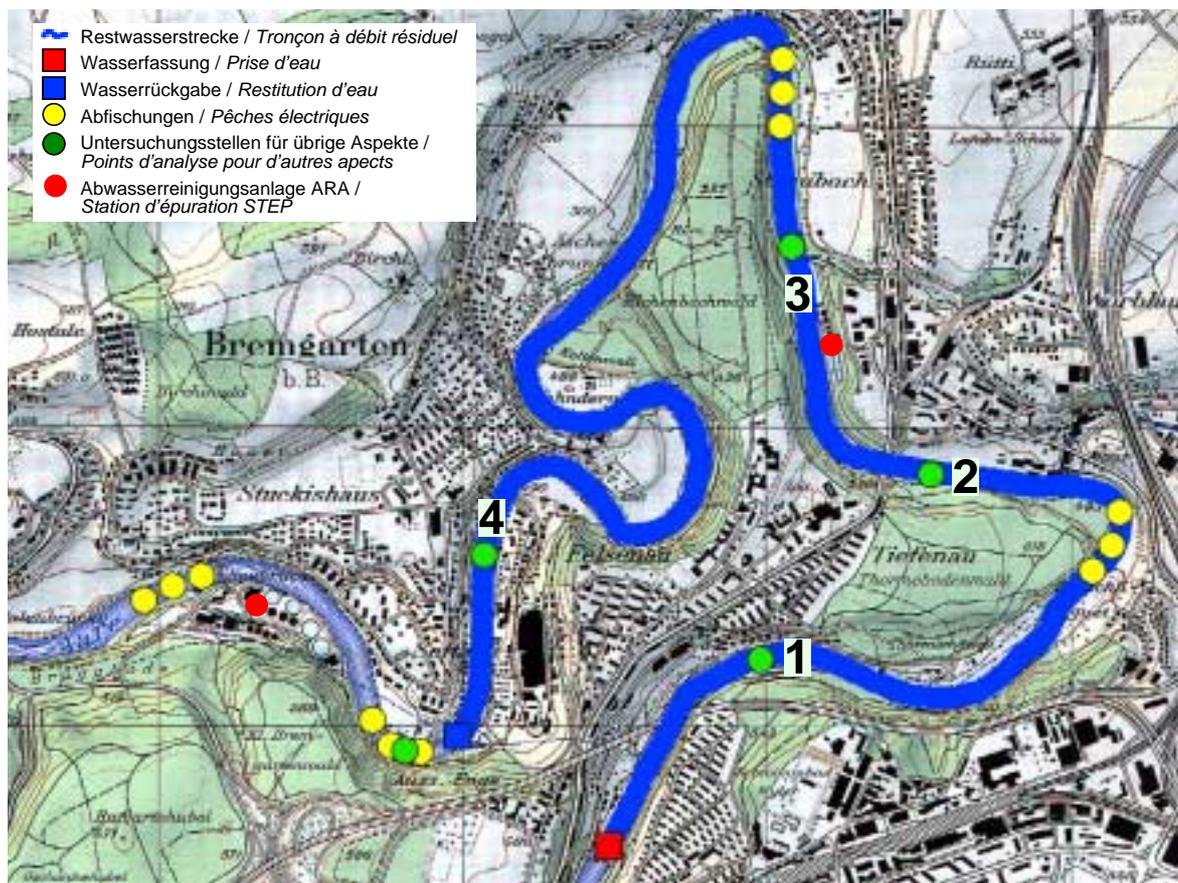


Abb. 4.2.1: Restwasserstrecke der Aare bei Bern mit den Untersuchungsstellen 1 bis 4 sowie der Referenzstelle und den vier Abfischungsstrecken. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Fig. 4.2.1: Tronçon à débit résiduel de l'Aar à Berne avec les points d'analyse 1 à 4, le site de référence et les quatre tronçons de pêche électrique. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA035367).

Kraftwerk	Felsenau
Standortkanton	BE
Standort Zentrale	Bern/Felsenau
Genutztes Gewässer	Aare
genutzte Gewässerstrecke [km]	12.0
Kote Maschinenhaus [m.ü.M.]	481
Fassung [m.ü.M.]	495
Rückgabe [m.ü.M.]	483
Fallhöhe [m]	13.8
Fischgewässer	Ja
Tage mit Überlauf	185
Abflussregime	Mischtyp
Q347 [l/s]	43'000
Leistung [MW]	10.12
Inbetriebnahme	1998
Dotierung gemäss Konzession [l/s]	10'000/12'000
angewandeter Artikel GSchG	31
Qmax [m ³ /s]	100
Gefälle [%]	1.2

Tab. 4.2.2.: Kennwerte für das Kraftwerk Felsenau und die Aare.

Tab. 4.2.2.: Caractéristiques de la centrale hydroélectrique de Felsenau et de l'Aar.

Biiddokumentation, Morphologie und Strukturen

Die folgende Fotoserie (Abb. 4.2.3–4.2.10) dokumentiert die Aare mit der Restwasserstrecke des KW Felsenau sowie die Referenzstrecke unterhalb der Wasserrückgabe. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurde das Landschaftsbild nicht weiter untersucht. Es zeigt sich aber, dass unter den minimalen Restwasserbedingungen das Flussbett zwar zu einem grossen Teil benetzt ist (geschätzte Deckung zwischen 60 und 100 %), aber der Böschungsfuss oft nicht erreicht wird und entsprechend Kiesbänke sichtbar werden; solche sind aber bei winterlichem Niederwasser auch in vergleichbaren naturnahen Referenzstrecken (Abb. 4.2.9) zu finden. Im UVB zur Konzessionserneuerung (Sigmaplan 1994) wurde entsprechend festgestellt, dass die maximal möglichen Auswirkungen der Restwassermengen auf die benetzten Breiten und entsprechend auf das Erscheinungsbild der Aare in vielen Abschnitten geringfügig bis mittel sein werden. In drei von neun untersuchten Strecken, die infolge Uferbestockung bzw. teils vom Ufer versetzter Wegführung eher schlecht einsehbar sind, wurden die Auswirkungen auf das Erscheinungsbild jedoch als mittel bis stark eingestuft.

Die Restwasserstrecke in der Aare bei Bern ist stellenweise mit Blockwurf befestigt, doch mehrheitlich morphologisch nur wenig beeinträchtigt. Das Substrat weist in allen untersuchten Strecken eine grosse Variabilität auf (Abb. 4.2.11 A). Im oberen Teil der Restwasserstrecke sind grobes Kies (2.5 – 6 cm) und Geröll (6 – 12 cm) dominierend (alle > 20%), unten 6 - 12 cm grosses Geröll (42%) vor Kies, Schlick und Sand. In der oberen Referenzstrecke dominieren eher feines und mittleres Substrat bis 12 cm Korngrösse, in der unteren verlagert sich das Gleichgewicht hin zu größerem Substrat (75% Grobkies, Geröll und Blöcke). Das Strömungsmuster ist in allen Strecken sehr ähnlich (Abb. 4.2.11 B), mit je mehr als 70% ruhiger Strömung (Run, Flussmitte). Aus der Strukturanalyse wird ersichtlich, dass bei den Strecken mit Blockwurf (Restwasser oben, Referenz unten) jeweils in der Restwasserstrecke ein höherer Anteil Blöcke aus dem Wasser ragen als bei der Referenz, in welcher die untergetauchten Blöcke vorherrschen (Abb. 4.2.11 C). Weiter fällt auf, dass die obere Referenzstrecke (sandiger Gleithang) mit Abstand am meisten Totholz aufweist. Hingegen ist im unteren Bereich der Restwasserstrecke die Konzentration an Wasserpflanzen und Moosen massiv erhöht.

Abgesehen von den harten Uferverbauungen sind Restwasser- und Referenzstrecke morphologisch vergleichbar. Die Restwasserstrecke wird deshalb als mässig abweichend klassiert.



Abb. 4.2.3: Wasserfassung in der Aare bei Bern für das Kraftwerk Felsenau.

Fig. 4.2.3: Prise d'eau sur l'Aar à Berne pour la centrale hydroélectrique de Felsenau.



Abb. 4.2.4: Restwasserstrecke der Aare Bern ca. 800 m unterhalb der Wasserfassung (Untersuchungsstelle 1).

Fig. 4.2.4: Tronçon à débit résiduel de l'Aar bernoise env. 800 m en aval de la prise d'eau (point d'analyse 1).



Abb. 4.2.5: Restwasserstrecke der Aare Bern ca. 3 km unterhalb der Wasserfassung (Untersuchungsstelle 2).

Fig. 4.2.5: Tronçon à débit résiduel de l'Aar bernoise env. 3 km en aval de la prise d'eau (point d'analyse 2).



Abb. 4.2.6: Restwasserstrecke der Aare Bern ca. 400 m unterhalb der ARA Worblental (Untersuchungsstelle 3).

Fig. 4.2.6: Tronçon à débit résiduel de l'Aar bernoise env. 400 m en aval de la STEP de Worblental (point d'analyse 3).



Abb. 4.2.7: Restwasserstrecke der Aare Bern beim Zehndermätteli ca. 2.8 km oberhalb der Wasserrückgabe.

Fig. 4.2.7: Tronçon à débit résiduel de l'Aar bernoise près du Zehndermätteli env. 2.8 km en amont de la restitution d'eau.



Abb. 4.2.8: Restwasserstrecke der Aare Bern ca. 600 m oberhalb der Wasserrückgabe bei Felsenau (Untersuchungsstelle 4).

Fig. 4.2.8: Tronçon à débit résiduel de l'Aar bernoise env. 600 m en amont de la restitution d'eau près de Felsenau (point d'analyse 4).



Abb. 4.2.9: Referenzabschnitt der Aare Bern ca. 250 m unterhalb der Wasserrückgabe bei Felsenau.

Fig. 4.2.9: Tronçon de référence de l'Aar bernoise env. 250 m en aval de la restitution d'eau près de Felsenau.



Abb. 4.2.10: Aare Bern ca. 1.3 km unterhalb der Wasserrückgabe (Abfischungsstrecke), kurz vor dem Einstaubereich des Wohlensees.

Fig. 4.2.10: L'Aar bernoise env. 1.3 km en aval de la restitution d'eau (tronçon de pêche électrique), peu avant la zone de retenue du Wohlensee.

Fischökologische Aspekte

Fischbestand

Da die qualitative Beurteilung des Fischbestandes in einem grösseren Gewässer aufgrund nur einer Abfischung im Uferbereich sehr schwierig ist, werden zusätzlich zur Abfischung vom 29.11.01 die Daten des aktuellen Verbreitungsatlas der Fische des Kantons Bern (Kirchhofer & Breitenstein 2000) beigezogen. Mit 21 Arten sind Restwasser- und Referenzstrecke sehr artenreich. Von besonderer Bedeutung ist eine der wenigen Nasenpopulationen in der Schweiz, welche vor allem die Restwasserstrecke besiedelt und sich dort auch fortpflanzt, allerdings in ständig abnehmender Zahl (Huber & Kirchhofer 1997 2001). Das vom Aussterben bedrohte Bachneunauge und der gefährdete Schneider wurden bei unseren Erhebungen in Restwasser- und Referenzstrecke gefangen (Abb. 4.2.12), letzterer in sehr grosser Zahl in der unteren Referenzstrecke. Aus den halbquantitativen Daten wird ersichtlich, dass innerhalb der Restwasserstrecke die untere Untersuchungsstrecke (unterhalb der Einmündung der ARA Worblental) rund einen Viertel weniger Fische aufweist, als die weiter oben liegende. Im Vergleich zur Referenzstrecke weist die Restwasserstrecke 75% weniger Fische auf, ohne Berücksichtigung des lokal in grosser Abundanz vorkommenden Schneiders (Breitenstein & Kirchhofer 2000) sind es noch 21 % weniger. In den Referenzstrecken wurden doppelt bis viermal so viele Äschenlarven vorgefunden wie in der Restwasserstrecke. Die Längenverteilung der Bachforellen zeigt, dass in der unteren Referenzstrecke der Anteil mit Längen < 15 cm deutlich grösser ist als in den andern drei Probeabschnitten (Anhang 6.4). Beim schnellen Wachstum der Bachforellen in der Aare kann wahrscheinlich auch ein Teil der kleineren Individuen in den Restwasserabschnitten als Jungfische des Jahres bezeichnet werden. Da auf der ganzen Länge Besatzmassnahmen mit Bachforellen durchgeführt werden, dürfen aus diesen Zahlen jedoch keine Rückschlüsse bezüglich natürlicher Fortpflanzung gezogen werden.

Die Nährtierbiomasse ist in der Restwasserstrecke unterhalb der ARA Worblental um 22% grösser als oberhalb (Anhang 6.3), in der Referenzstrecke aber deutlich niedriger, wobei allerdings die grossen Streuungen zu erwähnen sind.

Ein Abkommen mit den Kraftwerksbetreibern gewährleistet, dass die Fortpflanzung der stark gefährdeten Nase mit höheren Restwassermengen sichergestellt wird. Da die Restwasserstrecke reich strukturiert ist und längere naturnahe Abschnitte aufweist, kann die qualitative Erhaltung der Fischfauna als stark von der Referenz abweichend (es fehlen 4 Arten) betrachtet werden. Die Fortpflanzung der gefährdeten Äsche konnte in allen untersuchten Strecken indirekt nachgewiesen werden, in der Restwasserstrecke konnte im Vergleich zu anderen Aareabschnitten eine beträchtliche Zahl an Larven festgestellt werden, obschon diese in den Referenzstrecken höher ist.

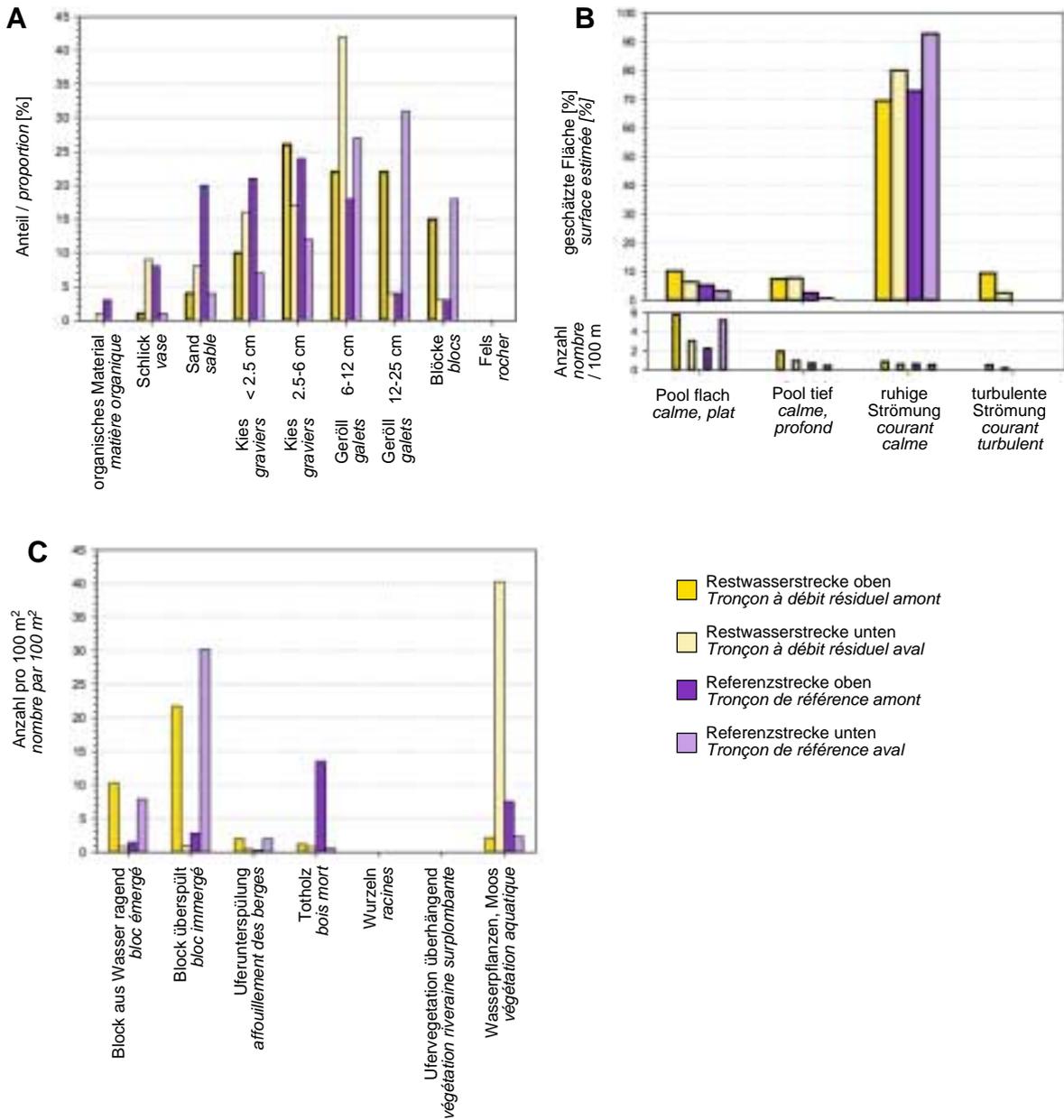


Abb. 4.2.11: Morphologie und Strukturen in der Referenz- und Restwasserstrecke der Aare Bern (Felsenau):

A = Substrattypen, B = Strömungsmuster, C = Strukturen.

Fig. 4.2.11: Morphologie et structures sur le tronçon de référence et sur le tronçon à débit résiduel de l'Aar bernois (Felsenau). A = types de substrat, B = types de courant, C = structures.

Die mageren Abfischungsergebnisse in der unteren Restwasserstrecke, die höhere Biomasse an Fischnährtieren und der massiv stärkere Aufwuchs lassen vermuten, dass die Verdünnung der eingeleiteten Abwässer aus der ARA Worblental zumindest bei niedriger Wasserführung ungenügend ist. Dies ergibt Einbussen bei der quantitativen Erhaltung der Fischfauna, die als stark abweichend beurteilt wird. Zu ergänzen bleibt, dass Fische sehr mobil sind und punktuelle Abfischungen immer eine räumliche und zeitliche Momentaufnahme darstellen; eine gewisse Varianz muss entsprechend mitberücksichtigt werden.

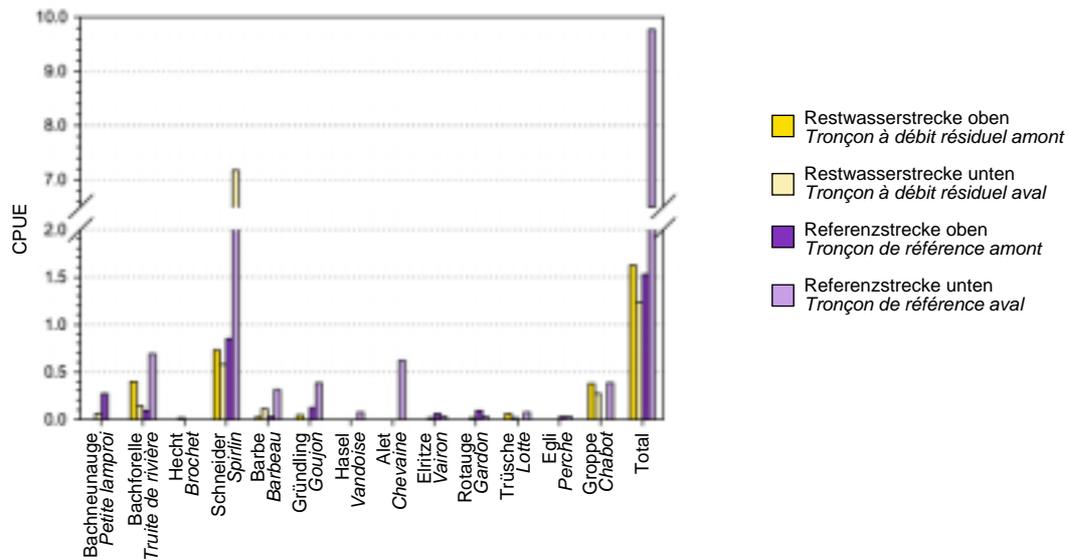


Abb. 4.2.12: Fischbestand in der Aare Bern am 29.11.01. CPUE = catch per unit effort.

Fig. 4.2.12: Population de poissons dans l'Aar bernoise le 29.11.01. CPUE = catch per unit effort.

Fischgängigkeit

Die Wasserfassung Engehalde und das Dotierkraftwerk sind linksufrig mit einem neuen Fischpass (vertical slot) ausgestattet. Dessen Funktionstüchtigkeit wird mit Videoaufzeichnungen überwacht. Die Erhebungen zeigten bisher, dass der Fischpass von den meisten vorhandenen Fischarten, insbesondere auch von der gefährdeten Äsche benutzt wird. Innerhalb der Restwasserstrecke befinden sich keine Wanderhindernisse, so dass die Fischgängigkeit vollumfänglich gewährleistet ist.

Wassertiefen

Die Wassertiefen im Talweg der Aare erreichen auch in der Restwasserstrecke Werte von durchgehend über 50 cm (Abbildung 4.2.13). Die freie Fischwanderung wird somit bezüglich Wassertiefen nicht beeinträchtigt.

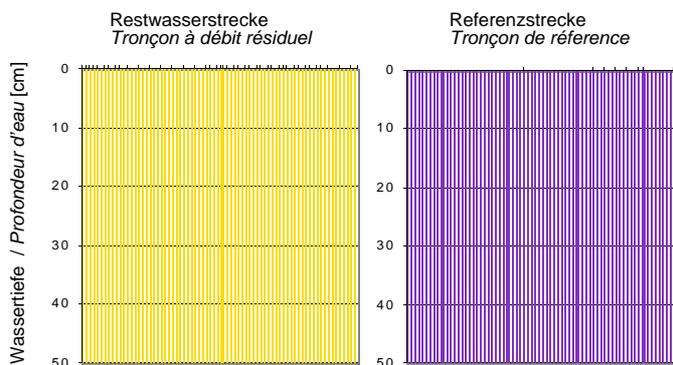


Abb. 4.2.13: Wassertiefen (Talweg) im Abstand von ca. 0.5 m in der Referenz- und Restwasserstrecke der Aare bei Bern.

Fig. 4.2.13: Profondeurs d'eau (thalweg) tous les 0.5 m env. sur le tronçon de référence et sur le tronçon à débit résiduel de l'Aar près de Berne.

Kleintiere des Gewässerbodens (Makrozoobenthos)

Das Makrozoobenthos wurde in der Aare am 12.3.02 unterhalb der Wasserrückgabe (Referenz) und an vier Stellen der Restwasserstrecke untersucht (Untersuchungsstellen siehe Abb. 4.2.1). Die Individuendichten der häufigsten Arten resp. Artengruppen sind in Abbildung 4.2.14 dargestellt (vollständige Artenliste, Anhang 6.3). Die häufigsten Arten(-gruppen) mit mindestens 1% Anteil in der Referenz kommen in der Restwasserstrecke sowohl ober- wie unterhalb der Abwassereinleitung aus der ARA Worblental vor; das Überleben der häufigsten Tiere ist damit in der Restwasserstrecke gewährleistet. Von den 50 in der Referenz gefundenen Arten(-gruppen) sind 43 auch in der Restwasserstrecke vertreten. 11 Arten(-gruppen) fanden sich ausschliesslich in der Restwasserstrecke. Die einzige gemäss roter Liste (BUWAL 1994) vorkommende Art (*Potamanthus luteus*) wurde sowohl in der Referenz wie ober- und unterhalb der ARA gefunden. Eine weitere Rote-Liste-Art (*Torleya major*), die 1993 in der Restwasserstrecke vereinzelt gefunden wurde (SigmaPlan 1994) fehlte in allen unseren Proben vollständig.

Bezüglich quantitativer Zusammensetzung der Benthosgemeinschaft konnten anhand des U-Testes z.T. deutliche Unterschiede zur Referenzstrecke festgestellt werden:

- Die zu den Zweiflüglern gehörenden Zuckmücken (Chironomidae) und Kriebelmücken (Simuliidae) kommen in der Restwasserstrecke ober- und unterhalb der ARA massenhaft und signifikant häufiger vor; mit geschätzten Individuenzahlen von über 20'000 Ind./m² dominieren sie die Artengemeinschaft. In den beiden Restwasserabschnitten beträgt ihr prozentualer Anteil an der Untersuchungsstelle rund 60 % (Abb. 4.2.15). Das Massenvorkommen tritt unabhängig von der Abwassereinleitung aus der ARA ober- wie un-

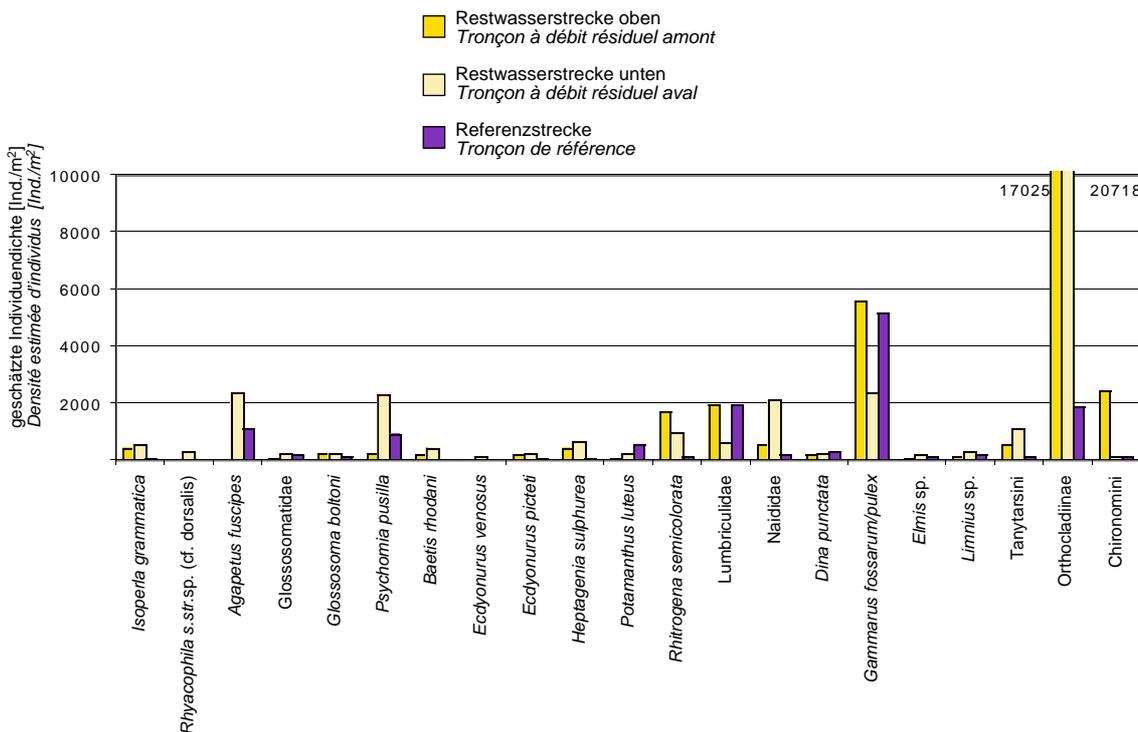


Abb. 4.2.14: Zusammensetzung und Individuendichte der wichtigsten Vertreter des Makrozoobenthos (jeweils Mittelwerte aus 4 bis 5 Parallelproben) in der Aare bei Bern Felsenau am 12.3.02 in einem Referenzabschnitt (300 m unterhalb Wasserrückgabe) und in zwei Abschnitten der Restwasserstrecke ober- (Mittel aus Strecke 1 und 2) und unterhalb der ARA Worblental (Mittel aus Strecke 3 und 4).

Fig. 4.2.14: Composition et densité des individus des principaux représentants du macrozoobenthos (moyennes de 4 ou 5 échantillons parallèles) dans l'Aar près de Berne Felsenau le 12.3.02 sur un tronçon de référence (300 m en aval de la restitution d'eau) et sur deux secteurs du tronçon à débit résiduel en amont (moyenne des tronçons 1 et 2) et en aval de la STEP de Worblental (moyenne des tronçons 3 et 4).

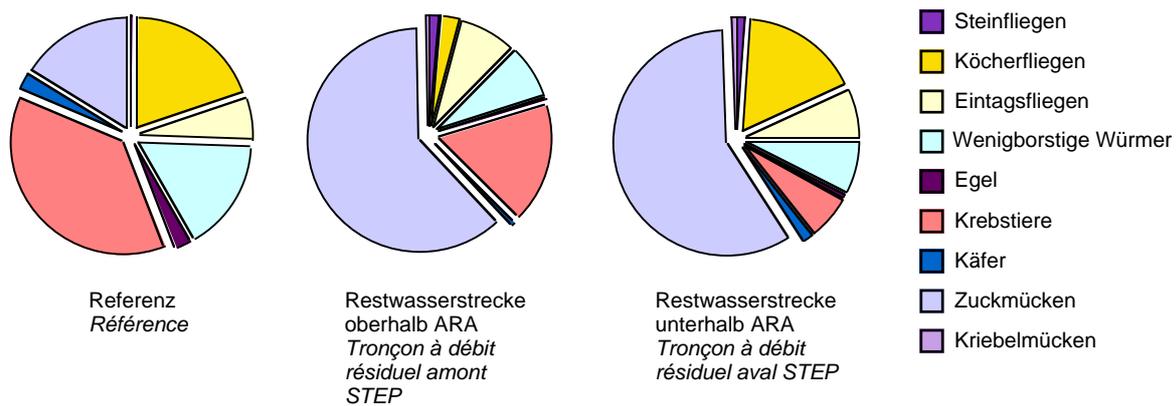


Abb. 4.2.15: Prozentuale Zusammensetzung der Grossgruppen des Makrozoobenthos in der Referenz- und in zwei Abschnitten der Restwasserstrecke der Aare bei Bern Felsenau am 13.3.02.

Fig. 4.2.15: Composition en pour-cent des grands groupes du macrozoobenthos sur le tronçon de référence et sur deux secteurs du tronçon à débit résiduel de l'Aar à Berne Felsenau le 13.3.02.

terhalb der Einleitungsstelle in Erscheinung und scheint damit eher durch die Restwasserführung bedingt zu sein.

- Verschiedene Köcherfliegenarten (*Agapetus fuscipes*, Glossosomatidae, *Psychomyia pusilla*) sind in der Restwasserstrecke oberhalb der ARA signifikant seltener als in der Referenz.
- Die Eintagsfliege *Potamanthus luteus* (gefährdete Art) ist in der Restwasserstrecke signifikant seltener.
- Bei den Würmern ist der Einfluss der Kläranlage deutlich festzustellen: unterhalb der Einleitungsstelle sind die Lumbriculidae signifikant seltener, während die Naididae signifikant zunehmen.
- Auch die Krebstiere (*Gammarus fossarum/pulex*) erleiden unterhalb der ARA signifikante Einbussen in der Besiedlungsdichte.
- Die strömungsabhängigen Arten der Heptageniidae (*Ecdyonurus* sp., *Heptagenia* sp., *Rhitrogena* sp.) sind in der Restwasserstrecke mindestens so häufig vertreten wie in der Referenz. *Rhitrogena semicolorata* ist in der Restwasserstrecke ober- und unterhalb der ARA sogar signifikant häufiger.

Bei den Dominanz- und Häufigkeitsverhältnissen des Makrozoobenthos wurden deutliche Unterschiede zwischen der Referenz und der Restwasserstrecke und damit eine Beeinträchtigung gegenüber der Referenz festgestellt. Bezüglich strömungsabhängiger Benthostiere (Heptageniidae) wurden jedoch keine negativen Veränderungen gegenüber der Referenz festgestellt. Das Makrozoobenthos gilt in der Restwasserstrecke der Aare insgesamt (in qualitativer und quantitativer Hinsicht) als mässig beeinträchtigt.

Wasserqualität und Äusserer Aspekt

Beim Äusseren Aspekt (Abb. 4.2.16) traten in der Restwasserstrecke der Aare deutliche Unterschiede zum Referenzabschnitt unterhalb der Wasserrückgabe zu Tage. Die Schlamm- und Eisensulfidbildung war an allen vier untersuchten Stellen der Restwasserstrecke erhöht. Teilweise stärker waren auch Abwassergeruch und die Schaumbildung, v.a. unterhalb der Abwassereinleitung (Stelle 3 und 4) aus der ARA Worblental. Bei der obersten Untersuchungsstelle in der Restwasserstrecke (Stelle 1) fanden sich viele Feststoffe aus häuslichen Quellen (z.B. WC-Papier, Binden usw.); diese Feststoffe stammen wahrscheinlich aus dem Regenüberlauf, der sich rund 50 m oberhalb der Untersuchungsstelle rechtsufrig der Aare befindet. Der pflanzliche Bewuchs (v.a. fädige Algen von *Chladophora* sp. und *Vaucheria* sp.) war überall in der Restwasserstrecke

erhöht; die grössten Bewuchsdichten wurden unterhalb der Kläranlage Worblental (Stellen 3 und 4) festgestellt. In der Restwasserstrecke wurde zwar kein heterotropher Bewuchs beobachtet, doch weisen andere Untersuchungen der letzten Jahre darauf hin, dass entsprechender z.T. beträchtlicher Bewuchs unterhalb der ARA Worblental beobachtet werden kann (Ryser & CSD 2000; Von Känel 1995). In der Restwasserstrecke können die gesetzlichen Anforderungen heute beim Äusseren Aspekt insbesondere unterhalb der ARA Worblental nicht eingehalten werden und auch im Vergleich zur Referenz sind deutliche Veränderungen festzustellen.

In der Mitte der Restwasserstrecke werden heute die gereinigten Abwässer aus der Kläranlage Worblental eingeleitet. Diese Anlage kann heute die Einleitbedingungen gemäss Gewässerschutzverordnung nicht einhalten. Die vom Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern zur Verfügung gestellten Daten zur Wasserqualität der Aare zeigen beim pH und den Sauerstoffverhältnissen keine grossen Unterschiede zwischen der Referenz (Bern Dalmazibrücke) und dem Ende der Restwasserstrecke (Felsenaubrücke). Die DOC-Werte (Abb. 4.2.17) sind im Restwasser hingegen um rund 0.5 bis 1 mg C/l erhöht. Auch die Ammoniumkonzentrationen weisen gegenüber der Referenz v.a. im Winterhalbjahr deutlich erhöhte Werte auf: die gesetzliche Anforderung von 0.2 resp. 0.4 mg N/l konnte meistens, aber nicht immer eingehalten werden. Auch Berechnungen, die im Rahmen der UV-Untersuchungen zur Erweiterung der ARA Worblental durchgeführt wurden (Ryser & CSD 2000), ergaben für die Ammoniumkonzentrationen teilweise Werte über den gesetzlichen Anforderungen. Auch die Nitritwerte waren im Restwasser erhöht; die Toxizitätsgrenze von 50 µg N/l – gem. Angaben der EAWAG (1990) – wurde aber nur vereinzelt knapp erreicht. Die z.T. deutlich erhöhten Phosphorkonzentrationen im Restwasser dürften für den starken Algenbewuchs mitverantwortlich sein. Die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Wasserqualität wurden am Ende der Restwasserstrecke meist, aber nicht immer eingehalten. Es ist davon auszugehen, dass auf einem längeren Abschnitt unterhalb der ARA Worblental (vor vollständiger Einmischung ins Aarewasser) z.T. deutlich höhere Stoffkonzentrationen, als die am Ende der Restwasserstrecke gemessenen Werte, auftreten dürften. Da die Kläranlage die gesetzlichen Einleitbedingungen nicht einzuhalten vermag, können die Probleme in der Restwasserstrecke nur teilweise der Restwasserführung angelastet werden.

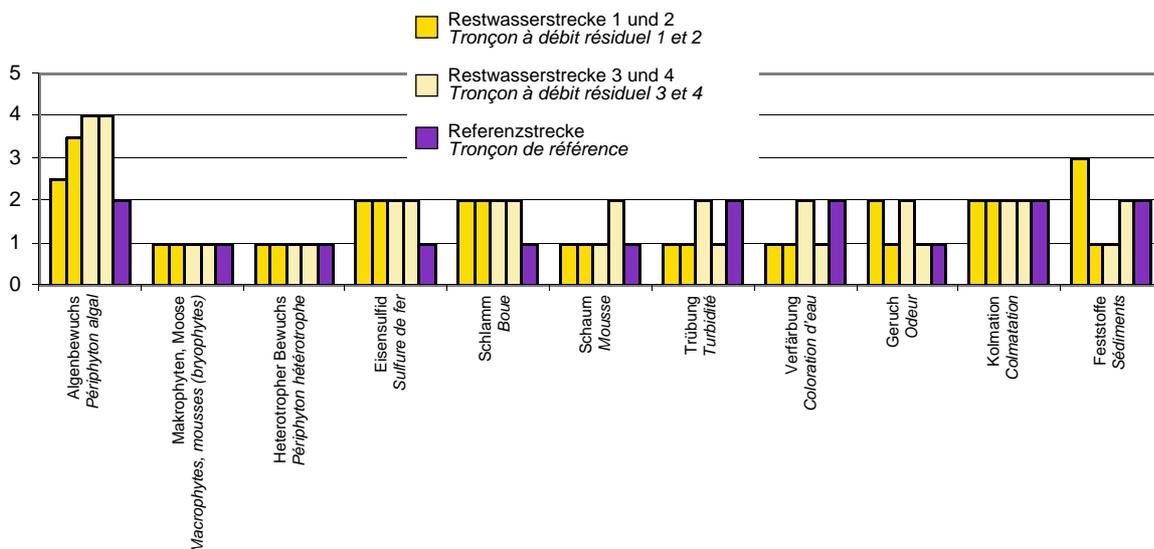


Abb. 4.2.16: Beurteilung des Äusseren Aspektes in der Aare bei Bern Felsenau am 12.03.02. Der pflanzliche Bewuchs wurde 6-stufig, die übrigen Aspekte mit einer 3-stufigen Skala beurteilt. Die Lage der 4 Restwasserstrecken geht aus Abbildung 4.2.1 hervor.

Fig. 4.2.16: Appréciation de l'aspect extérieur de l'Aar à Berne Felsenau le 12.3.02. Le périphyton végétal a été apprécié sur une échelle à 6 degrés, les autres aspects sur une échelle à 3 degrés. Les 4 tronçons à débits résiduels sont localisés sur la figure 4.2.1.

Zwischen 31. Juli 2001 und 30. April 2002 wurden die Temperaturen im untersten Abschnitt der Restwasserstrecke, ca. 100 m oberhalb der Wasserrückgabe, gemessen (Abb. 4.2.18). Die höchsten Werte wurden Ende August mit 21.8 °C und die tiefsten anfangs Januar mit 2.7 °C gemessen, bei maximalen Tageschwankungen von 4.2 °C. Gegenüber den Temperaturmessungen an der Messstelle Bern-Schönau der Landeshydrologie und –geologie, die rund 4.5 km oberhalb der Wasserfassung und ca. 13 km oberhalb der Messstelle für die vorliegende Untersuchung liegt, zeigen unsere Werte eine deutliche Abkühlung auf der Restwasserstrecke im Winter (November – Januar, mit maximaler Differenz der Tagesmittel von –1.9 °C im Dezember), bzw. eine Aufwärmung im Frühling (Februar – April, mit maximaler Differenz der Tagesmittel von + 1.5 °C im April). Im Sommer und Herbst werden nur unwesentliche Temperaturdifferenzen (< 1 °C) festgestellt.

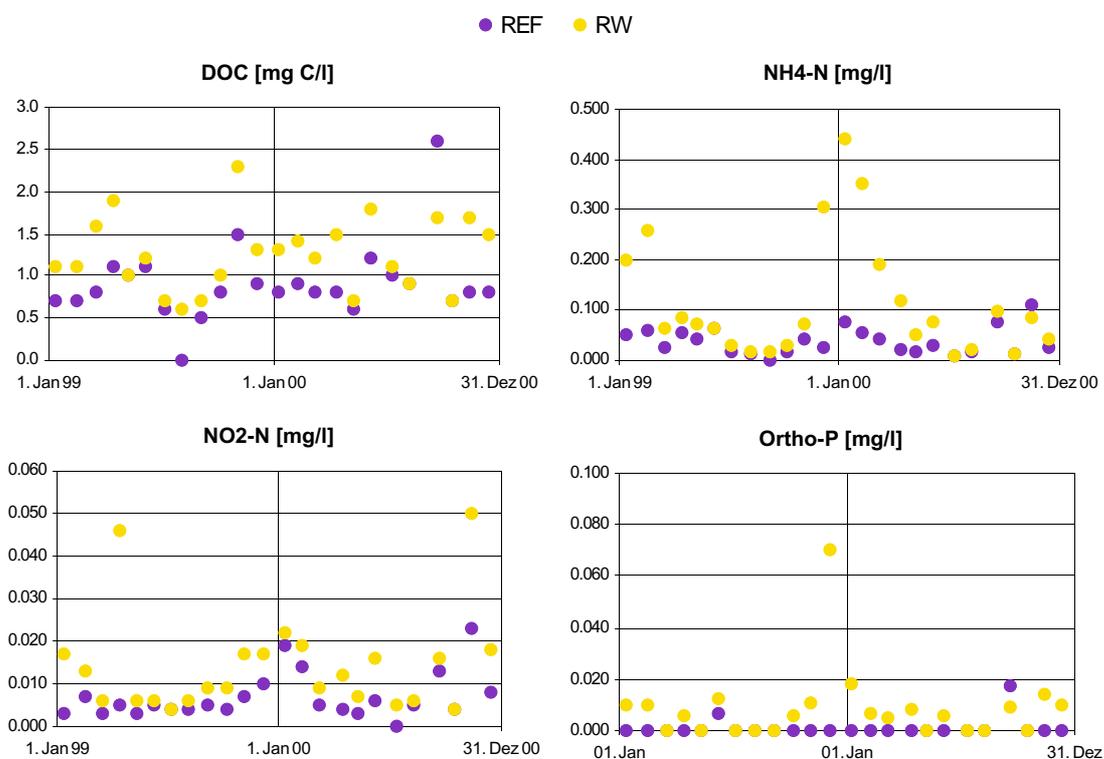


Abb. 4.2.17: Konzentrationen ausgewählter Stoffe in der Restwasserstrecke der Aare bei Bern Felsenau sowie an der Referenzstelle in der Aare bei der Dalmazibrücke (Bern). Datenquelle: Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern.

Fig. 4.2.17: Concentrations des substances choisies dans le tronçon à débit résiduel de l'Aar à Berne Felsenau, ainsi qu'au poste de référence dans l'Aar au Dalmazibrücke (Berne). Origine des données: Laboratoire de protection du sol et des cours d'eau du canton de Berne.



Abb. 4.2.18: Temperaturverlauf in der Aare bei Bern vom August 2001 bis Mai 2002.

Fig. 4.2.18: Variation de la température dans l'Aar d'août 2001 à mai 2002.

Kolmation

Die Verhältnisse bezüglich Kolmation wurden vom Institut F.A. Forel in Versoix untersucht. Es folgt hier eine kurze Zusammenfassung:

Die Restwasserstrecke Felsenau ist à priori ein Exfiltrationsgebiet. Infiltration erfolgt lokal in randliche Schotterbänke. Die Flussdynamik erlaubt keine permanente Kolmation des Flussbettes. Allfällige lokale Kolmationserscheinungen während den Wintermonaten wären aufgrund der Flussdynamik als temporär zu betrachten. Als Feinsedimente finden sich in geschützten Uferbereichen Sandablagerungen. Feinere Fraktionen werden ausgetragen.

Beurteilung der Restwasserstrecke

Trotz der heutigen Restwassersituation und der Einleitung von gereinigtem Abwasser aus der ARA Worblental zeigten sich bei verschiedenen der untersuchten Parameter (Naturverlaichung, Fischgängigkeit, innere Kolmation) höchstens geringe Abweichung von der Referenz. Bei verschiedenen Aspekten konnte aber eine mässige (Morphologie/Strukturen, Makrozoobenthos, Wasserqualität, Sommertemperaturen) bis starke Abweichung (qualitative Erhaltung Fische und seltene Arten, quant. Erhaltung Fischfauna, Äusserer Aspekt) festgestellt werden.

Die mageren Abfischungsergebnisse in der unteren Restwasserstrecke, die höhere Biomasse an Fischnährtieren und der massiv stärkere Aufwuchs lassen vermuten, dass die Verdünnung der eingeleiteten Abwässer aus der ARA Worblental zumindest bei niedriger Wasserführung ungenügend ist und neben der Restwasserführung für diese Situation mitverantwortlich ist.

Beim Äusseren Aspekt fielen vor allem das erhöhte Vorkommen von Feststoffen aus häuslichen Abwässern, die vermehrte Schlamm- und Eisensulfidbildung sowie der flächigere Algenbewuchs unterhalb der ARA Worblental ins Gewicht.

Bei der Wasserfassung gewährleistet ein Fischpass die Durchgängigkeit, innerhalb der Restwasserstrecke befinden sich keine Wanderhindernisse. Das Gewässerkontinuum ist gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge insgesamt nicht gewährleistet, wobei die Ursache dafür nicht nur in der Restwassermenge, sondern auch in der Kläranlage Worblental, welche die gesetzlichen Einleitbedingungen nicht erfüllt, zu suchen ist.

4.3 Aare Interlaken (BE)

Einleitende Angaben

Die Aare zwischen Briener- und Thunersee ist heute sehr stark durch anthropogene Eingriffe geprägt und kanalisiert. Verschiedene Wehre (Staatsschleuse, Mühlewehr) trennen die Aare in Interlaken in mehrere Arme auf. Unterhalb von Interlaken besteht zudem heute ein Schifffahrtskanal zum Thunersee. Das Kraftwerk Interlaken fasst das Wasser aus der grossen Aare und gibt dieses nach der hydroelektrischen Nutzung in den Schifffahrtskanal weiter; dadurch wird der Schifffahrtskanal mit Wasser gespeist und die Aare bis zum Thunersee zur Restwasserstrecke (siehe Abbildung 4.3.1). Beim Wehr des Kraftwerkes Interlaken wurde ein Dotierkraftwerk und ein Fischpass erstellt. In Tabelle 4.3.2 sind die wichtigsten Kennwerte des Kraftwerkes und der Aare bei Interlaken zusammengestellt.

Über die Auswirkungen des Kraftwerkbetriebes auf die Umwelt wurde ein Umweltbericht erstellt (Sigmaplan 1991). Die konzessionierten minimalen Restwassermengen beruhen auf den Vorschlägen dieses Berichts (v.a. landschaftliche und fischereiliche Gründe) und wurden jahreszeitlich wie folgt abgestuft:

November bis Februar	4 m ³ /s
März, Oktober	6 m ³ /s
April, Mai, September	10 m ³ /s
Juni bis August	15 m ³ /s

Die Aare verläuft durch ein ausgedehntes Grundwassergebiet, wobei zumindest an einer Stelle eine enge hydraulische Beziehung zwischen Aarestand und Grundwasserstand festgestellt wurde. Die Aare bei Interlaken wurde in die hier vorliegende Wirkungskontrolle einbezogen, da sie eines der wenigen Gewässer ist, bei dem Grundlagen zu den Grundwasserverhältnissen vorhanden sind, die eine Wirkungskontrolle bezüglich Grundwasser zulassen.

Die starke anthropogene Beeinflussung der Aare erschwerte die Auswahl einer Referenzstrecke. Vor allem fischereiliche Gründe sprachen für den Schifffahrtskanal im oberen, vom Thunersee nicht eingestauten Bereich als Referenzgewässer. Für die Fische aus dem Thunersee sind sowohl Schifffahrtskanal wie Restwasserstrecke frei zugänglich. Der Schifffahrtskanal ist deutlich tiefer als die Restwasserstrecke und weist geringere Strömungen auf.

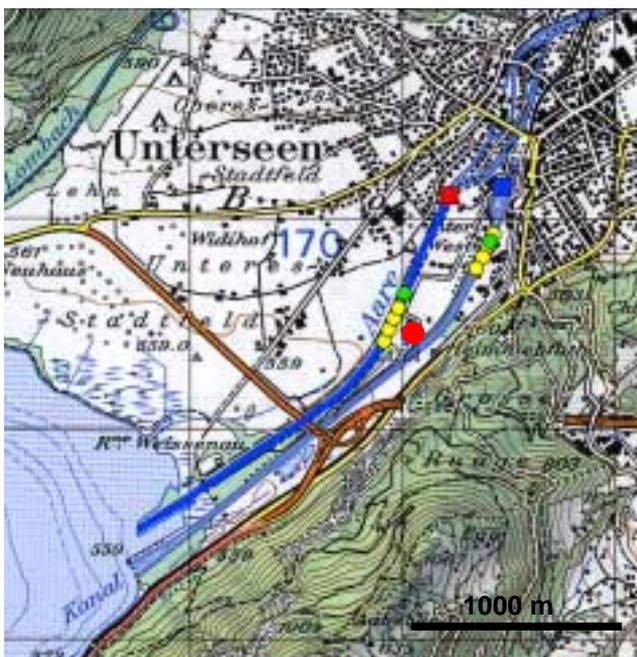


Abb. 4.3.1: Restwasserstrecke in der Aare bei Interlaken mit den Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Fig. 4.3.1: Tronçon à débit résiduel de l'Aar à Interlaken avec les points d'analyse. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA035367).

- Restwasserstrecke / Tronçon à débit résiduel
- Wasserfassung / Prise d'eau
- Wasserrückgabe / Restitution d'eau
- Abfischungen / Pêches électriques
- Untersuchungsstellen für übrige Aspekte / Points d'analyse pour d'autres aspects
- Abwasserreinigungsanlage ARA / Station d'épuration STEP

Kraftwerk	Interlaken
Standortkanton	BE
Standort Zentrale	Interlaken
Genutztes Gewässer	Kleine/Grosse Aare
genutzte Gewässerstrecke [km]	5.5
Kote Maschinenhaus [m.ü.M.]	563
Fassung [m.ü.M.]	561
Rückgabe [m.ü.M.]	558
Fallhöhe [m]	3.55
Fischgewässer	Ja
Tage mit Überlauf	240
Abflussregime	Mischtyp
Q347 [l/s]	19'200
Leistung [MW]	2.45
Inbetriebnahme	1996
Dotierung gemäss Konzession [l/s]	4'000-15'000
angewendeter Artikel GSchG	33
Qmax [m ³ s]	30/15
Gefälle [‰]	0.6
EZG [km ²]	124

Tab. 4.3.2.: Kennwerte für das Kraftwerk Interlaken und die Aare.

Tab. 4.3.2.: Caractéristiques de la centrale hydroélectrique d'Interlaken et de l'Aar.

Am 11.3.02 wurde die Abflussmenge in der Restwasserstrecke der Aare mittels magnetisch-induktivem Messflügel bestimmt. Zu diesem Zeitpunkt herrschte in der Aare Niederwasser ohne Überlauf am Wehr. Die konzessionierte Restwassermenge für den März von 6 m³/s wurde mit den gemessenen 8.0 m³/s eingehalten.

Bilddokumentation, Morphologie und Strukturen

In den Abbildungen 4.3.3–4.3.8 ist die Aare bei Interlaken mit der Restwasserstrecke des Kraftwerkes Interlaken dokumentiert. Die Aufnahmen stammen vom 11.3.02 bei einer Wasserführung in der Restwasserstrecke von 8 m³/s. Bei dieser Abflussmenge ist das Restwassergerinne – es ist auf seiner ganzen Länge ohne Breitenvariation mit Blockwurf befestigt – fast durchgehend bis an den Böschungsfuss benetzt (Breite des Gerinnes ca. 40 m). Bei der niedrigsten Restwassermenge von 4 m³/s (November bis Februar) fallen zwar an verschiedenen Stellen Kiesflächen trocken, die benetzte Breite beträgt aber auch unter diesen Minimalabflüssen gemäss älteren Dotierversuchen immer mindestens 20 bis 30 m (Sigmaplan 1991).

Das ganze Fliessgewässersystem zwischen Briener- und Thunersee wurde durch massive bauliche Eingriffe (Korrektion, Wasserkraftnutzung, Abflussregulierung) stark beeinflusst. Das Ufer des untersuchten Abschnittes in der Restwasserstrecke ist durchgehend mit Blöcken befestigt, das Sohlensubstrat jedoch natürlich belassen. In der Referenzstrecke im künstlichen Schifffahrtskanal sind ebenfalls beide Ufer durchgehend mit Blöcken befestigt. Das Substrat der Restwasserstrecke weist eine grosse Diversität auf und wird von grobem Kies (2.5-6 cm) und Geröll von 6-12 cm Durchmesser dominiert. Da diese Sohlenstruktur in der Referenzstrecke aufgrund der grossen Tiefe nicht über die ganze Breite beurteilt werden konnte, wurden die im Zusammenhang mit den Benthos-Beprobungen gemachten Unterwasservideo-Aufzeichnungen zu Hilfe genommen. Deren Analyse zeigte, dass etwa die Hälfte der Sohle mit einer schlammigen Deckschicht versehen ist. Die schlammfreien Stellen wiesen Kies und Geröll zu gleichen Teilen auf (je 15%), Blöcke (20%) befanden sich entlang des Uferbereiches (Abb. 4.3.9 A). Gleich monoton wie die Morphologie ist das Strömungsspektrum in der Referenzstrecke: geprägt durch einen einzigen grossen Run, mit wenigen flachen Pools im Uferbereich (Abb. 4.3.9 B). Die Restwasserstrecke hingegen weist zusätzlich zum Run einen grösseren Anteil tieferer Pools auf. Die Diversität der Strukturen ist in beiden Strecken sehr klein, infolge der vielen Blöcke auf der Sohle, ist der Anteil der untergetauchten Blöcke im Schifffahrtskanal markant höher (Abb. 4.3.9 C). Auffällig ist der grosse Anteil an Totholz, der eine wichtige strukturelle Aufwertung für die Restwasserstrecke bedeutet.

Verglichen mit dem morphologisch stark beeinträchtigten Schifffahrtskanal schneidet die Restwasserstrecke weit besser ab. Die lockere Sohle in der Restwasserstrecke ist bei genügend grosser Wasserführung ein ideales Laichsubstrat für Bach- und Seeforellen sowie für Äschen und andere Kieslaicher.



Abb. 4.3.3: Aare in Interlaken oberhalb der Wasserentnahme durch das KW Interlaken (Pfeil). Das Stauwehr befindet sich ca. 200 m flussabwärts. Q ca. $21 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fig. 4.3.3: L'Aar à Interlaken en amont du prélèvement d'eau par la centrale hydroélectrique d'Interlaken (flèche). Le barrage se trouve env. 200 m en aval. Q env. $21 \text{ m}^3/\text{s}$.



Abb. 4.3.5: Restwasserstrecke der Aare unmittelbar unterhalb des Wehrs. $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fig. 4.3.5: Tronçon à débit résiduel de l'Aar immédiatement en aval de la retenue. $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$.



Abb. 4.3.7: Rückstaubereich der Restwasserstrecke kurz vor der Mündung in den Thunersee. $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fig. 4.3.7: Secteur de retenue du tronçon à débit résiduel peu avant l'embouchure dans le lac de Thoune. $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$.



Abb. 4.3.4: Wehranlage mit Dotierkraftwerk (Mitte links) und Fischtreppe (hinter Dotierkraftwerk; nicht sichtbar) an der Aare in Interlaken.

Fig. 4.3.4: Ouvrage de retenue avec centrale hydroélectrique à dotation (au milieu à gauche) et échelle à poissons (derrière la centrale, non visible) sur l'Aar à Interlaken.



Abb. 4.3.6: Restwasserstrecke im mittleren Abschnitt (Untersuchungsabschnitt). $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fig. 4.3.6: Milieu du tronçon à débit résiduel (secteur d'étude). $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$.



Abb. 4.3.8: Schifffahrtskanal mit Referenzstrecke ca. 200 m unterhalb der Einleitung des Betriebswassers aus dem Kraftwerk Interlaken (Q ca. $13 \text{ m}^3/\text{s}$).

Fig. 4.3.8: Canal navigable avec tronçon de référence env. 200 m en aval du déversement de l'eau issue de la centrale hydroélectrique d'Interlaken (Q env. $13 \text{ m}^3/\text{s}$).

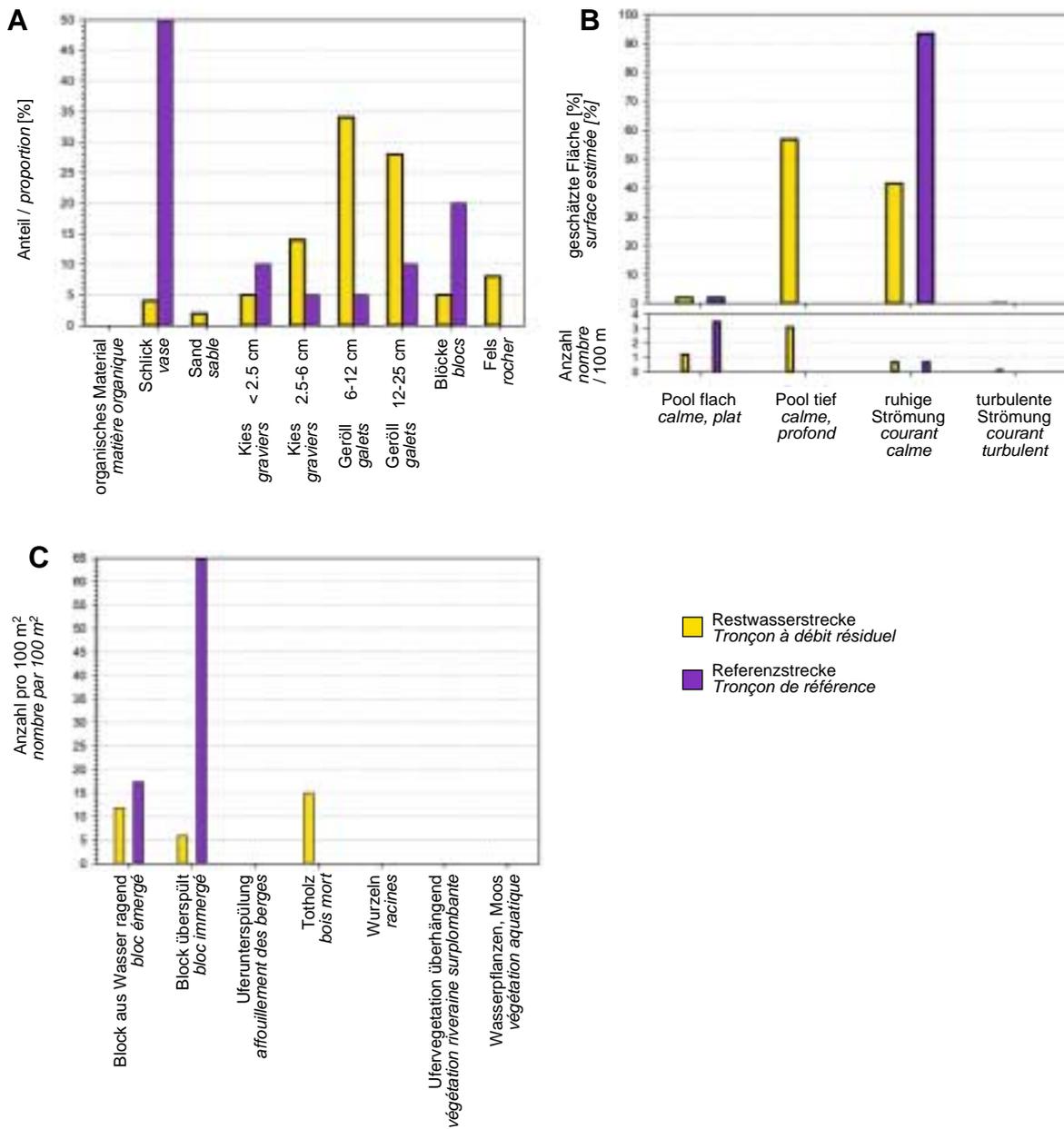


Abb. 4.3.9: Morphologie und Strukturen in der Referenz- und Restwasserstrecke der Aare bei Interlaken: A = Substrattypen, B = Strömungsmuster, C = Strukturen.

Fig. 4.3.9: Morphologie et structures sur le tronçon de référence et sur le tronçon à débit résiduel de l'Aare près d'Interlaken. A = types de substrat, B = types de courant, C = structures.

Fischökologische Aspekte

Fischbestand

Da die qualitative Beurteilung des Fischbestandes in einem grösseren Gewässer aufgrund nur einer Abfischung im Uferbereich sehr schwierig ist, werden zusätzlich zu unseren Abfischungen vom 17.1.02 die Daten des aktuellen Verbreitungsatlas des Kantons Bern (Kirchhofer & Breitenstein 2000) beigezogen. Gestützt auf diese Daten leben 15 Fischarten in der Restwasserstrecke, 14 im Schifffahrtskanal. Ein quantitativer Vergleich der im Uferbereich lebenden Arten ist mit den von uns erhobenen Daten jedoch zulässig und zeigt, dass die Fischdichte in der Restwasserstrecke nur knapp 60 % derjenigen in der Referenzstrecke beträgt (Abb. 4.3.10). In letzterer wurden deutlich mehr Egli, in der Restwasserstrecke dagegen mehr Groppen und Bachforellen gefangen. Larvenkartierungen im Frühling wiesen indirekt die natürliche Fortpflanzung der Äschen und Bachforellen in der Restwasserstrecke nach. Einige wenige Äschenlarven (6% der im Restwasser festgestellten Anzahl) wurden auch in der Referenzstrecke gefunden. Aufgrund dieser kleinen Menge ist jedoch unklar, ob diese aus Laich im Schifffahrtskanal stammen oder aus flussaufwärts liegenden Bereichen eingeschwemmt wurden. Aus den Daten zur Längenverteilung der Bachforellen lässt sich wegen der geringen Anzahl keine Aussage machen (Daten siehe Anhang 6.4).

Die Nährtierbiomasse ist in der Restwasserstrecke mehr als doppelt so hoch wie in der Referenzstrecke. Da nicht in beiden Abschnitten dieselbe Probenahmemethode angewendet werden konnte (siehe folgendes Kapitel), ist dieser Vergleich nur beschränkt aussagekräftig. Wir beurteilen die qualitative Erhaltung der Fischfauna als sichergestellt, die quantitative Erhaltung der Fischfauna aufgrund dieser Resultate als mässig abweichend.

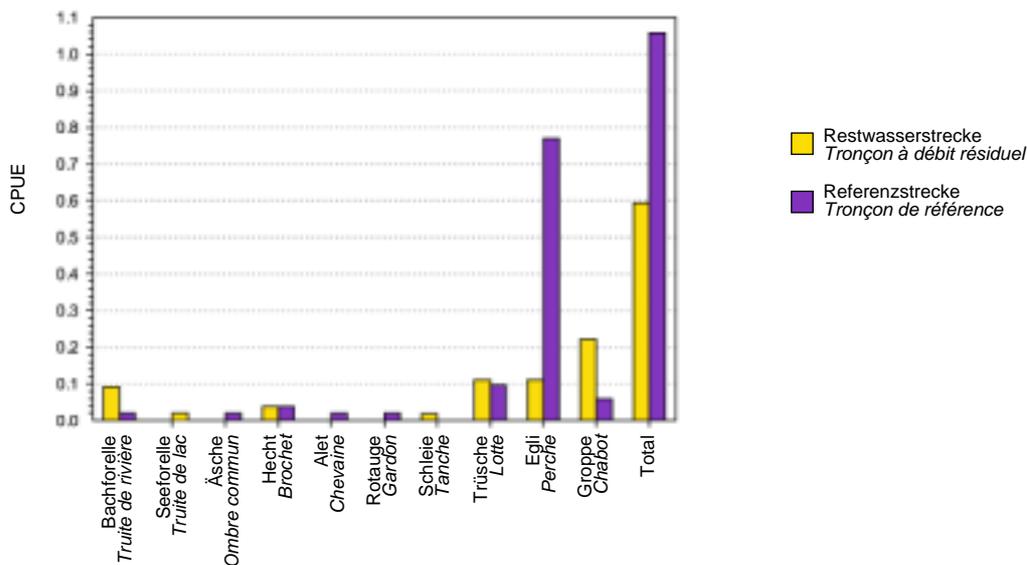


Abb. 4.3.10: Fischbestand in der Aare Interlaken. Erhebungen vom 17.1.02 im Uferbereich. CPUE = catch per unit effort.
Fig. 4.3.10: Population de poissons dans le secteur de rives de l'Aar près d'Interlaken le 17.1.02. CPUE = catch per unit effort.

Fischgängigkeit

Die Fassung des Kraftwerkes Interlaken ist mit einem Fischpass neuerer Bauart (vertical slot) versehen. Dieser wird von mehreren Fischarten intensiv benutzt. Innerhalb der Restwasserstrecke befinden sich keine Wanderhindernisse, so dass die Fischgängigkeit vollumfänglich gewährleistet ist.

Wassertiefen

Die Wassertiefen in der Aare betragen auch bei winterlichem Niederwasser immer über 50 cm. In der Restwasserstrecke wurden auch im kritischsten Abschnitt überall Wassertiefen von über 50 cm (bei einem Q von 8 m³/s) gemessen. Unter winterlichen Restwasserbedingungen (4 m³/s) sinkt der Wasserspiegel rund 10 cm (dies wurde anhand der winterlichen Algenbewuchsgrenze gemessen); die Wassertiefen gewährleisten somit auch bei der tiefsten Restwassermenge eine freie Fischwanderung.

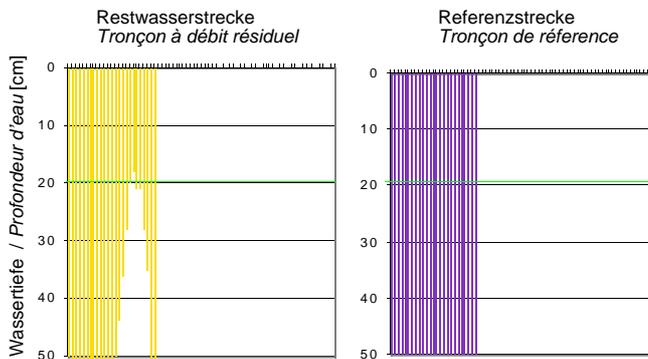


Abb. 4.3.11: Wassertiefen im Talweg der Aare bei Interlaken – Abstand zwischen den Messwerten ca. 1 m – in einem Referenz- und einem ungünstigen Restwasserabschnitt.

Fig. 4.3.11: Profondeurs d'eau le long du thalweg de l'Aar à Interlaken tous les 1 m env. sur un tronçon de référence et sur un tronçon à débit résiduel défavorable.

Kleintiere des Gewässerbodens (Makrozoobenthos)

In der Aare bei Interlaken wurde das Vorkommen von strömungsliebenden Kleintieren der Familie der Heptageniidae untersucht (Blephariceridae wurden keine gefunden). Aus dieser Familie kommt einzig die Gattung *Heptagenia* sp. vor. Ihre geschätzte Dichte betrug in der Referenz 200 Ind./m², während in der Restwasserstrecke mit ca. 220 Ind./m² fast die gleiche Individuendichte festgestellt wurde. Trotz unterschiedlicher Beprobungsmethode in der Referenz (Probenahme mittels Dredge vom Boot aus) und Restwasserstrecke (Kicksampling) kann davon ausgegangen werden, dass bei den strömungsliebenden Kleintieren keine Abweichung zur Referenz vorliegt. In Untersuchungen von 1988 (SigmaPlan 1991) – also vor der heute geltenden Restwasserregelung – konnte ein deutlicher Unterschied in der Besiedlungsdichte zwischen dem Schifffahrtskanal (Referenz) und der Restwasserstrecke festgestellt werden: die Besiedlungsdichte von *Heptagenia* sp. erreichte damals im Restwasser knapp 30 % derjenigen in der Referenz.

Wasserqualität und Äusserer Aspekt

Etwa in der Mitte der Restwasserstrecke befindet sich die Kläranlage Interlaken, die achtgrösste Anlage des Kantons Bern. Das gereinigte Abwasser dieser Anlage wird heute alternierend in die Restwasserstrecke (März bis Oktober) und den Schifffahrtskanal (November bis Februar) eingeleitet. Dadurch wird im Winter bei der geringsten Restwassermenge von 4 m³/s kein gereinigtes Abwasser in die Restwasserstrecke eingeleitet. Unsere Stichprobenmessungen (Anhang 6.2) haben gezeigt, dass sich die Wasserqualität in der Restwasserstrecke in dieser Zeit kaum von derjenigen in der Referenz unterscheidet. Für die Periode mit Abwassereinleitung in die Restwasserstrecke bestehen keine neueren kantonalen Messungen, weshalb mithilfe der Auslaufkonzentrationen verschiedener Stoffe aus der ARA Interlaken und den minimalen Restwassermengen in dieser Zeit Verdünnungsrechnungen durchgeführt wurden. Die entsprechenden Resultate für BSB₅, Ammonium und Nitrit sind in Abbildung 4.3.12 für die Jahre 2000 und 2001 dargestellt. Beim BSB₅ liegen die maximal zu erwartenden Konzentrationen unter 0.35 mg/l und erfüllen damit die Anforderungen gemäss Gewässerschutzverordnung vom 28.10.98. Beim Nitrit liegen die meisten Werte unter 20 µg/l (Toxizitätsgrenzwert der EAWAG bei niedriger Chlorid-Konzentration); einzelne Werte liegen jedoch über dem erwähnten Grenzwert (maximale Konzentration: 150 µg/l). Die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Ammonium sind

abhängig von der Wassertemperatur; dies bedeutet für die Aare bei Interlaken, dass von ca. Juni bis Oktober – bei Wassertemperaturen der Aare von über 10°C – der strengere Grenzwert von 0.2 mg/l gilt. Dieser Wert wird zwar rechnerisch häufig überschritten (Abbildung 4.3.12), da aber in dieser Zeit beim Wehr oft Überlauf herrscht, der in den Berechnungen nicht berücksichtigt werden konnte, dürften nur noch wenige Werte die Anforderungen nicht erfüllen. Für die Monate März/April gilt bei Aaretemperaturen von unter 10°C ein höherer Grenzwert von 0.4 mg/l; dieser wird ebenfalls an mehreren Tagen überschritten, wobei in dieser Jahreszeit kein Wehrüberlauf zu erwarten ist, der die Situation verbessern würde. Die Nitrat- und Gesamtphosphorkonzentrationen sind relativ gering.

Durch die winterliche Einleitung der gereinigten Abwässer in den Schifffahrtskanal und die grosse Verdünnung der Abwässer auf der Restwasserstrecke in der übrigen Zeit, können die gesetzlichen Anforderungen meist eingehalten werden. Die einzelnen erhöhten Werte beim Ammonium und Nitrit müssen jedoch als mässige Abweichung gegenüber dem Sollwert (gesetzliche Anforderungen) angesehen werden.

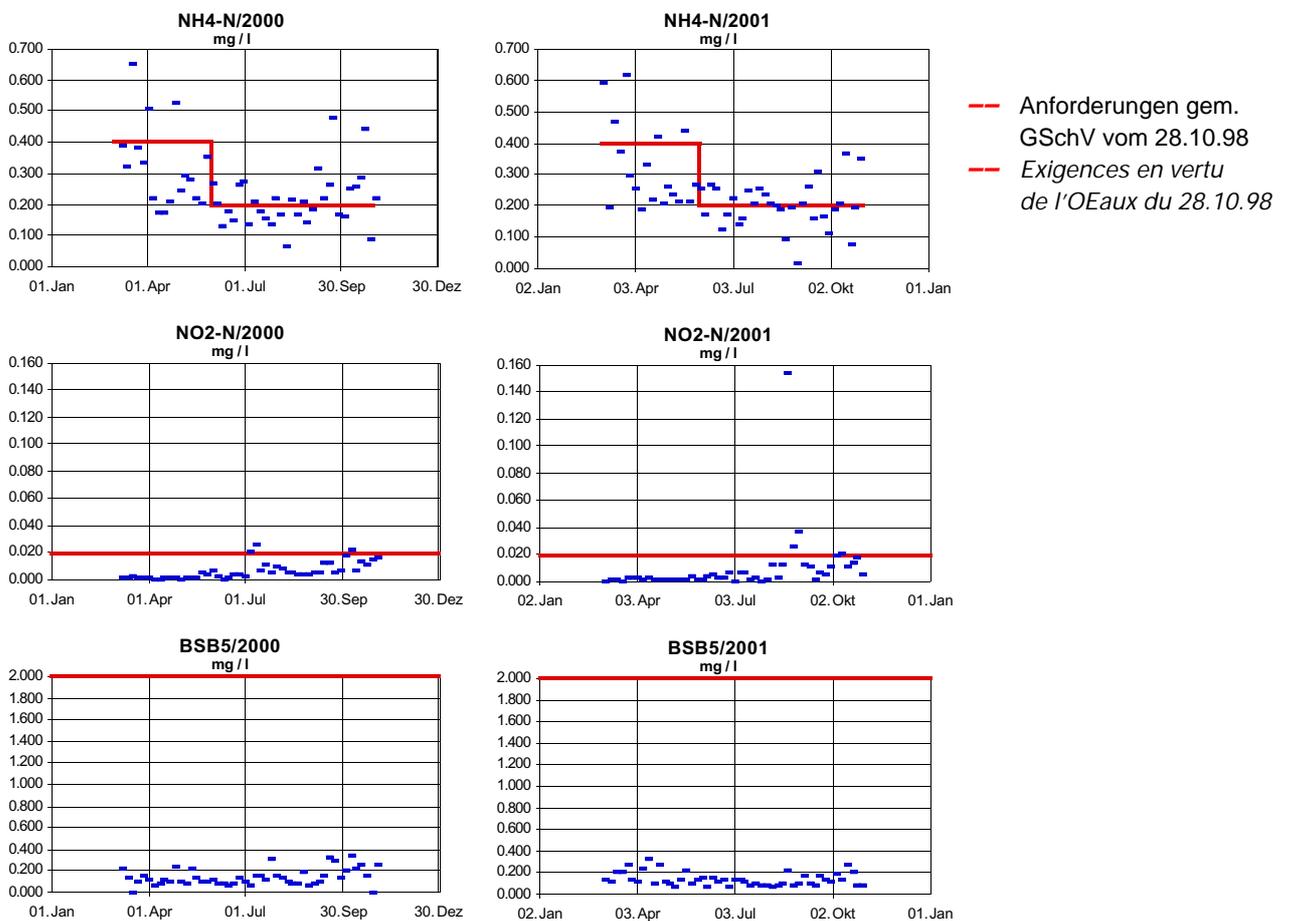


Abb. 4.3.12: Maximal zu erwartende Stoffkonzentrationen in der Restwasserstrecke der Aare bei Interlaken. Die Konzentrationen wurden mithilfe der Auslaufkonzentrationen aus der ARA Interlaken und den minimalen konzessionierten Restwassermengen für die Jahre 2000 und 2001 berechnet. Insbesondere in den Monaten Juni bis August dürften die Konzentrationen oft zu hoch ausfallen, da in dieser Zeit am Wehr oft Überlauf herrscht, der in den Berechnungen nicht berücksichtigt werden konnte.

Fig. 4.3.12: Concentrations de substances maximales escomptées dans le tronçon à débit résiduel de l'Aar à Interlaken. Les concentrations ont été calculées à l'aide des concentrations à la sortie de la STEP d'Interlaken et des débits résiduels minimaux octroyés pour les années 2000 et 2001. Les concentrations devraient souvent être trop élevées, en particulier durant les mois de juin à août, car pendant cette période il existe fréquemment une surverse de l'ouvrage de retenue qui n'a pas pu être prise en compte dans les calculs.

Die Beurteilung des Äusseren Aspektes (Abbildung 4.3.13) musste im Schifffahrtskanal (Referenz) mittels Unterwasserkamera vorgenommen werden, dabei zeigte sich, dass der pflanzliche Bewuchs (Algen und Moose) in der Restwasserstrecke gegenüber der Referenz nur leicht und zudem beschränkt auf untiefe Stellen zunahm. Bei verschiedenen Parametern wie Schaumbildung, Trübung, Verfärbung, Geruch und Feststoffe konnten kaum Unterschiede zur Referenz festgestellt werden. Bezüglich Eisensulfid, Schlammablagung und Kolmation waren die Verhältnisse in der Restwasserstrecke sogar besser; was v.a. auf die geringeren Fließgeschwindigkeiten im Schifffahrtskanal mit entsprechend erhöhter Sedimentation und Schlammablagerung zurückzuführen ist. Durch die fehlenden Hochwässer finden hier auch kaum Sohlbewegungen statt, was die äussere Kolmation fördert. Insgesamt liegt beim Äusseren Aspekt höchstens eine geringe Veränderung vor.

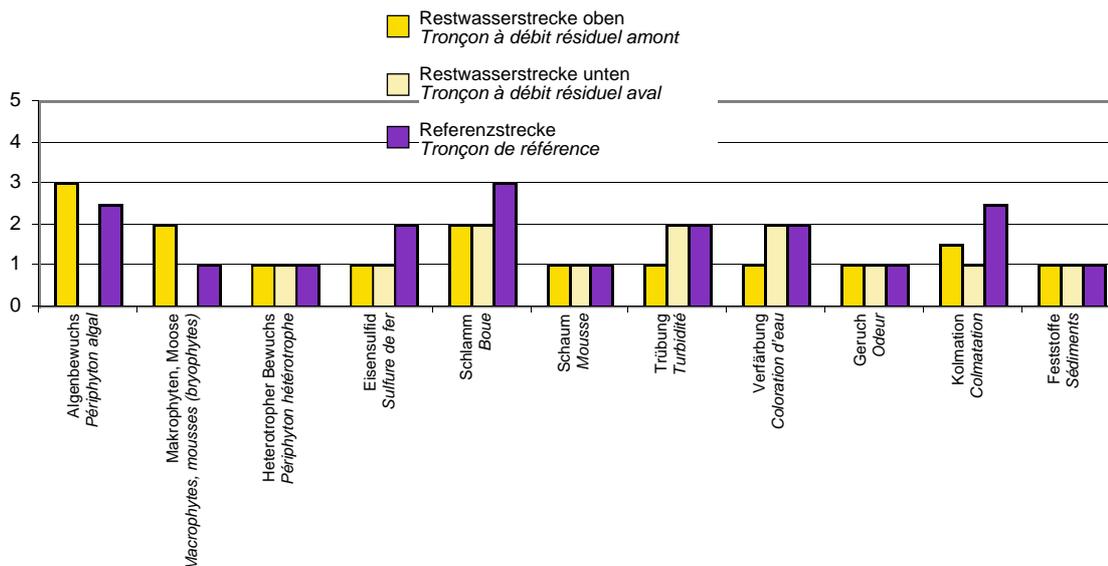


Abb. 4.3.13: Beurteilung des Äusseren Aspektes in der Aare bei Interlaken am 11.3.02. Der Algenbewuchs wurde 6-stufig, die übrigen Aspekte mit einer 3-stufigen Skala beurteilt.

Fig. 4.3.13: Appréciation de l'aspect extérieur de l'Aare à Interlaken le 11.3.02. Le périphyton algal a été apprécié sur une échelle à 6 degrés, les autres aspects sur une échelle à 3 degrés.

Grundwasser

Die Wirkungskontrolle bezüglich Grundwasser beschränkte sich auf die Auswertung bestehender Messungen und Daten (Kellerhals & Haefeli, 2002). Die Ergebnisse der Untersuchungen können wie folgt zusammengefasst werden:

In der Mitte der Restwasserstrecke befindet sich der Übergang von Infiltration zu Exfiltration: im oberen Abschnitt der Restwasserstrecke speist die Aare das Grundwasser, im unteren Abschnitt ist das Umgekehrte der Fall. Je nach Wasserspiegellage kann sich das "hydraulische Scharnier" um einige hundert Meter verschieben. Oberhalb des Scharniers wurde eine enge hydraulische Beziehung zwischen Aarestand und Grundwasserstand festgestellt. Der Grundwasserspiegel im Naturschutzgebiet Weissenau wird nicht durch die Aare beeinflusst, abgesehen vom unmittelbaren Uferbereich, wo ein Wasseraustausch stattfindet.

Aus den zusammengetragenen Daten konnten einige punktuelle Schlüsse bezüglich Grundwasserbeeinflussung durch die Restwasserstrecke gezogen werden. Es war jedoch nicht möglich eine allgemeine Aussage bezüglich der Beeinflussung des Grundwassers durch die Restwasserstrecke zu machen.

Beurteilung der Restwasserstrecke

Die Restwasserstrecke zeigt keine starken Abweichungen gegenüber der Referenz. Einzige Einschränkungen betreffen die quantitative Erhaltung der Fischfauna, bei der in der Restwasserstrecke knapp 60 % der Fischdichte in der Referenz festgestellt wurde, und die Wasserqualität, bei der einzelne Werte den gesetzlichen Anforderungen nicht genügen; die beiden erwähnten Beeinträchtigungen sind jedoch nur mässig. Die Restwasserstrecke der Aare bei Interlaken zeigt heute somit eine für ein solches Gewässer genügende Funktionsfähigkeit.

Verglichen mit dem morphologisch stark beeinträchtigten Schifffahrtskanal (Referenz) schneidet die Restwasserstrecke weit besser ab, und die lockere Sohle in der Restwasserstrecke ist bei genügend grosser Wasserführung ein ideales Laichsubstrat für Bach- und Seeforellen, sowie für Äschen und andere Kieslaicher.

Ein Fischpass bei der Wasserfassung stellt die freie Fischwanderung sicher, in der Restwasserstrecke sind keine Hindernisse vorhanden, sodass das Kontinuum gewährleistet ist.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge weitgehend gewährleistet.

4.4 Bockibach (UR)

Einleitende Angaben

Beim Bockibach handelt es sich um einen linksseitigen Zufluss zur Reuss. Der Bach wird beim Waldnachtersee auf 1385 m.ü.M. gefasst und im Kraftwerk Bocki II in Ripshusen bei Erstfeld turbiniert (Abbildung 4.4.1). Eine zweite Fassung auf 850 m.ü.M. führt zusätzlich das Wasser des Zwischeneinzugsgebietes ins Kraftwerk Bocki I. Die Wasserrückgabe befindet sich ca. 250 m oberhalb der Mündung in die Reuss. Unterhalb der Wasserrückgabe handelt es sich um eine Schwall-/Sunk-Strecke.

Die Restwasserstrecke verläuft in einem steilen, oft unzugänglichen Tobel (Bockitobel) und ist unverbaut. Wegen dieser Unzugänglichkeit konnte für die hier vorliegende Untersuchung nur der untere Teil der Restwasserstrecke untersucht werden (Bocki I). Unterhalb der Wasserrückgabe ist der Bockibach sehr stark verbaut, die Sohle ist auf einem längeren Abschnitt mit Steinen abgeplästert.

Eine Referenzstelle wurde im Bockibach unterhalb der Wasserrückgabe bestimmt. Das Kraftwerk erzeugt in diesem Abschnitt Schwall-/Sunkabflüsse, weshalb für die fischereilichen Untersuchungen zusätzlich ein Parallelgewässer des Bockibaches (Alpbach) als zweite Referenz untersucht wurde; dieses Gewässer wird ebenfalls hydroelektrisch genutzt, wobei das entsprechende Kraftwerk keinen Speicher hat und das turbinierte Wasser oberhalb der Untersuchungsstrecke dem Alpbach zurückgegeben wird.

Der Bockibach gilt bei der Fassungsstelle als Nichtfischgewässer und wurde deshalb gem. Art. 32 GSchG mit einer tieferen Mindestrestwassermenge konzessioniert.

-  Restwasserstrecke / Tronçon à débit résiduel
-  Wasserrückgabe / Prise d'eau
-  Wasserrückgabe / Restitution d'eau
-  Abfischungen / Pêches électriques
-  Untersuchungsstellen für übrige Aspekte / Points d'analyse pour d'autres aspects

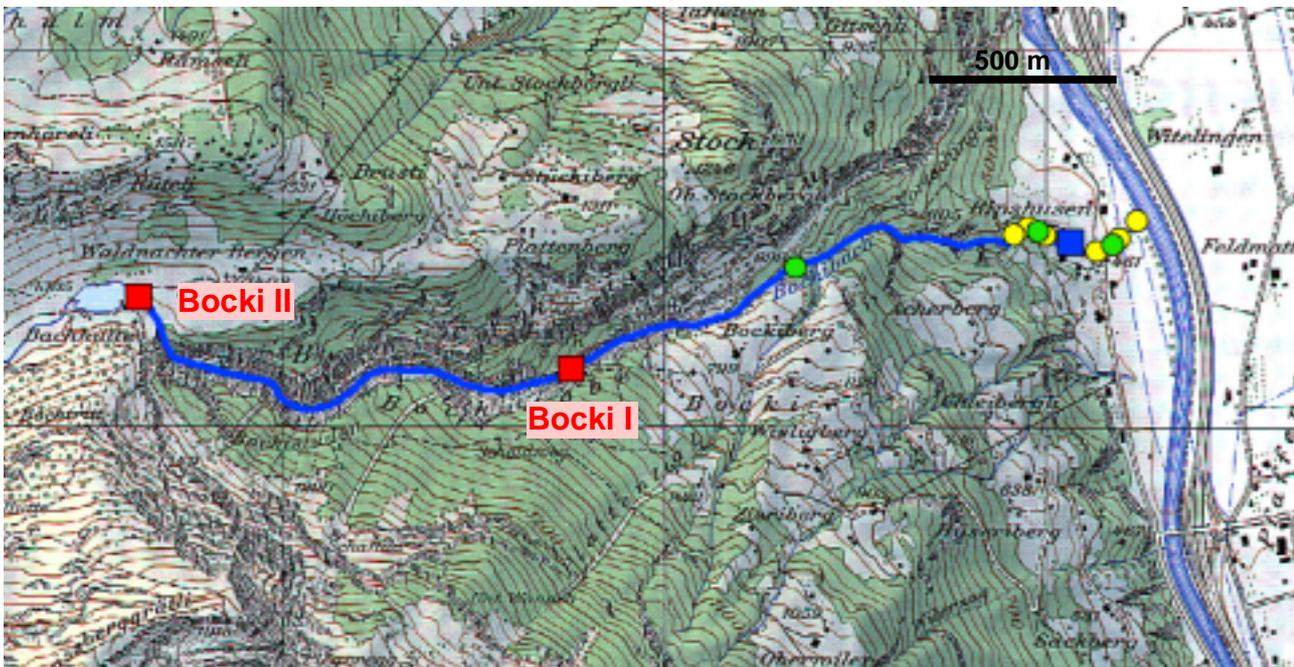


Abb. 4.4.1: Restwasserstrecke des Bockibaches mit den Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Fig. 4.4.1: Tronçon à débit résiduel du Bockibach avec les points d'analyse. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA035367).

Kraftwerk	Bocki I
Standortkanton	UR
Standort Zentrale	Ripshusen (Erstfeld)
Genutztes Gewässer	Bockibach
genutzte Gewässerstrecke [km]	1.5
Kote Maschinenhaus [m.ü.M.]	465
Fassung [m.ü.M.]	850
Rückgabe [m.ü.M.]	458
Fallhöhe [m]	392
Fischgewässer	Nein
Tage mit Überlauf	150
Abflussregime	glacio-nival
Q347 [l/s]	180
Leistung [MW]	2
Inbetriebnahme	1997
Dotierung gemäss Konzession [l/s]	60
angewendeter Artikel GSchG	32
Qmax [m ³ /s]	0.5
Gefälle [‰]	261.3

Tab. 4.4.2: Kennwerte für das Kraftwerk Bocki I und den Bockibach.

Tab. 4.4.2: Caractéristiques de la centrale hydroélectrique Bocki I et du Bockibach.

Einige wichtige Kennwerte des Kraftwerkes Bocki I und des genutzten unteren Teils des Bockibaches sind in Tabelle 4.4.2 zusammengestellt.

Am 19.10.01 wurde die Restwassermenge im Bockibach gemessen. Da der Bach bei der Fassung nicht zugänglich ist, wurde die Abflussmenge vor dem ersten Seitenbach – auf halber Strecke zwischen Fassung und Wasserrückgabe – und oberhalb der Wasserrückgabe gemessen. An der oberen Stelle wurden 52 l/s (entspricht 86 % der konzessionierten Restwassermenge von 60 l/s) und oberhalb der Rückgabestelle 57 l/s gemessen. Unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit kann die Restwasserführung am Messtag als konzessionskonform bezeichnet werden.

Bilddokumentation, Morphologie und Strukturen

Die Restwasserstrecke des Bockibaches verläuft vorwiegend in einem steilen und unzugänglichen Tobel (Abb. 4.4.3 und 4.4.4) mit natürlichen Blöcken, Abstürzen und Felssohlen. Der Untersuchungsabschnitt (unterhalb der 2. Fassung) weist ebenfalls einen Wildbachcharakter auf mit natürlichen Überfällen (Abb. 4.4.5), Absturz-Becken-Sequenzen, aber auch flacheren schnellenartigen Abschnitten (Abb. 4.4.6) im untersten Teil oberhalb der Wasserrückgabe.

Zur Beurteilung der Morphologie des untersten Abschnittes der Restwasserstrecke im Bockibach wurde als Referenz eine direkt unterhalb der Wasserrückgabe liegende Gewässerstrecke gewählt, obwohl diese begradigt und sehr stark verbaut ist (die Hälfte der Bachsohle ist mit grossen Blöcken, ein weiteres Viertel mit kopfgrossen Steinen gepflästert; Abb. 4.4.9 A); in der Restwasserstrecke dagegen ist das Substrat heterogen und weist auch grössere Anteile an lockerem Kies auf, der für die Fortpflanzung der Bachforelle durchaus geeignet ist. Die Strömungsvielfalt widerspiegelt die ungleiche Morphologie der beiden Abschnitte, und ist in der Restwasserstrecke gross mit Anteilen zwischen 15 und 35 % der vier verschiedenen Typen, während in der Referenzstrecke fliessende Abschnitte (Runs und Riffles) dominieren und nur wenige ruhige Stellen vorhanden sind (Abb. 4.4.9 B). Bezüglich der Strukturvielfalt ist festzuhalten, dass in der Restwasserstrecke viel mehr aus dem Wasser ragende, aber auch viel mehr überspülte Blöcke festgestellt wurden als in der Referenz (Abb. 4.4.9 C), und die grosse Zahl potenzieller Fischunterstände den Lebensraum aufwertet.

Die Referenzstrecke unterhalb der Wasserrückgabe ist sehr hart verbaut, wogegen die Restwasserstrecke naturnah ist und eine vielfältige Sohle mit günstigen Unterständen aufweist. Morphologisch ist diese daher als nicht beeinträchtigt klassiert.



Abb. 4.4.3: Überblick über das Tal des Bockibaches. Der Bach selbst ist nicht sichtbar, da er in einem tobelartigen Einschnitt fließt. Pfeile: obere und untere Wasserfassungsstelle.

Fig. 4.4.3: Aperçu de la vallée du Bockibach. Le ruisseau lui-même n'est pas visible, car il coule dans une gorge. Flèches: sites des prises d'eau amont et aval.

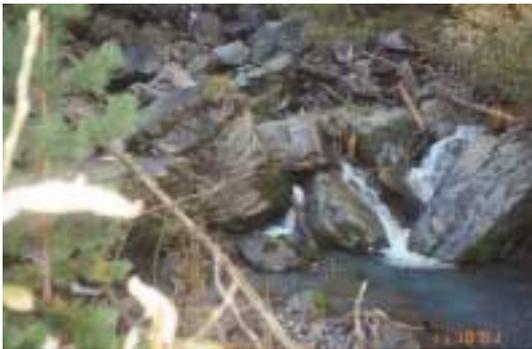


Abb. 4.4.5: Bockibach in der Mitte der untersuchten Restwasserstrecke. An dieser Stelle fanden einige Zusatzuntersuchungen statt.

Q ca. 50 l/s.

Fig. 4.4.5: Le Bockibach au milieu du tronçon à débit résiduel. Quelques analyses supplémentaires ont été effectuées à cet endroit.

Q env. 50 l/s.



Abb. 4.4.4: Blick in das Bockitobel mit Zugangsleiter zur unteren Fassung (hinter linkem Felsen, nicht sichtbar).

Fig. 4.4.4: Vue sur le Bockitobel avec échelle d'accès à la prise aval (derrière le rocher à gauche, non visible).



Abb. 4.4.6: Restwasserstrecke des Bockibaches wenig oberhalb der Wasserrückgabe (Hauptuntersuchungsstelle im Restwasser).

Q ca. 60 l/s.

Fig. 4.4.6: Tronçon à débit résiduel du Bockibach peu en amont de la restitution d'eau (principal point d'analyse du débit résiduel).

Q env. 60 l/s.



Abb. 4.4.7: Kraftwerkszentrale Bocki I + II sowie Bockibach unterhalb der Wasserrückgabestelle (Referenz).

Fig. 4.4.7: Centrales hydroélectriques Bocki I + II et Bockibach en aval du point de restitution (référence).



Abb. 4.4.8: Alpach ca. 100 m oberhalb der Mündung in die Reuss (alternatives Referenzgewässer für die Untersuchungen im Bockibach).

Fig. 4.4.8: L'Alpach env. 100 m en amont de l'embouchure dans la Reuss (cours d'eau de référence alternatif pour les analyses sur le Bockibach).

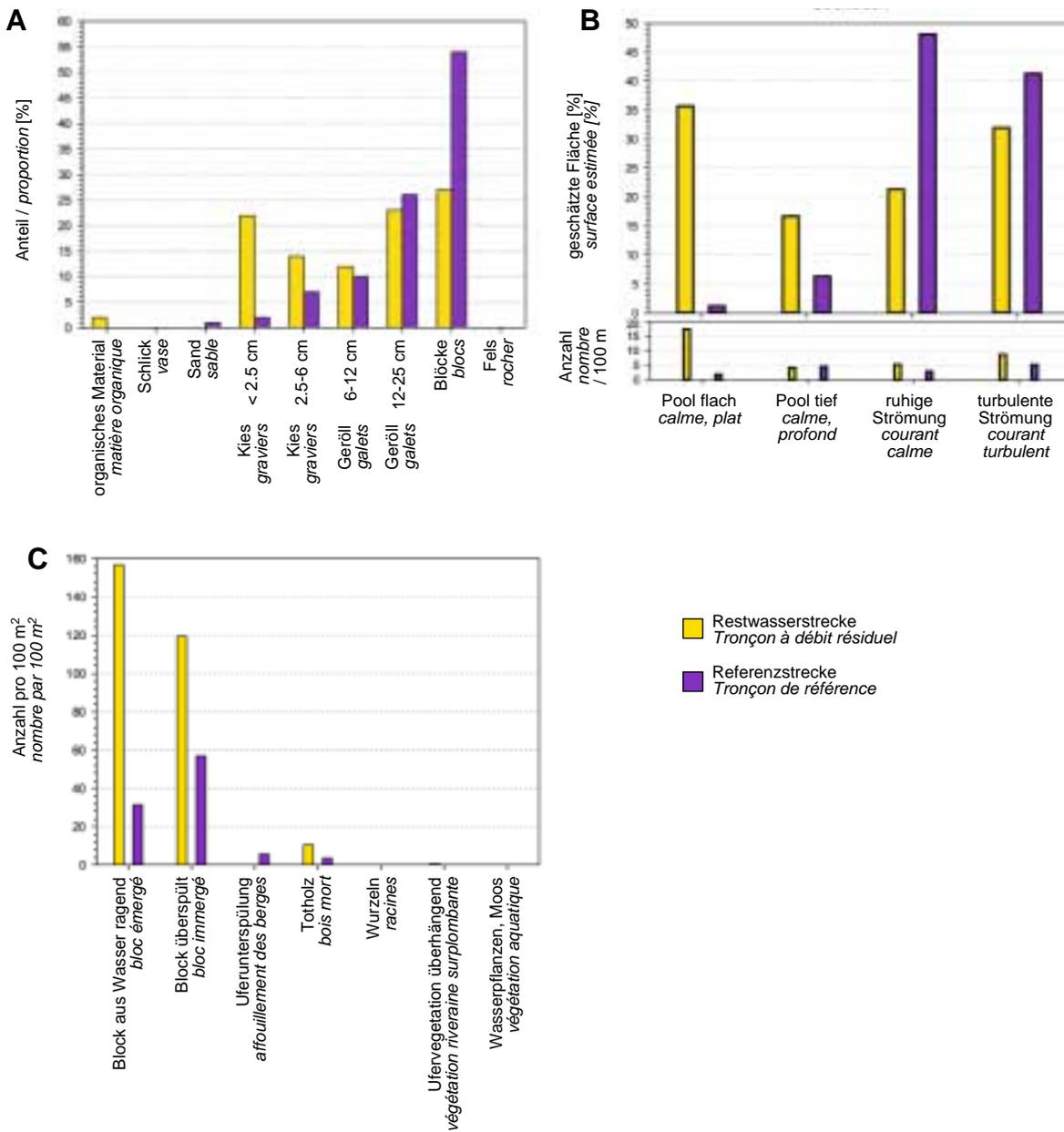


Abb. 4.4.9: Morphologie und Strukturen in der Referenz- und Restwasserstrecke des Bockibaches: A = Substrattypen, B = Strömungsmuster, C = Strukturen.

Fig. 4.4.9: Morphologie et structures sur le tronçon de référence et sur le tronçon à débit résiduel du Bockibach. A = types de substrat, B = types de courant, C = structures.

Fischökologische Aspekte

Fischbestand

Der Bockibach wurde bei der Konzessionserteilung für das Kraftwerk als Nichtfischgewässer eingestuft. In unserem Kontrollabschnitt im untersten Bereich der Restwasserstrecke wurde allerdings am 31.10.01 ein recht schöner Bachforellenbestand vorgefunden (CPUE = 1.43, Abb. 4.4.10) mit verhältnismässig vielen Jungtieren des Jahres (Daten siehe Anhang 6.4). Die eigentliche Referenzstrecke unterhalb der Wasserrückgabe ist vollständig anders strukturiert (vgl. Morphologie), als Fischlebensraum ungeeignet und weist nur einen sehr geringen Bachforellenbestand auf (CPUE von 0.31). Um beim Bockibach das mögliche Potenzial unter Berücksichtigung der Aufwanderung aus der Reuss einzubeziehen, wurde für den Fischbestand deshalb der nahe gelegene und ähnlich strukturierte Alpbach als Referenzgewässer ausgewählt. In diesem wurden 4 Arten festgestellt, darunter die stark gefährdete Seeforelle und die gefährdete Äsche gegenüber 1 Art im Bockibach. Dies zeigt, dass bei entsprechender Gestaltung der Strecke zwischen Kraftwerk und Reuss auch der Bockibach als Jugendstube für mehrere Arten dienen könnte. Die qualitative Erhaltung der Fischfauna wird deshalb als stark abweichend klassiert. Die Fischdichte war in der Restwasserstrecke des Bockibachs 80 % grösser als im untersten Abschnitt des Alpbachs. Die Längenverteilung der Bachforellen zeigt, dass im Bockibach ein verhältnismässig grosser Anteil Jungfische vorhanden war, von denen ein Teil auch aus Besatzmassnahmen herrühren könnte (Anhang 6.4). Die kleinsten Exemplare (- 5 cm) dürften aber mit grosser Wahrscheinlichkeit aus natürlicher Fortpflanzung im Gewässer selbst stammen. Im Alpbach wurden dagegen nur wenige Jungtiere unter 10 cm, dafür ein beträchtlicher Anteil mit 11- 15 cm Länge festgestellt; dies kann eventuell damit erklärt werden, dass die Wachstumsverhältnisse hier besser sind, oder dass Sömmerlinge aus Aufzuchtbüchen eingesetzt wurden, die häufig ein schnelleres Wachstum zeigen.

Zur Beurteilung der quantitativen Erhaltung der Fischfauna konnte die Nährtierbiomasse der Referenzstrecke nicht einbezogen werden, da die Entnahmestelle (mit einigermaßen naturnahem Substrat) nicht repräsentativ für die ganze Referenzstrecke ist.

Wenn der vergleichbare Alpbach für die Fischfauna als Referenzstrecke beigezogen wird, muss die qualitative Erhaltung der Fischfauna als stark beeinträchtigt klassiert werden, da in der Restwasserstrecke des Bockibachs mehrere Arten fehlen, für die der Aufstieg aus der Reuss durch die massive Verbauung der Strecke zwischen Kraftwerk und Reussmündung verunmöglicht wird. Für die Beeinträchtigung ist somit nicht nur die Restwassermenge verantwortlich. Der verhältnismässig gute Bachforellenbestand zeigt, dass die quantitative Erhaltung der Fischfauna (ohne Einbezug der Nährtierbiomasse) jedoch nicht beeinträchtigt ist.

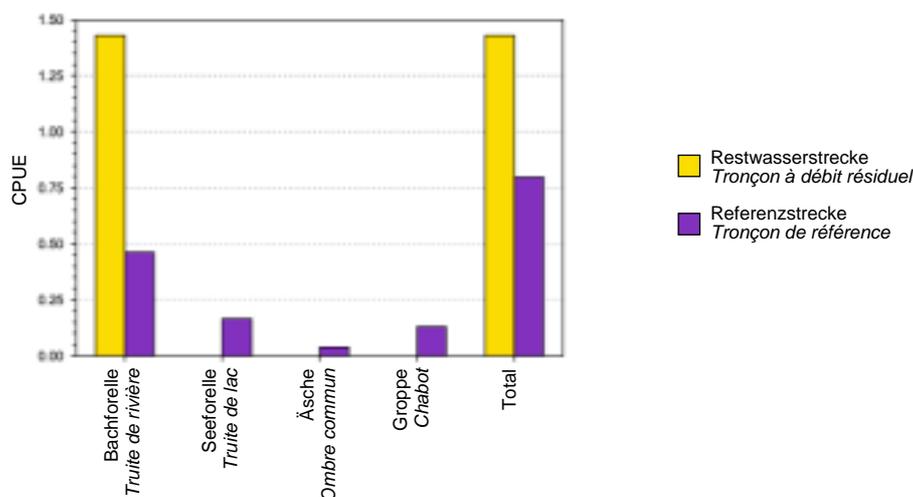


Abb. 4.4.10: Fischbestand im Bocki- und Alpbach (Referenzstelle), Erhebungen vom 31.10.01.

Fig. 4.4.10: Population de poissons dans le Bockibach et l'Alpbach (site de référence) le 31.10.01.

CPUE = catch per unit effort.

Fischgängigkeit

Das Wasser für die Stromproduktion wird in einem See gefasst (Bocki II), der sich hoch über einer senkrechten, mehrere Dutzend Meter hohen Felswand, befindet. Unterhalb dieser Felswand folgt eine natürliche Schlucht, in der sich die untere Fassung (Bocki I) mit untersuchter Restwasserstrecke befindet. Die Restwasserstrecke unterhalb beider Fassungen ist steil und unzugänglich; viele natürliche Abstürze verhindern die Aufwärtswanderung von Fischen und Wirbellosen. Nur rund 300 m vom unteren Ende der Schlucht bis zur Wasserrückgabe des Kraftwerkes sind ohne Wanderhindernisse zugänglich für die Fischfauna. Die abwärts anschliessende Strecke wäre frei von Hindernissen und für die gesamte Fischfauna der Reuss erreichbar, allerdings bietet die stark korrigierte und befestigte Strecke wenig Fischlebensraum.

Wassertiefen

Der Bockibach gilt bei seiner Fassungsstelle nicht als Fischgewässer. Die Mindestrestwassermenge wurde deshalb gem. Art. 32 GSchG festgelegt. Im untersten Abschnitt oberhalb der Wasserrückgabe handelt es sich beim Bockibach aber um ein Fischgewässer: unter Restwasserbedingungen erreichen jedoch nur gerade 40 % der Wassertiefen Werte von 20 cm oder mehr (Abb. 4.4.11) und zeigen damit eine starke Beeinträchtigung an.

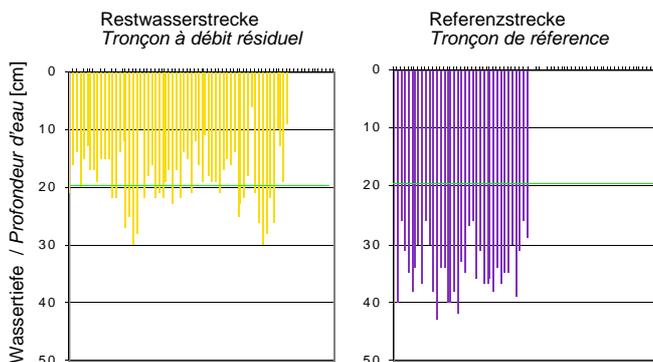


Abb. 4.4.11: Wassertiefen in der Referenz- und im untersten Teil der Restwasserstrecke des Bockibaches – dieser wurde als Fischgewässer taxiert – im Abstand von ca. 0.5 m.

Fig. 4.4.11: Profondeurs d'eau tous les 0.5 m env. sur le tronçon de référence et sur le secteur aval du tronçon à débit résiduel du Bockibach, considéré comme eau piscicole.

Kleintiere des Gewässerbodens (Makrozoobenthos)

Die Untersuchung von strömungsabhängigen Kleintieren der Gruppe Heptageniidae (Eintagsfliegen) ergab keine negative Abweichung gegenüber der Referenz (siehe Anhang 6.3). In der Restwasserstrecke war die Individuendichte sogar deutlich höher als in der Referenz unterhalb der Wasserrückgabe. Bei den noch deutlich stärker von der Strömung abhängigen Blephariceridae (Lidmücken) wurden nur Einzelexemplare von Puppen und viele leere Puppengehäuse unterhalb der Wasserrückgabe gefunden; in der Restwasserstrecke wurden keine gefunden, was auf eine mögliche Beeinträchtigung gegenüber der Referenz hinweist. Zu einem späteren Zeitpunkt aber fanden sich einige Exemplare in der Restwasserstrecke.

Wasserqualität und Äusserer Aspekt

Die Wasserqualität (Anhang 6.2) und der Äussere Aspekt (Abb. 4.4.12) in der Restwasserstrecke erfüllen die gesetzlichen Bestimmungen gemäss GSchV und zeigen keine Beeinträchtigung gegenüber der Referenz. Der Äussere Aspekt bezüglich Referenz wurde in einem nicht abgeplästerten Abschnitt des Bockibaches erfasst. Auffällig war das stärkere Aufkommen der Goldalge *Hydrurus foetidus* in der Referenz; diese Algenart gedeiht v.a. bei tiefen Temperaturen, die in der Restwasserstrecke wegen der deutlichen Erwärmung eher später auftreten (siehe unten).

Die Temperaturlogger waren vom 26. Juli 2001 bis am 26. April 2002 rund 30 m oberhalb der Wasserrückgabe eingesetzt (Abb. 4.4.13). Die höchsten Temperaturen wurden mit 17.5 °C Ende August, die tiefsten mit –0.1 °C anfangs Januar registriert. Die grössten Tagesschwankungen betragen anfangs August 5.8 °C und Ende August 6.1 °C. Minustemperaturen wurden während mehreren einzelnen Tagen im Januar (am 3./4. während 25 Stunden) aufgezeichnet. Wie in allen Gewässern zeigte sich auch hier anfangs Dezember eine Erwärmung, die allerdings im Bockibach mit rund 4 °C deutlicher ausfiel als in andern Restwasserstrecken.

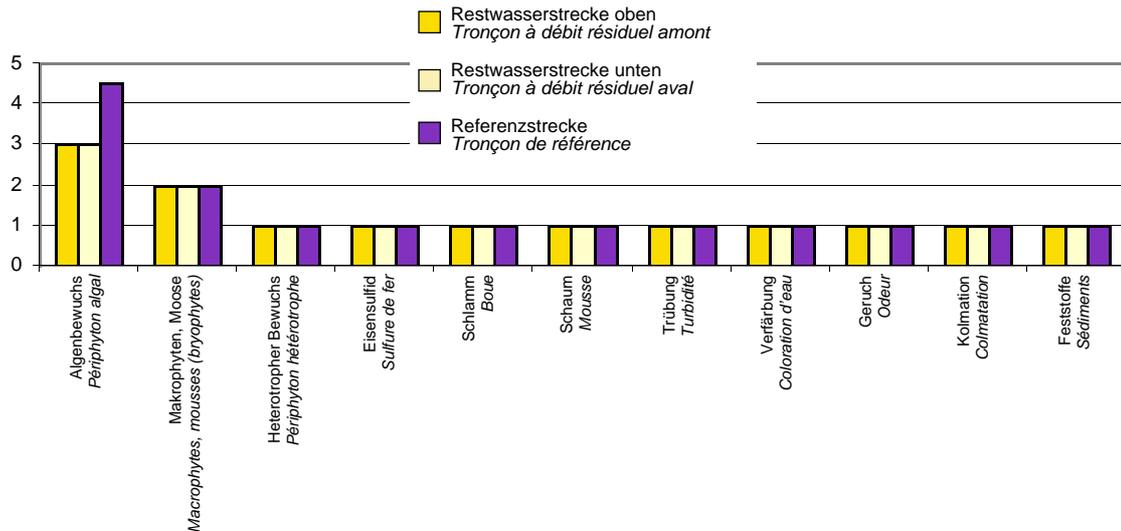


Abb. 4.4.12: Beurteilung des Äusseren Aspektes im Bockibach am 19.10.01. Der pflanzliche Bewuchs wurde 6-stufig, die übrigen Aspekte mit einer 3-stufigen Skala beurteilt.

Fig. 4.4.12: Appréciation de l'aspect extérieur du Bockibach le 19.10.01. Le périphyton végétal a été apprécié sur une échelle à 6 degrés, les autres aspects sur une échelle à 3 degrés.

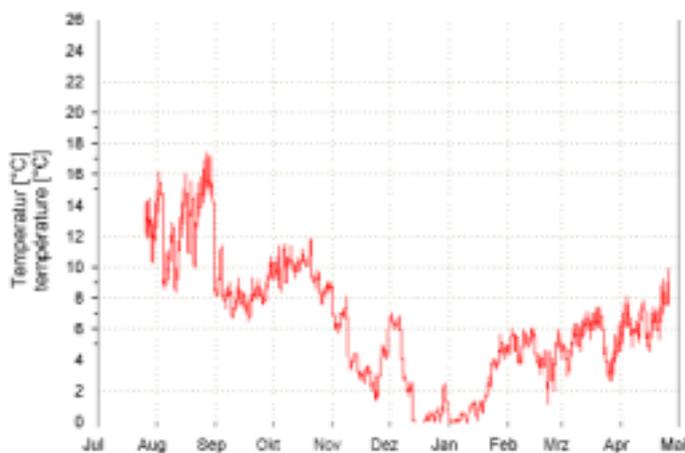


Abb. 4.4.13: Temperaturverlauf im Bockibach vom Juli 2001 bis Mai 2002.

Fig. 4.4.13: Variation de la température du Bockibach entre juillet 2001 et mai 2002.

Beurteilung der Restwasserstrecke

Der Bockibach gilt bei seiner Fassungstelle nicht als Fischgewässer und wurde gemäss Art. 32 GSchG mit einer Restwassermenge unter dem Minimum gemäss Art. 31 GSchG konzessioniert. Bei allen untersuchten nicht-fischökologischen Kriterien wurden keine Beeinträchtigungen festgestellt ausser bei den strömungsliebenden Kleintieren, wo Hinweise auf eine mässige Abweichung vorliegen.

Im untersten Abschnitt der Restwasserstrecke oberhalb der Wasserrückgabe handelt es sich beim Bockibach eindeutig um ein Fischgewässer. Die Referenzstrecke unterhalb der Wasserrückgabe ist sehr hart verbaut, wogegen die Restwasserstrecke naturnah ist und eine vielfältige Sohle mit günstigen Unterständen aufweist und daher als nicht beeinträchtigt klassiert wird. Der heute verhältnismässig gute Bachforellenbestand in der untersten Restwasserstrecke zeigt, dass die quantitative Erhaltung der Fischfauna (ohne Einbezug der Nährtierbiomasse) nicht beeinträchtigt ist. Wenn der vergleichbare Alpbach für die Fischfauna als Referenzstrecke beigezogen wird, muss die qualitative Erhaltung der Fischfauna aber als stark beeinträchtigt klassiert werden, da in der Restwasserstrecke des Bockibachs mehrere Arten fehlen, die aus der Reuss einwandern könnten. Neben der geringen Restwassermenge muss dies aber auch den massiven Verbauungen unterhalb der Wasserrückgabe aus dem Kraftwerk angelastet werden, die den Aufstieg aus der Reuss verunmöglichen.

Die Restwasserstrecke ist nur zuunterst auf einem kurzen Abschnitt für die Fische erreichbar, der Rest sowie die Wasserfassung sind natürlicherweise nicht fischgängig.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge nur teilweise gewährleistet.

4.5 Flembach (GR)

Einleitende Angaben

Beim Flembach handelt es sich um einen linksseitigen Zufluss des Vorderrheins. Das Gewässer wird auf 1296 m.ü.M. gefasst und in Flims im Kraftwerk Stenna turbiniert. Die wichtigsten Kennwerte des Kraftwerkes und des genutzten Gewässers sind in Tabelle 4.5.1 zusammengestellt. Bei der Fassung besteht keine Fischtreppe.

Tab. 4.5.1: Kennwerte für das Kraftwerk Stenna in Flims und den Flembach.

Tab. 4.5.1: Caractéristiques de la centrale hydroélectrique Stenna à Flims et du Flembach.

Kraftwerk	Stenna, Flims
Standortkanton	GR
Standort Zentrale	Flims-Dorf
Genutztes Gewässer	Flembach
genutzte Gewässerstrecke [km]	1.8
Kote Maschinenhaus [m.ü.M.]	1056
Fassung [m.ü.M.]	1296
Rückgabe [m.ü.M.]	1047
Fallhöhe [m]	242
Fischgewässer	Ja
Tage mit Überlauf	ca. 145
Abflussregime	nival/glazial
Q347 [l/s]	50
Leistung [MW]	1.735
Inbetriebnahme	1999
Dotierung gemäss Konzession [l/s]	60/300
angewandeter Artikel GSchG	31/33
Qmax [m ³ /s]	0.85
Gefälle [‰]	138.3
EZG [km ²]	23.6

Die Mindestrestwassermenge wurde gem. Art. 31 GSchG auf 60 l/s festgelegt. Der Flembach befindet sich in einem landschaftlich wie touristisch bedeutenden Gebiet, weshalb gem. Art. 33 GSchG im Sommerhalbjahr (1.5.-30.9.) eine höhere Mindestrestwassermenge von 300 l/s gilt. Diese Restwassermenge wird in dieser Zeit sehr oft durch die hohen Abflüsse bei der Schneeschmelze übertroffen.

Die Restwasserstrecke wurde in zwei Abschnitten – unterhalb der Wasserfassung und oberhalb der Wasserrückgabe – untersucht. Entsprechend wurden auch zwei Referenzstellen in die Untersuchungen miteinbezogen. Die eine wurde oberhalb der Wasserfassung, die andere unterhalb der Wasserrückgabe festgelegt (Abb. 4.5.2). Im Rahmen der Konzessionserteilung wurde kein Umweltbericht erstellt; es stehen damit keine älteren Referenzdaten für die Wirkungskontrolle zur Verfügung.

Am 22.11.01 betrug die Restwassermenge unterhalb der Wasserfassung 55 l/s und entsprach damit ungefähr der konzessionierten Mindestmenge von 60 l/s (unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit). Bis am Ende der Restwasserstrecke versickerte jedoch ein ansehnlicher Teil dieser Wassermenge, sodass kurz vor

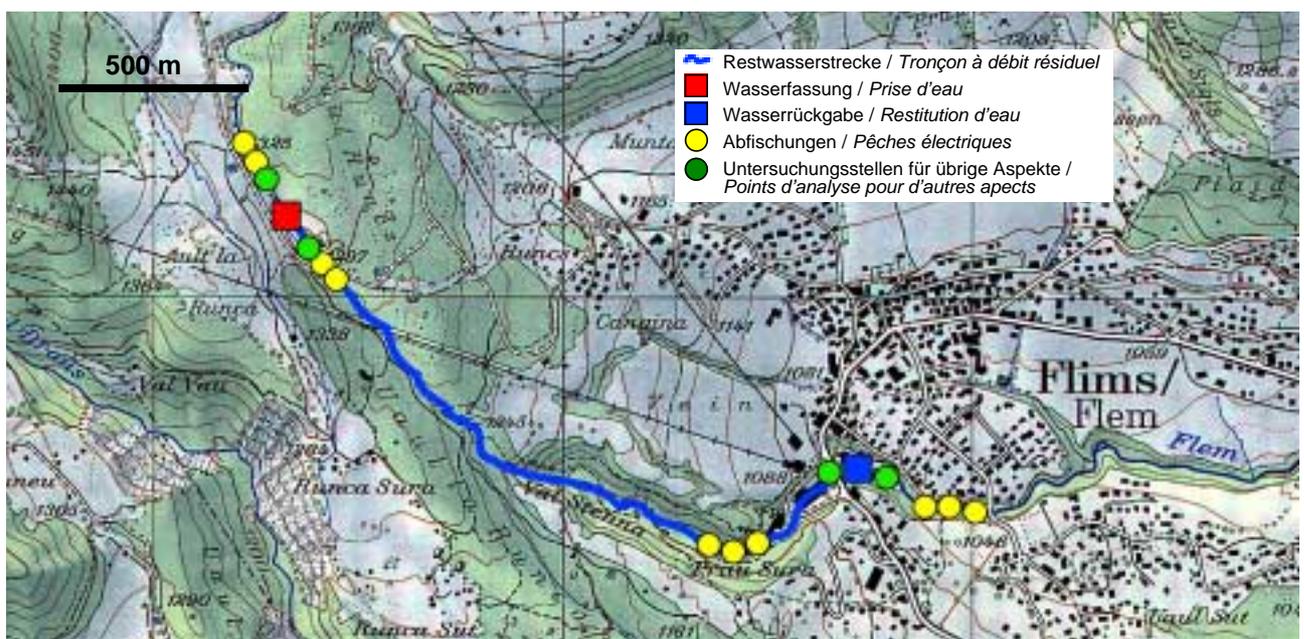


Abb. 4.5.2: Restwasserstrecke des Flembaches mit den Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Fig. 4.5.2: Tronçon à débit résiduel du Flembach avec les points d'analyse. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA035367).

der Wasserrückgabe nur noch 30 l/s im Flembach flossen (die kleine Wasserentnahme in der Mitte der Restwasserstrecke zur Speisung eines kleinen Baches ist im Winter abgestellt). Am 27.9.01 ergab eine weitere Abflussmessung – bei erhöhter Sommerdotierung – 350 l/s und überschritt damit die konzessionierte Restwassermenge von 300 l/s.

Landschaftselement

Die folgende Bildserie (Abb. 4.5.3 bis 4.5.10) dokumentiert den Flembach und die Restwasserstrecke. Um den Erfolg der erhöhten sommerlichen Dotierung von 300 l/s überprüfen zu können, wurden verschiedene flussmorphologische Kriterien beurteilt und mit einem sommerlichen Referenzabfluss von 1000 l/s sowie dem winterlichen Restwasserminimum von 60 l/s verglichen. Die Resultate dieser Kriterienprüfung sind in Abbildung 4.5.11 zusammengestellt. Es hat sich deutlich gezeigt, dass die untersuchten Kriterien bei einer Dotierwassermenge von 350 l/s meist vollständig (z.B. Sichtbarkeit des Abflusses, Rauschen, Bildung von weissem Wasser), in wenigen Fällen nur teilweise erfüllt sind (z.B. Erreichen des Böschungsfusses, Überströmen von flachliegenden grösseren Steinen). Bei dieser Abflussmenge wird die Restwasserstrecke des Flembaches vorwiegend als unbeeinflusstes Gewässer wahrgenommen. Im Gegensatz zur winterlichen Mindestrestwassermenge (55 l/s), bei der die beurteilten Kriterien höchstens noch teilweise bis nicht mehr erfüllt werden (v.a. am Ende der Versickerungsstrecke bei 30 l/s), kann die Sommerdotierung von 350 l/s als erfolgreiche Aufwertung bezeichnet werden.

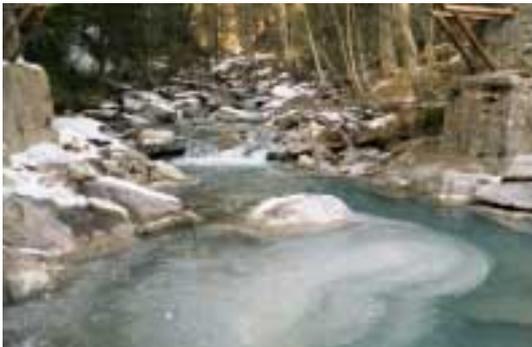


Abb. 4.5.3: Flembach oberhalb der Fassungsstelle des Kraftwerks Stenna am 22.11.01 (obere Referenzstelle). Q ca. 300-500 l/s.

Fig. 4.5.3: Le Flembach en amont du captage de la centrale hydroélectrique Stenna le 22.11.01 (site de référence amont). Q env. 300-500 l/s.



Abb. 4.5.4: Wasserfassung im Flembach am 20.6.01. Links der Mitte ist die Dotierwasseröffnung (Dotierung: 350 l/s) und ganz links das Fassungsbecken zu sehen.

Fig. 4.5.4: Prise d'eau sur le Flembach le 20.6.01. On voit au milieu à gauche l'ouverture de dotation (dotation: 350 l/s) et tout à gauche le bassin de captage.



Abb. 4.5.5: Flembach im oberen Teil der Restwasserstrecke am 22.11.01. Die Grundeisbildung ist gut erkennbar. $Q = 55$ l/s.

Fig. 4.5.5: Le Flembach dans le secteur amont du tronçon à débit résiduel le 22.11.01. La formation de glace de fond est bien visible. $Q = 55$ l/s.



Abb. 4.5.6: Steilster Abschnitt der Restwasserstrecke mit Blockrampe während der Sommerdotierung am 27.9.01. $Q = 350$ l/s.

Fig. 4.5.6: Secteur le plus raide du tronçon à débit résiduel avec rampe en enrochements pendant la dotierung estivale le 27.9.01. $Q = 350$ l/s.

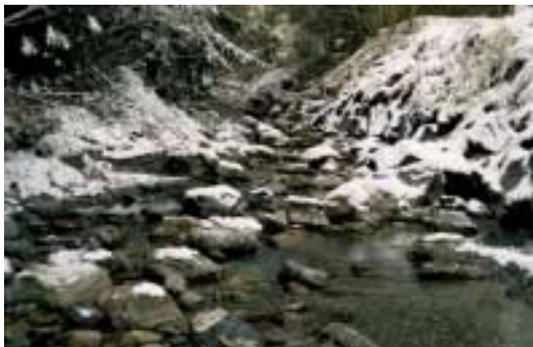


Abb. 4.5.7: Ende der Restwasser- und Versickerungsstrecke am 22.11.01. $Q = 30$ l/s.

Fig. 4.5.7: Fin du tronçon à débit résiduel et du tronçon d'infiltration le 22.11.01. $Q = 30$ l/s.

Abb. 4.5.8: Stark verbauter Abschnitt des Flembach im Dorf Flims (20.6.01). $Q > 1000$ l/s.

Fig. 4.5.8: Secteur fortement aménagé en dur du Flembach dans le village de Flims (20.6.01). $Q > 1000$ l/s.



Abb. 4.5.9: Kraftwerk Stenna (oben Mitte) mit Wasserrückgabestelle (22.11.01).

Fig. 4.5.9: La centrale hydroélectrique Stenna (en haut au milieu) et la restitution d'eau (22.11.01).



Abb. 4.5.10: Flembach unterhalb der Wasserrückgabestelle am 22.11.01 (untere Referenzstelle).

Fig. 4.5.10: Le Flembach en aval de la restitution d'eau le 22.11.02 (site de référence aval).

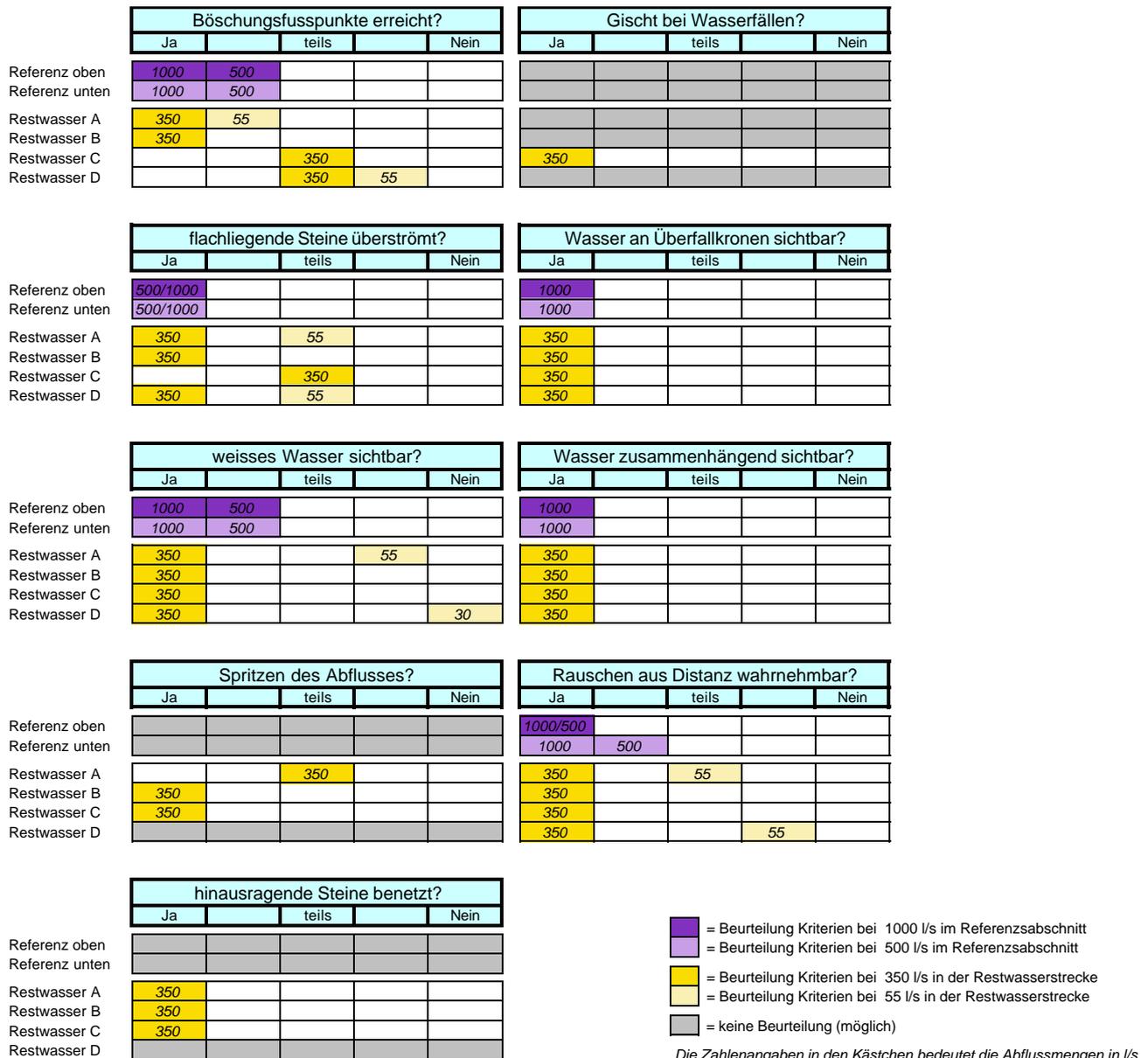


Abb. 4.5.11: Beurteilung des Flembaches als sinnlich wahrnehmbares Landschaftselement anhand verschiedener flus-smorphologischer Kriterien (5-stufige Beurteilungsskala) und in verschiedenen Referenz- und Restwasserabschnitten. Nicht alle Kriterien konnten in allen Gewässerabschnitten beurteilt werden: so tritt etwa die Bildung von Gischt nur bei Wasserfällen auf, wie sie nur in der Restwasserstrecke vorkommen.

Fig. 4.5.11: Appréciation du Flembach en tant qu'élément paysager perceptible par les sens au moyen de différents critères de morphologie du cours d'eau (échelle d'appréciation à 5 degrés) et sur différents tronçons de référence et à débits résiduels. Tous les critères n'ont pas pu être appréciés sur chaque tronçon: la formation d'écume, par exemple, ne se rencontre qu'aux chutes d'eau, présentes seulement sur le tronçon à débit résiduel.

Morphologie und Strukturen

Vor allem der obere Bereich der Restwasserstrecke im Flombach ist natürlich und sehr reichhaltig strukturiert. Das Substrat ist variabel und weist im Vergleich zu den beiden Referenzstrecken etwas weniger Blöcke auf, dafür ist der Anteil an Geröll (Restwasser oben) und Kies (Restwasser unten) grösser (Abb. 4.5.12 A). Das Substrat ist im allgemeinen locker. Aufgrund der recht grossen Breite im unteren Bereich der Restwasserstrecke wurde deutlich mehr Feinmaterial (Schlick und Sand) abgelagert als in den Referenzstrecken. Die Strömungsverhältnisse sind in der Restwasserstrecke variabler als in der Referenz (grössere Anzahl Strömungstypen, Abb. 4.5.12 B), allerdings fehlen im oberen Bereich die tieferen Runs mit nicht-turbulenter Strömung fast vollständig. Der flächenmässig grosse Anteil an flachen Pools unten in der Restwasserstrecke ist wiederum eine Folge der grösseren Breite des Flussbettes. Die Strukturvielfalt ist ähnlich wie die obere Referenzstrecke (Abb. 4.5.12 C). Im Vergleich zur unteren Referenzstrecke weist die Restwasserstrecke deut-

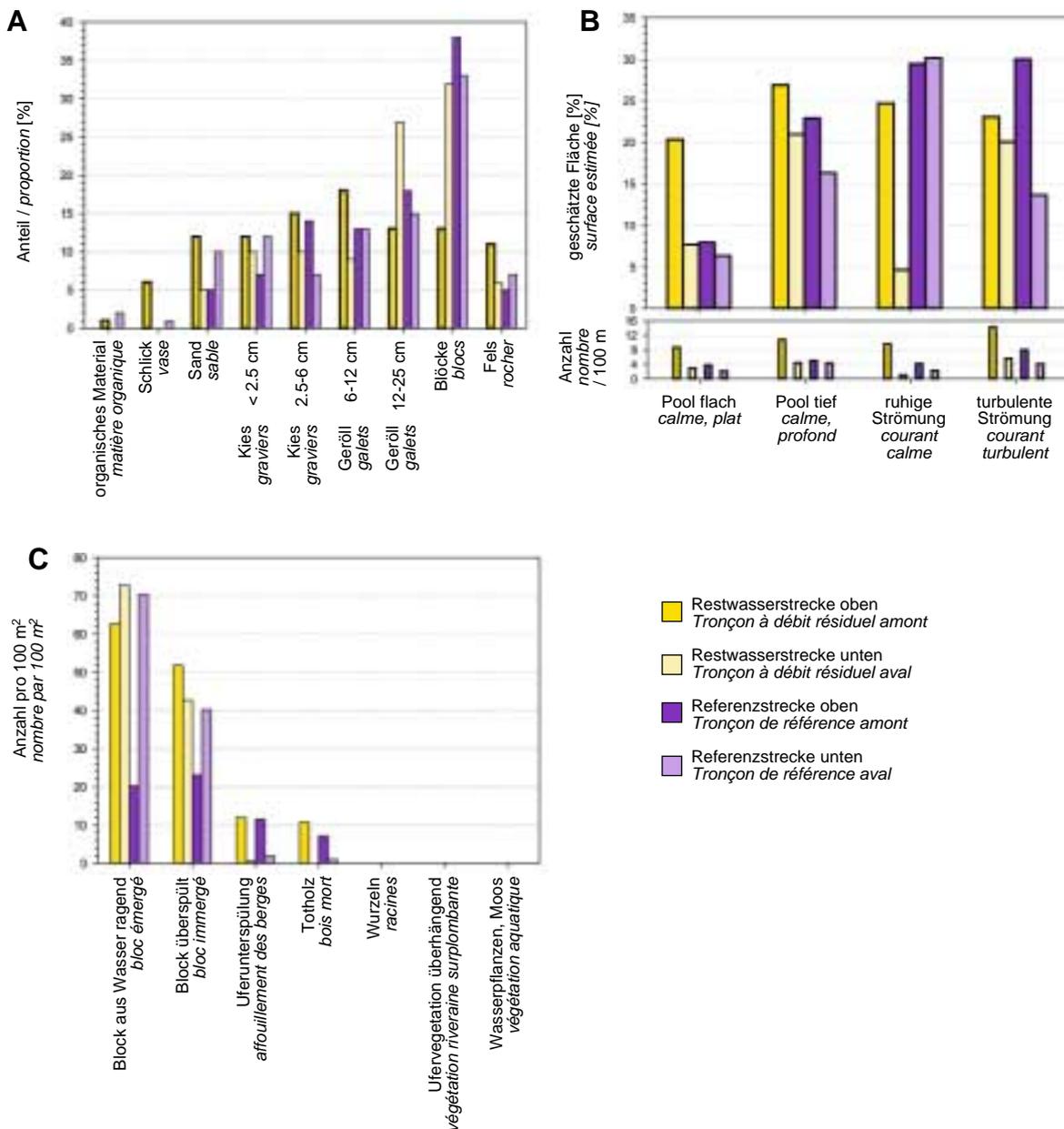


Abb. 4.5.12: Morphologie und Strukturen in der Referenz- und Restwasserstrecke des Flombaches: A = Substrattypen, B = Strömungsmuster, C = Strukturen.

Fig. 4.5.12: Morphologie et structures sur le tronçon de référence et sur le tronçon à débit résiduel du Flombach. A = types de substrat, B = types de courant, C = structures.

lich mehr aus dem Wasser ragende und überspülte Blöcke auf.

Obschon der Flembach auch in der Restwasserstrecke gut strukturiert und naturnah ist, wird der Fischlebensraum durch das etwas ungünstige Verhältnis zwischen Flachwasser und tieferen Bereichen in der Restwasserstrecke im Vergleich zur Referenzstrecke eher eingeschränkt. Ebenfalls ungünstig sind der grössere Anteil Feinmaterial und das fast fehlende organische Material in der Restwasserstrecke. Damit muss der Flembach bezüglich Morphologie und Strukturen als mässig von der Referenz abweichend beurteilt werden.

Fischökologische Aspekte

Fischbestand

In gesamthaft vier Abschnitten wurden am 16. 11. 2001 Elektroabfischungen durchgeführt: je ca. 300 m unterhalb und oberhalb der Fassung und der Wasserrückgabe (vgl. Abb. 4.5.2). Im unteren Abschnitt der Restwasserstrecke wurden keine Fische gefunden, im Abschnitt unterhalb der Fassung dagegen konnte ein kleiner Bestand an Bachforellen festgestellt werden, allerdings in sehr geringer Abundanz (CPUE = 0.06; Abb. 4.5.13). In den beiden Referenzstrecken wurden ebenfalls ausschliesslich Bachforellen gefangen, aber in deutlich grösserer Anzahl (CPUE = 0.16 oben bzw. 0.81 unten). Oberhalb der Fassung wurden auch einige Jungfische des Jahres festgestellt, die gemäss Aussage des zuständigen Fischereiaufsehers aus Naturbrut stammen müssen, da in diesem Jahr kein Besatz getätigt wurde (Anhang 6.4). Im oberen Abschnitt der Restwasserstrecke sollte die Naturverlaichung aufgrund des vorgefundenen Substrates ebenfalls gewährleistet sein, allerdings ist ein Bruterfolg wegen starkem Geschiebetrieb und winterlicher Vereisung (Grundeis) nicht als sicher zu bezeichnen. Zum Fischbestand werden in den Konzessionsunterlagen keine Angaben gemacht (ITECO 1997), so dass eine Beurteilung über einen längeren Zeitraum nicht möglich ist.

Die Biomasse der Fischnährtiere ist in allen untersuchten Abschnitten klein, und beträgt in der Restwasserstrecke nur rund 60 % der Referenzstrecken. Das Gewässer ist gesamthaft als wenig produktiv einzustufen.

Die qualitative Erhaltung der Fischfauna ist im Flembach mit nur einer Art sichergestellt. Die deutlich geringere Nährtierbiomasse und die geringe Abundanz der Bachforellen zeigen, dass die quantitative Erhaltung des Fischbestandes stark abweichend von der Referenz ist.

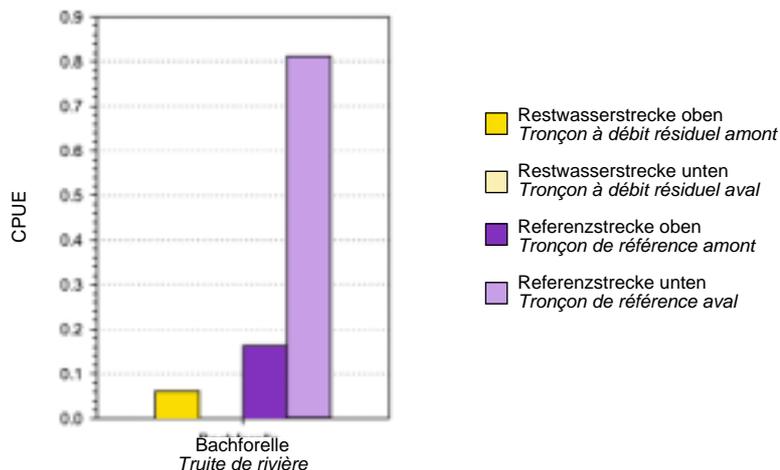


Abb. 4.5.13: Fischbestand im Flembach am 16.11.01. CPUE = catch per unit effort.

Fig. 4.5.13: Population de poissons dans le Flembach le 16.11.01. CPUE = catch per unit effort.

Fischgängigkeit

Der Flembach ist für die Fischfauna von unten her nur für einen sehr kurzen Abschnitt zugänglich, da kurz oberhalb der Wasserrückgabe das Gewässer in einem gepflasterten Bett eine Strasse unterquert und kurz danach mehrere hohe Schwellen die Wanderung der Wasserfauna unterbinden. In der aufwärts anschließenden Schlucht versperrern zudem einige natürliche Abstürze mit Überfallhöhen > 1m die Fischwanderung. Bei der Wasserfassung wurde der stauenden Schwelle eine Blockrampe vorgelagert, so dass mindestens bei einer Wasserführung über der Kapazität der Fassung eine Aufwärtswanderung der Fische möglich ist.

Wassertiefen

Die Wassertiefen im Talweg des Flembaches (Abb. 4.5.14) erreichten im Referenzabschnitt unterhalb der Wasserrückgabe zu 95 % Werte über 20 cm. Im kritischsten Abschnitt der Restwasserstrecke (Ende der Versickerungsstrecke und wenig oberhalb der Wasserrückgabe) hingegen lagen fast zwei Drittel der Werte (61 %) zum Teil deutlich unter 20 cm. Die Fischwanderung ist im unteren Teil der Restwasserstrecke somit nicht nur durch Verbauungen (künstliche Abstürze) sondern auch durch die geringen Wassertiefen stark beeinträchtigt. Im oberen Teil der Restwasserstrecke ist die freie Fischwanderung wegen der vielen Abstürze auch natürlicherweise nicht möglich.

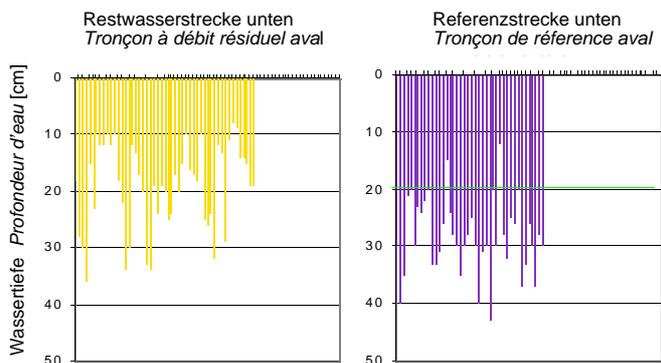


Abb. 4.5.14: Wassertiefen in der Referenz- und im untersten Teil der Restwasserstrecke des Flembaches im Abstand von ca. 0.5 m.

Fig. 4.5.14: Profondeurs d'eau tous les 0.5 m env. sur le tronçon de référence et sur le secteur aval du tronçon à débit résiduel du Flembach.

Kleintiere des Gewässerbodens (Makrozoobenthos)

Die Untersuchung der strömungsliebenden Kleintiere erfolgte jeweils ober- und unterhalb der Wasserfassung resp. ober- und unterhalb der Wasserrückgabe. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen (22.11.01) herrschten über eine längere Periode Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Unterhalb der Wasserfassung konnte als Folge davon Grundeisbildung (siehe Abb. 4.5.5) beobachtet werden – oberhalb der Fassung und im unteren Abschnitt der Restwasserstrecke dagegen nicht –, was die Besiedlung durch strömungsliebende Kleintiere der beiden untersuchten Gruppen der Heptageniidae und Blephariceridae stark einschränkte resp. behinderte. So erreichte im Vergleich zur oberen Referenz die Besiedlungsdichte der Heptageniidae in der oberen Restwasserstrecke 14 %, jene der Blephariceridae noch 3 % und war damit sehr stark beeinträchtigt. Im unteren Abschnitt der Restwasserstrecke konnte hingegen keine Beeinträchtigung der Besiedlungsdichte beobachtet werden (siehe Anhang 6.3).

An allen untersuchten Stellen des Flembaches war bei den Heptageniidae v.a. *Rhitrogena* sp. vertreten, daneben fanden sich aber auch einzelne Tiere der Gattungen *Ecdyonurus* und *Epeorus*; letztere wurden als Einzelfund jeweils nur in den beiden Referenzabschnitten gefunden. Die Blephariceridae waren einzig durch *Haplothrix lugubris* vertreten.

Wasserqualität und Äusserer Aspekt

In die Restwasserstrecke des Flembaches werden keine Abwässer eingeleitet. Die Kläranlage von Flims führt das gereinigte Abwasser erst unterhalb der Wasserrückgabe des Kraftwerkes in den Flembach. Die Wasserqualität in der Restwasserstrecke zeigte sich entsprechend kaum beeinträchtigt (Daten siehe Anhang 6.2). Die im Vergleich zur Referenz leicht erhöhten Nitrat und Leitfähigkeitswerte am Ende der Restwasserstrecke sind nicht auf Abwassereinleitungen zurückzuführen (die Phosphatkonzentration veränderte sich nicht), sondern sind eher Interaktionen des Flembaches mit dem Grundwasser zuzuschreiben.

Beim Äusseren Aspekt (Abb. 4.5.15) konnten bei den meisten Untersuchungsparametern keine Abweichungen zur Referenz festgestellt werden. Die grösste Beeinträchtigung betraf die sehr starke Kolmation resp. Grundeisbildung im obersten Abschnitt der Restwasserstrecke. Es bleibt jedoch unklar, ob diese Grundeisbildung auf die Restwasserstrecke beschränkt bleibt, oder ob sie hier nur früher auftritt als im Referenzabschnitt oberhalb der Fassung. Eine entsprechend geplante Kontrolle konnte wegen einer nachfolgenden Wärmeperiode nicht durchgeführt werden. Beobachtete Ansätze von Grundeisbildung oberhalb der Fassung könnten jedoch darauf hinweisen, dass der Flembach auch natürlicherweise zu Grundeisbildung neigt. Einzige Beeinträchtigung der unteren Restwasserstrecke konnte in Form von wenig Schaum- und Schlammbildung beobachtet werden.

Da aufgrund der Höhenlage vor allem im Winter kritische Temperaturen erwartet wurden, waren die Temperaturlogger nur vom 27. September 2001 bis zum 2. April 2002 zuunterst in der Restwasserstrecke rund 20 m oberhalb der Wasserrückgabe installiert. Während dieser Zeit wurden Extremwerte von 10.1 °C bzw. 0.3 °C bei maximalen Tagesschwankungen von 4.3 °C registriert. Vom 13.12. – 20.12. und erneut vom 31.12. – 11.1. lagen die Temperaturen fast ununterbrochen unter 1 °C, Minustemperaturen wurden jedoch keine aufgezeichnet. Dies obwohl Mitte Januar anlässlich einer Begehung das Gewässer zum grössten Teil vereist und mit Schnee bedeckt vorgefunden wurde.

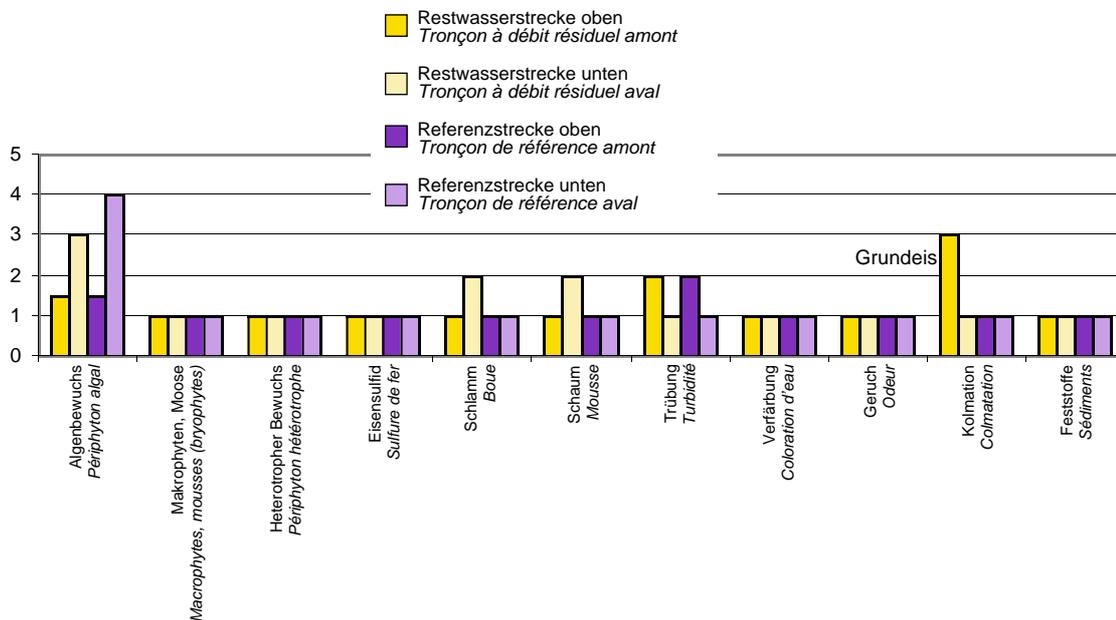


Abb. 4.5.15: Beurteilung des Äusseren Aspektes im Flembach am 22.11.01. Der pflanzliche Bewuchs wurde 6-stufig, die übrigen Aspekte mit einer 3-stufigen Skala beurteilt.

Fig. 4.5.15: Appréciation de l'aspect extérieur du Flembach le 22.11.01. Le périphyton végétal a été apprécié sur une échelle à 6 degrés, les autres aspects sur une échelle à 3 degrés.



Abb. 4.5.16: Temperaturverlauf im Flembach vom Oktober 2001 bis April 2002.

Fig. 4.5.16: Variation de la température du Flembach entre octobre 2001 et avril 2002.

Beurteilung der Restwasserstrecke

In der Restwasserstrecke des Flembaches bestehen heute verschiedenste mässige bis starke Abweichungen gegenüber der Referenz. Mitverantwortlich dafür ist eine Versickerungstrecke im unteren Teil der Restwasserstrecke, wo rund die Hälfte der konzessionierten Restwassermenge von 60 l/s versickert, sodass im Winter nur noch ca. 30 l/s vor der Wasserrückgabe abfliessen. Hier sind die Minimaltiefen für die freie Fischwanderung und die quantitative Erhaltung der Fischfauna stark beeinträchtigt. Dazu zeigen sich aber auch beim Äusseren Aspekt, bei den strömungsabhängigen Kleintieren, bei der Morphologie des Gewässers und bei der Fischgängigkeit der Fassung weitere, wenn auch nur mässige Abweichungen. Diese Beurteilungen sind teilweise eine direkte Folge der unterhalb der Fassung festgestellten starken Grundeisbildung in der kältesten Jahreszeit. Bei der Wasserqualität und der qualitativen Erhaltung der Fischfauna (nur Bachforelle) wurden keine Defizite festgestellt.

Die Erhöhung der Sommerdotierung vom Mai bis September zeigt im Gegensatz zur Mindestrestwassermenge eine deutliche Aufwertung für das Landschaftsbild. Die untersuchten flussmorphologischen Kriterien wie z.B. Erreichen des Böschungsfusses, Überströmen von flachliegenden grösseren Steinen oder Rauschen des Gewässers wurden meist erfüllt.

Hohe Schwellen und natürliche Abstürze verhindern die freie Fischwanderung in der Restwasserstrecke, die Wasserfassung ist dank einer vorgelagerten Blockrampe bedingt fischgängig. Das Gewässerkontinuum ist somit auch natürlicherweise nicht gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge nur teilweise gewährleistet.

4.6 Schüss (BE)

Einleitende Angaben

Die Schüss entwässert das Talgebiet nördlich der Chasseral-Bergkette, durchfliesst die touristisch berühmte Taubenlochschlucht und mündet in Biel in den Bielersee. Das Kraftwerk Bözingen fasst das Wasser der Schüss oberhalb der Taubenlochschlucht und turbiniert das Wasser – unter Ausnutzung des grossen Gefälles der Schlucht – in Bözingen (Kenndaten siehe Tab. 4.6.1). Das Kraftwerk liegt am Ende einer von verschiedenen Gesellschaften betriebenen Kraftwerkskette, die die Schüss über mehrere Kilometer hydroelektrisch nutzt. Die Rückgabestelle des oberliegenden Kraftwerkes liegt unmittelbar bei der Fassung für das Kraftwerk Bözingen. Aus diesem Grund war die Schüss oberhalb der Fassung nicht als Referenzabschnitt geeignet. Eine bessere Referenz fand sich schliesslich unterhalb der Wasserrückgabe im Talboden bei Bözingen (siehe Abb. 4.6.2).

Die Messung der minimalen Restwassermenge unterhalb der Wasserfassung vom 6.11.01 ergab einen Abfluss von rund 760 l/s. Dies entsprach der konzessionierten Mindestrestwassermenge von 700 l/s.

Tab. 4.6.1: Kennwerte für das Kraftwerk Bözingen und die Schüss.

Tab. 4.6.1: Caractéristiques de la centrale électrique de Bözingen et de la Suze.

Kraftwerk	Bözingen
Standortkanton	BE
Standort Zentrale	Bözingen
Genutztes Gewässer	Schüss
genutzte Gewässerstrecke [km]	ca. 1.0
Kote Maschinenhaus [m.ü.M.]	448
Fassung [m.ü.M.]	501
Rückgabe [m.ü.M.]	444
Fallhöhe [m]	53
Fischgewässer	Ja
Tage mit Überlauf	100
Abflussregime	nivo-pluvial
Q347 [l/s]	1392
Leistung [MW]	3.258
Inbetriebnahme	1998
Dotierung gemäss Konzession [l/s]	700
angewendeter Artikel GSchG	33
Qmax [m ³ /s]	6.6
Gefälle [‰]	53.0
EZG [km ²]	273

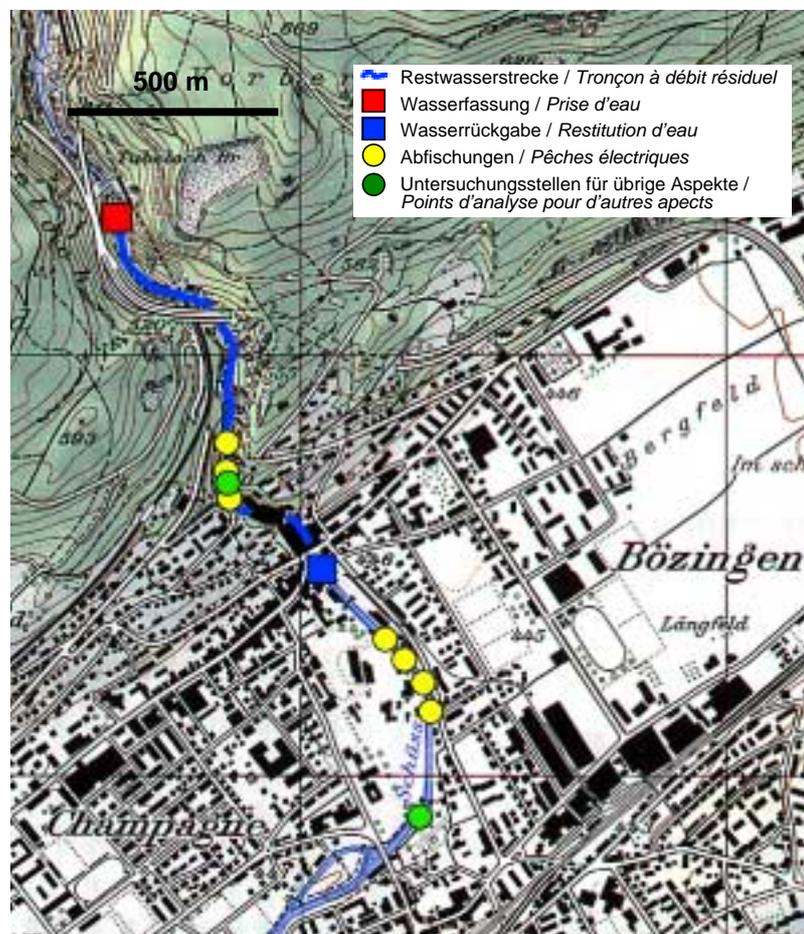


Abb. 4.6.2: Restwasserstrecke der Schüss mit den Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).

Fig. 4.6.2: Tronçon à débit résiduel de la Suze avec les points d'analyse. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA035367).

Landschaftselement

Die Restwasserstrecke der Schüss (siehe Abb. 4.6.3–4.6.9) liegt in einem landschaftlich bedeutenden Gewässerabschnitt (Taubenlochschlucht) und stellt eine weitherum bekannte Touristenattraktion dar, da ein Wanderweg die ganze Schlucht und somit die ganze Restwasserstrecke erschliesst. Die Restwassermenge wurde gemäss Artikel 33 des Gewässerschutzgesetzes über dem gesetzlichen Minimum auf 700 l/s angesetzt.

Der genutzte Gewässerabschnitt wird – begünstigt durch die eingeeengte und schluchtartige Gewässerstruktur – nicht sofort als Restwasser wahrgenommen, da an den meisten Stellen das Bachbett auf seiner ganzen Breite benetzt ist und durch das grosse Gefälle das Gewässer als dynamisch empfunden wird.

In drei Restwasserabschnitten der Schüss wurden am 6.11.01 verschiedene flussmorphologische Kriterien beurteilt und mit der Schüss oberhalb der Wasserentnahme – zum Zeitpunkt der Untersuchung herrschten hier natürliche Abflussbedingungen – verglichen. Die Kriterien gem. Abb. 4.6.10 werden in der Restwasserstrecke meist erfüllt und unterscheiden sich nur wenig von der Referenz (z.B. Erreichen des Böschungsfusses oder Bildung von weissem Wasser). Das Rauschen des Gewässers war in der Restwasserstrecke sogar deutlich besser zu hören, hingegen waren im Restwasserabschnitt C (flacher Abschnitt Ende Restwasserstrecke) aus dem Wasser hinausragende Steine nur noch teilweise benetzt. Insgesamt weichen die Kriterien in der Restwasserstrecke im Mittel weniger als eine Stufe von der Referenz ab und zeigen damit höchstens geringe Veränderungen gegenüber der Referenz.



Abb. 4.6.3: Schüss oberhalb der Wasserfassung für das Kraftwerk Bözingen am 10.4.02. Q ca. $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fig. 4.6.3: La Suze en amont du captage pour la centrale hydroélectrique de Bözingen le 10.4.02. Q env. $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$.



Abb. 4.6.4: Wasserfassung in der Schüss mit Fischtreppe (rechts) und Ableitungskanal (links).

Fig. 4.6.4: Prise d'eau sur la Suze avec l'échelle à poissons (à droite) et le canal de dérivation (à gauche).

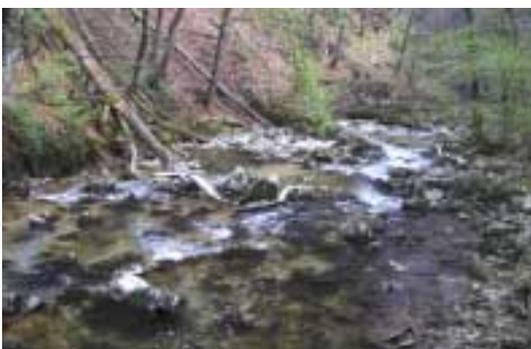


Abb. 4.6.5: Restwasserstrecke ca. 200 m unterhalb der Wasserentnahmestelle. Q ca. 700 l/s.

Fig. 4.6.5: Tronçon à débit résiduel env. 200 m en aval du prélèvement d'eau. Q env. 700 l/s.

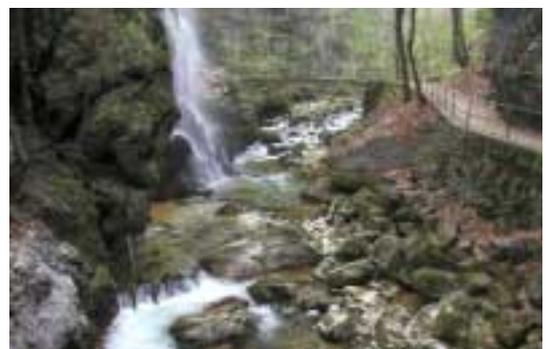


Abb. 4.6.6: Restwasserstrecke ca. 500 m unterhalb der Wasserentnahmestelle (Taubenlochschlucht). Q ca. 700 l/s.

Fig. 4.6.6: Tronçon à débit résiduel env. 500 m en aval du prélèvement d'eau (gorge du Taubenloch). Q env. 700 l/s.



Abb. 4.6.7: Wasserfälle und Becken in der Restwasserstrecke der Schüss (Taubenlochschlucht). Q ca. 700 l/s.

Fig. 4.6.7: Chutes d'eau et cuvettes sur le tronçon à débit résiduel de la Suze (gorge du Taubenloch). Q env. 700 l/s.



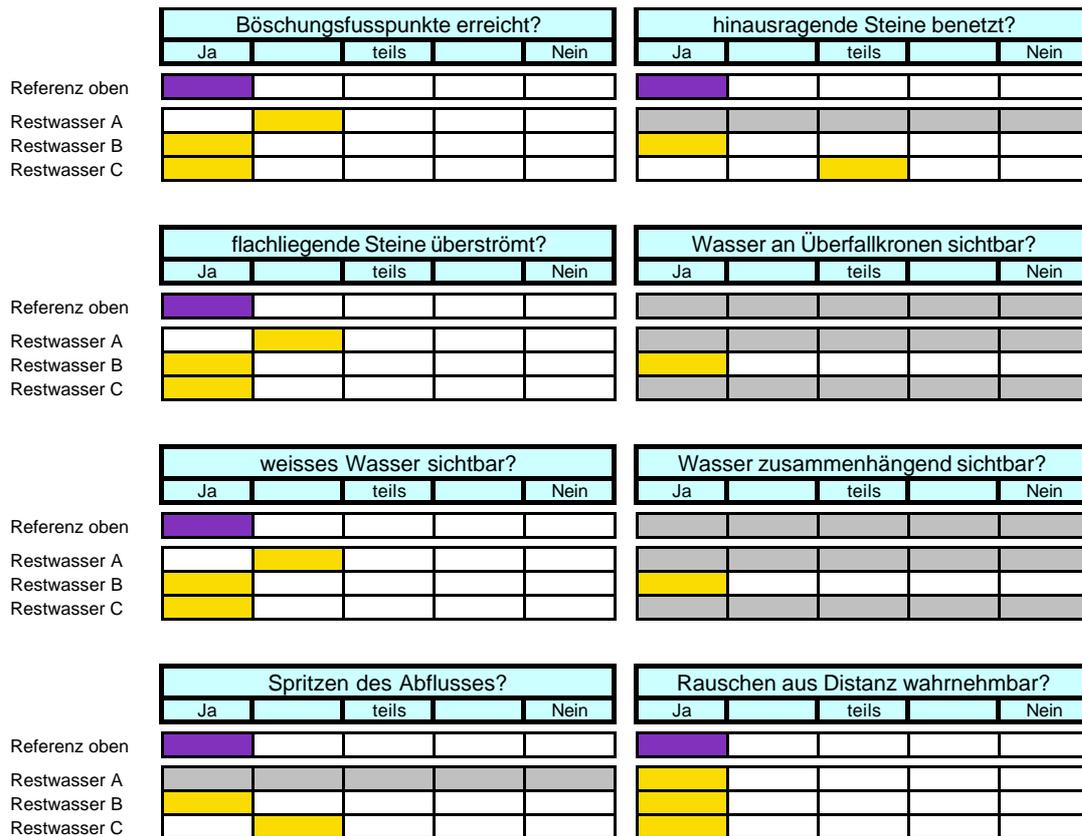
Abb. 4.6.8: Restwasserstrecke der Schüss ca. 800 m unterhalb der Wasserentnahmestelle (Ende Taubenlochschlucht). Q ca. 700 l/s.

Fig. 4.6.8: Tronçon à débit résiduel de la Suze env. 800 m en aval du prélèvement d'eau (fin de la gorge du Taubenloch). Q env. 700 l/s.



Abb. 4.6.9: Referenzabschnitt in der Schüss unterhalb der Wasserrückgabe in Bözingen. Q ca. 2.5 m³/s.

Fig. 4.6.9: Tronçon de référence sur la Suze en aval de la restitution d'eau à Bözingen. Q env. 2.5 m³/s.



Legende

- Referenz = ca. 50 m oberhalb Wasserfassung (morphologischer Typ 2(-3): Schnellen-Hinterwasser-Sequenzen)
- Restwasser A = ca. 200 m unterhalb Wasserfassung (morphologischer Typ 2: Pool-riffle)
- Restwasser B = ca. 500 m unterhalb Wasserfassung (morphologischer Typ 4-5: Absturz-Becken-Sequenzen)
- Restwasser C = ca. 700 m unterhalb Wasserfassung (morphologischer Typ 2-3: Schnellen-Hinterwasser-Sequenzen)

Die morphologischen Typen sind in Schälchli (1991) definiert.

- = Beurteilung Kriterien bei 2500 l/s im Referenzabschnitt
- = Beurteilung Kriterien bei 750 l/s in der Restwasserstrecke
- = keine Beurteilung (möglich)

Abb. 4.6.10: Beurteilung der Schüss als sinnlich wahrnehmbares Landschaftselement (am 6.11.01) anhand verschiedener flussmorphologischer Kriterien (5-stufige Beurteilungsskala) in einer Referenz- sowie verschiedenen Restwasserabschnitten (wegen eines Kraftwerkausfalls herrschten zum Untersuchungszeitpunkt an der Referenzstelle keine Restwasserbedingungen). Die verschiedenen Kriterien konnten nicht in allen sondern nur in bestimmten morphologischen Gewässertypen beurteilt werden: so tritt etwa die Sichtbarkeit bei Überfallkronen nur bei Abstürzen auf, wie sie nur in der Restwasserstrecke B vorkommen.

Fig. 4.6.10: Appréciation de la Suze en tant qu'élément paysager perceptible par les sens (le 6.11.01) au moyen de différents critères de morphologie du cours d'eau (échelle d'appréciation à 5 degrés) et sur un tronçon de référence et différents tronçons à débits résiduels (en raison d'une panne de la centrale hydroélectrique, le tronçon de référence ne connaissait pas des conditions de débit résiduel au moment de l'analyse). Les différents critères n'ont pu être appréciés que sur certains types morphologiques de cours d'eau: la visibilité des couronnes de déversement, par exemple, ne rencontre qu'aux seuils, présents seulement sur le tronçon à débit résiduel B.

Morphologie und Strukturen

Das Substrat der Restwasserstrecke in der Schüss ist wenig diversifiziert und weist im Vergleich zur Referenz viel mehr Blöcke, aber deutlich weniger Geröll, groben und mittleren Kies (2.5 – 12 cm) auf (Abb. 4.6.11 A). Dies muss als leichte Beeinträchtigung interpretiert werden, da das wichtige Laichsubstrat für die in dieser Strecke bedeutendste Fischart, die Bachforelle, nur wenig vertreten ist. Bezüglich Strömungstypen ist die Restwasserstrecke jedoch vielfältig und kleinräumig heterogen, wogegen die Referenzstrecke aufgrund der fehlenden Breiten- und Tiefenvariabilität sehr eintönig ist und der grösste Teil des Flusses als Run mit ruhiger Strömung klassiert wurde (Abb. 4.6.11 B). Flachwasserzonen fehlen in der Referenz vollständig, und tiefe Pools wurden nur in geringer Zahl festgestellt. Diese fehlende Habitatdiversität der Schüss unterhalb des Kraftwerkes wird auch in der Anzahl Strukturen ersichtlich, die vor allem aus überspülten Blöcken und

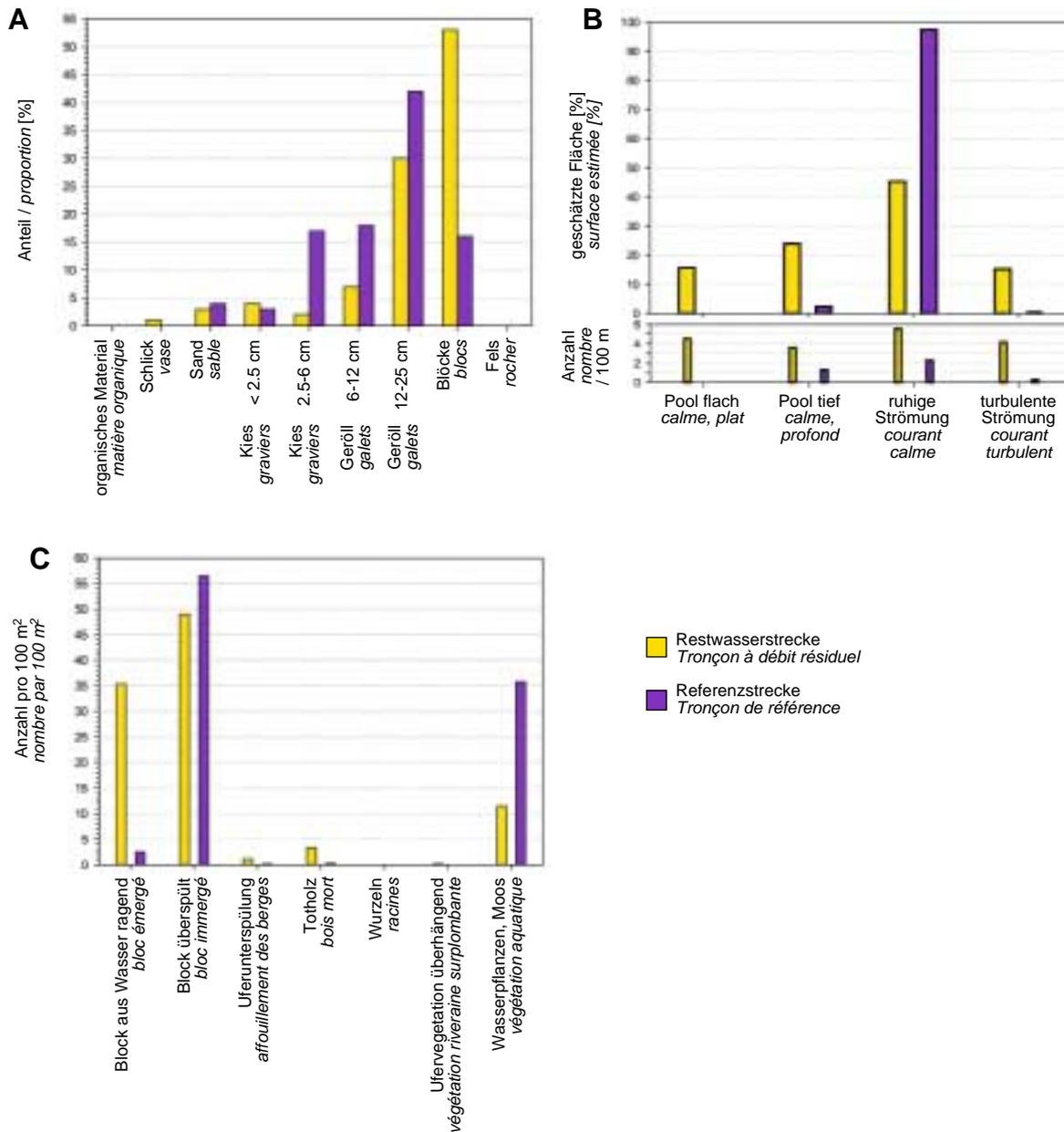


Abb. 4.6.11: Morphologie und Strukturen in der Referenz- und Restwasserstrecke der Schüss: A = Substrattypen, B = Strömungsmuster, C = Strukturen.

Fig. 4.6.11: Morphologie et structures sur le tronçon de référence et sur le tronçon à débit résiduel de la Suze. A = types de substrat, B = types de courant, C = structures.

dichtem Bewuchs mit Wassermoosen bestehen (Abb. 4.6.11 C). Im Vergleich mit andern Gewässern ist auch die Restwasserstrecke recht strukturarm, aber immerhin wurde eine grosse Zahl untergetauchte und aus dem Wasser ragende Blöcke, sowie einige Uferunterspülungen und etwas Totholz registriert.

Die ungünstige Substratzusammensetzung in der Restwasserstrecke wird durch bessere Strömungsverteilung und Habitatdiversität als in der morphologisch stark beeinträchtigten Referenzstrecke ausgeglichen. Damit wird diese Restwasserstrecke bezüglich Morphologie und Strukturen im Vergleich zur Referenzstrecke als nicht abweichend eingestuft.

Fischökologische Aspekte

Fischbestand

Die Probestrecken befanden sich je ca. 200 m oberhalb und unterhalb der Wasserrückgabe in Bözingen und wurden am 2. 11. 2001 elektrisch befishet. In beiden Strecken wurden Bachforellen und Gropen gefangen. Der Fischbestand ist relativ klein mit einem CPUE von 0.84 in der Restwasserstrecke, bzw. 0.67 in der Referenzstrecke (Abb. 4.6.12). Die Differenz der Fischdichte von 25 % ist ausschliesslich auf die Groppe zurückzuführen (22 Individuen in der Restwasserstrecke, 14 Individuen in der Referenzstrecke). Die Längenverteilung der Bachforellen zeigt, dass in beiden Strecken Jungtiere vorkommen, die fangreifen Forellen (Anhang 6.4) fehlen dagegen in der Strecke unterhalb des Kraftwerkes. Aufgrund der Substratzusammensetzung ist die natürliche Fortpflanzung der Bachforelle in der Restwasserstrecke nur an wenigen Stellen möglich, in der Referenzstrecke dagegen ist fast ein Fünftel der Untersuchungsfläche mit geeignetem Kies bedeckt, wenn auch die leichte oberflächliche Kolmation eine Laichaktivität zumindest erschweren dürfte.

Aufgrund der Nährtierbiomasse (Anhang 6.3) kann die Schüss als produktives Gewässer eingestuft werden. Allerdings war die Nährtierbiomasse in der Restwasserstrecke nur halb so gross wie in der Referenzstrecke.

Da in beiden Strecken die gleiche Artenzahl festgestellt wurde, ist die qualitative Erhaltung der Fischfauna gewährleistet. Trotz höherer Fischdichte in der Restwasserstrecke wird die quantitative Erhaltung der Fischfauna wegen der deutlich geringeren Nährtierbiomasse als mässig beeinträchtigt beurteilt.

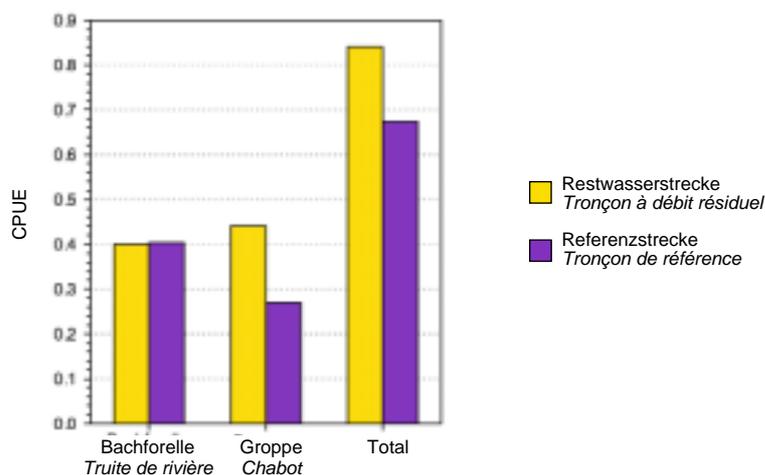


Abb. 4.6.12: Fischbestand in der Schüss, Erhebung vom 2.11.01. CPUE = catch per unit effort.

Fig. 4.6.12: Population de poissons dans la Suze le 2.11.01. CPUE = catch per unit effort.

Fischgängigkeit

Das Fassungsbauwerk in der Schüss verfügt über einen naturnah gestalteten Fischpass (Becken-/ Tümpelpass aus Natursteinen; Abb. 4.6.4), der gemäss Augenschein und nach Aussage des kantonalen Fischereiaufsehers für Bachforelle und Groppe funktionstüchtig ist. Unterhalb der Wasserrückgabe unterquert die Schüss mit einer glatten Rampe eine grosse Strasse; eine Sanierung ist im Gange und über die neue Blockrampe werden die Fische und Wirbellosen ungehindert in den untersten Teil der Taubenlochschlucht einwandern können. Innerhalb der Restwasserstrecke ist die Fischgängigkeit natürlicherweise nicht gewährleistet, da in der steilen Schlucht eine Vielzahl hoher Abstürze eine Wanderung der Wasserbewohner verhindert.

Wassertiefen

Die Wassertiefen in der Schüss erreichen sowohl im Referenz- wie im Restwasserabschnitt Werte von durchgehend über 20 cm (Abb. 4.6.13) und genügen damit den Anforderungen für eine freie Fischwanderung.

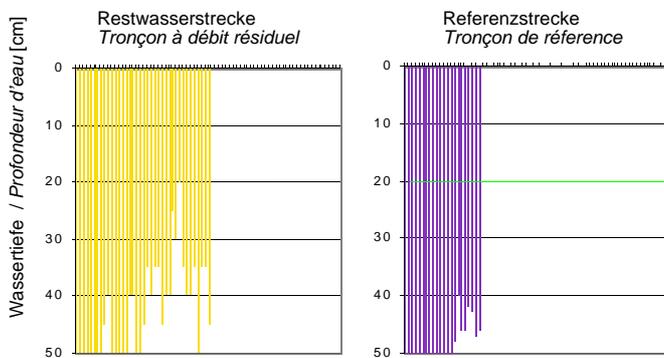


Abb. 4.6.13: Wassertiefen (Talweg) in der Referenz- und Restwasserstrecke der Schüss im Abstand von ca. 0.5 m.
Fig. 4.6.13: Profondeurs d'eau tous les 0.5 m env. sur le tronçon de référence et sur le tronçon à débit résiduel de la Suze.

Kleintiere des Gewässerbodens (Makrozoobenthos)

Am 10.4.02 wurde das Makrozoobenthos in der Restwasserstrecke und dem Referenzabschnitt unterhalb der Wasserrückgabe anhand von jeweils 5 Parallelproben untersucht. Die Resultate sind in Abbildung 4.6.14 dargestellt.

An der Referenzstelle ist, abgesehen von den Zuckmückenlarven (Chironomidae), der Anteil der Insektenlarven recht gering. Neben den Chironomidae sind die Würmer (Oligochaeta) sehr häufig, was auf die Abwasserbelastung des Gewässers durch mehrere Kläranlagen oberhalb von Bözingen zurückzuführen ist. Im Vergleich dazu ist die Artenzusammensetzung in der Restwasserstrecke sehr ähnlich. Von den 24 Arten in der Referenz wurden 19 auch im Restwasser gefunden; 5 Arten kamen nur in der Restwasserstrecke vor. Alle Arten(-gruppen) mit mehr als 1% Individuenanteil an der Referenz wurden auch im Restwasser gefunden.

Der statistische Vergleich der Häufigkeiten mittels U-Test zwischen Referenz- und Restwasserstrecke ergab nur bei wenigen Arten- resp. Artengruppen, die aber nicht häufig waren, signifikante Unterschiede in der Besiedlungsdichte. *Rhitrogena* sp. (strömungsliebende Eintagsfliegenlarve) profitierte von den hohen Fließgeschwindigkeiten in der Restwasserstrecke und war hier wie die Köcherfliegenlarve *Rhyacophila* sp. signifikant häufiger.

An verschiedenen starkströmenden Gewässerstellen wurden zusätzlich die strömungsliebenden Lidmücken (Blephariceridae) untersucht. Dabei zeigte sich, dass diese in der Restwasserstrecke ca. 10 mal häufiger anzutreffen waren als in der Referenz (Anhang 6.3), was neben guten Strömungsverhältnissen auch auf besseres Besiedlungssubstrat (grosse Steine, Blöcke, anstehender Fels) in der Taubenlochschlucht zurückzuführen ist.

In der Restwasserstrecke der Schüss wird unter den heutigen Restwasserverhältnissen der qualitative sowie quantitative Erhalt der Kleintiere weitgehend gesichert.

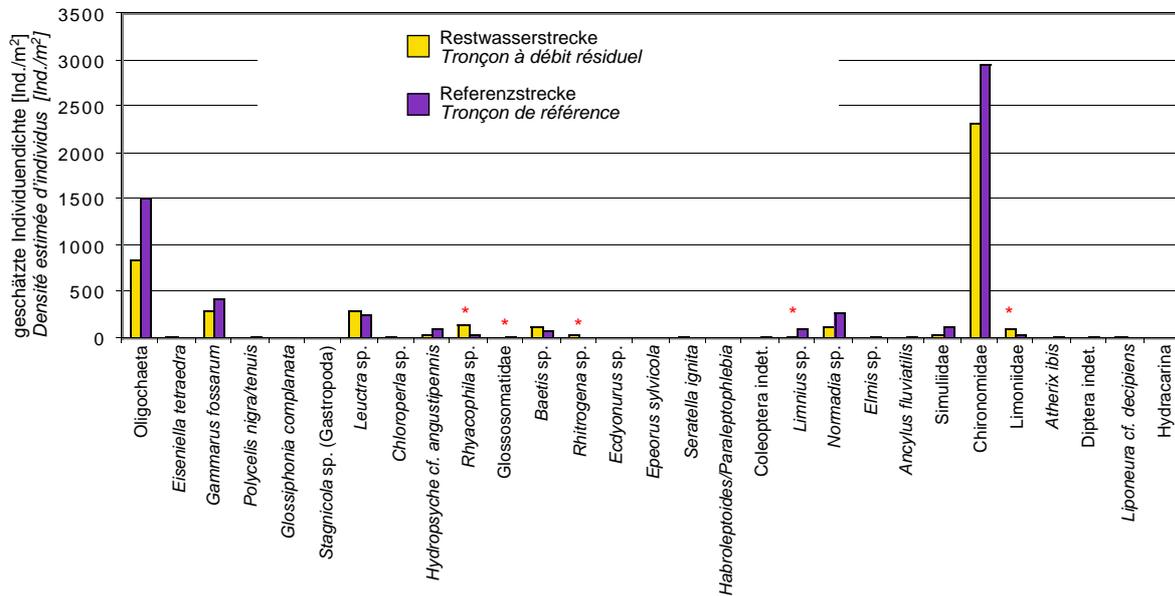


Abb. 4.6.14: Zusammensetzung des Makrozoobenthos in der Schüss am 10.4.02 in einem Referenzabschnitt (700 m unterhalb Wasserrückgabe) und in der Restwasserstrecke (ca. 700 m unterhalb Fassung). An beiden Stellen wurden jeweils 5 Parallelproben halbquantitativ entnommen und die Individuendichte geschätzt.

* = Signifikanter Unterschied in der Besiedlungsdichte anhand des U-Testes.

Fig. 4.6.14: Composition du macrozoobenthos dans la Suze le 10.4.02 sur un tronçon de référence (700 m en aval de la restitution) et sur le tronçon à débit résiduel (env. 700 m en aval du captage). Sur les deux points, 5 échantillons parallèles semi-quantitatifs ont été prélevés et la densité des individus a été estimée.

* = différence significative de la densité d'occupation sur la base d'un test de U.

Wasserqualität und Äusserer Aspekt

Die Wasserqualität wird in der Schüss stark von den verschiedenen Abwassereinleitungen oberhalb von Bözungen geprägt. Da aber keine direkten Einleitungen in die Restwasserstrecke erfolgen, konnten anhand von Stichproben keine relevanten Unterschiede bei den Parametern Nitrat, Phosphat, Sauerstoff, pH und Leitfähigkeit zwischen der Referenz und der Restwasserstrecke festgestellt werden (Anhang 6.2).

Beim Äusseren Aspekt (Abb. 4.6.15) können die Anforderungen an die Wasserqualität nach GSchV in der Referenz nicht bei allen Parametern erfüllt werden. So wurde an dieser Stelle erhöhte Schlamm- und Schaumbildung sowie leicht grössere äussere Kolmation der Deckschicht beobachtet. Die gleichen Beeinträchtigungen traten auch in der Restwasserstrecke auf, sind jedoch nicht eine Folge der Wasserentnahme. Gegenüber dem Referenzzustand konnte somit keine Veränderung beobachtet werden. Der pflanzliche Bewuchs war in der Restwasserstrecke bezüglich Grünalgen geringfügig, bei den Moosen jedoch deutlich höher als im unbeeinflussten Gewässerabschnitt unterhalb der Wasserrückgabe. Der Moosbewuchs erreichte im Restwasser eine Deckung von über 20 % gegenüber nur gerade 5 % unterhalb der Wasserrückgabe. Dies ist jedoch weniger auf die Wasserführung in der Restwasserstrecke als vielmehr auf den grossen Anteil grosser Blöcke und Felsen zurückzuführen, auf denen die Moose bevorzugt wachsen.

In der Schüss wurde die Temperatur vom 30. Juni 2001 bis am 10. April 2002 im untersten Bereich der Restwasserstrecke, am Ende der Taubenlochschlucht gemessen (Abb. 4.6.16). Im Sommer wurde eine Maximaltemperatur von 15.4 °C, im Winter ein Minimum von 1.8 °C bei maximalen Tagesschwankungen von 3.4 °C

registriert. Trotz der geringen Höhenlage wurden im Sommer keine biologisch unverträglichen Extremtemperaturen erreicht. Dies dürfte nicht zuletzt auch auf die Lage der Restwasserschüss in einer schattigen Schlucht zurückzuführen sein.

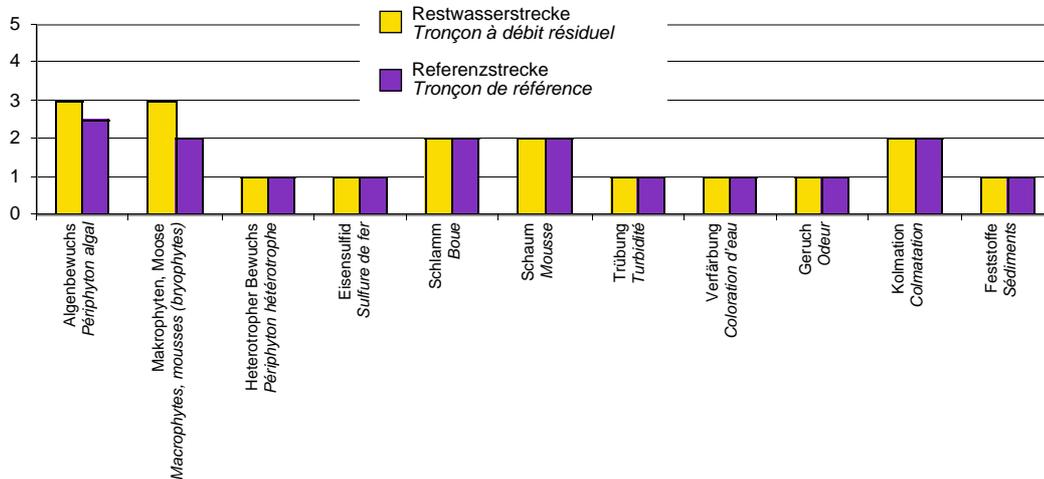


Abb. 4.6.15: Beurteilung des Äusseren Aspektes in der Schüss am 6.11.01. Der pflanzliche Bewuchs wurde 6-stufig, die übrigen Aspekte mit einer 3-stufigen Skala beurteilt.

Fig. 4.6.15: Appréciation de l'aspect extérieur de la Suze le 6.11.01. Le péryhton végétal a été apprécié sur une échelle à 6 degrés, les autres aspects sur une échelle à 3 degrés.



Abb. 4.6.16: Temperaturverlauf in der Schüss vom Juli 2001 bis April 2002.

Fig. 4.6.16: Variation de la température de la Suze entre juillet 2001 et avril 2002.

Kolmation

Im Rahmen der Konzessionserneuerung erwähnte ein fischereiliches Gutachten (Aquarius 1996) den Verdacht, dass bei zu geringer Restwassermenge die „Gefahr einer Kolmation der Laichstätten“ bestehe. Deshalb wurde in der Schüss die aktuelle Kolmation entlang der Restwasserstrecke beurteilt (Wildi, 2002). Der Berichtverfasser kommt zu folgendem Schluss:

Die Taubenlochschlucht ist ein typisches Exfiltrationsgebiet. Dabei tritt Kluft- und Karstwasser direkt aus dem Fels ins Oberflächenwasser aus. Eine Kolmatierung kann hier aus hydrogeologischen Gründen praktisch ausgeschlossen werden.

Sedimentablagerungen finden sich als einzelne kurzlebige Schotterbänke. Der Anteil an Feinmaterial aus

der Schwebefracht ist gering. Kolmation könnte hier allenfalls als vorübergehendes Phänomen aufgrund eines starken Algenwachses in den Sommermonaten auftreten. Auf die ganze Restwasserstrecke übertragen, handelt es sich aber um ein untergeordnetes Phänomen.

Beurteilung der Restwasserstrecke

Im Vergleich zu allen hier untersuchten Restwasserstrecken weist die Schüss den besten ökologischen Zustand auf. So werden insbesondere die Erhaltung der Fisch- und Kleintierfauna, Wasserqualität und Äusserer Aspekt gewährleistet. Die freie Fischwanderung ist sowohl im fischgängigen Abschnitt der Restwasserstrecke (Minimaltiefen überall mehr als 20 cm), als auch bei der Wasserfassung (funktionierender Fischpass) gewährleistet. Einzige Einschränkung betrifft die geringere Nährtierbiomasse in der Restwasserstrecke, was den quantitativen Erhalt der Fischfauna jedoch höchstens mässig beeinträchtigt.

Die Restwassermenge in der Schüss wurde gemäss Art. 33 GSchG über dem gesetzlichen Minimum auf 700 l/s festgesetzt. Die Überprüfung verschiedener flussmorphologischer Kriterien (Landschaftsbild) zeigen, dass diese in der Restwasserstrecke weitgehend erfüllt sind und damit bezüglich Landschaftsbild höchstens geringe Abweichungen gegenüber der Referenz festgestellt werden konnten.

Beim Fassungsbauwerk stellt ein Fischpass die Durchgängigkeit sicher, innerhalb der Restwasserstrecke verhindern natürliche Abstürze die Fischwanderung. Das Gewässerkontinuum ist somit auch natürlicherweise nicht gewährleistet.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge gewährleistet.

4.7 La Vièze (VS)

Données générales

La Vièze, un affluent du Rhône en rive gauche, draine le Val d'Illiez en amont de Monthey. Les eaux sont captées à Troistorrents (Pont du Pas) et exploitées hydroélectriquement à Monthey (fig. 4.7.1). Les caractéristiques les plus importantes du cours d'eau exploité et de la centrale hydroélectrique figurent dans le tableau 4.7.2.

La Vièze a fait l'objet de plusieurs études écologiques ces dernières années. Le rapport le plus récent sur la qualité du cours d'eau (y. c. le tronçon à débit résiduel) a été élaboré sur mandat du canton du Valais (ETEC 2002) et a fourni des renseignements importants pour la présente étude. L'appréciation de la qualité chimique du cours d'eau s'est faite exclusivement sur la base de ce rapport.

Le secteur aval du tronçon à débit résiduel est affecté par le déversement des eaux usées épurées de la station d'épuration de Troistorrents (nombre d'habitants: 11'500). L'aménagement satisfait aux dispositions légales en ce qui concerne le rejet de substances polluantes et la nitrification fonctionne bien, sauf en hiver par température très basse.

Tab. 4.7.2: Caractéristiques de la centrale hydroélectrique et de la Vièze.

Tab. 4.7.2: Kennwerte für das Kraftwerk an der Vièze und die Vièze.

Centrale électrique	La Vièze
Canton	VS
Localisation de la centrale	Monthey, Les Nants
Cours d'eau exploité	La Vièze
Tronçon de cours d'eau utilisé [km]	4.5
Altitude de la salle des machines [m]	438
Captage [m]	706
Restitution [m]	434
Hauteur de la chute [m]	272
Cours d'eau piscicole	oui
Jours avec surverse	80
Régime d'écoulement	nival-alpin
Q347 [l/s]	970
Puissance [MW]	9.6
Mise en service	1994
Dotation selon la concession [l/s]	425
Article LEaux appliqué	31/1
Qmax [m ³ /s]	4.5
Pente [‰]	60

Le tronçon à débit résiduel a principalement été examiné (en aval de la station d'épuration); mais certains paramètres complémentaires ont aussi été appréciés directement en aval du prélèvement d'eau, où l'accès est très difficile (fig. 4.7.1). Les autres secteurs du tronçon à débit résiduel n'étaient pas visibles et accessibles. Comme référence, on a pris la Vièze en aval de la restitution d'eau, ainsi que, pour certains aspects, un secteur en amont du prélèvement d'eau.

Les débits résiduels ont été mesurés le 20.11.01, directement en aval du captage, au moyen de la méthode de dilution du sel. Le débit était de 460 l/s, ce qui correspondait au débit résiduel de 425 l/s fixé dans la concession. Jusqu'à la restitution d'eau, le tronçon à débit résiduel bénéficie, même en période de basses eaux, de l'apport d'environ 250 l/s par les affluents latéraux (ETEC 2002), si bien que le débit devrait atteindre au moins quelque 675 l/s à la fin du tronçon à débit résiduel.

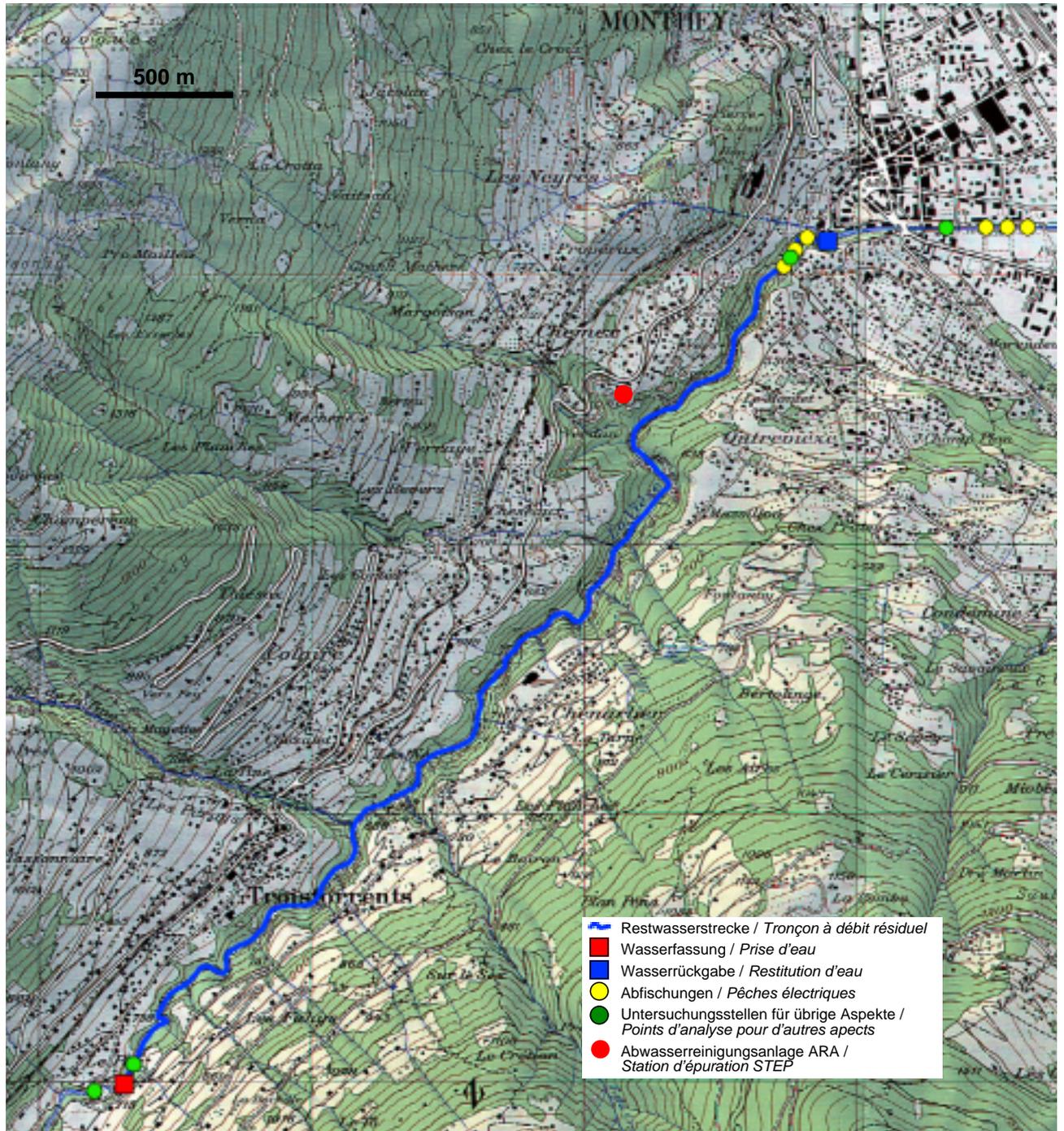
Documentation photographique, morphologie et structures

La série suivante de photos (fig. 4.7.3 - 4.7.8) illustre la Vièze sur des secteurs non exploités ainsi qu'en différents points du tronçon à débit résiduel. Dans les secteurs accessibles du tronçon à débit résiduel, le cours d'eau n'est pas perçu comme un cours d'eau à débit résiduel typique au premier coup d'œil. En raison de l'étroitesse du chenal, le lit du cours d'eau est souvent mouillé jusqu'au pied de la berge et les grandes pierres peu profondes sont largement submergées. La formation d'eau blanche, caractéristique de ce type de cours d'eau, et le jaillissement donnent aussi l'impression d'un cours d'eau dynamique et peu affecté. Le murmure typique sur le tronçon à débit résiduel y contribue également. Ces observations ont pu être faites tant en aval de la prise d'eau qu'en amont de la restitution d'eau.

Le tronçon à débit résiduel doit être classé comme naturel sur le plan morphologique. Le tronçon de référence en aval de la restitution d'eau est fortement rectifié sur les deux berges et aménagé en dur avec présence de murs. La composition du substrat est très semblable dans les deux tronçons, mais celui à débit

Fig. 4.7.1: Tronçon à débit résiduel de la Vièze avec les points d'analyse. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA035367).

Abb. 4.7.1: Restwasserstrecke der Vièze mit den Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA035367).



résiduel présente une proportion supérieure de matériel fin (sable et gravier < 2.5 cm), alors que les cailloux (12 - 25 cm) dominent sur le tronçon de référence (fig. 4.7.9 A). De plus, un peu plus de matière organique a été déposée sur le tronçon à débit résiduel. Sur les deux tronçons, le substrat est lâche et permet aux espèces de poissons frayant dans le gravier de trouver des frayères.

Les relevés de la répartition des types de courant montrent que le tronçon à débit résiduel possède globalement une diversité d'habitats plus grande, avec davantage de types d'habitat de petites dimensions, en particulier avec nettement plus de pools profonds et calmes, mais moins de rifles à courant turbulent (fig. 4.7.9 B). En ce qui concerne les abris pour les poissons, on a relevé sur le tronçon à débit résiduel moins de blocs submergés, mais davantage de blocs sortant de l'eau, nettement plus de bois mort, mais moins de mousses aquatiques (fig. 4.7.9 C).

En ce qui concerne la morphologie et les structures, le tronçon à débit résiduel de la Vièze est considéré comme non affecté par rapport au tronçon de référence en aval. En raison de la situation du tronçon à débit résiduel dans une gorge, dont les versants ne sont pas exploités, la pression sur les zones limitrophes du cours d'eau y est nettement plus faible que sur le tronçon de référence, qui se trouve en zone construite et a subi un rétrécissement. Ainsi, la morphologie du tronçon à débit résiduel n'est affectée par aucun aménagement. De plus, le caractère torrentiel et le fort charriage contribuent à une structure du lit favorable aux poissons comme la truite.



Fig. 4.7.3: La Vièze en amont du prélèvement d'eau.

Abb. 4.7.3: Die Vièze oberhalb der Wasserentnahmestelle.



Fig. 4.7.4: Prise d'eau dans la Vièze à Troistorrents.

Abb. 4.7.4: Wasserfassung in der Vièze bei Troistorrents.



Fig. 4.7.5: Tronçon à débit résiduel de la Vièze environ 50 m en aval du prélèvement d'eau.

$Q = 460 \text{ l/s}$.

Abb. 4.7.5: Restwasserstrecke der Vièze ca. 50 m unterhalb der Wasserentnahme.

$Q = 460 \text{ l/s}$.



Fig. 4.7.6: Tronçon à débit résiduel de la Vièze environ 100 m en aval du prélèvement d'eau.

$Q = 460 \text{ l/s}$.

Abb. 4.7.6: Restwasserstrecke der Vièze ca. 100 m unterhalb der Wasserentnahme.

$Q = 460 \text{ l/s}$.



Fig. 4.7.7: Tronçon à débit résiduel de la Vièze environ 200 m en amont de la restitution d'eau (tronçon d'analyse). Q environ 800 l/s.
 Abb. 4.7.7: Restwasserstrecke der Vièze ca. 200 m oberhalb der Wasserrückgabe (Untersuchungsstrecke). Q ca. 800 l/s.



Fig. 4.7.8: La Vièze en aval de la restitution d'eau à Monthey (tronçon de référence). Les berges de ce secteur sont fortement aménagées en dur.
 Abb. 4.7.8: Vièze unterhalb der Wasserrückgabe in Monthey (Referenzstrecke). Dieser Abschnitt ist im Uferbereich stark verbaut.

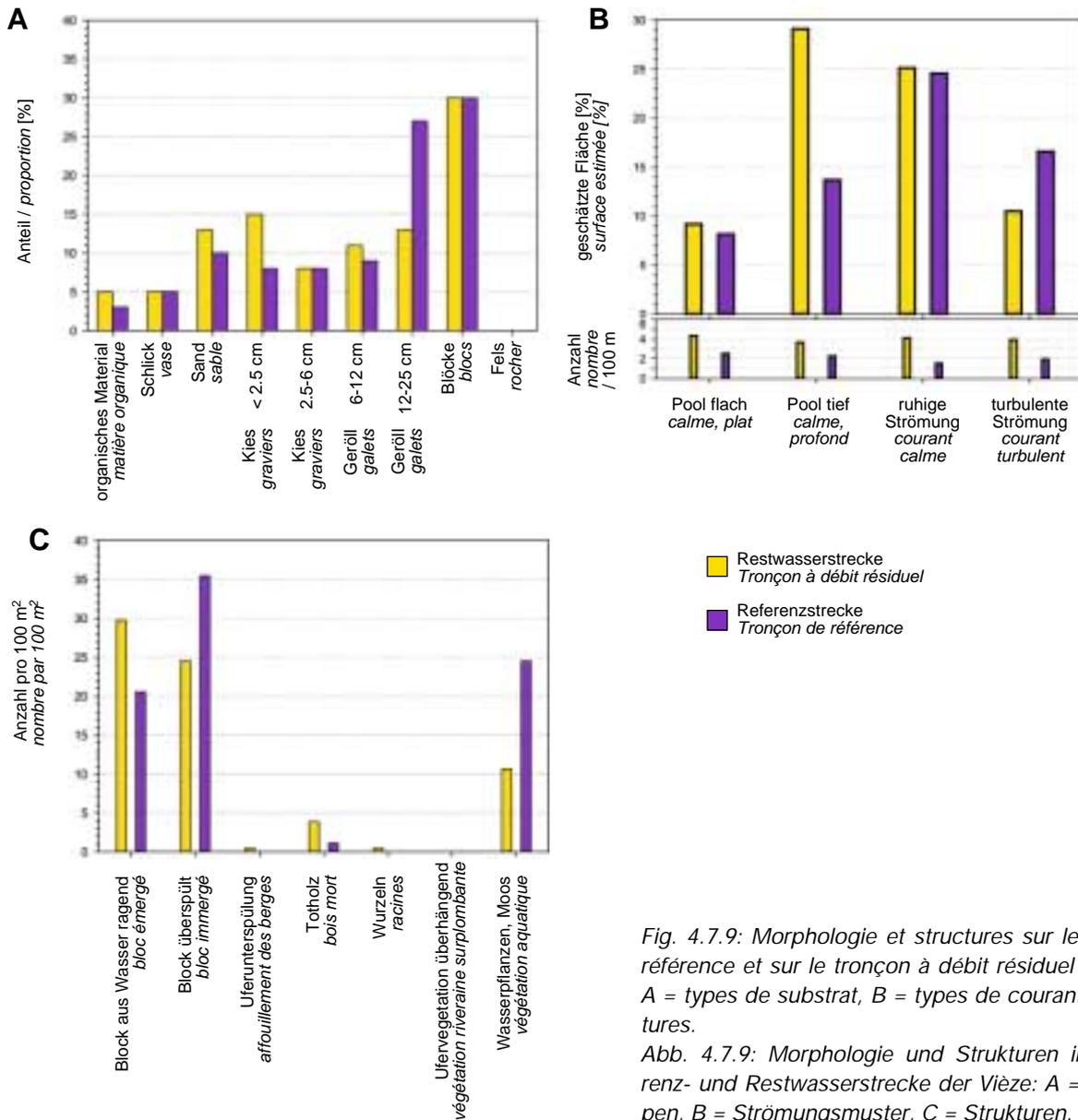


Fig. 4.7.9: Morphologie et structures sur le tronçon de référence et sur le tronçon à débit résiduel de la Vièze: A = types de substrat, B = types de courant, C = structures.
 Abb. 4.7.9: Morphologie und Strukturen in der Referenz- und Restwasserstrecke der Vièze: A = Substrattypen, B = Strömungsmuster, C = Strukturen.

Aspects piscicoles

Population piscicole

Nos pêches électriques du 6.12.2001 ont montré que, des trois espèces (truites de rivière et lacustre, chabot) du tronçon de référence en aval de la restitution d'eau (cf. fig. 4.7.1), deux (truite de rivière, chabot) se trouvent aussi sur le tronçon à débit résiduel. La présence d'une grande population de chabots sur le tronçon à débit résiduel témoigne d'un lit lâche, pourvu de cavités. Selon le RIE, la truite lacustre remontait jusqu'en 1990 en amont de la centrale hydroélectrique, et pouvait se reproduire à cet endroit, même si ses effectifs diminuent (ETEC 1991). Mais, lors de nos études, la truite lacustre, espèce fortement menacée, n'a pas été trouvée sur le tronçon à débit résiduel (fig. 4.7.10).

Avec des CPUE globaux respectifs de 2.15 et de 1.73, le tronçon à débit résiduel possède une faune piscicole plus riche en individus que le tronçon de référence en aval de la centrale hydroélectrique, tant pour la truite de rivière (respectivement 70 et 60 individus) que pour le chabot (respectivement 29 et 19 individus). La distribution des tailles des truites de rivière présente une proportion trop forte des poissons de 16 - 25 cm de longueur (1 - 2 ans), ce qui indique un déséquilibre structurel de la population sur le tronçon à débit résiduel (cf. données de l'annexe 6.4). Sur la base de l'observation des frayères dans les deux secteurs et des excellentes conditions morphologiques sur le tronçon à débit résiduel en amont de la restitution d'eau, la reproduction naturelle de cette espèce devrait être assurée. Mais le même déséquilibre structurel de la population a déjà été relevé lors des études pour le RIE (ETEC 1991). On ne sait pas si l'absence de jeunes poissons sur le tronçon à débit résiduel résulte de crues extraordinairement fortes avec un charriage important pendant les périodes de reproduction précédentes, ou des mesures massives de réempoissonnement (sur toute la Vièze jusqu'à Champéry: chaque année environ 800 kg de truites de rivière pêchables et 90'000 estivaux sont divisés par l'association de pêche locale) et de l'exploitation piscicole intense. La biomasse des organismes servant de nourriture est pratiquement équivalente sur les deux tronçons (12.5 g/m² sur le tronçon à débit résiduel et 12.2 g/m² sur le tronçon de référence; données cf. annexe 6.3), ce qui indique une base alimentaire non influencée par les débits résiduels pour la faune piscicole.

En ce qui concerne la conservation qualitative de la faune piscicole, l'absence de la truite lacustre, espèce fortement menacée, joue un rôle important, si bien que ce critère est jugé moyennement affecté. L'exigence de la conservation quantitative de la population de poissons peut être considérée comme remplie sur la base des valeurs trouvées lors des pêches électriques et de la biomasse des organismes servant de nourriture, malgré l'influence notoire des mesures massives de réempoissonnement sur la population de poissons.

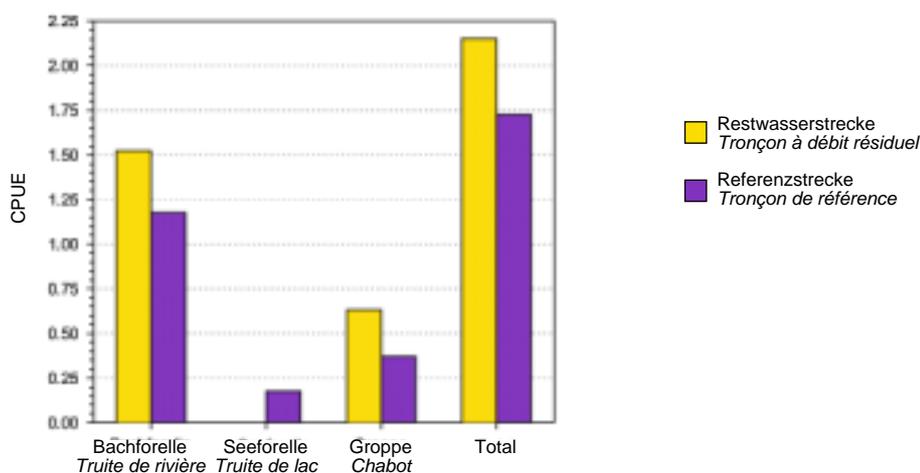


Fig. 4.7.10: Population de poissons dans la Vièze le 6.12.01. CPUE = catch per unit effort.

Abb. 4.7.10: Fischbestand in der Vièze am 6.12.01. CPUE = catch per unit effort.

Possibilité de franchissement par les poissons

L'ouvrage de retenue, de plusieurs mètres de hauteur, et l'ouvrage de captage forment des obstacles infranchissables pour les poissons et les invertébrés; ils ne sont dotés d'aucun dispositif de franchissement. Sur le tronçon à débit résiduel également – une gorge à forte pente – il existe plusieurs obstacles à la migration, en particulier le « Verrou des 3 tunnels », juste 1 km en amont de la restitution d'eau, avec plusieurs chutes naturelles de plus de 1 m de hauteur (ETEC 1991). La partie amont du tronçon est donc considérée comme infranchissable pour les poissons et les invertébrés et ne présente pas de population importante de poissons.

Profondeurs d'eau

Les profondeurs d'eau sur le tronçon de référence de la Vièze en aval de la restitution d'eau et dans deux secteurs (au début et à la fin) du tronçon à débit résiduel étaient partout supérieures à 20 cm. La libre migration des poissons n'est donc pas affectée par les profondeurs d'eau.

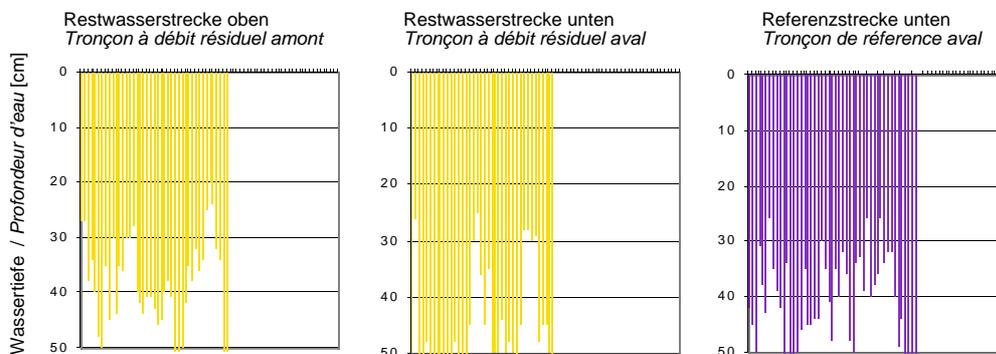


Fig. 4.7.11: Profondeurs d'eau (thalweg) tous les 0.5 m environ sur le tronçon de référence et sur deux secteurs à débits résiduels de la Vièze le 16.1.01.

Abb. 4.7.11: Wassertiefen (Talweg) im Abstand von ca. 0.5 m in der Referenz und in zwei Restwasserabschnitten der Vièze am 16.1.01.

Macroinvertébrés du lit (macrozoobenthos)

Il était prévu d'étudier dans la Vièze les espèces rhéophiles (Heptageniidae, Blephariceridae). Nous n'avons trouvé les deux groupes d'espèces ni sur le tronçon de référence, ni sur le secteur aval du tronçon à débit résiduel. Mais les études existantes de la Vièze effectuées sur mandat du canton du Valais (ETEC 2002) indiquent que les Heptageniidae comme les Blephariceridae sont présents dans le cours d'eau en amont du captage.

L'exploitation des données existantes mises à disposition par le canton montre environ 35 % d'éphémères (Heptageniidae) en moins en aval du prélèvement d'eau par rapport à l'amont; sur le secteur aval du tronçon à débit résiduel, seuls quelques exemplaires ont été trouvés (proportion par rapport au tronçon de référence: 3 %). La survie des Heptageniidae est apparemment garantie par la dotation en aval de la prise d'eau; mais la densité des individus est moyennement affectée par rapport au tronçon de référence en amont du captage. La disparition plus ou moins complète des Heptageniidae sur le secteur aval du tronçon à débit résiduel ne dépend guère des conditions de débit résiduel, puisque, même en aval de la restitution d'eau, avec un débit nettement supérieur, on n'a pas trouvé ces animaux. On ne sait pas si la responsabilité en incombe à la qualité de l'eau (cf. chapitre suivant) ou aux purges régulières du dessableur, qui parviennent dans la Vièze par un ruisseau latéral peu en amont du point d'analyse.

Les études du canton ont relevé quelques individus de Blephariceridae tant sur le tronçon de référence en amont du prélèvement d'eau que sur le tronçon à débit résiduel, où ils peuvent apparemment survivre. Une appréciation quantitative n'est cependant pas possible en raison du peu d'observations.

Qualité de l'eau et aspect extérieur

Aucune analyse proprement dite de la qualité chimique de l'eau de la Vièze n'a été effectuée, puisque ces données existent dans une étude mandatée par le canton du Valais (ETEC 2002). Les résultats en sont résumés ci-dessous (cf. aussi annexe 6.2):

- Malgré le déversement des eaux usées épurées de la station d'épuration de Champéry et d'autres déversements d'eaux usées, la qualité de l'eau de la Vièze peut être considérée aujourd'hui comme suffisante en amont de la prise d'eau (référence), bien qu'une contamination de base de différents paramètres soit clairement identifiable. La concentration des COD, par exemple, va jusqu'à 2.5 mg/l.
- La qualité de l'eau du secteur amont du tronçon à débit résiduel se distingue à peine de celle en amont de la prise d'eau et peut aussi être qualifiée de suffisante.
- Dans le secteur aval du tronçon à débit résiduel, la qualité de l'eau est un peu plus mauvaise que sur le site de référence en amont du captage. Pour l'ammonium, la valeur maximale est atteinte en février avec 0.53 mg N/l, ce qui est supérieur aux exigences de l'OEaux; mais la plupart des valeurs de l'ammonium respectent les exigences légales. Pour le nitrite également, certaines valeurs sont nettement supérieures à celles du tronçon de référence (concentration maximale: 29 µg N/l); mais, comme les concentrations toxiques ne sont guère atteintes, les exigences légales peuvent être respectées. Des valeurs supérieures sont aussi relevées pour l'ortho-phosphate. Ainsi, sur le tronçon à débit résiduel de la Vièze, les dispositions légales sont en bonne partie respectées pour la qualité de l'eau, mais pas entièrement, ce qui correspond à une atteinte moyenne.

En ce qui concerne l'aspect extérieur (fig. 4.7.12), aucune différence significative n'a pu être relevée entre les sites de référence (en amont du captage, en aval de la restitution d'eau) et deux secteurs à débits résiduels. La faible formation d'écume sur le tronçon à débit résiduel a aussi été observée en aval de la restitution d'eau. Dans le périphyton algal dominant les filaments d'algues vertes qui peuvent atteindre 10 cm de longueur; mais, dans l'ensemble, le tronçon à débit résiduel ne présentait pas un périphyton algal plus développé. L'algue rouge *Audouinella* sp. n'a été trouvée que sur le secteur aval du tronçon à débit résiduel, où elle représentait 10-20 % de recouvrement; cette algue aime les cours d'eau bien oxygénés et se rencontre là où le courant est rapide.

Les données de température ont été relevées entre le 30 juillet 2001 et le 30 juin 2002 dans le secteur aval du tronçon à débit résiduel, environ 150 m en amont de la restitution d'eau (fig. 4.7.13). Avec une température maximale de 16.8 °C en été, le domaine critique pour la truite de rivière, typique de ces cours d'eau, n'est pas dépassé. Une température minimale de 0.3 °C a été enregistrée à la fin décembre 2001, ce qui indique qu'aucun gel dommageable aux organismes du tronçon à débit résiduel ne s'est produit durant cet hiver. Les fluctuations journalières maximales ont atteint 3.9 °C.

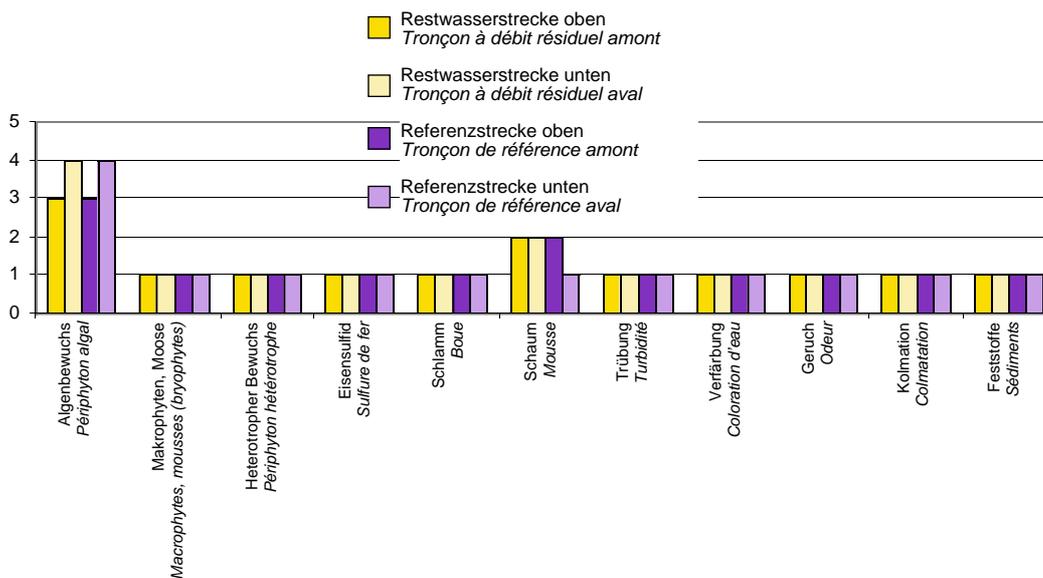


Fig. 4.7.12: Appréciation de l'aspect extérieur de la Vièze le 16.1.01. Le périphyton végétal a été apprécié sur une échelle à 6 degrés, les autres aspects sur une échelle à 3 degrés.

Abb. 4.7.12: Beurteilung des Äusseren Aspektes in der Vièze am 16.1.01. Der pflanzliche Bewuchs wurde 6-stufig, die übrigen Aspekte mit einer 3-stufigen Skala beurteilt.

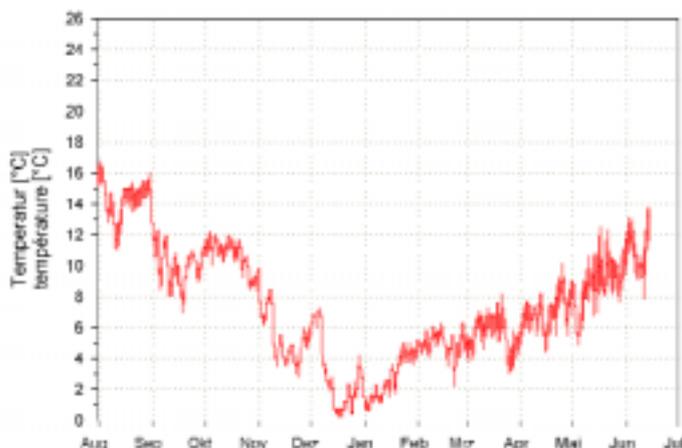


Fig. 4.7.13: Variation de la température dans la Vièze entre août 2001 et mai 2002.

Abb. 4.7.13: Temperaturverlauf in der Vièze vom August 2001 bis Mai 2002.

Appréciation du tronçon à débit résiduel

Abstraction faite de la possibilité de franchissement du captage par les poissons (aucun dispositif de franchissement), le tronçon à débit résiduel de la Vièze dans son ensemble peut être jugé comme non affecté ou tout au plus comme moyennement affecté. En ce qui concerne la conservation qualitative de la faune piscicole, l'absence de la truite lacustre, espèce fortement menacée, sur le tronçon à débit résiduel est considérée comme une atteinte moyenne. Pour la qualité de l'eau, grâce à la station d'épuration de Champéry, les exigences légales sont en bonne partie respectées, mais pas entièrement. La densité des macroinvertébrés rhéophiles était moyennement réduite sur le tronçon à débit résiduel.

La partie aval du tronçon à débit résiduel est librement accessible aux poissons. Dans l'ouvrage de captage et le reste de la gorge, la possibilité de franchissement et donc la continuité du cours d'eau ne sont pas garanties, même dans les conditions naturelles.

Dans l'ensemble, les fonctions écologiques du cours d'eau sont largement garanties avec les débits résiduels existants.

4.8 Vorderer Schächen (UR)

Einleitende Angaben

Der Schächenbach (oberhalb von Unterschächen heisst er Vorderer Schächen) entwässert das Schächental im Kanton Uri und mündet bei Altdorf in die Reuss. Das Kraftwerk wurde erst in den 90er Jahren erstellt. Die wichtigsten Kenn-daten des Kraftwerkes und des Vorderen Schächen sind in Tabelle 4.8.1 zusammengestellt.

Die minimale Restwassermenge wurde in der Kraftwerkskon-zession jahreszeitlich abgestuft festgelegt:

- Oktober-März: 92 l/s (entspricht gesetzlichem Minimum gem. Art. 31 Abs. 1 GSchG)
- April: 120 l/s
- Mai bis September: 180 l/s

Die Restwasserführung unterhalb der Wasserfassung er-reichte am 11.12.01 einen Wert von 73 l/s. Am Ende der Rest-wasserstrecke wurden am gleichen Tag 137 l/s gemessen, was auf einen Zufluss ca. 250 m unterhalb der Wasserent-nahme zurückzuführen ist. Im Gegensatz zum klaren Wasser des Vorderen Schächen war dieser Zufluss milchig trüb.

Das Restwasser wurde im unteren Abschnitt vor der Was-serrückgabe untersucht, die dazugehörige Referenz (für alle Untersuchungen) befand sich unterhalb der Wasserrückgabe (siehe Abb. 4.8.2)

Tab. 4.8.1: Kennwerte für das Kraftwerk Äsch und den Vorderen Schächen.

Tab. 4.8.1: Caractéristiques de la centrale hydroélectrique d'Äsch et du Schächen antérieur.

Kraftwerk	Äsch
Standortkanton	UR
Standort Zentrale	Unterschächen
Genutztes Gewässer	Vorderer Schächen
genutzte Gewässerstrecke [km]	0.46
Kote Maschinenhaus [m.ü.M.]	1139
Fassung [m.ü.M.]	1205
Rückgabe [m.ü.M.]	1138
Fallhöhe [m]	66.5
Fischgewässer	Ja
Tage mit Überlauf	135
Abflussregime	glacio-nival
Q347 [l/s]	113
Leistung [MW]	0.418
Inbetriebnahme	1996
Dotierung gemäss Konzession [l/s]	92-180
angewendeter Artikel GSchG	31
Qmax [m³/s]	0.9
Gefälle [%]	145.7
EZG [km²]	16.8

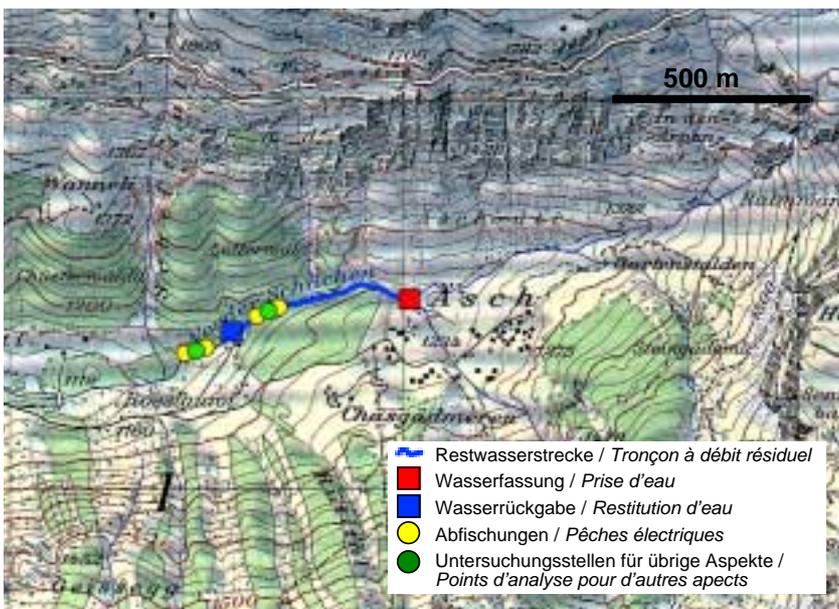


Abb. 4.8.2: Restwasserstrecke des Vorderen Schächen mit den Untersuchungsstellen. Reproduziert mit Bewil-ligung von swisstopo (BA035367).

Fig. 4.8.2: Tronçon à débit résiduel du Schächen antérieur avec les points d'-analyse. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA035367).

Bilddokumentation, Morphologie und Strukturen

Die folgende Bildreihe (Abb. 4.8.3–4.8.7) dokumentiert den Vorderen Schächen mit der Restwasserstrecke. Auch wenn sich die Restwasserstrecke im Erscheinungsbild und der Wasserführung klar von der Referenz unterscheidet, wird sie als Gewässer wahrgenommen, das verschiedene flussmorphologische Kriterien zumindest teilweise erfüllt: die Benetzung des Bachbettes reicht oft bis an den Böschungsfuss (Abb. 4.8.4) und es bildet sich an verschiedenen Stellen das typische weisse Wasser eines Gebirgsbaches; das Geräusch des Restwasserabflusses kann aus einiger Distanz noch wahrgenommen werden.

Die Bachsohle ist in allen drei untersuchten Streckenabschnitten durch grobes Material gekennzeichnet (die Morphologie wurde zusätzlich auch unterhalb der Wasserfassung kartiert, vgl. Abb. 4.8.2). Bedingt durch das grosse Gefälle der Schlucht wurden in beiden Restwasserabschnitten deutlich mehr Blöcke und dazwischen mehr feiner Kies (< 2.5 cm) erfasst, als in der Referenz (Abb. 4.8.8 A). Die Substratverteilung mit rund 10 % mittlerem Kies (2.5 – 6 cm) erlaubt in allen Strecken eine Fortpflanzung der kieslaichenden Bachforelle. Anzahl und Fläche aller Strömungstypen sind in beiden Restwasserstrecken deutlich grösser als in der Referenz (Abb. 4.8.8 B). Dies ist ebenfalls durch Lage und Gefälle der ausgewählten Bachabschnitte zu erklären. Zusätzlich wird die Böschung der Referenzstrecke ein- oder beidseitig durch grosse Blöcke gesichert. Im Bachbett sind weniger aus dem Wasser ragende Blöcke vorhanden, als in den Restwasserabschnitten (Abb. 4.8.8 C), und viel Totholz in der Referenzstrecke trägt zur grossen Strukturvielfalt des Vorderen Schächens bei.

Der Vordere Schächen ist naturnah, gut strukturiert und bietet einen vielfältigen Fischlebensraum in einem steilen Bergbach. Die Differenzen in den Untersuchungsstrecken sind relativ klein und erlauben, Morphologie und Strukturen als nicht abweichend zu klassieren.



Abb. 4.8.3: Wasserfassung des Vorderen Schächen. Rechts ist die Dotiereinrichtung sichtbar.

Fig. 4.8.3: Prise d'eau du Schächen antérieur. Le dispositif de dotation est visible à droite.



Abb. 4.8.4: Restwasserstrecke des Vorderen Schächen ca. 50 m unterhalb der Wasserentnahme. $Q = 73 \text{ l/s}$.

Fig. 4.8.4: Tronçon à débit résiduel du Schächen antérieur environ 50 m en aval du prélèvement d'eau. $Q = 73 \text{ l/s}$.



Abb. 4.8.5: Untersuchungsabschnitt in der Restwasserstrecke ca. 150 m oberhalb der Wasserrückgabe. $Q = 137 \text{ l/s}$.

Fig. 4.8.5: Secteur d'analyse sur le tronçon à débit résiduel env. 150 m en amont de la restitution d'eau. $Q = 137 \text{ l/s}$.



Abb. 4.8.6: Wasserkraftwerk Äsch.

Fig. 4.8.6: Aménagement hydroélectrique d'Äsch.



Abb. 4.8.7: Referenzabschnitt des Vorderen Schächen unterhalb der Wasserrückgabe (Pfeil).

Fig. 4.8.7: Secteur de référence du Schächen antérieur en aval de la restitution d'eau (flèche).

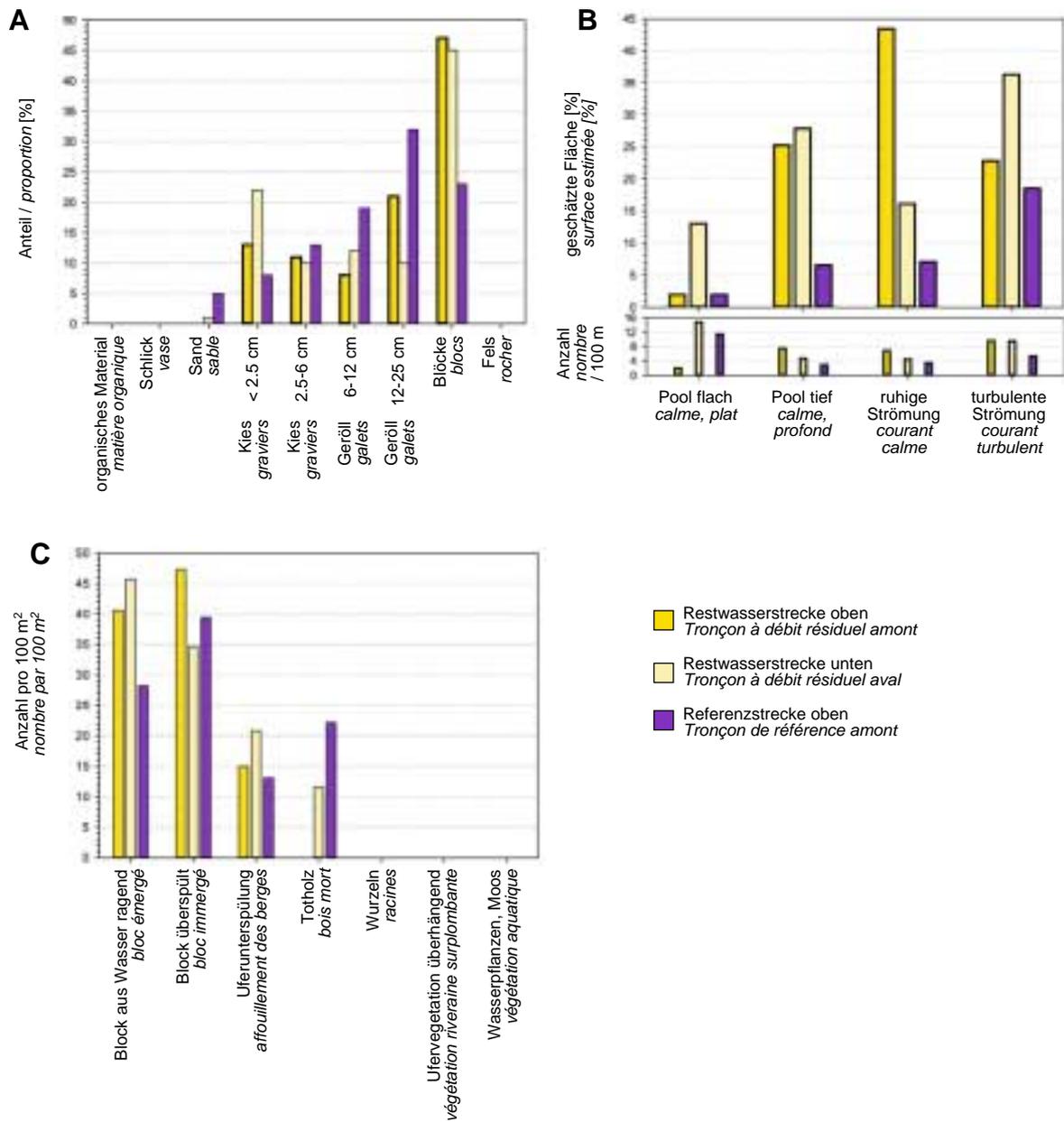


Abb. 4.8.8: Morphologie und Strukturen in der Referenz- und Restwasserstrecke des Vorderen Schächen: A = Substrattypen, B = Strömungsmuster, C = Strukturen.

Fig. 4.8.8: Morphologie et structures sur le tronçon de référence et sur le tronçon à débit résiduel du Schächen antérieur : A = types de substrat, B = types de courant, C = structures.

Fischökologische Aspekte

Fischbestand

Die beiden Probestrecken im Vorderen Schächen (Abb. 4.8.2) konnten wegen der eingeschränkten Zugänglichkeit (Schnee, Lawinengefahr) erst am 1. Mai 2002 elektrisch befischt werden. In beiden Strecken wurde nur je eine Art festgestellt - die Bachforelle. In der Restwasserstrecke, ca. 200 m oberhalb der Wasserrückgabe, wurden 75% mehr Fische gefangen als in der Referenz 300 m unterhalb des Kraftwerkes. Die Fischdichte war allerdings in beiden Abschnitten mit CPUE von 0.7 und 0.4 eher klein (Abb. 4.8.9), aber für einen Bergbach dieser Höhenlage nicht aussergewöhnlich. Auch die Biomasse der Fischnährtiere (Anhang 6.3) weist auf eine geringe Produktivität des Gewässers hin und ist in der Restwasserstrecke rund einen Viertel höher als in der Referenz. Mit diesen Werten scheint die qualitative und quantitative Erhaltung der Fischfauna in der Restwasserstrecke sichergestellt zu sein.

Das Konzessionsgesuch enthält keinerlei Angaben über die fischereilichen Verhältnisse (electroplan 1994), so dass keine Vergleichswerte zur Verfügung stehen. Gemäss Information des kantonalen Fischereiaufsehers werden oberhalb der Wasserfassung und unterhalb des Kraftwerkes alljährlich 3'000 Bachforellensömmerlinge eingesetzt. Mindestens ein Teil der Fische in der Restwasserstrecke dürfte daher auf Tiere zurückzuführen sein, die von oben einwanderten. Die Längenverteilung der Bachforellen (Daten siehe Anhang 6.4) zeigt einen recht grossen Anteil an Jungfischen (6 – 10 cm) in der Referenz, und auch aufgrund der Substratzusammensetzung kann eine natürliche Fortpflanzung der Bachforelle in beiden Streckenabschnitten erwartet werden.

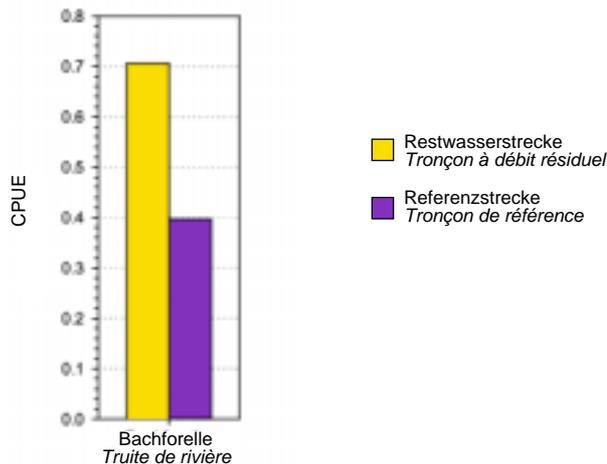


Abb. 4.8.9: Fischbestand im Vorderen Schächen am 1.5.02.

Fig. 4.8.9: Population de poissons dans le Schächen antérieur le 1.5.02. CPUE = catch per unit effort.

Fischgängigkeit

Die konzessionierte Restwassermenge wird bei der Wasserfassung durch einen Venturi-Kanal abgegeben, durch den unter Umständen auch Bachforellen aufsteigen könnten. Die Fischgängigkeit der Fassung ist damit bedingt sichergestellt. Die Restwasserstrecke verläuft in einer steilen Schlucht mit vielen natürlichen Abstürzen von über 1 Meter Höhe und ist daher natürlicherweise nicht durchgängig für aufwärtswandernde Fische und Wirbellose.

Wassertiefen

Die Wassertiefen im Referenzabschnitt des Vorderen Schächen lagen am Untersuchungstag durchwegs deutlich über 20 cm (Abb. 4.8.10). In der Restwasserstrecke erreichten hingegen rund 12 % der Werte nicht die erforderliche Wassertiefe von 20 cm. Die freie Fischwanderung ist im Vergleich zur Referenz mässig beeinträchtigt.

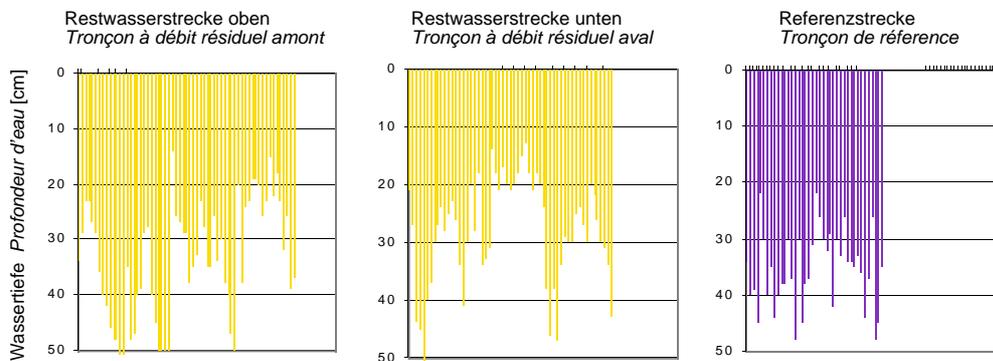


Abb. 4.8.10: Wassertiefen (Talweg) in der Referenz- und in zwei Restwasserabschnitten des Vorderen Schächen (Abstand ca. 0.5 m) am 11.12.01.

Fig. 4.8.10: Profondeurs d'eau (thalweg) tous les 0.5 m environ sur le tronçon de référence et sur deux secteurs à débits résiduels du Schächen antérieur le 11.12.01.

Kleintiere des Gewässerbodens (Makrozoobenthos)

Die Untersuchung der Kleintiere im Vorderen Schächen beschränkte sich auf das Vorkommen strömungsabhängiger Arten. Bei der Familie der Heptageniidae (Eintagsfliegen) dominierte *Rhitrogena* sp. Vereinzelt kamen aber auch *Ecdyonurus* sp. und *Epeorus* sp. vor. In der Restwasserstrecke erreichte die geschätzte Individuendichte nur gerade 50 % derjenigen in der Referenz (Anhang 6.3), was eine mässige Beeinträchtigung bedeutet. Bei der anderen untersuchten Familie der Blephariceridae (Lidmücken), die höhere Fließgeschwindigkeiten für das Überleben braucht, konnten hingegen keine Unterschiede in der Besiedlungsdichte zwischen Referenz und Restwasser festgestellt werden (Anhang 6.3). Eine zusätzliche Grobkontrolle der Blephariceridae im obersten Abschnitt der Restwasserstrecke ergab eine vergleichbare oder tendenziell sogar höhere Besiedlungsdichte als im unteren Restwasserabschnitt resp. der Referenz. Ob das deutlich verminderte Vorkommen der Heptageniidae in der Restwasserstrecke alleine mit der Restwasserführung zu erklären ist, ist somit fraglich; der hohe Anteil an Felsbrocken in der Restwasserstrecke ist wahrscheinlich eher dafür verantwortlich, da diese Tiere vorwiegend auf Steinen zu finden sind, mit entsprechenden schutz bietenden Steinunterseiten. Die Blephariceridae hingegen bevorzugten die Steinoberseiten von Felsen und Blöcken, wo sie optimal angeströmt werden. Die strömungsabhängigen Kleintiere können somit als nicht abweichend taxiert werden.

Wasserqualität und Äusserer Aspekt

Im Vorderen Schächen bestehen im Bereich der hier behandelten Nutzungsstrecke keine Abwassereinleitungen. Die grobe Untersuchung der Wasserqualität von Referenz und Restwasser anhand von Stichproben ergab keine relevanten Unterschiede beim Nitrat, Phosphat, Sauerstoff, pH und Leitfähigkeit (Daten siehe Anhang 6.2).

Die Beurteilung des Äusseren Aspektes ergab zwischen der Referenz und dem Restwasser kaum Unterschiede (Abb. 4.8.11). Die erhöhte Trübung im unteren Abschnitt der Restwasserstrecke und der Referenz

ist natürlichen Ursprungs (trüber Seitenbach). Der pflanzliche Bewuchs war im Vergleich zur Referenzstelle nur in der Restwasserstrecke oberhalb des trüben Seitenzuflusses leicht erhöht, was v.a. auf das klarere und somit lichtdurchlässigere Wasser zurückzuführen ist und weniger auf die Restwasserführung. In der Restwasserstrecke konnte insgesamt keine relevante Beeinträchtigung gegenüber der Referenz festgestellt werden.

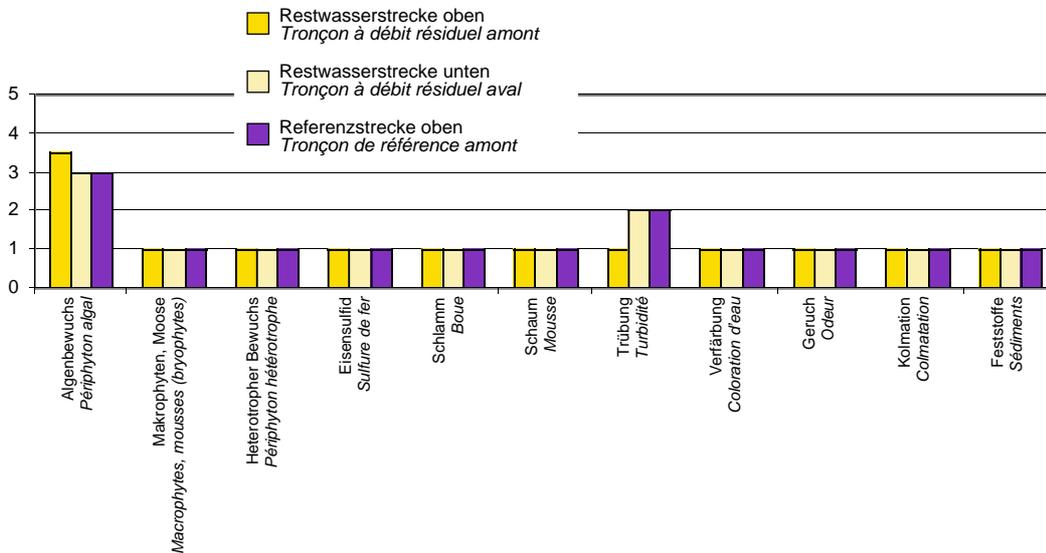


Abb. 4.8.11: Beurteilung des Äusseren Aspektes im Vorderen Schächten am 11.12.01. Der pflanzliche Bewuchs wurde 6-stufig, die übrigen Aspekte mit einer 3-stufigen Skala beurteilt.

Fig. 4.8.11: Appréciation de l'aspect extérieur du Schächten antérieur le 11.12.01. Le périphyton végétal a été apprécié sur une échelle à 6 degrés, les autres aspects sur une échelle à 3 degrés.

Beurteilung der Restwasserstrecke

Die Wassertiefen bezüglich Fischwanderung im oberen Teil der Restwasserstrecke waren mässig beeinträchtigt. Die strömungsabhängigen Kleintiere wiesen ebenfalls ein mässiges Defizit auf. Die Fischgängigkeit der Fassung ist durch den Venturi-Kanal zur Dotierwasserabgabe nur bedingt sichergestellt. Bei den übrigen Untersuchungsparametern wie z.B. Fischfauna, Gewässerstrukturen, Äusserer Aspekt und Wasserqualität wurden keine Beeinträchtigungen resp. Abweichungen zum Sollwert bzw. zur Referenz festgestellt. Insgesamt sind die Abweichungen gering bis mässig.

Die Wasserfassung ist bedingt fischgängig, in der Restwasserstrecke verhindern hohe natürliche Abstürze die freie Fischwanderung, weshalb das Gewässerkontinuum auch natürlicherweise nicht gewährleistet ist.

Die ökologische Gewässerfunktion ist mit der vorhandenen Restwassermenge weitgehend gewährleistet.

5 Literaturverzeichnis / Bibliographie

- Aquarius (1996): Wasserkraftwerk Bözingen, Konzessionserneuerung: Restwassermenge. Bielersee Kraftwerke AG.
- Baudepartement Kt. Aargau, Abt. Umweltschutz (1997/1999): Periodische Bestandesaufnahme an grösseren Bächen. Biologische Überwachung der Gewässergüte Kanton Aargau.
- Bisson, P.A., Nielsen, J.L., Palmason, R.A. & Grove, L.E. (1981): A system of naming habitat types in small streams with examples of habitat utilisation by salmonids during low streamflow. In Armantrout, N.B. (Ed.) Proceedings of a symposium held 28-30 Oktober 1981, Portland, Oregon: 62-73.
- Breitenstein, M. & A. Kirchhofer (2000): Growth, age structure and species association of *Alburnoides bipunctatus* (Bloch 1728) in the river Aare, Switzerland. *Folia Zoologica*. 49: 79-90.
- BUWAL (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer: Modul-Stufen-Konzept, Makrozoobenthos – Stufe F. Methodenentwurf der Expertengruppe „Benthosbiologie“ vom 28.4.2000.
- BUWAL (1994): Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- BUWAL (1997): Gestaltungsgrundsätze zur Gewässerökologischen Optimierung von Wasserfassungen. Umwelt-Materialien Nr. 74 (Gewässerschutz). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- Copp, G.H. & Penaz, M. (1988): Ecology of fish spawning and nursery zones in the flood plain, using a new sampling approach. *Hydrobiologia*, 169: 209-224.
- Crisp, D.T. (1996): Environmental requirements of common riverine european salmonid fish species in fresh water with particular reference to physical and chemical aspects [review]. *Hydrobiologia*, 323 (3): 201-221.
- EAWAG (1990): Stickstoff in Wasser und Luft - Implikationen für den Gewässerschutz. Mitteilungen der EAWAG 30.
- EDI (1982): Empfehlungen über die Untersuchung der schweizerischen Oberflächengewässer. Herausgegeben vom eidgenössischen Departement des Innern, Bern.
- electroplan (1994): Konzessionsgesuch für das Kleinwasserkraftwerk Aesch. Kanton Uri. Gemeinde Unterschächen.
- ETEC (1991): Renouvellement des concessions de l'aménagement hydro-électrique de la Vièze. Rapport d'impact sur l'environnement. Etude séctorielle: Hydrobiologie et faune.
- ETEC (2002): Observation de la qualité des eaux de surface. Étude 2001: Vièze du Val d'Illeiez et Vièze de Morgins.
- Frutiger, A. & Gammeter, S. (1998): Faunistics and altitudinal distribution of net-winged midges (Diptera. Blephariceridae) in Switzerland and Liechtenstein. Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft, 71: 115-124.
- Frutiger, A. & Jolidon, C. (2000): Bestimmungsschlüssel für die Larven der in der Schweiz, Österreich und in Deutschland vorkommenden Netzflügel­mücken (Diptera: Blephariceridae), mit Hinweisen zu ihrer Verbreitung und Phänologie. Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft, 73: 93-108.

- GSchG (1991): Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vom 24. Januar 1991 (Inkraftsetzung: 1.11.92)
- GSchV (1998): Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998.
- Güttinger, H. (1982): Zusammenhänge zwischen physikalischen und chemischen Faktoren und Makroinvertebraten in Fließgewässern. Statistische Analyse der Rohdaten von Felduntersuchungen. Beilagen. Dissertation ETH Zürich Nr. 6952.
- Huber, M. & A. Kirchhofer (2001): Reproductive success of nase (*Chondrostoma nasus* L.) and its influence on population dynamics. Arch. Hydrobiol. Suppl. 135/2-4 (Large Rivers Vol. 12): 307-330.
- Huber, M. & A. Kirchhofer (1997): Habitat use of radiotagged adult nase (*Chondrostoma nasus*) in a regulated river. Folia Zoologica. 46 (suppl. 1): 67-77.
- ITECO (1997): Kleinwasserkraftwerk Stenna, Ausbau und Modernisierung. Konzessionsprojekt. EW Flims.
- Kellerhals & Häfeli (2002): Bilanzierung der Auswirkungen der Restwassermengen nach Gewässerschutzgesetz. Untersuchungen der Grundwasserverhältnisse.
- Kirchhofer, A. & M. Breitenstein (2000): Fische und Krebse des Kantons Bern. Fischereiinspektorat des Kantons Bern.
- Kirchhofer, A., J.C. Pedrolí & B. Zaugg (1994): Rote Liste der Fische und Rundmäuler der Schweiz. in: P. Duelli: Rote Listen der gefährdeten Tiere der Schweiz. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL-Reihe Rote Listen, EDMZ Bern. 35-37.
- LAWA (2000): Angaben für charakteristische Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten für Fließgewässer verschiedener Zonen, unveröffentlichte Angaben der Arbeitsgruppe „Naturverträgliche Gewässernutzung“ des Instituts für Wasserbau der Universität Stuttgart.
- Limnex AG & WFN (2001): Bilanzierung der Auswirkungen von Restwassermengen gemäss Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991. Vorstudie und Untersuchungskonzept.
- Marrer, H. (2001): Umgehungsgerinne beim Wehr der KIW Wildegg. Kurzbericht z.Hd. Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau.
- Moosmann, L. (1998): Effekte kleinskaliger Strömung auf die Besiedlung von Blephariceriden-Larven in Gebirgsbächen. Diplomarbeit an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) in Dübendorf.
- Niederhauser, D. (1997): Auswirkungen von Wasserentnahmen aus Gebirgsbächen auf die Besiedlung der Netzflügel­mücken (Diptera: Blephariceridae). Diplomarbeit an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) in Dübendorf.
- Roth, H. (1985): Schadenberechnung bei Fischsterben in Fließgewässern. Bern: Bundesamt für Umweltschutz, Schriftenreihe Fischerei, 44: 3-40.
- Ryser & CSD (2000): Umweltverträglichkeitsbericht ARA Worblental, Erweiterung Biologie, Ingenieurgesellschaft Ryser Ingenieure AG, Bern & CSD Ingenieure und Geologen AG, Bern.
- Schälchli, U. (1991): Morphologie und Strömungsverhältnisse in Gebirgsbächen: ein Verfahren zur Festlegung von Restwasserabflüssen. Mitteilungen 113, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.
- Sempeski, P. & Gaudin, P. (1995): Habitat selection by grayling – II. Preliminary results on larval and juvenile daytime habitats. Journal of Fish Biology, 47 (2): 345-349.

SigmaPlan (1991): Umweltbericht zum Ausbau des Kraftwerkes Interlaken. Industrielle Betriebe Interlaken (IBI).

SigmaPlan (1994): Kraftwerk Felsenau. Erhöhung der Ausbauwassermenge von 80 auf 100 m³/s bzw. auf 112 m³/s mit Dotierkraftwerk. Umweltverträglichkeitsbericht (UVB) zur Neukonzessionierung.

Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz. Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel.

Von Känel, A. (1995): Die Biozönose der Aare-Restwasserstrecke ober- und unterhalb der ARA Worblental. Untersuchungen 1994. Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern.

Wildi, W. (2002): Kolmation der Restwasserstrecken (Kraftwerk Bözingen, Kraftwerk Felsenau). Unveröffentlichter Fachbericht.

6 Anhang / Annexe

6.1 Beschreibung flussmorphologischer Kriterien

BENETZTE BREITE

- Werden Böschungsfusspunkte erreicht?
- Werden flachliegende grössere Steine überströmt?

WEISSES WASSER

Typ 2: das Wasser sollte lokal im Bereich der Schnellen sichtbar sein.

Typ 3: Das weisse Wasser sollte im Überfallstrahl der Stufe deutlich und beim Hinterwasser im Bereich des Stromstrichs mit abnehmender Intensität sichtbar sein.

Typ 4: Bei Abstürzen muss der Überfallstrahl wie bei einem Wasserfall weiss erscheinen. Im Tosbecken sollte sich die weisse Farbe deutlich über den Bereich des Einfallstrahls hinaus erstrecken und der Wasserspiegel selbst sollte eine unruhige Oberfläche aufweisen (durch sich ringförmig ausbreitende Stosswellen).

Typ 5 und 6: Im Stromstrich sollte das Wasser durchgehend weiss sein. Davon ausgenommen sind örtlich auftretende grössere Becken bei kantigem Blockmaterial.

Typ Wasserfall: Der Wasserstrahl muss auf seiner ganzen Länge weiss erscheinen, ohne sich in mehrere kleine Einzelstrahlen aufzuteilen.

SPRITZEN DES ABFLUSSES

- Das Spritzen des Überfallstrahls sollte bei Abstürzen und Wasserfällen von einigen Metern Distanz deutlich zu erkennen sein. Dasselbe gilt für Stufen in geringerem Masse.
- Im Überfallbereich müssen die angrenzenden, über den Wasserspiegel hinausragenden Steine und Blöcke benetzt sein.
- Bei Wasserfällen sollte der Überfallstrahl durch die Bildung von Gischt (nebelartige Ansammlung feiner Wassertröpfchen in der Luft) begleitet sein.

SICHTBARKEIT DES ABFLUSSES

- Ein wesentlicher Abflussanteil muss über die Überfallkronen abfliessen (v.a. bei Typ 4).
- Flussaufwärts betrachtet muss der Abfluss als zusammenhängend wahrgenommen werden. Dabei kann es vorkommen, dass das Wasser lokal schwach sichtbar ist.

GERÄUSCH DES ABFLUSSES

- Das Rauschen des Abflusses sollte auch aus einiger Entfernung noch wahrgenommen werden können (vereinfachtes Kriterium).

Die Gewässertypen sind in Schälchli (1991) definiert

6.2 Rohdaten chemisch/physikalische Untersuchungen (Stichproben)

Untersuchungszeitpunkt		Aabach	Aare Felsenau	Aare Interlaken	Bockibach
	Referenzstrecke	19./20.10.01	12.3.02	11.3.02	19.10.01
	Restwasserstrecke	19./20.10.02	12.3.02	11.3.02	19.10.01
Chemische Daten					
Nitrat-N [mg/l]	Referenzstrecke	0.67	-	0.43	0.29
	Restwasserstrecke	0.67	-	0.40	0.31
	Referenzstrecke	0.63	-	0.40	0.29
	Restwasserstrecke	0.56	-	0.42	0.31
Phosphat-P [µg/l]	Referenzstrecke	0	-	0	1
	Restwasserstrecke	0	-	0	1
	Referenzstrecke	0	-	0	1
	Restwasserstrecke	0	-	0	0
Sauerstoff [mg/l]	Referenzstrecke	9.6		11.5	11.8
	Restwasserstrecke	9.8		12.5	10.9
pH	Referenzstrecke	7.9	-	7.5	7.4
	Restwasserstrecke	8.0	-	7.7	7.6
	Referenzstrecke	7.9	-	7.6	7.6
	Restwasserstrecke	8.0	-	7.8	7.8
Temperatur [°C]	Referenzstrecke	16.1	-	5.3	7.3
	Restwasserstrecke	15.9	-	5.5	10.4
	Referenzstrecke	15.0	-	-	7.8
	Restwasserstrecke	14.8	-	-	10.8
Leitfähigkeit [µS/cm]	Referenzstrecke	318	-	186	-
	Restwasserstrecke	325	-	189	-
	Referenzstrecke	320	-	-	205
	Restwasserstrecke	313	-	-	215
Bemerkungen					

Untersuchungszeitpunkt		Flembach	Schüss	Vièze	Vorderer Schächen
	Referenzstrecke	22.11.01	10.4.02	16.1.02	11.12.01
	Restwasserstrecke	22.11.01	10.4.02	16.1.02	11.12.01
Chemische Daten					
Nitrat-N [mg/l]	Referenzstrecke	0.21	1.35	-	0.29
	Restwasserstrecke	0.49	1.38	-	0.31
	Referenzstrecke	0.20	1.31	-	0.25
	Restwasserstrecke	0.54	1.32	-	0.28
Phosphat-P [µg/l]	Referenzstrecke	2	6	-	1
	Restwasserstrecke	2	7	-	2
	Referenzstrecke	2	6	-	1
	Restwasserstrecke	2	7	-	2
Sauerstoff [mg/l]	Referenzstrecke	12.3	11.0		11.6
	Restwasserstrecke	12.0	11.3		12.1
pH	Referenzstrecke	7.7	7.8	-	7.9
	Restwasserstrecke	7.5	7.7	-	7.9
	Referenzstrecke	7.5	7.7	-	7.7
	Restwasserstrecke	7.7	7.8	-	7.8
Temperatur [°C]	Referenzstrecke	0.2	8.6	2.9	1.5
	Restwasserstrecke	2.3	7.5	2.4	1.9
	Referenzstrecke			-	1.9
	Restwasserstrecke			-	2.2
Leitfähigkeit [µS/cm]	Referenzstrecke	232	407	750	222
	Restwasserstrecke	288	403	740	235
	Referenzstrecke			-	222
	Restwasserstrecke			-	240
Bemerkungen		1)			

6.3 Rohdaten Makrozoobenthos

Strömungsliebene Benthosarten

Heptageniidae								
	ca. Individuen/m ²						MW Ref	MW RW
	Ref1	Ref2	Ref3	RW1	RW2	RW3		
Aare Interlaken	0	0	600	130	260	260	200	217
Bockibach	200	100	14	143	229	400	105	257
Flembach	2229	571	857	1914	700	714	1219	1109
Flembach bei Fassung	686	-	-	86	114	-	686	100
Vorderer Schächen	1500	500	600	371	229	743	867	448

Blephariceridae								
	ca. Individuen/m ²						MW Ref	MW RW
	Ref1	Ref2	Ref3	RW1	RW2	RW3		
Bockibach	20	-	-	0	-	-	20	0
Flembach	90	-	-	120	-	-	90	120
Flembach bei Fassung	388	-	-	13	-	-	388	13
Schüss	76	-	-	868	-	-	76	868
Vorderer Schächen	440	40	0	420	20	60	160	167

Rohdaten Makrozoobenthos Aabach

Gewässer: Aabach
 Datum der Probenahme: 21.12.01

Stelle	Ref1	Ref2	Ref3	Ref4	Ref5	RW1	RW2	RW3	RW4	RW5
	Individuen/m ²					Individuen/m ²				
<i>Erpobdella octoculata</i>	21			29					14	14
<i>Eiseniella tetraedra</i>	579	107	257	1000	29	86	229	171	114	
<i>Nais</i> sp.	43									
<i>Stylaria lacustris</i>						57			43	43
<i>Dugesia</i> sp.	21	21	29	57	57	19	114	29	14	14
<i>Gammarus pulex</i>	107	86	29	486	29	86	143	86	100	86
<i>Asellus aquaticus</i>			29			29				14
<i>Pisidium</i> sp.				29						
<i>Ancylus fluviatilis</i>	43	21		86		19	57	57	29	
<i>Bithynia tentaculata</i>				29				9	14	
<i>Baetis</i> sp.	86	236	171	29	86	571	743	657	171	243
<i>Seratella ignita</i>										14
<i>Hydropsyche pellucidula/incognita</i>	1243	793	1514	1143	743	771	1029	1514	443	129
<i>Rhyacophila s.str.</i> sp.	64	86	29	86	29	57	171	171	43	29
<i>Hydroptila</i> sp.			29			29	29	57	29	
cf. Polycentropodidae	64						29	86	57	
Trichoptera indet.	64				86	29	57		14	29
<i>Psychomyia pusilla</i>					29		29		14	
Chironomidae	364	386	514	86	257	400	514	429	271	186
Simuliidae	129		86	57		57			14	14
<i>Antocha</i> sp.	21					29	57	57	86	14
Diptera indet.	21		57			29	29	29	14	
Anthomyidae				29						
<i>Orectochilus villosus</i>	43	43	29			29	86	57	43	
<i>Limnius</i> sp.	943	664	886	629	914	771	1886	114	29	29
<i>Elmis</i> sp.	21	43	29	29	29	86	114	57	29	14
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>					29	29			29	
Hydracarina								29		

Rohdaten Makrozoobenthos Aare Bern

Gewässer: Aare Bern Felsenau
 Datum der Probenahme: 12.3.02

Stelle	Ref1	Ref2	Ref3	Ref4	Ref5	RW 1A	RW 1B	RW 2A	RW 2B	RW 3A	RW 3B	RW 4A	RW 4B
	Individuen/m ²					Individuen/m ²				Individuen/m ²			
<i>Isoperla grammatica</i>	43	43	114	14		57	29	300	1'314	1'257	586	114	114
cf. <i>Isoperla rivulorum</i>			14										
<i>Leuctra</i> sp.		29						243	157	43			
<i>Protonemura</i> sp.											114		
<i>Perlodes intricatus</i>				14									
<i>Rhyacophila s.str.</i> sp. (cf. <i>dorsalis</i>)	29	14	29	29		14			29	429	143	214	400
<i>Rhyacophila fasciata</i>		14	29						29	14	14	57	29
<i>Agapetus fuscipes</i>	1'914	1'300	843	886	557	14		14		571	114	5'343	3'471
Glossosomatidae	43	314	186	186	114				157	129	200	400	214
<i>Glossosoma boltoni</i>	114	129	143	100	71			143	757	486	200	71	157
<i>Psychomyia pusilla</i>	829	1'671	1'100	457	357	457	243	143	129	371	243	3'943	4'757
<i>Hydroptila</i> sp.		43	257		114					114		114	
<i>Sericostama pers./flav.</i>	100	443	71	14	57				114			114	300
<i>Hydropsyche angustipennis</i>	29	29	14	14	14	14			357	43	471	57	
<i>Hydropsyche siltalai</i>	71	29	14				14	243	243	243	114	271	343
<i>Hydropsyche pellucidula</i>		14	14				14					57	
<i>Cheumatopsyche lepida</i>		29	114					114				129	114
cf. <i>Melampophylax melampus</i>	29	114			57						14	29	457
<i>Baetis rhodani</i>	57	14	14			14	114	100	457	1'014	429	186	114
<i>Baetis</i> cf. <i>lutheri</i>								343	71				
<i>Ecdyonurus venosus</i>	57	14		14		29	43		14	14		129	271
<i>Ecdyonurus picteti</i>	29	143	14	71	29	257	229	14	157	200		171	700
<i>Heptagenia sulphurea</i>	171	100	29	86		400	657	29	600	586	371	686	914
<i>Potamanthus luteus</i>	843	571	514	543	243				243	114		486	357
<i>Rhitrogena semicolorata</i>	57	186	257	186	71	343	314	4'071	1'971	1'300	2'143	329	129
<i>Habroleptoides confusa</i>	14								43				
<i>Ephemera danica</i>		14					114		14				
Lumbriculidae	4'414	1'000	957	2'571	843	1'271	3'014	1'914	1'529	586	743	800	357
Naididae	129	271	157	186	171	114	114	700	1'143	4'171	900	814	2'600
<i>Stylodrilus heringianus</i>		71	14	43		14	14	14	171	171	29		
Nematoda	57		200	43	57	371	14	443	271	300	157	257	386
Acantocephala	57			14				114					
Hydrachnellae			57										
<i>Dina punctata</i>	443	200	214	414	143	186	171	229	43	14	86	129	629
<i>Dugesia lugubris</i>										14			
<i>Gammarus fossarum/pulex</i>	6'886	8'057	5'143	3'457	2'329	4'229	3'157	3'686	11'314	1'086	643	4'529	3'286
<i>Asellus aquaticus</i>						14							
<i>Pisidium</i> sp.					29								
<i>Radix ovata</i>	14	14											
<i>Ancylus fluviatilis</i>	29		29	14	14							71	214
<i>Elmis</i> sp.	143	286	14	29				14	114	229	114	243	243
<i>Limnius</i> sp.	14	200	71	214	486	14		500	14		129	486	529
<i>Riolus</i> sp.	14												114
<i>Orectochilus</i> sp.		14							14	14	29		
Tanytarsini	314	200	186	14	43	1'029	343	471	243	829	129	1'071	2'286
Prodiamesinae				14		14							
Orthocladiinae	2'114	2'443	2'686	729	1'557	16'671	16'957	13'729	20'743	30'700	15'529	16'186	20'457
Chironomini		43	414	57	129	4'586	4'714	514		114		71	229
Chironomus Gr. <i>thummi</i>				14									
Tanipodinae		14				114	243	114				114	
Heleinae					14								
<i>Chelifera</i> sp.	86	300	129	114	243				114		129		114
<i>Hemerodromia</i> sp.								29	14				
<i>Wiedemannia</i> sp.								14	29	129	129	100	271
<i>Atalanta</i> sp.										114		114	
Empididae								14					
<i>Odagmia ornata</i>		14	14						43	29		14	114
cf. <i>Eusimulium</i> sp.											14		
<i>Simulium variegatum</i>								43	14	71	600		14
<i>Simulium rheophilum</i>								229		14			
<i>Simulium argenteostriatum</i>		57						343	14	143	114	129	114

Rohdaten Makrozoobenthos Schüss

Gewässer: Schüss
 Datum der Probenahme: 10.4.02

Stelle	Ref1	Ref2	Ref3	Ref4	Ref5	RW1	RW2	RW3	RW4	RW5
	Individuen/m²					Individuen/m²				
Oligochaeta	1857	3129	343	1000	1200	498	557	857	829	1500
<i>Eiseniella tetraedra</i>				14			43	14		
<i>Gammarus fossarum</i>	514	1029	107	229	214	238	514	214	143	343
<i>Polycelis nigra/tenuis</i>		129		29		22				
<i>Glossiphonia complanata</i>		21								
<i>Stagnicola</i> sp. (Gastropoda)						22				
<i>Leuctra</i> sp.	171	557	21	457	86	173	429	86	343	471
<i>Chloroperla</i> sp.						22		43		
<i>Hydropsyche</i> cf. <i>angustipennis</i>	29	86	21	171	171	22		43	57	43
<i>Rhyacophila</i> sp.	29	43	43	86	14	130	43	386	57	86
Glossosomatidae	29	21	21	29	43					
<i>Baetis</i> sp. (≥2 Arten)	29	43	43	86	171	108	86	214	57	129
<i>Rhitrogena</i> sp.					14	22	129	14		14
<i>Ecdyonurus</i> sp.		43					43			
<i>Epeorus sylvicola</i>									29	
<i>Seratella ignita</i>							86			
<i>Habroleptoides/Paraleptophlebia</i>								14		
Coleoptera indet.	57						43			
<i>Limnius</i> sp.	200	86	21	171	86			43		43
<i>Normadia</i> sp.	143	514		343	429	43		129	171	257
<i>Elmis</i> sp.		43		29						
<i>Ancylus fluviatilis</i>		21		29	14			14		
Simuliidae	29	43	214	314	86	43		43	57	43
Chironomidae	2571	2229	2421	3286	4243	1753	1629	4071	1800	2271
Limoniidae (≥ 3 Arten)	29	43	64	86	43	65	43	171	86	171
<i>Atherix ibis</i>			43	29	43					
Diptera indet.	57									
<i>Liponeura</i> cf. <i>decepiens</i>				29				86		
Hydracarina					43		43			

Rohdaten Makrozoobenthos Biomassen

Biomassen (Frischgewicht)							
	Biomasse [g/m²]						
	Probe1	Probe2	Probe3	Probe4	Probe5	Median	MA_Med
Aabach REF	13.6	10.8	10.5	32.1	4.9	10.8	6.1
Aabach RW	4.8	43.7	21.5	10.5	5.0	10.5	11.1
Aare Fels. REF	98.0	152.0	74.0	61.0	34.0	74.0	31.0
Aare Fels. RW oh ARA	87.0	103.0	118.0	142.0	-	110.5	17.5
Aare Fels. RW uh ARA	108.0	70.0	144.0	196.0	-	126.0	40.5
Aare Int. REF	13.6	7.8	38.1	-	-	13.6	10.1
Aare Int. RW	23.0	29.9	30.2	-	-	29.9	2.4
Bockibach REF	7.2	3.3	11.2	-	-	7.2	2.6
Bockibach RW	1.2	2.5	12.0	-	-	2.5	3.6
Flembach unten REF	7.3	3.0	7.2	-	-	7.2	1.4
Flembach unten RW	4.8	4.5	3.7	-	-	4.5	0.4
Flembach bei Fassung REF	1.2	-	-	-	-	1.2	-
Flembach bei Fassung RW	0.4	0.9	-	-	-	0.7	-
Schüss REF	15.6	33.9	7.1	22.4	19.6	19.6	6.7
Schüss RW	6.8	10.0	22.1	8.1	12.6	10.0	4.0
Vièze REF	12.2	6.2	18.2	-	-	12.2	4.0
Vièze RW	11.0	12.5	37.0	-	-	12.5	8.7
Vord. Schächchen REF	10.1	2.4	1.7	-	-	2.4	2.8
Vord. Schächchen RW	3.1	20.1	1.4	-	-	3.1	6.2

REF Referenz
 RW Restwasser
 MA_Med mittlere absolute Abweichung vom Median

6.4 Rohdaten Fischerei

Längenverteilung Bachforellen

Aabach		
Totallänge [cm]	RW	REF
0-5	2	5
6-10	-	3
11-15	-	-
16-20	4	-
21-25	8	4
>25	9	5

Aare Bern				
Totallänge [cm]	RW oben	RW unten	REF oben	REF unten
0-5	-	-	-	-
6-10	-	-	1	11
11-15	8	3	1	13
16-20	9	4	1	2
21-25	1	-	-	2
>25	1	1	-	1

Aare Interlaken		
Totallänge [cm]	RW	REF
0-5	-	-
6-10	4	-
11-15	1	-
16-20	-	1
21-25	-	-
>25	-	-

Bockibach/Alpbach			
Totallänge [cm]	RW (B)	REF (B)	REF (A)
0-5	26	5	2
6-10	26	6	3
11-15	8	3	13
16-20	5	2	4
21-25	5	2	2
>25	3	0	1

La Vièze		
Totallänge [cm]	RW	REF
0-5	-	-
6-10	1	3
11-15	4	39
16-20	38	14
21-25	23	3
>25	4	1

Flembach				
Totallänge [cm]	RW oben	RW unten	REF oben	REF unten
0-5	-	-	5	-
6-10	-	-	-	4
11-15	1	-	1	3
16-20	-	-	1	12
21-25	-	-	1	18
>25	2	-	1	6

Schüss		
Totallänge [cm]	RW	REF
0-5	-	-
6-10	4	12
11-15	5	6
16-20	6	3
21-25	4	-
>25	1	-

Vorderer Schächen		
Totallänge [cm]	RW	REF
0-5	-	-
6-10	-	7
11-15	7	6
16-20	13	6
21-25	3	1
>25	1	1

RW = Restwasserstrecke
REF = Referenzstrecke