

Fachbereich Biologie (Zoologie) der Philipps-Universität Marburg, Deutschland

Einflüsse der Stauaktivität des Bibers (*Castor fiber albicus*) auf physikalische und chemische Parameter von Mittelgebirgs-Bächen (Hessen, Deutschland)

Influence of the Damming-up by Beavers (*Castor fiber albicus*) on Physical and Chemical Parameters of Highland Brooks (Hesse, Germany)

MARK HARTHUN

Mit 12 Abbildungen und 4 Tabellen

Key words: Beaver, *Castor fiber*, chemical and physical alterations, geomorphological effects, retention of precipitation, nutrient concentration, oxygen, pH, conductivity, secondary brooks

Abstract

For a valuation of the influence of beavers on a riparian ecosystem a restriction on the constructed beaver ponds is not sufficient. In addition, the whole homerange in its total length must be taken into consideration. In 1995 the geomorphological effects and the chemical and physical alterations during the passing through two beaver homeranges were studied in the Spessart mountains (Hesse, Germany). Inside of the homeranges, the beavers transformed the running waters into series of small beaver pools and ponds. Parallel to the sectors, where riffles got disappeared because of the damming up, secondary brooks developed, which created various wetlands in the riparian ecosystem. Because of the enlargement of the water surface and the distribution of the brook water on adjacent areas, the water-freight of a brook can decrease under certain weather conditions. Thereby beavers can contribute to a higher retention of precipitation and to a diminuation of flood-disasters.

The alterations of the measured parameters were bounded mostly on the pond and regenerated quickly below. In comparison of the water conditions entering and leaving the homerange, there was a meagre increase of temperature, pH, oxygen- and NO₂-concentration measured. The concentration of nitrate, NH₄ and o-phosphate decreased, the conductivity kept constant. Extensive effects on the water quality below the homeranges were not proven.

1. Einleitung

Bereits im 18. Jahrhundert war der Biber in weiten Bereichen Europas ausgerottet (HINZE 1950). Aus diesem Grunde gibt es in Europa nur wenig Erfahrungen [z. B. von NUMMI (1989) aus Finnland und von STAVROVSKY (1997) aus Polen]

über die Einflüsse von Bibern auf Ökosysteme – insbesondere in Gebirgslagen. Untersuchungen zu den Auswirkungen von Bibern auf den Stoffhaushalt und die Schüttung von Fließgewässern gibt es sonst nur aus Nordamerika aus Revieren des sehr ähnlichen Kanadischen Bibers (*Castor canadensis*) (CARR 1940; FORD & NAIMAN 1988; FRANCIS et al. 1985; HUEY & WOLFRUM 1956; MARET et al. 1987; NAIMAN et al. 1986; OLSON & HUBERT 1994; RASMUSSEN 1940; SMITH et al. 1989; YAVITT & FAHERY 1994). WOO & WADDINGTON (1990) verglichen die Ein- und Ausflußmenge eines Bibersees zur Ermittlung der Retentionswirkung.

Mit den Wiedereinbürgerungsprojekten in der Eifel von 1981–1989 (SCHULTE 1995) und im Spessart 1987/1988 (LANGER 1995) gibt es inzwischen wieder Biber im deutschen Mittelgebirge. Reliefbedingt sind die Biber hier gezwungen, die kleinen Bäche aufzustauen, wobei Fließgewässer in Ketten von kleinen Staustufen verwandelt werden. In der vorliegenden Arbeit wurden daher die gewässermorphologische Umgestaltung, die Änderung des Abflußcharakters, die physikalischen Verhältnisse und der Stoffhaushalt von mit Bibern besiedelten Bächen untersucht. Faunistische Auswirkungen sind in HARTHUN (1999) dargestellt.

2. Untersuchungsgebiet

Für die Untersuchungen wurde das Zentrum des heutigen Verbreitungsgebietes der Spessartpopulation des Bibers aus-

gewählt. In den Jahren 1987 und 1988 wurden im nördlichen Sandsteinspessart (Hessen) 18 Tiere von der Elbe am Westernbach, am Willingsbach und an der Jossa (Zuflüsse der Sinn) wiederangesiedelt (LANGER 1995). Die Population ist bis heute auf etwa 120 Tiere angewachsen. Die Untersuchungen wurden in zwei Biberrevieren durchgeführt - am Willingsbach und an einem Zufluß der Schmalen Sinn (Hellgraben-Revier) (Abb. 1).

• **Willingsbach**

Der Willingsbach ist ein Carbonatbach (OTTO 1991). Er hat beim Einlauf in das Biberrevier eine Breite von 0,30 m, eine Tiefe von nur wenigen Zentimetern und ist mit einer Kunststoff-Sohlenverkleidung ausgelegt. Das Gefälle beträgt 2,6%. Innerhalb des Reviers münden mehrere kleine Rinnsale ein, so daß am Revierende in einer Stichprobenmessung (19. Juli 1995) bei einer Gewässerbreite von 1,20 m und einer Fließgeschwindigkeit von 0,083 m/s ein Abfluß von 29,4 l/s errechnet werden konnte. Am 11. Oktober 1988 wurden in diesem suboptimalen Lebensraum (Habitat-Index

$I_H = 28,6\%$; HEIDECHE 1992), an einem anthropogen aufgestauten Teich (Willingsgrundweiher, 370 m ü. NN) vier Tiere ausgesetzt. Im Frühjahr 1995 fanden sich oberhalb des Teichs 14 Dämme, die aber größtenteils nicht unterhalten wurden. Es gab 3 Biber-Stauseen, wobei der erste 1 Jahr alt war, der zweite 5 Jahre und der dritte 1 Jahr. Die abiotischen Werte beziehen sich stets auf den ältesten der drei Seen. Unterhalb des Reviers mündet der Willingsbach in den Westernbach.

• **Zufluß der Schmalen Sinn (Hellgraben-Revier)**

Parallel zur Schmalen Sinn durchzieht ein etwa 1 m breiter, mäandrierender namenloser Nebenarm etwa 2 km lang die Mähwiesen der 200–300 m breiten Aue. Alte Reste von Sandsteinwehren zeugen von seiner historischen Bedeutung für die Bewässerung der Wiesen. Heute sammelt er das Wasser der verschiedenen Entwässerungsgräben und Drainagen der umliegenden landwirtschaftlichen Nutzflächen und führt es der Schmalen Sinn kurz vor ihrer Mündung in die Sinn zu. Das Gefälle ist gering (0,11%). Der Abfluß betrug im Som-

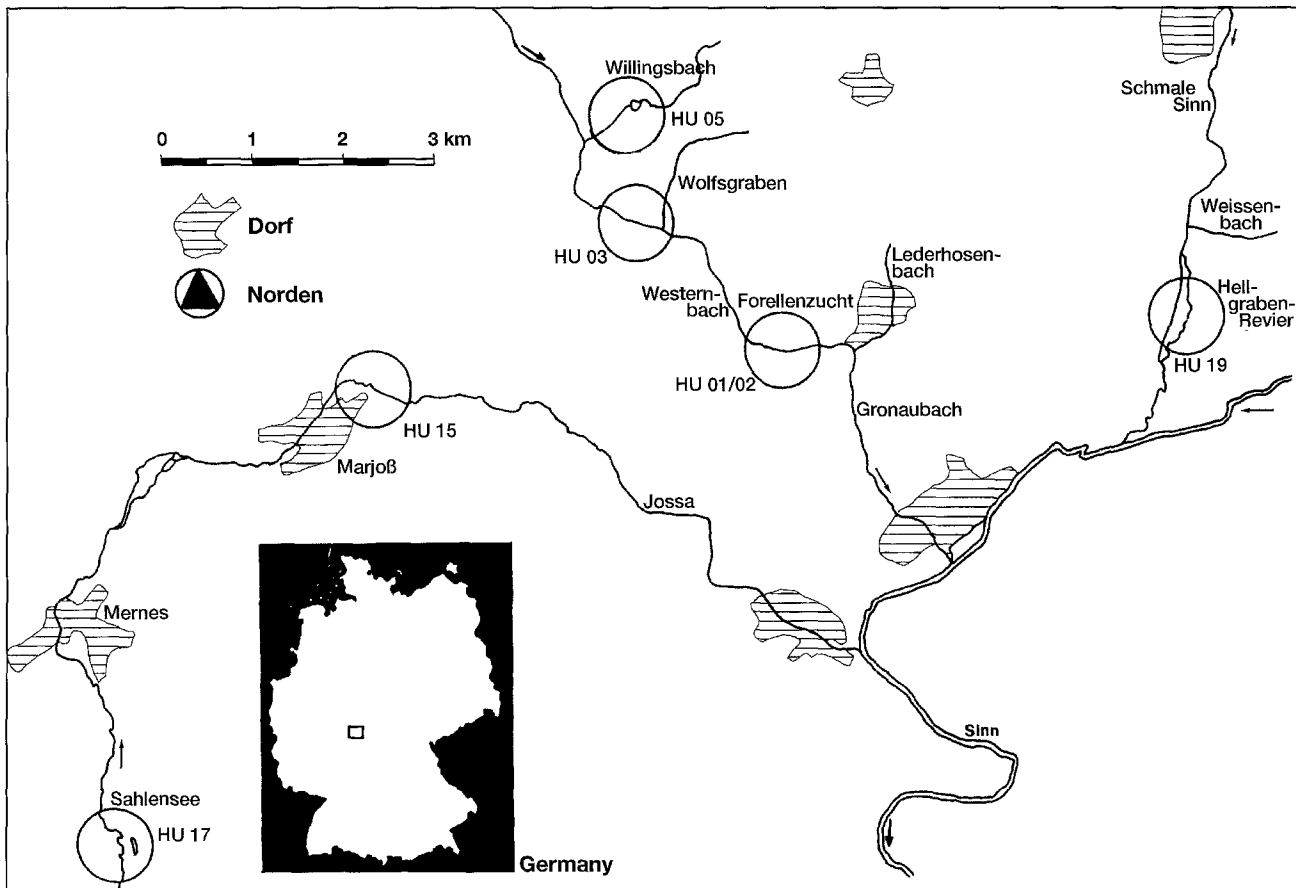


Abb. 1. Lage der untersuchten Biberreviere im Gewässernetz von Jossa und Sinn. Die Kürzel (z.B. HU 03) sind die Revierbezeichnungen, die von den Biberbetreuern vor Ort verwendet werden.

Fig. 1. Location of the investigation area in the river system of Jossa and Sinn. The abbreviations (e.g. HU 03) signify the beaver homeranges and are used in the local beaver management.

mer 1995 etwa 80–100 l/s. Der Bach wurde 1993 auf einer Strecke von 1300 m von zuwandernden Bibern besiedelt. Das Revier wird als „Hellgraben-Revier“ bezeichnet. Es ist nach ALTSTÄDT (1989) gut für Biber geeignet ($I_H = 43,6$). Noch 1995 begannen die Biber mit dem Bau eines etwa 30 cm hohen Dammes in die umliegenden Wiesen hinein. Der so entstandene See hatte zwei Jahre später eine Fläche von etwa 4000 m², gebildet durch einen 140 m langen Damm.

Die Tab. 1 zeigt den Charakter der Untersuchungsgewässer im Überblick.

Tabelle 1. Charakterisierung der beiden Untersuchungsgewässer.

Table 1. Abiotic parameters of the investigated rivers.

| | Zufluß der Schmalen Sinn (Hellgraben-Revier) | Willingsbach |
|-----------------------------|---|--------------|
| Datum/Uhrzeit | 1.9./8.00 | 30.8./8.00 |
| Bachbreite (m) | 1 | 0,3 |
| Temperatur (°C) | 12,2 | 9,5 |
| pH-Wert | 6,9 | 8,5 |
| Leitfähigkeit (µS/cm) | 178 | 560 |
| SBV (ml 0,1 n HCl) | 0,25 | 1,07 |
| Härtegrad (°dH) | 0,7 | 3 |
| geb. CO ₂ (mg/l) | 11 | 46,7 |

3. Methoden

Die Untersuchungen wurden in der Zeit von Mitte Mai bis Ende September 1995 durchgeführt. Darüber hinaus wurden Proben am 4. November 1995 entnommen, um auch die Verhältnisse im Herbst berücksichtigen zu können.

• Gewässermorphologie

Im Zuge einer einmaligen Kartierung wurden in beiden Revieren die Länge, Breite und maximale Tiefe von Biberkolken und gefällebedingt lenitischen Bereichen aufgenommen. Noch vorhandene frei fließende Bereiche wurden ebenfalls kartiert. Alle Längenmessungen in dieser Arbeit wurden mit einem 20-Meter Maßband vorgenommen. Bei den Vermessungen von langen Strecken im unebenen Gelände treten dadurch zwangsläufig Fehler von ±10% der Längenangabe auf. Angesichts der herrschenden Dynamik in Biberrevieren ist diese Ungenauigkeit jedoch zu vernachlässigen.

Zur Charakterisierung eines Bibersees wurde vom Hellgraben-Stausee ein Quer- und ein Längsprofil aufgenommen. Hierzu wurde in der Höhe der Böschungsoberkante ein Seil mit Farbmarkierungen im 1 m-Abstand horizontal über das Gewässer gespannt. An jeder Markierung wurde mit Hilfe einer Meßlatte die Strecke zur Gewässer- sohle, sowie die Temperatur in 10 cm Tiefe gemessen.

• Hydrologie

Im Hellgraben-Revier wurden an fünf stichprobenartig ausgewählten Tagen (6., 12., 14., 24. Juli und 5. September 1995) Abflußmessungen durchgeführt, um festzustellen, ob es durch den Biber zu einer meßbaren Retention von Bachwasser kommen kann, also zu einer Verminderung der Schüttung beim Vergleich von Revierende

und Revieranfang. Hierzu wurden an 8 Meßstellen die Bachquerschnitte ermittelt. Der benetzte Umfang wurde mit einer 3 m langen Kette, die Bachtiefe im Abstand von 10 cm mit einem Zollstock vermessen. Installierte Pegel erleichterten dabei die Ermittlung der Werte bei Wiederholungsmessungen am gleichen Ort. Sind Strömungsgeschwindigkeit und Gefälle bekannt, so läßt sich die Abflußmenge errechnen:

$$Q = v_m \cdot A \quad (1)$$

$$v_m = n \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

$$R = \frac{A}{I_n} \quad (3)$$

Aus den Gleichungen (1), (2) und (3) (HERRMANN 1977) ergibt sich der Abfluß:

$$Q = \sqrt{\frac{v_m^5 \cdot I_n^2}{n^3 \cdot I}} \quad (4)$$

Q = Abfluß in m³/s; I = Gefälle in ‰; I_n = benetzter Umfang in m; A = Querschnittsfläche in m²; v_m = Fließgeschwindigkeit in m/s; R = hydraulischer Radius in m; n = Rauigkeitsbeiwert in m^{1/3}/s (MANNING-Koeffizient).

Es gibt zwei Möglichkeiten die Schüttung zu berechnen. Bei der ersten wird über die alle 10 cm erfolgten Tiefenmessungen die Querschnittsfläche A ermittelt und über die MANNING-Formel der Abfluß Q berechnet. Für die zweite Möglichkeit wird die mittlere Strömungsgeschwindigkeit V_m und der benetzte Umfang I_n gemessen. Über den hydraulischen Radius R kann dann ohne Kenntnis der Querschnittsfläche mit der oben aufgeführten Formel (4) die Schüttung berechnet werden. Ein Methodenvergleich ergab bei der Abflußberechnung auf beiden Wegen Werte, die um den Faktor zehn (!) verschieden waren. Entscheidend ist dabei der Meßfehler, der aus der Erfassung der Strömungsgeschwindigkeit mit der „Uranin-Methode“ (SCHWOERBEL 1986) resultiert. Versuche, die Strömungsverhältnisse mit einem Meßflügel (Firma Ott, Durchmesser 5 cm, Typ 10152, Nr. 35067) zu erfassen, scheiterten an der zu geringen Strömung in manchen Bereichen. Bei den Strömungsmessungen zum Abfluß wurde deshalb mit Uranin Wasser eingefärbt und dessen Fließgeschwindigkeit über eine Strecke von 1 bzw. 2 m, je nach Turbulenz, gestoppt. Registriert wurde dabei die Spitze der entstandenen Farbfahne, also die schnellste Strömung. Man erhält so einen Näherungswert für die mittlere Strömungsgeschwindigkeit. Weil die Strömung im Uferbereich wesentlich langsamer ist, ist diese Methode für quantitative Messungen der Schüttung relativ ungenau. Da jedoch für die vorliegende Arbeit nicht der absolute Wert von Bedeutung ist, sondern nur das relative Verhältnis der Probestellen zueinander, wurde als Rauigkeitskoeffizient der Wert 1 festgelegt und die Schüttung nach Gleichung (4) berechnet.

Die Messung des Gefälles des Westernbaches und des besiedelten Zuflusses der Schmalen Sinn im Hellgraben-Biberrevier erfolgte mit einer Schlauchwaage (einem 30 m langen, mit Wasser gefüllten Schlauch mit einem Durchmesser von 5 mm).

• Physikalische und chemische Parameter

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden Veränderungen bestimmter physikalischer und chemischer Parameter im Re-

vierverlauf (Temperatur, O₂, Leitfähigkeit, pH-Wert, Nitrat-N, Nitrit-N, Ammonium-N, o-Phosphat-P) gemessen. Dabei wurden jeweils Serien von Proben von verschiedenen Meßpunkten innerhalb des Reviers (Revieranfang, See-Einlauf, Seemitte, vor dem Biberdamm, nach dem Biberdamm und Revierende) genommen. Außerdem wurden Veränderungen in der vertikalen Schichtung (Temperatur, O₂) und in einem Tagesverlauf (Temperatur, pH-Wert, O₂) gemessen.

Das Hellgraben-Revier eignete sich für eine Dokumentation der Veränderungen im Revierverlauf besonders gut, da das Gewässer auf der gesamten Länge des Biber-Reviers vom Menschen wenig beeinflusst ist. Dagegen schloß sich am Willingsbach, direkt unterhalb des Bibersees, ein großer künstlicher Stausee an, so daß regelmäßige Messungen bis zum Ende des Reviers nicht sinnvoll waren. Deshalb wurden hier nur Meßpunkte bis unterhalb des Biberdamms gewählt. Bei den Proben aus der Seemitte wurde zwischen einer Flachwasserprobe aus 10 cm Wassertiefe und einer Tiefenwasserprobe aus 1–1,20 m Wassertiefe unterschieden.

Zusätzlich wurden am 27./28. Juni im Hellgraben-Revier im Rahmen einer „24-Stunden-Messung“ von 6.00 Uhr–23.00 Uhr im Abstand von 3 Stunden Messungen durchgeführt, außerdem um 8.00 Uhr des darauffolgenden Tages, um die Veränderungen der Parameter sowohl im Revierverlauf als auch in einem Tagesgang zu erfassen. In der Zeit zwischen 23.00 Uhr und 8.00 Uhr wurden mit Rücksicht auf die Aktivität des naturschutzrechtlich geschützten Bibers keine Messungen vorgenommen. Gemessen wurde der pH-Wert, die Wassertemperatur, die Lufttemperatur (2 m über dem Boden am Bachufer) und der Sauerstoffgehalt.

Zur Änderung der *Wassertemperatur* im Revierverlauf wurden im Hellgraben-Revier 14 Meßserien genommen. Hierzu wurden digitale Thermofühler verwendet. Vertikale Messungen erfolgten alle 10 cm, horizontale im Abstand von 1 m. Die Bestimmung des *Sauerstoffgehaltes* erfolgte an den Probestellen beider Gewässer mit dem Oximeter der Wissenschaftlichen Technischen Werkstatt (WTW). Zur Charakterisierung der Bachtypen wurden das *Säurebindungsvermögen* (SBV) und das *freie Kohlendioxid* direkt am Gewässer durch Titration mit 0,1 n Salzsäure bzw. 0,05 n Natronlauge unter Zugabe von 20 Tropfen K-Na-Tartrat-Lösung und Phenolphthalein als Indikator bestimmt (SCHWOERBEL 1986). Diese Tests wurden in einer Meßserie im Hellgraben-Revier am 27. Juni (15.00 Uhr) und am 1. Sept. (8.00 Uhr), am Willingsbach am 10. Juni (14.00 Uhr) und 30. Aug. (8.00 Uhr) vorgenommen. Zur Ermittlung der *Leitfähigkeit* erfolgten im Hellgraben-Revier 3 Meßserien (3. Juni, 1. Sept., 4. Nov.), am Willingsbach zwei Serien (4. Juni, 30. Aug.) mit dem temperaturkorrigierten Leitfähigkeitsmeßgerät LF 90 und der Elektrode KLE 1 von der WTW. Der *pH-Wert* wurde mit einem pH-Meter aufgenommen.

Für die Bestimmung von *Nitrat-N*, *Nitrit-N* und *Ammonium-N* sowie *o-Phosphat-P* im Wasser von Bach und Bibersee wurden an beiden Gewässern an vier über den Untersuchungszeitraum verteilten Tagen (Hellgraben: 24. Juni, 24. Juli, 1. Sept., 4. Nov.; Willingsbach: 10. Juni, 23. Juli, 30. Aug., 4. Nov.) Wasserproben entnommen. Sie wurden im Gelände in einer Kühltasche transportiert und etwa zwei Stunden später eingefroren. Die Analysen erfolgten nach dem Deutschen Einheitsverfahren photometrisch mit einem Autoanalyzer der Firma Technicon. Jede Wasserprobe wurde dreimal analysiert und aus den Ergebnissen der Mittelwert gebildet. Über eine Regressionsanalyse wurde mit einem Statistik-Programm (SPSS) für diesen Mittelwert die jeweilige Stoffkonzentration errechnet.

4. Ergebnisse

Gewässermorphologie

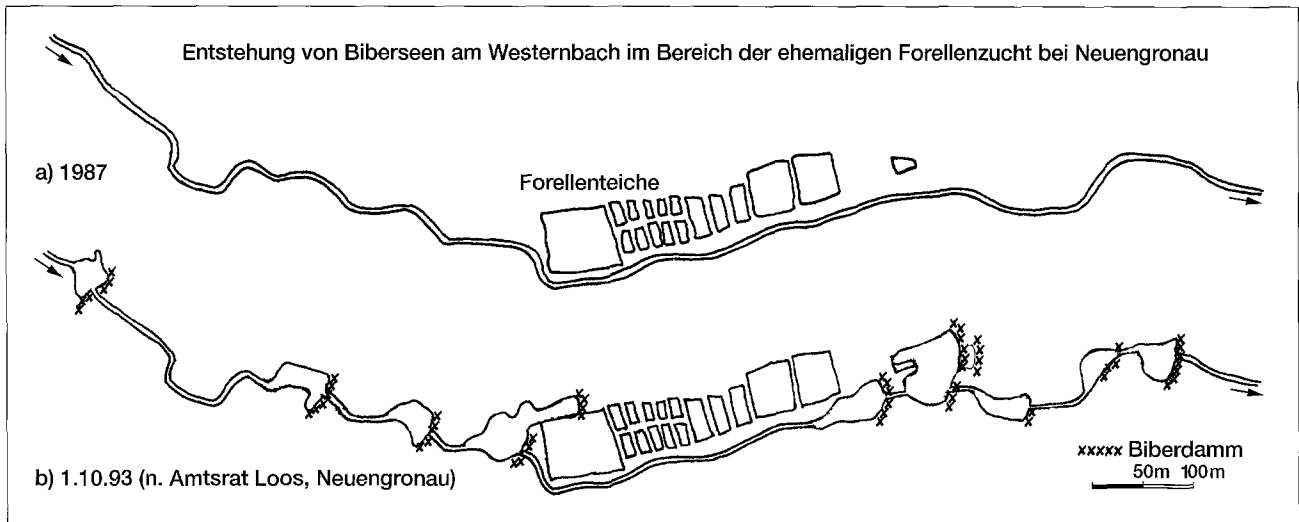
Der Biber verwandelt kleine Fließgewässer durch den Bau zahlreicher Dämme in eine Kette von Staustufen mit nur wenigen frei fließenden Strecken. So fanden sich im Hellgraben-Biberrevier 17 Dämme mit einer Höhe bis zu 1,60 m (i. d. Regel aber < 50 cm). Aufstauungen, die nur durch „Hauptdämme“ (nur innerhalb des Bachbettes) entstehen, bilden „*Biberkolke*“. Neben den gefällebedingt lenitischen Bachabschnitten kommen also weitere zoogene hinzu (Tab. 2). Mehr als die Hälfte des 1300 m langen Bachlaufes war durch *Biberkolke* überformt.

Tritt das Wasser über die Bachufer und läuft seitlich in die Aue hinein, so entsteht ein „*Bibersee*“. Er wird durch einen oder mehrere „*Nebendämme*“ eingefasst. Wenige Kilometer unterhalb des Biberreviers am Willingsbach hat LOOS (1993) die Entstehung von Biberseen am Westernbach im Bereich der ehemaligen Forellenzucht bei Neuengronau in der Zeit von 1987 bis 1993 dokumentiert, sie reihen sich wie eine Kette entlang des Baches auf (Abb. 2; siehe auch Abb. 1, Kürzel HU01/02). Biberseen sind meist sehr flache Gewässer, deren tiefster Bereich von dem ehemaligen Bachbett gebildet wird. Im Hellgraben-Biberrevier entstand so ein Bibersee von über 4000 m² Fläche. Die überflutete Grasnarbe wurde vom Biber ausgegraben und zum Dammbau verwendet. Abb. 3 zeigt das Längs- und Querprofil des Bibersees und die gemessenen Oberflächentemperaturen.

Tabelle 2. Anteile von lotischen und gefällebedingt lenitischen Bereichen sowie zoogen bedingt lenitischen Bereichen (vom Biber geschaffene *Biberkolke* und Seen) an der Gesamtlänge zweier Biberreviere, n = Anzahl der Probestellen.

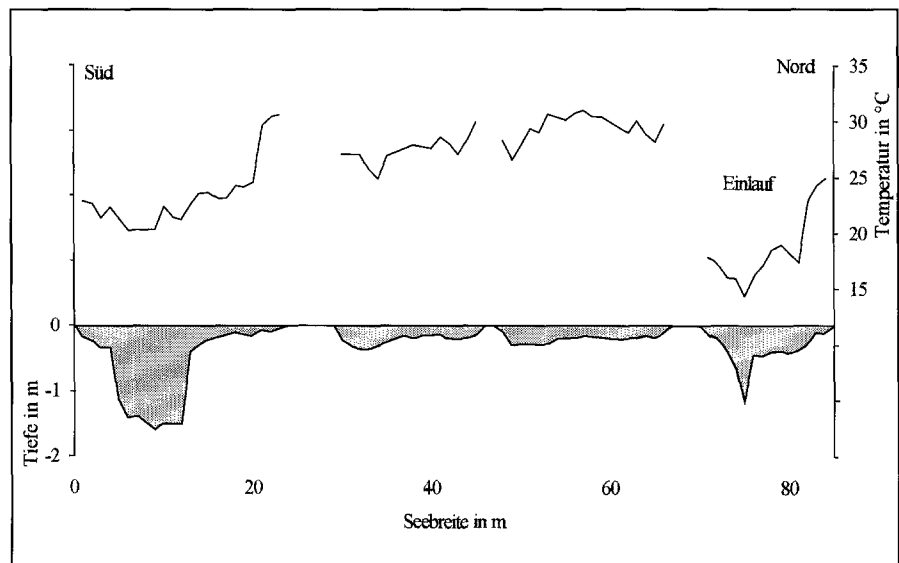
Table 2. Parts of high current sectors, lenitic sectors caused by the gradient and lenitic sectors caused by beavers (pools and ponds) of the total length of two beaver homeranges, n = number of samples.

| Biberrevier | Gesamtlänge (m) | Lotische Bereiche (m) und (%) | Gefällebedingt lenitische Bereiche | | Biberstaustrecken | |
|--------------|--------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------|-------------------|----------------|
| | | | (m) und (%) | Mittelwert (m) | (m) und (%) | Mittelwert (m) |
| Hellgraben | 1300 | 186 (14,3) | 383 (29,5) | 14,2 (n = 27) | 731 (56,2) | 51 (n = 10) |
| Willingsbach | 200 | 65 (32,5) | 12 (6) | 6 (n = 2) | 123 (61,5) | 8,3 (n = 11) |



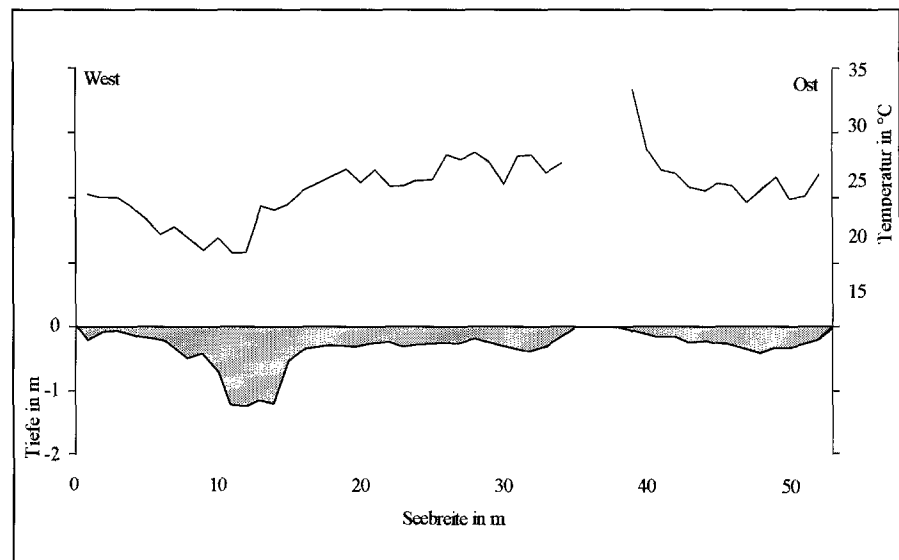
▲ **Abb. 2.** Entstehung von Biberseen am Westernbach im Bereich der ehemaligen Forellenzucht bei Neuengronau (HU 01/02 in Abb. 1) in der Zeit von 1987 bis 1993 (nach LOOS 1993).

Fig. 2. Formation of beaver ponds on the brook Westernbach near the former trout breeding of Neuengronau (HU 01/02 in Fig. 1) during 1987 and 1993 (Loos 1993).



► **Abb. 3.** Hellgraben-Revier: Längs- und Querprofil durch den Biber-Stausee. Der über 60 cm tiefe Bereich entspricht dem ehemaligen Bachbett. Nach oben dargestellt ist die Oberflächentemperatur im See (10 cm Wassertiefe; 13. Juli, nachmittags).

Fig. 3. The Hellgraben beaver pond in longitudinal and diagonal profile. The more than 0.6 m deep part corresponds to the former brook-bed. The upper half of the diagram shows the surface temperature of the pond (water depth 10 cm; July, 13th, afternoon).



Für einen Bach bedeutet die Entstehung von Seen eine Vergrößerung der Uferlinie. Im Hellgraben-Revier kam es in einem Bachabschnitt von 120 m Länge zu einer Erweiterung der Uferlinie auf 550 m (= Seeumfang). Entgegen der klassischen Darstellungsweise, daß das Wasser im Bereich des Hauptdammes im ehemaligen Bachbett aus dem Bibersee ausläuft (vgl. z. B. PRITCHARD 1976; WOO & WEDDINGTON 1990), wurde im Spessart die Entstehung von zahllosen Rinnsalen durch seitliches Überlaufen über Nebendämme beobachtet. Da hier neue, kleine Fließgewässer im Umfeld des Bibersees entstehen, wurde der Begriff *Sekundärbäche* gewählt. Berücksichtigt man auch diese und die dadurch entstehenden Wasserflächen in den angrenzenden Wiesen, so kommt man auf eine noch wesentlich größere Grenzfläche zwischen Wasser und Land. Die Wasseroberfläche hat sich im Hellgraben-Revier durch den Stausee und die größere Bachbreite von etwa 780 m² auf etwa 6480 m² mehr als verachtfacht.

Am Willingsbach ist es in den Jahren der Biberbesiedlung auch zu kleinräumigen Bachlaufverlagerungen gekommen, während Altwasser zurückblieben (HARTHUN 1998).

Hydrologie

Das Aufstauen des Wassers führte unabhängig von der Entstehung eines echten Sees im Hellgraben-Revier zu einer Erhöhung des Grundwasserspiegels im Umfeld des Bibersees. Die Vernässung der Wiesen war bereits nach wenigen Jahren an Veränderungen in der Wiesenvegetation im angrenzenden Grünland erkennbar. Auf diese Weise war innerhalb von zwei Jahren eine Feuchtbrache von etwa 4500 m² um den Bibersee herum entstanden. Im Revier des Willingsbaches

stieg dagegen das Gelände rund um den Bibersee unmittelbar an, so daß hier fast keine Feuchtwiesen entstanden sind.

Die Schüttung im Zufluß der Schmalen Sinn (Hellgraben-Revier) sank unterhalb des Bibersee-Dammes bei allen Messungen auf nahezu Null ab. Erst am Biberrevierende wuchs sie wieder an. An zwei von fünf Meßtagen (14. und 24. Juli) war dabei die Wassermenge, die aus dem Hellgraben-Revier auslief, deutlich geringer als die Summe der Zuflüsse (Tab. 3).

Beobachtungen der Strömung im Hellgraben-Bibersee ergaben, daß die größte Strömungsgeschwindigkeit im Einlaufbereich etwa 20 cm unter der Oberfläche erreicht wird. Generell ist sie sehr langsam. Im Einlaufbereich betrug sie zwischen 0,026 und 0,036 m/s, nach der Aufweitung des Ufers nur noch 0,01–0,015 m/s. Im Kernbereich ließ sich die Strömung nur noch beobachten, aber nicht messen. Es zeigte sich, daß das einströmende Wasser ausschließlich dem durch das Bachbett vorgegebenen Weg folgte. Laterale Strömungen in die Flachwasserbereiche waren nicht zu beobachten. Vor dem Damm kam es zu sehr schwachen Turbulenzen.

Physikalische und chemische Parameter

• Temperatur

Im Hellgraben-Revier kam es innerhalb des Bibersees an manchen Tagen zu einer deutlichen Erwärmung des Bachwassers (vgl. Abb. 4). Dennoch hatte der Bach direkt unterhalb des Staudammes eine nur wenig erhöhte Temperatur. In 14 Meßserien ergab sich eine durchschnittliche Temperaturerhöhung beim Durchfließen des Bibersees um 2,3 °C (min. 1,4 °C, max. 3,9 °C).

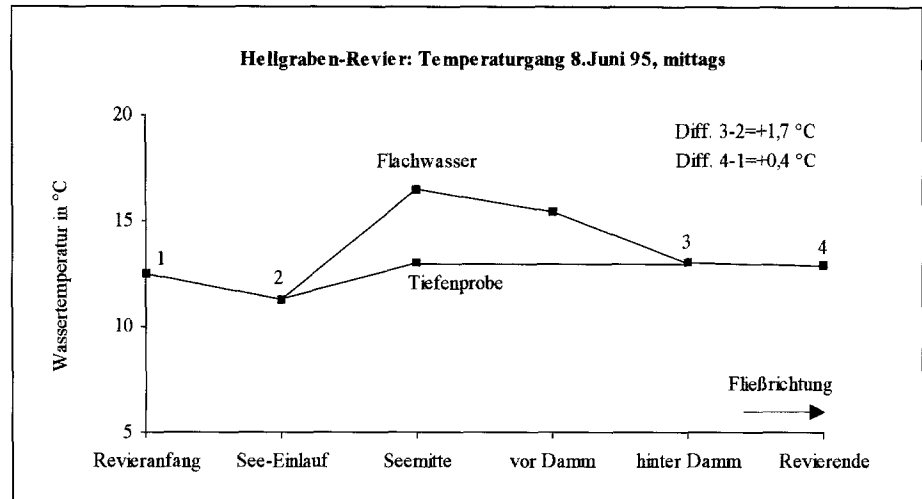
Tabelle 3. Schüttung des Baches im Biberrevier Hellgraben an fünf Tagen im Sommer 1995. Gemessen wurde die Schüttung (in l/s) am Revieranfang, unterhalb des Hauptdammes und am Revierende sowie an allen dazwischen liegenden oberirdischen Zuflüssen.

Table 3. Spot checks of the waterfreight of the brook in the homerange Hellgraben on five days in summer 1995. Measured was the waterfreight (in l/s) in the upper part of the river at the entrance of the homerange, below the main dam and at the end, additionally in all overground incoming streamlets.

| Probestelle | 06. Juli | | 12. Juli | | 14. Juli | | 24. Juli | | 5. Sept. | |
|-----------------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| | Schüttung (l/s) | Theoret. Σ | Schüttung (l/s) | Theoret. Σ | Schüttung (l/s) | Theoret. Σ | Schüttung (l/s) | Theoret. Σ | Schüttung (l/s) | Theoret. Σ |
| Revieranfang | 0,27 | | 0,23 | | 12,5 | | 0,11 | | 0,17 | |
| 1. Zufluß | 25,75 | 26,02 | 18,32 | 18,55 | 93,73 | 106,23 | 1,32 | 1,43 | 5,59 | 5,76 |
| 2. Zufluß (im See) | 0,33 | 26,35 | 0,48 | 19,03 | 3950,14 | 4056,37 | 0,22 | 1,65 | 0,06 | 5,82 |
| Abfluß unter dem Damm | 0,89 | | 0,09 | | 0,39 | | 0,21 | | 0,04 | |
| 3. Zufluß | 0 | 26,35 | 0 | 19,03 | 4,69 | 4061,06 | 0 | 1,65 | 0 | 5,82 |
| 4. Zufluß | 1,5 | 27,85 | 0 | 19,03 | 2,9 | 4063,96 | 4,87 | 6,52 | 0,2 | 6,02 |
| Revierende | 125,02 | 27,85 | 84,08 | 19,03 | 526,3 | 4063,96 | 2,97 | 6,52 | 87,52 | 6,02 |

Abb. 4. Hellgraben-Revier: Wassertemperatur am 8. Juni 1995 im Biberrevier.

Fig. 4. Homerange Hellgraben: Water temperature on June, 8th 1995.



Bei den meisten Messungen hatte sich einige hundert Meter weiter am Revierende die Bachtemperatur wieder weitgehend dem Ursprungswert angeglichen. Die Netto-Temperaturänderungen zwischen Revieranfang und -ende betragen bei 11 Meßserien lediglich +1,8 °C (−1,8 °C bis +4,2 °C). Im Rahmen der 24h-Messung wurde untersucht, inwieweit sich im Laufe eines Tages die Temperatur in einer Wassertiefe von 10 cm verändert (Abb. 5).

Messungen zum vertikalen Temperaturgradienten ergaben um 15.00 Uhr eine Differenz von 5,8 °C zwischen der

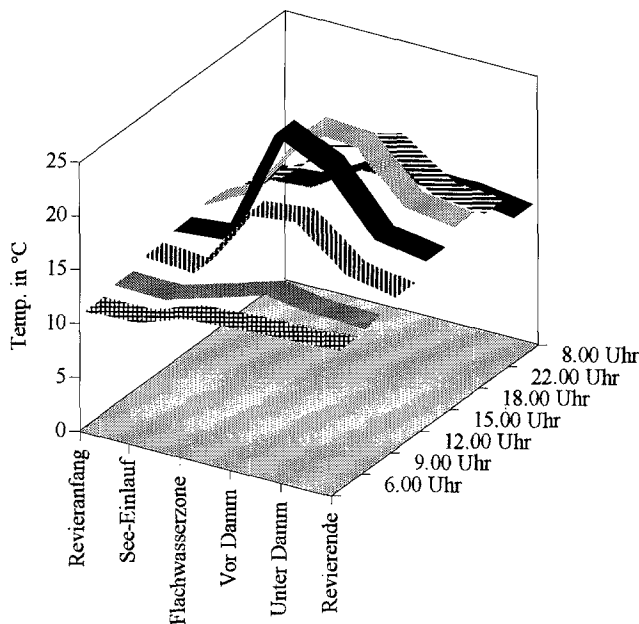


Abb. 5. Hellgraben-Revier: Veränderung der Wassertemperatur im Biberrevier innerhalb eines Tages (27. Juni, 6–22.00 Uhr; 28. Juni, 8.00 Uhr).

Fig. 5. The change of the water temperature in the beaver homerange Hellgraben during a whole day (June, 27th/28th).

Tiefentemperatur im ehemaligen Bachbett (1,60 m Tiefe, 14,4 °C) und der Oberflächentemperatur (20,2 °C). Gleichzeitig betrug die Temperatur der Flachwasserzone 23,6 °C. Ein Vergleich der Oberflächentemperaturen in 4 Horizontalprofilen durch den Hellgraben-Bibersee zeigte, daß die Flachwasserzone um im Mittel 4,3 °C (3,4 bis 5,2 °C) wärmer war, als die Oberfläche im Bereich des ehemaligen Bachbettes (Abb. 3).

3 vertikale Temperaturprofile ergaben am Morgen nach der 24h-Messung (7.00 Uhr) gleiche Temperaturen in allen Tiefen des Bibersees. Sowohl in der Flachwasserzone als auch in allen Tiefen des Durchströmungskanals herrschten gleiche Temperaturen.

Nach den Lufttemperaturmessungen im Rahmen der 24h-Messung herrschte tagsüber (15.00 Uhr) im Umfeld des Hellgraben-Bibersees eine um etwa 2° niedrigere Temperatur als an den übrigen Bachabschnitten. Am Abend (22.00 Uhr) war die Luft hier 4–5 °C wärmer als oberhalb des Reviers.

• Sauerstoff

Das Bachwasser reicherte sich innerhalb des Hellgraben-Reviers mit Sauerstoff an. Beim Durchfließen der Biberkolke nahm der Sauerstoffgehalt zunächst um 0,4–4,1 mg/l zu. Im Bibersee selbst kam es tagsüber zur Übersättigung von bis zu 310% im Flachwasserbereich. Unterhalb des Dammes trat fast immer Wasser mit geringerem Sauerstoffgehalt als beim Einlauf in den See aus (Abb. 6). Die durchschnittliche Abnahme betrug 2,1 mg/l (n = 9). Im weiteren Verlauf des Hellgraben-Reviers kam es aber wieder zu einer Anreicherung mit Sauerstoff. Am Revierende konnte stets eine Netto-Erhöhung bezogen auf den Revieranfang gemessen werden. Die durchschnittliche Zunahme betrug 2,1 mg/l (n = 8). Die regelmäßige Messung über einen gesamten Tag (27./28.6.) zeigte, daß mittags und nachmittags im Bibersee hohe Sauerstoffwerte erreicht wurden (Abb. 7).

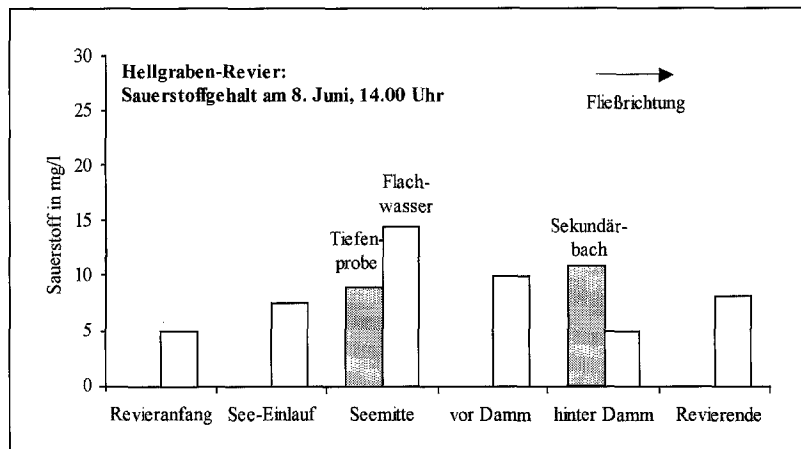


Abb. 6. Hellgraben-Revier: Sauerstoffgehalt des Bachwassers im Biberrevier am 8. Juni um 14.00 Uhr.

Fig. 6. Oxygen concentration in the brook water in homerange Hellgraben on June, 8th, 2 p.m.

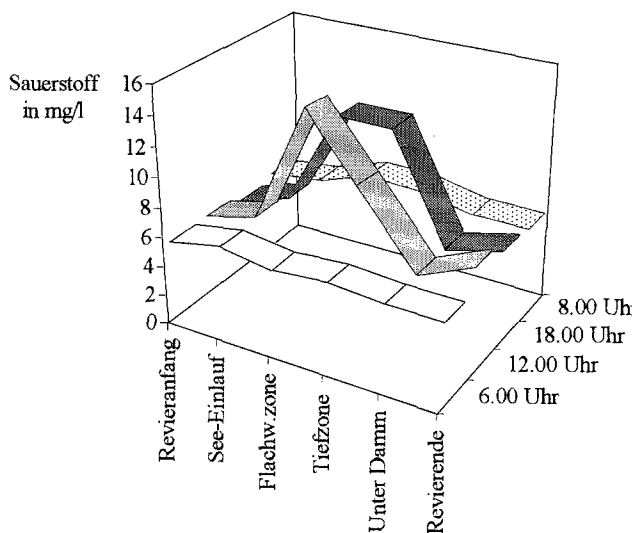


Abb. 7. Hellgraben-Revier: Sauerstoffgehalt des Bachwassers im Biberrevier innerhalb eines Tages (27. Juni, 6-18.00 Uhr; 28. Juni, 8.00 Uhr).

Fig. 7. Oxygen concentration of the brook water in homerange Hellgraben during a whole day (June, 27th/28th).

In den frühen Morgenstunden veränderte sich die Sauerstoffkonzentration beim Durchfließen des gesamten Hellgraben-Reviere fast gar nicht. Bei einer Stichprobe am 20. Juli (14.00 Uhr) konnte in der Flachwasserzone des Bibersees 26 mg/l (310% Sättigung) gemessen werden. Am Morgen darauf (5.30 Uhr) betrug die Konzentration an der gleichen Stelle nur noch 4,8 mg/l (48% Sättigung).

Im Willingsbach-Bibersee nahm der Sauerstoffgehalt durchschnittlich um 0,5 mg/l ab (n = 4).

• Säurebindungsvermögen

Im Hellgraben-Bibersee kam es bei zwei Messungen zu einer Zunahme des Säurebindungsvermögens. So erhöhte sich im ersten Fall (27. Juni) die Karbonathärte unter dem

Damm von 0,5 °dH auf 0,7 °dH und entsprechend der Gehalt an gebundenem CO₂ von 8,6 mg/l auf 10,8 mg/l. Am 1. September verdoppelte sich der Gehalt an gebundenem CO₂ von 8,8 mg/l (0,6 °dH) auf 16,7 mg/l (1,1 °dH). Ein Vergleich der Veränderung im gesamten Revier an diesem Tag zeigte jedoch nur eine geringe Netto-Veränderung von 10,8 auf 12,6 mg/l gebundenes CO₂.

• Freies Kohlendioxid

Die Konzentration des freien Kohlendioxids halbierte sich in der Nachmittags-Meßserie im Juni beim Durchfluß durch den Hellgraben-Bibersee. Eine Messung im September am frühen Morgen ergab, daß es zwar innerhalb des Bibersees zu einer Zunahme um 26% (2,4 mg/l) kam, aber bei einem Vergleich zwischen Reviereinlauf und Revierende zu einer Abnahme um 45% (6,6 mg/l).

Im Willingsbach kam es sowohl morgens als auch nachmittags zwischen dem Reviereinlauf und dem letzten Meßpunkt unterhalb des Dammes zu einer Erhöhung des Gehaltes an freiem Kohlendioxid um 320% bzw. 48%.

• Elektrische Leitfähigkeit

Im Hellgraben-Revier zeigt sich in den drei Meßserien eine Erhöhung der Leitfähigkeit innerhalb des Bibersees um 73–113 µS/cm. In allen Fällen regenerierte sich die Leitfähigkeit noch innerhalb des Reviers etwa auf die Werte des Revieranfanges. Im Tiefenwasser des Bibersees lag sie mit bis zu 32 µS/cm über dem der Flachwasserzone.

Auch im Bibersee des Willingsbaches lag die Leitfähigkeit des Tiefenwassers bis zu 46 µS/cm über dem der Flachwasserzone. Innerhalb des Sees zeigten sich hier aber nur wenig Veränderungen (+9 bis -15 µS/cm, n = 2).

• pH-Wert

Der pH-Wert veränderte sich beim Durchfließen der Reviere Hellgraben und Willingsbach nur wenig. Im ersten Fall kam es zu einer geringen Netto-Zunahme um 0,5 (n = 3) am Revierende. Im Willingsbach-Bibersee sank der pH-Wert um 0,2.

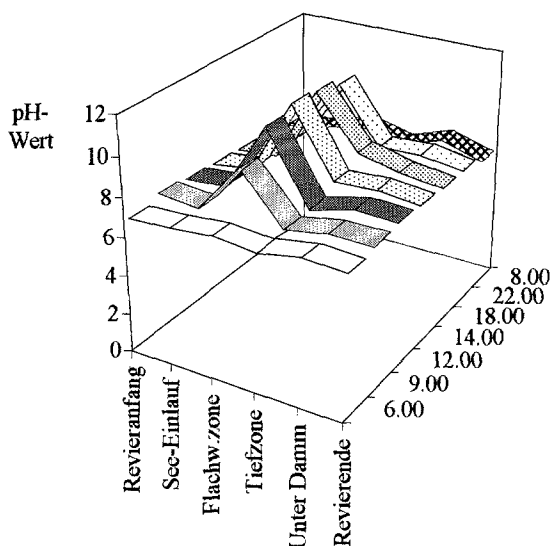


Abb. 8. Hellgraben-Revier: pH-Wert-Veränderungen im Biberrevier innerhalb eines Tages (27. Juni, 6-22.00 Uhr; 28. Juni, 8.00 Uhr).

Fig. 8. The change of the pH-value in homerange Hellgraben during a whole day (June, 27th/28th).

Die 24 h-Messung im Hellgraben-Revier zeigte, daß es im Sommer um die Mittagszeit zu einer starken Erhöhung des pH-Werts in der Flachwasserzone des Bibersees bis auf 10,9 kam (Abb. 8). Am See-Einlauf betrug er gleichzeitig nur 7,1.

• **Nitrat-N-Gehalt**

Im Hellgraben-Revier kam es im Vergleich zwischen Revieranfang und -ende zu einer Konzentrations-Abnahme von NO₃⁻-Stickstoff im Bachwasser um im Mittel 0,52 mg/l (-33% bis -53% des Ausgangswertes, n = 4). Auch innerhalb des Bibersees nahm die Konzentration deutlich ab (Tab. 4).

Im Bibersee des Willingsbaches war der Gehalt an NO₃⁻-Stickstoff in der Flachwasserzone in allen Fällen (n = 4) geringer als am Einlauf (Abb. 9). Innerhalb des Sees trat stets eine Verminderung des NO₃⁻-Stickstoffs ein.

• **Nitrit-N-Gehalt**

Die Nitrit-Konzentrationen waren in beiden untersuchten Gebieten sehr gering und lagen nahe der Nachweisgrenze. Im Hellgraben-Revier nahm innerhalb des Bibersees bei allen Messungen (n = 4) der Gehalt an NO₂⁻-Stickstoff um 16-695% zu. Am Ende des Reviers waren die Konzentrationen

Tabelle 4. Übersicht chemischer und physikalischer Parameter zur Bilanzierung der Veränderungen innerhalb des gesamten Biberreviers und innerhalb des Bibersees. Angegeben sind die Mittelwerte der Messungen; n = Anzahl der Stichproben.

Table 4. Chemical and physical parameters for the balance of the alterations measured inside of the complete beaver homerange and inside of the beaver pond. Shown are the averages of the measurements; n = number of samples.

| | Ammonium-N | | Nitrat-N | | Nitrit-N | | o-Phosphat-P | | Leitfähigkeit | |
|----------------------------|------------|---|------------------------|---|----------|---|--------------|----|---------------|---|
| | (µg/l) | n | (µg/l) | n | (µg/l) | n | (µg/l) | n | (µS/cm) | n |
| Hellgraben-Revier | | | | | | | | | | |
| Revieranfang | 78,7 | 3 | 1137 | 3 | 12,5 | 3 | 11,2 | 3 | 170 | 3 |
| See-Einlauf | 52 | 3 | 693 | 4 | 10,8 | 4 | 17,7 | 4 | 154 | 3 |
| See-Ablauf | 250,1 | 3 | 753 | 4 | 24,2 | 4 | 10,5 | 4 | 248 | 3 |
| Revierende | 47,7 | 3 | 613 | 3 | 14,5 | 3 | 5,9 | 3 | 173 | 3 |
| Willingsbach-Revier | | | | | | | | | | |
| Revieranfang | 19,3 | 3 | 3003 | 3 | 7,2 | 2 | 9,1 | 3 | 485 | 2 |
| See-Einlauf | 16,5 | 4 | 3318 | 4 | 9,6 | 4 | 5,2 | 4 | 522 | 2 |
| See-Ablauf | 102,5 | 4 | 1893 | 4 | 15,8 | 4 | 9,2 | 4 | 462 | 3 |
| | Sauerstoff | | Freies CO ₂ | | SBV | | Temperatur | | pH-Wert | |
| | (mg/l) | n | (mg/l) | n | (ml HCl) | | (°C) | n | | n |
| Hellgraben-Revier | | | | | | | | | | |
| Revieranfang | 5,8 | 8 | 14,74 | 1 | 0,246 | 1 | 11,4 | 11 | 6,8 | 3 |
| See-Einlauf | 7,5 | 9 | 10,67 | 2 | 0,198 | 2 | 12 | 14 | 7,2 | 3 |
| See-Ablauf | 5,4 | 9 | 8,91 | 2 | 0,313 | 2 | 14,3 | 14 | 7,4 | 4 |
| Revierende | 7,9 | 8 | 8,14 | 1 | 0,285 | 1 | 13,6 | 12 | 7,3 | 4 |
| Willingsbach-Revier | | | | | | | | | | |
| Revieranfang | 7,9 | 4 | 5,5 | 2 | 0,483 | 2 | 12,2 | 4 | 7,9 | 4 |
| See-Einlauf | 9,6 | 4 | | | | | 10,3 | 4 | 8 | 4 |
| See-Ablauf | 9,3 | 5 | 11,1 | 2 | 0,353 | 2 | 12,4 | 5 | 7,7 | 5 |

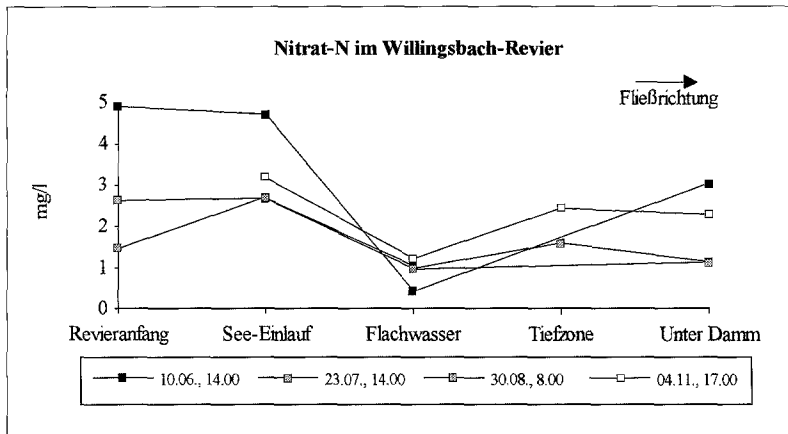


Abb. 9. Willingsbach: Änderung der Nitrat-N-Konzentration im Wasser beim Durchfließen des Biber-Stausees.

Fig. 9. The change of the concentration of nitrat-nitrogen in the water of the Willingsbach, running through the beaver pond.

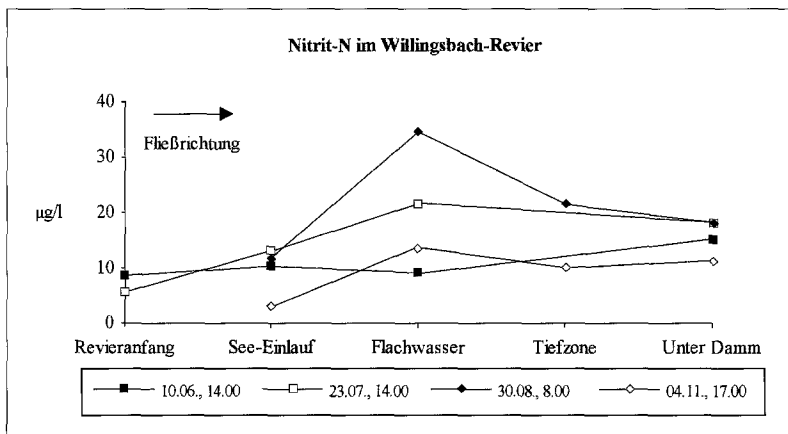
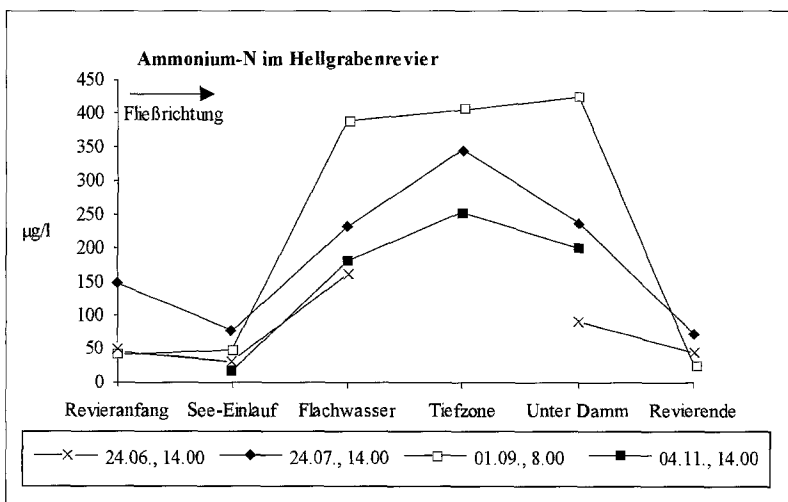


Abb. 10. Willingsbach: Änderung der Nitrit-N-Konzentration des Bachwassers beim Durchfließen des Biber-Stausees.

Fig. 10. The change of the NO_2 -nitrogen concentration in the water of the Willingsbach, running through the beaver pond.



nen wieder geringer. Im Vergleich zum Revieranfang ergab sich eine leichte Zunahme der NO_2 -Stickstoff-Konzentration um im Mittel $2 \mu\text{g/l}$. Der NO_2 -Stickstoff-Wert war in der Tiefzone des Hellgraben-Bibersees um durchschnittlich $3,4 \mu\text{g/l}$ höher ($n = 3$), als in der Flachwasserzone.

Auch am Willingsbach kam es in allen Fällen ($n = 4$) im Bibersee zur Anreicherung mit NO_2 -Stickstoff um im Mittel $6,2 \mu\text{g/l}$ (Abb. 10).

• Ammonium-N-Gehalt

Der Gehalt an NH_4^+ -Stickstoff stieg innerhalb des Bibersees im Hellgraben-Revier um im Mittel $198 \mu\text{g/l}$ an (+194% bis +783%) ($n = 3$). Im weiteren Verlauf des Reviers kam es jedoch zu einer deutlichen Verminderung, so daß am Revierende in allen drei Meßreihen eine niedrigere NH_4^+ -Stickstoff-Konzentration vorherrschte als am Revieranfang (Abb. 11). Die mittlere Abnahme betrug dabei $31 \mu\text{g/l}$.

Am Willingsbach kam es ebenfalls im Bibersee zu einem starken Anstieg um im Mittel $86 \mu\text{g/l}$ ($n = 4$).

• Orthophosphat-P-Gehalt

Im Hellgraben-Bibersee fanden sich in der Flachwasserzone wesentlich höhere Konzentrationen als vorher im Bach. Sie betragen bis zu $137 \mu\text{g/l}$, das sind 783%. Dennoch kam es bis zum Revierende zu einer Abnahme der o-Phosphat-P-Konzentration um im Mittel $5,3 \mu\text{g/l}$ im Vergleich zum Revieranfang ($n = 3$).

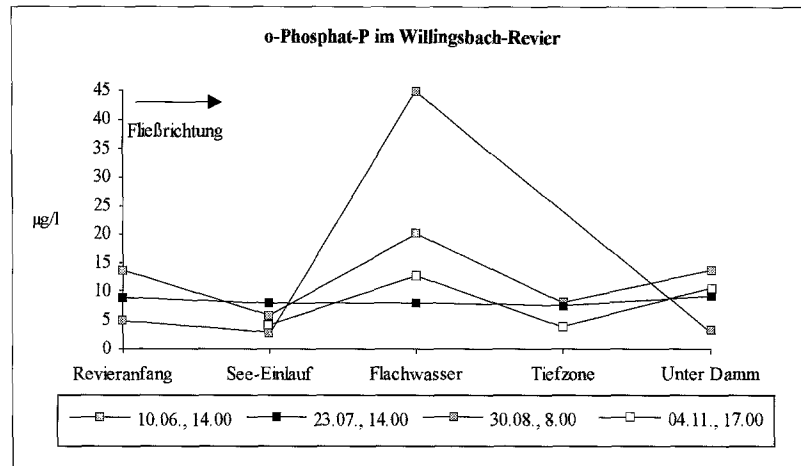
Auch in der Flachwasserzone des Bibersees am Willingsbach fanden sich hohe Konzentrationen von o-Phosphat-P mit dem Ergebnis, daß der Willingsbach beim Vergleich Einlauf/Unter Damm innerhalb des Sees eine Anreicherung um im Mittel $4 \mu\text{g/l}$ ($n = 4$) erfuhr (Abb. 12).

Abb. 11. Hellgraben-Revier: Änderung der Ammonium-N-Konzentration im Bachwasser beim Durchfließen des Biberreviers.

Fig. 11. The change of the NH_4 -nitrogen concentration in the brook water, running through the homorange Hellgraben.

Abb. 12. Willingsbach: Änderung der o-Phosphat-P-Konzentration beim Durchfließen des Biber-Stausees.

Fig. 12. The change of the concentration of o-phosphate-phosphorus in the water of the Willingsbach, running through the beaver pond.



In beiden untersuchten Biberseen waren nachmittags die o-Phosphat-P-Werte in den Flachwasserzonen höher als in den Tiefzonen. Messungen am frühen Morgen (8.00 Uhr) erbrachten etwa gleiche Werte.

Die Tab. 4 gibt eine Übersicht der chemischen und physikalischen Parameter für die beiden Biberreviere Hellgraben und Willingsbach.

5. Diskussion

Gewässermorphologie

Umfangreiche Veränderungen der Gewässermorphologie durch die Tätigkeit der Biber sind bereits nach wenigen Jahren erkennbar. Mit der Anlage von Stauseen schafft der Biber stehende Flachwasserbereiche in der Bachaue, die je nach Talmorphologie, Substrat, hydrologischen Bedingungen und Stoffeinträgen unterschiedliche Ausmaße und Charaktere haben können. Eine vom Biber besiedelte Auen-Landschaft stellt daher nicht nur einen einfachen Wechsel von Fließ- und Stillgewässern dar, sondern ein Mosaik von Gewässern unterschiedlichster Art.

Die Länge der Biberkolke hängt vor allem vom Gefälle des Baches ab: Im Hellgraben-Revier bewirken 50 cm hohe Dämme Staustrecken von teilweise über 100 m, am Willingsbach führt dagegen ein 1,70 m hoher Damm nur zu einem Rückstau von 22 m. Die Biberkolke unterscheiden sich von gefällebedingt lenitischen Bereichen erheblich. Auch LEIDHOLT-BRUNER et al. (1992) weisen in Oregon ein 3–4-fach erhöhtes Volumen gegenüber gefällebedingt lenitischen Bereichen nach. Der wesentlich größere, stehende Wasserkörper hat einen anderen Charakter, als die langsam durchflossenen, gefällebedingt lenitischen Bereiche.

Die größten gewässermorphologischen Auswirkungen der Biberaktivität sind in kleinen Bächen mit einem Gefälle zwischen etwa 0,1 und 2,5% und einer Wassertiefe unter 50 cm zu erwarten. Bei größerem Gefälle sind die Biberkolke nicht mehr länger als die ohnehin vorhandenen gefälle-

bedingt lenitischen Bereiche. Bäche mit geringerem Gefälle haben meist schon eine größere Wassertiefe und fließen langsam genug, um dem Biber auch ohne Aufstauungen einen geeigneten Lebensraum zu bieten. Die Beständigkeit von Biberrevieren und Biberseen nimmt auch mit steigendem Gefälle ab, weil mit zunehmender Höhe die Reviere immer weniger für eine langfristige Besiedlung geeignet sind.

Die Sekundärbäche spielen eine besondere Rolle für die Fließgewässer-Dynamik, weil sie bei Hochwasser eine Umlagerung des Bachlaufes bewirken können. Die Tatsache, daß das Wasser nicht am Staudamm direkt in das alte Bachbett einläuft, sondern seitlich aus den Seen ausbricht, führt dazu, daß der Biber Fließgewässer oft nicht durch Stillgewässer ersetzt, sondern ergänzt. Fließende Bereiche, jedoch mit wesentlich geringerer Wasserführung, entstehen parallel zum ehemaligen Bachlauf und schaffen eine reichstrukturierte Aue mit einem Wechsel von stehendem und fließendem Wasser. Biberkanäle werden neben passiver Eintiefung auch aktiv ausgehoben (HINZE 1950; STOCKER 1985). Bei unterschiedlichen Höhenniveaus kann auch in Biberkanälen Wasser fließen. Bei Hochwasserereignissen kommt ihnen die gleiche Bedeutung für die Initiierung von Bachlauf-Verlagerungen zu wie den Sekundärbächen.

Hydrologie

Im Hellgraben Revier ist die Fläche der vernähten Brache mit etwa 4500 m² etwas größer als der Bibersee. Die Ausdehnung der Vernässung ist von der Talmorphologie abhängig. Die mit der Infiltration verbundene Anhebung des Grundwasserspiegels durch Biberdämme gilt als das folgenreichste Wirken des Bibers. Nach IVES (1942) kann sie mehr als 60 cm innerhalb von 20 Jahren betragen. In Bayern konnte ZAHNER (1997a/b) mit Messungen über einen Zeitraum von 14 Jahren eine Grundwassererhöhung von 30–50 cm in einem Abstand von 100 m vom Damm nachweisen.

Im Rahmen unserer Untersuchungen im Spessart konnte durch Stichproben nachgewiesen werden, daß die Schüttung

eines Baches beim Durchfließen eines Biberreviers an Wasser abnehmen kann. Die drei Messungen im Hellgraben-Revier, in denen der Gesamtabfluß höher war als die Summe aller oberirdischen Zuflüsse, kennzeichnen die übliche Situation, bei der man davon ausgeht, daß die Schüttung eines Baches stromabwärts zunimmt. Sie tritt dann auf, wenn die Uferbereiche nach Niederschlägen wassergesättigt sind oder wenn die Verdunstung durch Sonneneinstrahlung und Wind gering ist. Dagegen kann nach langer Trockenheit die Aufnahmekapazität der Uferflächen so hoch sein, daß die flächige Verrieselung über Sekundärbäche zu einer Umkehrung der „Normalsituation“ führt: Die Schüttung nimmt stromabwärts ab. Der Wasserverlust ergibt sich durch Verdunstung im Bibersee und Infiltration, sowohl im Bereich der Stauungen als auch in seinem Umfeld. Eine direkte Retention durch Erhöhung des Bibersee-Volumens ist zu vernachlässigen, da dieser im gesamten Sommer einen fast konstanten Wasserspiegel hatte und es hier zu keiner Erhöhung des Dammes kam.

Während durch die Verdunstung das Wasser dem Bach langfristig entzogen wird, handelt es sich bei der Infiltration ins Erdreich (RETZER et al. 1956) nur um eine zeitweilige Retention. Das infiltrierte Wasser sickert durch das Erdreich und kann später wieder in den Bach einmünden, ebenso wie die Sekundärbäche. So ist es zu erklären, daß bei allen Messungen im Spessart die Schüttung unterhalb des Dammes sehr gering, am Revierende jedoch wieder höher war. Einmündende Sekundärbäche, infiltrierte Seewasser und Niederschlagswasser aus dem Einzugsgebiet vereinigen sich hier zum Gesamtabfluß. Die Verdunstung des verrieselten Wassers innerhalb des Biberreviers kann entsprechende lokalklimatische Veränderungen mit sich bringen worauf auch eine geringere Lufttemperatur im See-Umfeld hinwies. Die am Abend wärmere Umgebung des Sees dürfte eine Folge des Biberseewassers als Wärmepuffer sein.

Vergleichbare Ergebnisse zur Abnahme der Schüttung gibt es auch aus Nord-Amerika: SPRULES (1941) wies in Ontario eine Verringerung der Wassermenge durch Biberaktivität nach. WOO & WADDINGTON (1990) wiesen in Ontario die Dämpfung der Abfluß-Amplitude durch eine verzögerte Freigabe von Niederschlagswasser nach. Während ein Vergleichsgewässer bereits drei Tage nach dem Niederschlagsereignis wieder Niedrigwasser hatte, verzögerte sich der Abfluß des Bibersees um etwa 25 Tage. ALLRED (1980) schildert, daß sich die Wassermenge unterhalb eines Biberdamms in Wyoming nach 1/4 Meile verdoppelte. Er führt dies darauf zurück, daß ein großer Wasseranteil durch den Boden sickert und erst weiter bachabwärts wieder in den Bachkanal einmündet.

Physikalische und chemische Parameter

• Temperatur

Bei allen Messungen zu Veränderungen physikalischer und chemischer Parameter muß berücksichtigt werden, daß

auf der bearbeiteten Fließstrecke sowohl ober- als auch unterirdische Zuflüsse das Meßergebnis beeinflussen. Die Veränderungen in der kurzen Fließstrecke eines Bibersees sind daher einfacher zu erklären als die im gesamten Revier, das viele hundert Meter umfaßt.

Im Bibersee ist dem einströmenden Wasser solange ein Fließkanal vorgegeben, bis das alte Bachbett mit Sedimenten aufgefüllt ist. Bestätigt wird dies im Hellgraben-Bibersee durch die deutlich geringeren Temperaturen der Wasseroberfläche im Durchströmungskanal im Vergleich zu lateralen Bereichen. Daß trotz der zeitweise sehr hohen Temperaturen im Flachwasserbereich (bis zu 30,8 °C) die Temperatur unterhalb des Dammes so gering ist zeigt, daß es sich hier um ausfließendes Tiefenwasser des Sees handelt.

Die fehlenden lateralen Strömungen führen zu langer Retentionszeit des Wassers in den Flachwasserzonen der Peripherie mit weitreichenden tagesperiodischen chemisch-physikalischen Veränderungen. Tägliche vertikale Zirkulationen durch Konvektionsströmungen und windinduzierte Wirbel (BREHM & MEJERING 1982) gibt es dagegen im gesamten See, wofür bei der 24h-Messung der Nachweis erbracht werden konnte. Die Abkühlung der Oberfläche während der Nacht führte zur Durchmischung des gesamten Wasserkörpers mit einer vollständigen Homogenisierung der Temperaturverhältnisse. Für eine stabile Stratifikation hat der See selbst im Durchströmungskanal eine zu geringe Tiefe. Außerdem führt das permanent einströmende kühle Bachwasser zu Turbulenzen im Hauptdurchströmungskanal. Zum gleichen Ergebnis kamen auch NAIMAN et al. (1984) bei Untersuchungen in Québec.

Innerhalb des gesamten Reviers kann die Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit und die damit verbundene längere Verweildauer des Wassers zu einer Erwärmung des Bachwassers sowohl in den Biberkolken als auch in den Biberseen führen. Hinzu kommen die wesentlich vergrößerte Oberfläche und bei der Entstehung von Seen die ausgedehnten Flachwasserbereiche. Die Auflichtung der Ufergehölze bewirkt eine stärkere Besonnung des Wassers. Der Erwärmungseffekt in der Flachwasserzone tritt im Sommer an sonnigen Tagen auf. Unterhalb des Sees zeigte eine Temperaturabnahme des Bachwassers den Zustrom von kühlerem Wasser an. In Frage kommt hier infiltrierte Wasser, welches vom Bibersee aus durch das Erdreich sickert. Dies ist nur schwierig vom lateral einsickernden Grundwasser aus den angrenzenden Wiesen zu trennen. Zudem münden auf diesen wenigen hundert Metern die entstandenen Sekundärbäche wieder in das Bachbett ein. Ihr zu Beginn sehr warmes Wasser wird durch die Krautvegetation beschattet, was zu einer Abkühlung führen könnte. Es kann davon ausgegangen werden, daß ein großer Teil des Sekundärbachwassers auf dem angrenzenden Grünland verrieselt wird und nur langsam durch das Erdreich in das Bachbett zurück sickert. Auch hierbei kühlt sich das Wasser ab, denn sowohl im Grundwasser als auch im hyporrhäischen Interstitial herrscht ein thermisch ausgeglichenes Milieu (HERRMANN 1977;

SCHWOERBEL 1993). Die Netto-Temperaturerhöhung innerhalb des gesamten Hellgraben-Reviers ist daher gering.

• Sauerstoff

Daß unterhalb der Dämme eine geringere Sauerstoffkonzentration als am See-Einlauf zu messen war, ist durch aus-sickerndes Tiefenwasser erklärbar. In der Tiefenzone findet man ähnliche Sauerstoffkonzentrationen wie im Bach oberhalb des Sees. Da das Tiefenzone-Wasser vor dem Damm noch einen höheren Sauerstoffgehalt hatte als unterhalb, muß beim Durchsickern des mehrere Meter breiten Dammfußes eine Sauerstoffzehrung stattfinden. Bei den Sedimenten vor dem Damm handelt es sich um die feinsten Sedimente mit hohem organischen Gehalt, deren Zersetzung für den Sauerstoff-Verbrauch verantwortlich sein kann. Unterhalb des Sees kommt es zu einer Anreicherung mit Sauerstoff mit einem Netto-Gewinn bezogen auf den Revieranfang. Dies ist auf die Einmündung der zahlreichen Sekundärbäche zurückzuführen, die nach flächenhafter Verrieselung mit entsprechender Oberflächenvergrößerung dem Bach wieder sauerstoffreiches Wasser zuführen. Für eine Anreicherung sorgen außerdem die verschiedenen kurzen lotischen Bereiche (auch Biberdämme) im Biberrevier unterhalb des Sees. Infiltriertes Sickerwasser ist dagegen sauerstoffarm und senkt daher eher den Sauerstoffgehalt des Bachwassers.

Beim Vergleich der Sauerstoffkonzentrationen an den verschiedenen Probestellen sind Tag/Nacht-Unterschiede und jahreszeitliche Unterschiede zu beachten. Messungen, die früh morgens erfolgen, zeigen eine geringe Sättigung (< 50%) im Bibersee, die auf starke mikrobielle Zersetzung bei geringer photosynthetischer Aktivität zurückzuführen ist. Die Sauerstoffkonzentration ist in der Tiefenzone dann höher in der Flachwasserzone. Tagsüber kehrt sich das Verhältnis um und es kommt zur Übersättigung im Flachwasser. Wahrscheinlich kommt es im Frühjahr bei noch geringer photosynthetischer Aktivität und hoher Akkumulation von organischem Material (Herbstlaub) zu einem dauerhaften Sauerstoffdefizit sowohl nachts als auch tagsüber. Einen Hinweis darauf bilden Blüten von Purpurbakterien auf dem Willingsbach-Bibersee, die dort zu Beginn der Untersuchung im Mai vorgefunden wurden. Die Rhodospirillales gelten als Relikte aus der Frühzeit der Evolution und sind auf H_2S , H_2 oder organische Verbindungen als Wasserstoff-Donatoren angewiesen (SCHLEGEL 1985).

• pH-Wert/Säurebindungsvermögen

Verantwortlich für den Anstieg des pH-Wertes um die Mittagszeit sind Umsetzungen in der Flachwasserzone. In den Stauseen können sich im Unterschied zum Fließgewässer große Mengen von Algen entwickeln. Tagsüber wird so im Zuge der Photosynthese dem Wasser CO_2 entzogen, was zu einer Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts führt (LAMPERT & SOMMER 1993). Nachts kommt es dagegen durch die Zersetzung organischen Materials im Bibersee zu einer Anreicherung mit freiem Kohlendioxid und einer Verrin-

gerung des pH-Werts. Demzufolge stieg auch das Säurebindungsvermögen im Verlauf des Reviers im Bibersee an.

• Elektrische Leitfähigkeit

Die Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit unterhalb des Dammes des Hellgraben-Bibersees könnte ein Nachweis dafür sein, daß vor allem Tiefenwasser aus dem See austritt, weil sich in der Tiefenzone elektrolytreicheres Wasser höherer Dichte sammelt. Die gemessenen höheren Werte in der Tiefenzone liegen auch in der gleichen Größenordnung, wie die Werte unterhalb des Dammes. Es könnte sich jedoch auch um den Einfluß eines Bahndamm- Entwässerungsrohres es handeln, das kurz vor dem Biber-Damm in den Stausee einmündet. Das ist allerdings unwahrscheinlich, da bei drei Messungen, unabhängig von der Stärke des Zuflusses aus dem Entwässerungsrohr, die Zunahme der Leitfähigkeit in der gleichen Größenordnung lag.

Auch im Bibersee des Willingsbaches entsprach die Leitfähigkeit unterhalb des Dammes der der Tiefenzone, während sie in der Flachwasserzone geringer war.

• Freies Kohlendioxid

Durch die Zersetzung von organischem Material kommt es im Bibersee vor allem nachts zu einer Anreicherung mit freiem Kohlendioxid. Tagsüber wirkt die photosynthetische Aktivität des Phytoplanktons und der Makrophyten dieser Anreicherung entgegen. So ist zu erklären, daß bei der Nachmittagsmessung im Hellgraben-Revier die CO_2 -Konzentration nur halb so groß wie am Einlauf des Sees war, früh morgens dagegen höher. YAVITT & FAHERY (1994) wiesen aber bei ihren Studien im Bundesstaat New York nach, daß die CO_2 -Emission von Biberseen sowie deren Anreicherung mit gelöstem, anorganischen Kohlenstoff (DIC) im Sommer am höchsten ist, und nicht im Winter bei reduzierter photosynthetischer Aktivität. Scheinbar wird auch die mikrobielle Umsetzung im Winter stark eingeschränkt.

• Nitrat-N-Gehalt

Die Verminderung der Nitratkonzentration innerhalb beider Biberseen wird durch die Aufnahme durch Pflanzen (vor allem Algen) verursacht. Dafür sprechen die niedrigsten Nitratwerte in der Flachwasserzone des Willingsbach-Bibersees. Ist die photosynthetische Aktivität dagegen geringer, verhält es sich umgekehrt. Ursache könnte auch eine Denitrifikation im anaeroben Milieu zu elementarem Stickstoff sein. Durch Nitratammonifikation und Denitrifikation müßte dann der Abbau des NO_3^- im Tiefenwasser (an der Grenze zum anaeroben Sediment) am stärksten sein (PINAY & NAIMAN 1991), was jedoch nicht der Fall war. Dort wurden höhere NO_3^- -N-Konzentrationen gemessen als im Flachwasserbereich.

Der Abbau von Nitrat in Biberseen wird auch durch amerikanische Untersuchungen bestätigt. MARET et al. (1987) ermittelten in Wyoming sowohl bei Niedrigwasser als auch bei hohen Wasserständen einen Nitratabbau. Auch SMITH et al.

(1991) wiesen im Bundesstaat New York eine Nitratreduktion von 0,5 mg/l vor dem Bibersee auf 0,28 mg/l unterhalb des Dammes nach.

• Ammonium-N-Gehalt

Die Ammoniumbildung war nachts bei allen Messungen wesentlich höher als tagsüber. So liegen morgens auch in der Flachwasserzone hohe Ammonium-N-Werte vor, weil diese während der Nacht ein starkes Sauerstoff-Defizit aufweist. Die geringeren Nachmittagswerte bestätigen ein zunehmend aerobes Milieu durch die einsetzende Photosynthese. NAIMAN & MELILLO (1984) weisen anhand ihrer Untersuchungen in Québec auf die Möglichkeit der Festlegung von Stickstoff im Sediment hin.

• Nitrit-N-Gehalt

Nitrit kann als kurzzeitiges Zwischenstadium auf zwei Wegen entstehen. Im aeroben Milieu entsteht es bei der Nitrifikation von NH_4^+ zu NO_3^- . Es erreicht dann hohe Konzentrationen, wenn auch hohe NH_4^+ -Werte vorliegen, also vor allem morgens in der Flachwasserzone. Durch die im anaeroben Milieu auf dem umgekehrten Weg ablaufende Nitritbildung (Ammonifikation) sind die tagsüber im Hellgraben-Bibersee in der Tiefenzone gemessenen höheren NO_2^- -N-Konzentrationen im Vergleich zur Flachwasserzone erklärbar, analog zu den in der Tiefenzone höheren Ammonium-N-Konzentrationen. Im Hellgraben-Revier werden die erhöhten Ammonium-N- und Nitrit-N-Konzentrationen im Bach unterhalb des Sees fast vollständig abgebaut, was auf eine Oxidation durch verbesserte Sauerstoffbedingungen zurückgeführt werden kann.

Die Messungen am Willingsbach zu Zeiten geringer photosynthetischer Aktivität (8.00 Uhr morgens) zeigen, daß dann auch in der Flachwasserzone unter den dann ebenfalls anaeroben Bedingungen hohe Nitrit-N-Werte auftreten, und die Konzentrationen in der Tiefenzone sogar unter denen in der Flachwasserzone liegen.

• Orthophosphat-P-Gehalt

Im Bibersee wird pflanzenverfügbarer Phosphor durch Schwebstoffe in den See eingetragen. Daher steigen alle stofflichen Veränderungen mit der Schwebstofffracht (MARET et al. 1987). Durch Algen und Bakterien kann der gelöste reaktive o-Phosphat-P dem Wasser entzogen und längerfristig im Sediment angereichert werden. Deshalb ist die höhere Konzentration in den Flachwasserzonen im Vergleich zu den Tiefenzonen der untersuchten Biberseen verwunderlich. Die Ursache könnte in dem geringen Wasseraustausch zwischen der Flachwasserzone (anoxische Bedingungen im Substrat) und dem durchströmten Bachbett liegen. So herrschen möglicherweise in der Peripherie permanent höhere Konzentrationen von o-Phosphat. Aus größeren Seen sind solche Erhöhungen in Klarwasserstadien bekannt, in denen das Phytoplankton durch das Zooplankton reduziert wird (BOHLE 1995).

NAIMAN et al. (1986) weisen darauf hin, daß die verschiedenen chemischen Parameter nicht nur absolut verändert werden, sondern auch die relativen Proportionen.

Zusammenfassung

Bei der Betrachtung der Auswirkungen von Bibern auf das Ökosystem der Aue ist eine Beschränkung auf die angelegten Biberseen nicht ausreichend. Vielmehr muß für eine Bewertung des Bibereinflusses ein Biberrevier in seiner Gesamtheit betrachtet werden. Im Jahre 1995 wurden daher im Spessart (Hessen, Deutschland) die gewässermorphologischen Auswirkungen sowie die chemischen und physikalischen Veränderungen des Wassers beim Durchfluß durch zwei Biberreviere untersucht. Innerhalb der Reviere verwandelten die Biber die Fließgewässer in Ketten aus Biberkolken und Biberseen. Parallel zu den Bereichen, wo durch Seen lotische Bereiche „verloren“ gingen, entstanden Sekundärbäche als neue fließende Abschnitte, die strukturreiche Feuchtgebiete in den Auen schaffen. Durch die Vergrößerung der Wasseroberfläche und die Verrieselung des Bachwassers auf den angrenzenden Flächen kann die Wasserführung eines Baches unter bestimmten Witterungsbedingungen abnehmen. Damit können Biber zu einer erhöhten Retention von Niederschlagswasser und zur Entschärfung der Hochwasserproblematik beitragen.

Die stofflichen Veränderungen waren weitgehend auf den Bibersee begrenzt und regenerierten sich unterhalb der Stauseen schnell. Beim Vergleich von Revierein- und -ablauf gab es eine leichte Zunahme von Temperatur, pH-Wert, Sauerstoff- und Nitritkonzentration. Die Konzentrationen von Nitrat, Ammonium und Ortho-Phosphat nahmen ab, die elektrische Leitfähigkeit blieb unverändert. Weitreichende Auswirkungen auf die Wasserqualität unterhalb des Biberreviers konnten nicht nachgewiesen werden.

Danksagung: Ich danke Herrn H. LANGER für die sehr herzliche Betreuung im Untersuchungsgebiet, Prof. Dr. H.W. BOHLE (Philipps-Universität Marburg) für die Betreuung in allen limnologischen Fragen und die kritische Durchsicht des Manuskripts und Dr. D. HEIDECHE (Martin-Luther-Universität Halle) für die fachliche Betreuung bezüglich der Lebensweise und -ansprüche der Biber. Daten über die Bauaktivität vor 1995 stammen von den zahlreichen ehrenamtlichen Biberbetreuern in der Region. Finanziell wurde die Untersuchung von der Licher-Privatbrauerei und der Hessischen Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz e. V. (HGON) im Rahmen eines Licher-Stipendiums gefördert.

Literatur

- ALLRED, M. (1981): A re-emphasis on the value of the beaver in natural resource conservation. *Idaho Acad. Sci.* **16** (1): 3–10.
- ALTSTÄDT, N. (1989): Lebensraumgutachten für den Biber im Hessischen Spessart. Werkvertrag im Auftrag des Hess. Minist. f. Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz (unpubl.).
- BOHLE, H. W. (1995): Spezielle Ökologie: Limnische Systeme. Berlin, Heidelberg, New York.
- BREHM, J. & MEIJERING, M. P. (1982): Fließgewässerkunde. Heidelberg.
- CARR, W. H. (1940): Beaver and birds. *Bird Lore* **42** (2): 141–146.

- FORD, T. E. & NAIMAN, R. J. (1988): Alteration of carbon cycling by beaver: Methane evasion rates from boreal forest streams and rivers. *Can. J. Zool.* **66**: 529–533.
- FRANCIS, M. M., NAIMAN, R. J. & MELILLO, J. M. (1985): Nitrogen fixation in subarctic streams influenced by beaver (*Castor canadensis*). *Hydrobiol.* **121**: 193–202.
- HARTHUN, M. (1998): Biber als Landschaftsgestalter. Einfluß des Bibers (*Castor fiber albicus*, MATSCHIE 1907) auf die Lebensgemeinschaft von Mittelgebirgsbächen. Maecenata-Verlag, München.
- (1999): Der Einfluß des Bibers (*Castor fiber albicus*) auf die Fauna (Odonata, Mollusca, Trichoptera, Ephemeroptera, Diptera) von Mittelgebirgsbächen in Hessen (Deutschland). *Limnologica* **29**: 449–464.
- HEIDECHE, D. (1992): Wissenschaftliche Betreuung des Projektes zur Wiedereinbürgerung des Bibers im Gewässerbereich der Sinn und Jossa (Main-Kinzig-Kreis). Bericht zum Werkvertrag 77/1992 i. A. RP Darmstadt (unpubl.).
- HERRMANN, R. (1977): Einführung in die Hydrologie. Stuttgart.
- HINZE, G. (1950): Der Biber – Körperbau und Lebensweise, Verbreitung und Geschichte. Berlin.
- HUEY, W. S. & WOLFRUM, W. H. (1956): Beaver-trout relations in New Mexiko. *Prog. Fish-Cult.* **18** (4): 70–74.
- IVES, R. L. (1942): The beaver meadow complex. *Jour. Geomorph.* **5**: 191–203.
- LAMPERT, W. & SOMMER, V. (1993): Limnökologie. Stuttgart.
- LANGER, H. (1995): Erfahrungen aus der Wiederansiedlung des Bibers im hessischen Spessart. Sonderdruck Säugetierkd. Mitt. **36**: 28–32.
- LEIDHOLT-BRUNER, K., HIBBS, D. E. & MCCOMB, W. C. (1992): Beaver dam locations and their effects on distribution and abundance of Coho Salmon Fry in two coastal Oregon streams. *Northwest Science* **66** (4): 218–223.
- LOOS, R. (1993): Skizze zur Entstehung von Biberseen im Revier Forellengut in der Zeit von 1987–1993 (unpubl.).
- MARET, T. J., PARKER, M. & FANNIN T. E. (1987): The effect of beaver ponds on the nonpoint source water quality of a stream in southwestern Wyoming. *Water. Res.* **21** (3): 263–268.
- NAIMAN R. J. & MELILLO, J. M. (1984): Nitrogen budget of a subarctic stream altered by beaver (*Castor canadensis*). *Oecologia* (Berlin) **62**: 150–155.
- MC DOWELL, D.M. & FARR, B.S. (1984): The influence of beaver (*Castor canadensis*) on the production dynamics of aquatic insects. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **22**: 1801–1810.
- MELILLO, J. M. & HOBBIIE, J. E. (1986): Ecosystem alteration of boreal forest streams by beaver (*Castor canadensis*). *Ecol.* **67** (5): 1254–1269.
- NUMMI, P. (1989): Simulated effects of the beaver on vegetation, invertebrates and ducks. *Ann. Zool. Fennici* **26**: 43–52.
- OLSON, R. & HUBERT, W. A. (1994): Beaver: Water resources and riparian habitat manager. University of Wyoming (ed.). Laramie.
- OTTO, A. (1991): Grundlagen einer morphologischen Typologie der Bäche. Mitt. Institut f. Wasserbau und Kulturtechnik 180 (P. LARSEN, ed.): 1–94.
- PINAY, G. & NAIMAN, R.J. (1991): Short-term hydrologic variations and nitrogen dynamics in beaver created meadows. *Arch. Hydrobiol.* **123** (2): 187–205.
- PRITCHARD, G. (1976): Growth and development of larvae and adults of *Tipula sacra* Alexander (Insecta: Diptera) in a series of abandoned beaver ponds. *Can. J. Zool. (Ottawa)* **54**: 266–284.
- RASMUSSEN, D. I. (1940): Beaver-trout relationship. *Trans. North Am. Wildl. Conf.* **5**: 256–263.
- RETZER, I. L., SWOPE, H. M., REMINGTON, J. D. & RUTHERFORD, W. H. (1956): Suitability of physical factors for beaver management in the Rocky Mountains of Colorado, Federal AID Project W-83-R. Technical Bulletin 2, Dept. Game and Fish (ed.).
- SCHLEGEL, H. G. (1985): Allgemeine Mikrobiologie. 6. Aufl. Stuttgart.
- SCHULTE, R. (1995): Die Verbreitung des Bibers (*Castor fiber L.*) in Deutschland und angrenzenden Gebieten. Gegenwärtige Situation, Ausbreitungstendenzen und Perspektiven des Biber-schutzes. Sonderdruck Säugetierkd. Mitt. **36**: 13–27.
- SCHWOERBEL, J. (1986): Methoden der Hydrobiologie – Süßwasserbiologie. 3. Aufl. Stuttgart.
- (1993): Einführung in die Limnologie. 7. Aufl. Stuttgart, Jena.
- SMITH, M. E., DRISKOLL, C. T., WYSKOWSKI, B. J., BROOKS, C. M. & COSENTINI, C. C. (1991): Modification of stream ecosystem structure and function by beaver (*Castor canadensis*) in the Adirondack Mountains, New York. *Can. J. Zool.* **69**: 55–61.
- SPRULES, W. M. (1941): The effect of a beaver dam on the insect fauna of a trout stream. *Trans. Am. Fish. Soc.* **70**: 236–248.
- STAVROVSKY, D. D. (1997): Beaver's activities influence on the environment conditions. Abstract des 1. Europ. Biber-Symposiums in Bratislava: 28.
- STOCKER, G. (1985): Biber in der Schweiz. Probleme der Wiedereinbürgerung aus biologischer und ökologischer Sicht. *Ber. Eidgenöss. Anst. forstl. Versuchswesen* 274. Birmensdorf.
- WOO, MING-KO & WADDINGTON, J. M. (1990): Effects of beaver dams on subarctic wetland hydrology. *Arctic* **43** (3): 22–230.
- YAVITT, J. B. & FAHERY, T. J. (1994): Beaver impoundments in temperate forests as sources of atmospheric CO₂. *Geophysical Research Letters* **21** (11): 995–998.
- ZAHNER, V. (1997a): Der Biber in Bayern. LWF-Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft 13. Freising.
- (1997b): Einfluß des Bibers auf gewässernahe Wälder durch Dammbau. Abstract 1. Europ. Biber-Symposiums in Bratislava: 34.

Eingegangen: 28. September 1998

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Biol. MARK HARTHUN, Naturschutzbund Deutschland (NABU), Landesverband Hessen e. V., Postfach 2104, D-35531 Wetzlar.
Fax: ++ 06441/43957