

**Zeitschrift:** Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie

**Herausgeber:** Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel

**Band:** 44 (2003)

**Heft:** 3

**Artikel:** Thermische Verhältnisse der Fliessgewässer im Hotzenwald : Konsequenzen des Rekord-Sommers 2003

**Autor:** Schneider, Philipp

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1088410>

#### Nutzungsbedingungen

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

#### Conditions d'utilisation

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

#### Terms of use

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

**Download PDF:** 14.01.2026

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

# Thermische Verhältnisse der Fliessgewässer im Hotzenwald – Konsequenzen des Rekord-Sommers 2003

Philipp Schneider

## Zusammenfassung

Seit Februar 2002 werden für eine Dissertation im vorderen Hotzenwald die thermischen und hydrologischen Verhältnisse des Heidenwuhrs und seiner Zuflüsse untersucht. Die Temperatur ist einer der zentralen abiotischen Habitatparameter von Fliessgewässern. Wassertemperaturen über 20 °C schränken die ökologische Funktionsfähigkeit von montanen Quellbächen ein. Sie führen beispielsweise bei Forellen, der namensgebenden Leitart dieser rheophilen Biozönose (Forellenregion), zu Wärmestress. Erhöhter Energieverbrauch, vor allem aber die temperaturbedingte Abnahme des im Wasser gelösten Sauerstoffs, sind die Hauptursachen dieses Stresses, der in Extremfällen zu Fischsterben führt. Im Sommer 2003 traten im Heidenwuhr mehrfach kritische Temperaturen bis 25 °C auf, ein grösseres Fischsterben blieb jedoch aufgrund des ungewöhnlichen Gewässernetzes mit überproportional vielen Quellbächen (Gewässer 1. Ordnung) aus.

## 1 Gebietsbeschreibung

Das Untersuchungsgebiet "Bergsee" (ca. 17 km<sup>2</sup>) liegt im südöstlichen Teil des Schwarzwalds, dem Hotzenwald, und wird im Osten durch den Fluss Alb, im Westen durch die Wehra eingegrenzt. (Die folgende Gebietsbeschreibung bezieht sich auch auf den Beitrag von E. Beising in diesem Heft und wurde gemeinsam verfasst.) Es besitzt heute eine Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 10 km und eine Ost-West-Ausdehnung von max. 2 km. Diese für ein Einzugsgebiet ungewöhnlich schlanke Form resultiert aus der anthropogenen Überleitung des Schneckenbachs

---

Adresse des Autors: Dipl.-Hyd. Philipp Schneider, Geographisches Institut der Universität Basel, Abteilung Physiogeographie und Landschaftsökologie, Klingelbergstr. 27, CH-4056 Basel

durch das Heidenwahr in den Schöpfelbach. Das Heidenwahr, ein im Mittelalter zur Energiegewinnung und Wiesenwässerung angelegter Kanal, hat neben der Einzugsgebietsvergrößerung vor allem das Abflussregime nachhaltig verändert. Während bei Niedrigwasser (z. B. im Sommer 2003) das gesamte Einzugsgebiet zum Bergsee hin entwässert, findet bei Hochwasser eine Bifurkation (Flussteilung) statt, d. h. ein Grossteil des Abflusses erfolgt dann dem natürlichen Gefälle entsprechend über das Altbach-Dorfbach-System zur Murg hin.

Geologisch gehört der Hotzenwald zum südöstlichen Teil des Schwarzwaldschildes, der hauptsächlich aus Gneisen und Graniten des Präkambriums und Ordoviziums gebildet wird. Durch den Druck der Alpenfaltung aus südlicher Richtung entstand vermutlich die allgemeine Neigung des gesamten Schwarzwaldmassivs nach Südosten. Wahrscheinlich sind diesem Prozess auch die grossen Verwerfungen des vorderen Hotzenwalds, die Wehratal- und Eggbergverwerfung, zuzuschreiben. Geomorphologisch gesehen besteht der Hotzenwald aus flachkuppigen Höhenrücken (im Gebiet bis 1050 m ü. NN) und aus schluchtartigen Tälern (bis 380 m ü. NN), die in der Regel bis zur Sohle bewaldet sind. Wald ist auch die dominierende Landnutzung (Flächenanteil am Untersuchungsgebiet 43 %), gefolgt von Grünland (40 %) und dem seit 1950 stark rückläufigen Ackerbau (5 %). Die Nutzung des Grünlands (ca. 0.85 GVE/ha) unterteilt sich grob in extensiv genutztes Weideland und Kulturgrünland, welches regelmässig gedüngt, gemäht und beweidet wird. Neben Wald und Grünland nehmen Moore und Brachland weitere ausgedehnte Flächen ein (Flächenanteil 1 %), der Siedlungsanteil (11 %) hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen, ist aber insgesamt noch als gering bis mittel zu bezeichnen (ca. 111 Ew/km<sup>2</sup> im Vergleich zu Baden-Württemberg 298 Ew/km<sup>2</sup>). Entsprechend dem stark reliefierten Gebiet nehmen die Niederschläge von Bad Säckingen im Süden (300 m ü. NN, 1066 mm) nach Norden hin zum Hornbergbecken zu (1050 m ü. NN, ca. 1800 mm). Kräftige Sommergewitter prägen das Gebiet; folglich liegt das Niederschlagsmaximum im langjährigen Mittel im Juli. Dies führt zu einem weiteren Abflussmaximum neben der Schneeschmelze im März/April (Nivo-pluviales Regime). Die Jahresmitteltemperaturen reichen von 4.8°C am Hornbergbecken bis zu 9.1 °C in Säckingen, wobei die höchsten Lufttemperaturen in der Regel im Juli erreicht werden (Metz 1980, Schmidt 2003).

## 2 Hydroökologische Grundlagen

Die Ökologie von Flusssystemen ist hoch sensitiv gegenüber Charakter, Diversität und zeitlich-räumlicher Variabilität des physikalischen Habitats. Entsprechend werden Fliessgewässer, vor allem quellnahe, rheophile Biozönosen (strömungsliebende Lebensgemeinschaften) von abiotischen Faktoren geprägt (Tab. 1). Nach Schmitz (1954, 1955) kommt den Temperaturverhältnissen dabei eine grössere Bedeutung zu als der Strömung. Erstere regelt unter anderem den Sauerstoffbedarf der im Wasser lebenden Organismen, während letztere für die Sauerstoffversorgung eine wichtige Rolle spielt. Zum Beispiel leben Bachforellen (*Salmo trutta f. fario*), die namensgebende Leitart der Forellenregion, nicht nur in Bächen mit hohen Fliessgeschwindigkeiten, sondern auch in solchen mit geringer Strömung, die

Tab. 1 Kennzeichen von Rhithral und Potamal (*Illies* 1961, ergänzt nach *Ward* 1985).

Kennzeichen	Rhithral	Potamal
Differenzierung	Epi-, Meta-, Hyporhithral	Epi-, Meta-, Hypopotamal
Sommermaximum	< 20°C	> 20°C
Strömung	turbulent, schnell	weniger turbulent, langsamer
Sauerstoffsättigung	hoch	teilweise Defizit
Wasserführung	gering	kann schwanken
Substrat	festes Gestein, Geröll, Kies, feiner Sand, Schlamm nur in Kolken	Sand, Schlamm, Geschiebe
Artencharakteristik	kaltstenotherm, rheobiont, polyoxibiont, morphologische, physiologische, verhaltensbiologische Anpassungen, "Gletscherrandarten"	eurytherm, rheotolerant, grosse ökologische Valenz ohne spezielle Adaptationen "Formen der Ebene, deren Optimum in stehenden Gewässern liegt"

grundwassergespeist und deshalb sommerkühl sind (*Schmitz* 1954). Die ökologischen Bedingungen in Fliessgewässern sind durch den steten Wasseraustausch oft einem raschen Wechsel auf engstem Raum unterworfen. Die Temperatur gilt als einer der limitierenden ökologischen Faktoren für die Besiedlung.

### 3 Wassertemperatur

Generell passt sich die Wassertemperatur mit zunehmender Lauflänge immer stärker der Lufttemperatur an. Im Quellbereich schwanken die Wassertemperaturen in engen Grenzen um die Jahresmitteltemperatur, flussab nimmt die Variabilität im Tages- sowie im Jahresgang zu (Abb. 1). Im Zusammenhang mit den Schwankungen der Wassertemperatur sind neben Fliessstrecke, Lufttemperatur, Bodentemperatur, Quellwassertemperatur, Strahlung und Abflussmenge vor allem Interaktionen mit dem Grundwasser, Quellzuflüssen, Ufervegetation (Beschattung) und das Breiten-Tiefen-Verhältnis von Bedeutung (*Constantz* et al. 1994, *Constantz* 1998).

#### Ökologie

Die Wassertemperatur hat nach *Ward* (1985) in biologischer Hinsicht Bedeutung für Evolution, Verteilung und Ökologie von Wasserorganismen (Tab. 1). Die Temperatur beeinflusst die Agilität der Tiere und damit auch deren Erfolg bei der Nahrungssuche. Indirekt wirkt sie auf die Atmungsbedingungen und den Trophiegrad eines Gewässers. Die Temperaturverhältnisse gelten als optimal für eine Art, wenn alle Entwicklungsstadien den ganzen Sommer über lebensfähig sind und ununterbrochen schlüpfreife Formen heranwachsen. Generell sind weniger bestimmte

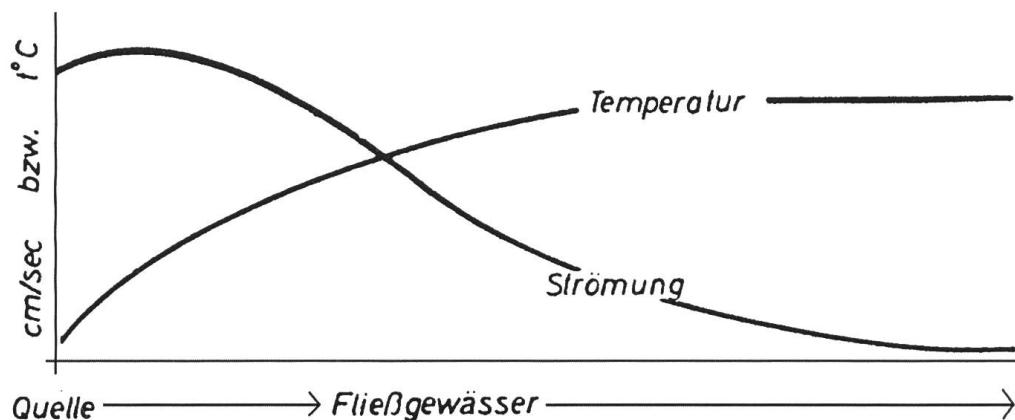


Abb. 1 Entwicklung der abiotischen Generalfaktoren Strömung und Temperatur im Verlauf eines Fliessgewässers (verändert, nach Illies 1961).

Temperaturen entscheidend als vielmehr Besonderheiten des Jahresgangs, Höhe der Sommertemperaturen, Dauer der verschiedenen Temperturniveaus und Grösse der Tagesamplituden (Allan 1997, Abb. 2).

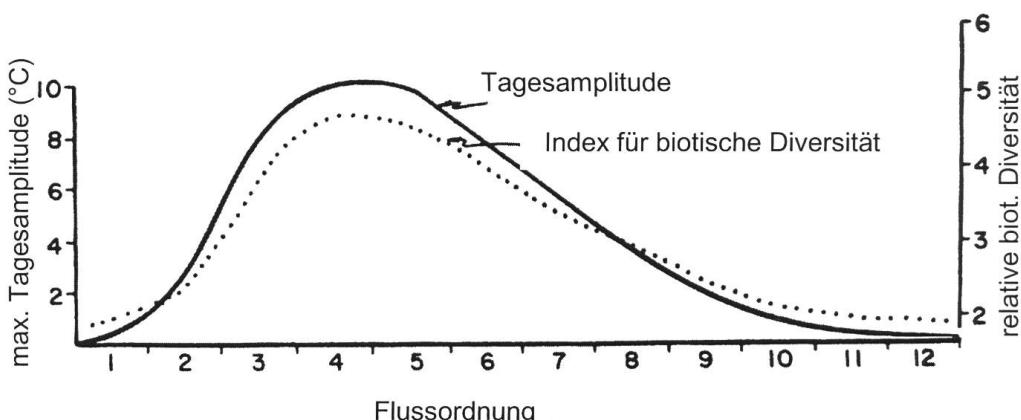


Abb. 2 Hypothetische Verteilung der maximalen Tagesamplituden und der biotischen Diversität entlang eines Fließgewässerkontinuums (nach Vannote et al. 1980).

### Enzymaktivität und Stoffwechsel

Jede enzymatische Reaktion besitzt eine Vorzugstemperatur (Temperaturoptimum). Die Reaktionsgeschwindigkeit wird durch die Temperatur im Sinne der Van't-Hoffschen Regel beeinflusst. Sie verdoppelt bis verdreifacht sich bei einer Temperaturerhöhung um 10  $^{\circ}\text{C}$  (Hofius 1971). In den Fliessgewässern beeinflusst daher die Wassertemperatur das Lebensgeschehen ausserordentlich. Die enzymatischen Prozesse in den Zellen der poikilothermen (wechselwarmen) Tiere erfahren durch erhöhte Temperaturen Beschleunigung. In der Folge erhöhen sich Stoffumsatz, Nahrungsbedarf, Wachstumsgeschwindigkeit und damit die Produktion von Biomasse, während sich die Entwicklungszeit verkürzt. In gemässigten Breiten bildet eine Temperatur von +30  $^{\circ}\text{C}$  einen Grenzwert zur optimalen Entfaltung vieler

wasserbewohnender Invertebraten. Mit wenigen Ausnahmen stellen viele Arten ihre Entwicklung bei sehr tiefen Temperaturen ein (“Entwicklungsnullpunkt” nach Schönborn 1992). Die Wassertemperatur ist somit Taktgeber für Stoffwechselprozesse.

#### Sauerstoffbedarf

Ähnlich dem Stoffwechsel ist der Sauerstoffbedarf wechselwärmer Tiere temperaturabhängig. Der Sauerstoffverbrauch steigt mit der Temperatur stark an. Für Fische gilt, dass mit einer Temperaturerhöhung von 10 °C der Grundumsatz auf das Zwei- bis Dreifache erhöht wird. Damit einher geht ein erhöhter Sauerstoffverbrauch (Tab. 2). Besonders in Gewässern mit Kühlwassereinleitung oder in Kleingewässern mit starker Sonneneinstrahlung kann dies zu Fischsterben durch Ersticken führen. Eine typische Verhaltensweise zur Verbesserung der Sauerstoffversorgung ist das Ventilieren bei Insektenlarven (Schönborn 1992) oder das Aufsuchen stärker durchströmter Bereiche bei Fischen. Beide Verhaltensweisen zielen auf eine Verbesserung des Sauerstoffangebots ab, das sich aus aktueller Konzentration und Nachschub (Strömung, Fliessgeschwindigkeit) ergibt (Schwoerbel 2000).

Tab. 2 Sauerstoffverbrauch einiger Fischarten bei verschiedenen Wassertemperaturen in mg/h (Baur 1998).

T (°C)	Karpfen, Aal, Schleie	Salmoniden, Barsch
2	7.2	100
5	14.4	130
10	36	160
12.5	68.5	175
15	58 – 72	173 – 216
30	200	432

#### Sauerstoffangebot und physikalische Aspekte

Sowohl auf die Löslichkeit von Gasen, als auch auf ihre Konzentration hat die Wassertemperatur einen entscheidenden Einfluss (Henrysches Gesetz). Je höher sie ist, desto schlechter lösen sich Gase, z. B. Sauerstoff, im Wasser (Schwoerbel 1999, Tab. 3). Aufgrund der Beschleunigung der sauerstoffzehrenden Vorgänge können stark erhöhte Wassertemperaturen eklatante Folgen für die Biozönose haben (z. B.

Tab. 3 Löslichkeit und Konzentration von Sauerstoff in Süßwasser (nach Schwoerbel 1999).

Temperatur (°C)	0	10	20	30
Löslichkeit* (mg/l)	69.5	53.7	43.3	35.9
Konzentration** (mg/l)	14.5	11.1	8.9	7.2

\* in reiner Gasatmosphäre

\*\* unter Normalbedingungen, bei Sauerstoff-Partialdruck von 20.99%

Fischsterben, Tab. 4). Mit steigender Temperatur sinkt u. a. auch der pH-Wert. Des Weiteren sind Dichte, Oberflächenspannung und Viskosität von Wasser temperaturabhängig.

Tab. 4 Letaltemperaturen ausgewachsener Fische bei Adaptation an 15 bzw. 20 °C (nach Baur 1998).

Fischart	15 °C	20 °C
Karpfen	35.0	35.8
Barsch	28.0	31.4
Bachforelle	26.0	28.3
Regenbogenforelle	28.6	29.5

## 4 Messnetz

Im Februar 2002 wurden von der Quelle des Schneckenbachs bis zum Zusammenfluss mit dem Rüttebach drei Temperaturlogger installiert (SN1, SN2, SN3). Nach der Bifurkation beim Pegel Altbach wurden im sich anschliessenden Heidenwuhr vier Logger platziert (HW1, HW2, HW3, HW4). Im folgenden Schöpfbach wurden zwei Logger (SP1, SP2) positioniert. Zusätzlich wurde am Zusammenfluss Rüttebach/Schneckenbach ein weiterer Temperaturlogger (RBZ) angebracht. Im Frühjahr 2003 folgten dann sechs weitere Logger. FST misst den Auslauf des Fischweihrs. ERB den Quellzufluss des Hüttener Bachs, HM1 und HM2 den Referenzbach "Hüttner Moos". NZA und NZB erfassen die Wassertemperaturen zweier bedeutender Quellzuflüsse unterhalb Bergalingens. Das Speicherintervall aller Logger beträgt 10 min, wobei in diesen 10 min 100 Messwerte arithmetisch gemittelt werden. Die einzelnen Logger müssen bei dieser Konfiguration spätestens nach 55 Tagen ausgelesen werden.

## 5 Ergebnisse

### *Lufttemperatur, Niederschlag und Abfluss*

Im Sommer 2003 lagen die Lufttemperaturen im Schnitt um ca. 4 °C höher als in durchschnittlichen Jahren wie z. B. 2002. So betrug das Monatsmittel 2003 im Juni 19.6 °C (2002: 16.1 °C), im Juli 17.5 °C (2002: 15.2 °C) und im August 19.8 °C (2002: 15.0 °C). Hinzu kam 2003 ein ausgeprägtes Niederschlagsdefizit. Insgesamt fielen in den Sommermonaten nur 159 mm Regen (Juni 25 mm, Juli 79 mm, August 55 mm). In diesem mit 1660 mm Jahressumme an sich sehr niederschlagsreichen Gebiet mit Niederschlagsmaximum im Juli muss dies hydroökologisch als katastrophal bezeichnet werden.

Die aussergewöhnliche Trockenheit machte sich natürlich im Abfluss bemerkbar. Im August betrug der mittlere Abfluss am Pegel Altbach/Schneckenbach 15–20 l/s und am Pegel Schöpfbach nur noch 60–80 l/s. Keiner der gemessenen Quellflüsse fiel trocken, die Abflüsse betrugen in August jedoch nur noch 3–4 l/s für den Rüttebach (RBZ), 3–4 l/s für den Hüttnerbach (ERB) und 1.5–2 l/s für den Hüttner Moosbach (HM1 + HM2). Die mittleren Abflüsse lagen im Juni und Juli 2003 maximal 10 % höher. Auch die Schüttungen der gefassten und ungefassten Quellen erreichten im August einen Tiefstand; grösstenteils schütteten sie unter 1 l/s. Gleichzeitig erreichten die Quelltemperaturen Jahreshöchstwerte zwischen 7.2 °C und 9.5 °C.

### *Wassertemperaturen*

In Folge des aussergewöhnlich heissen und trockenen Sommers 2003 (heissester Tag am 13. August mit 33.85 °C) stiegen die Wassertemperaturen mehrfach, v. a. in der zweiten Augustwoche 2003, auf bis zu 25 °C (SN3 und HW4, vgl. Tab. 4). Im Messjahr 2002 lagen alle Spitzenwerte deutlich unter 20 °C. Temperaturen >22 °C traten im Juni und Juli 2003 bei SN3 an vier Tagen auf; in der ersten Augusthälfte sogar an 13 Tagen. Auch an Messstelle HW4 wurden diese Werte im August an sieben Tagen überschritten. Temperaturen >20 °C traten erstmals am 10. Juni 2003 auf (bis 20. Juni). Hiervon waren nahezu alle Station des Hauptgerinnes – mit Ausnahme der quellnahen Stationen SN1 und SN2 – betroffen. An Station SN3 wurde die 20 °C-Marke insgesamt an 50 Tagen überschritten, an 16 Tagen sogar im Tagesmittel. Dabei lagen die Tagesminima zum Teil über 19 °C.

Eine zentrale Bedeutung für die Wassertemperatur des Schneckenbachs (SN3) besitzt der Fischteich bei Strick (FST). Dieser unterhalb des Feuchtgebiets Strick (zwischen SN2 und SN3) gelegene grosse Fischteich besitzt eine Fläche von ca. 2 ha und eine Tiefe von 2.5 m. Für seine Bewirtschaftung werden bis zu 7 l/s aus dem Schneckenbach ausgeleitet. Dies hat zur Folge, dass in Trockenperioden wie im Sommer 2003 z. T. mehr als 50 % des Niedrigwasserabflusses dem Gewässer entnommen werden. Der Abfluss des im Teich erwärmt Wassers trägt zur weiteren Erwärmung des Schneckenbachs bei (SN3).

Die bisher höchsten Quelltemperaturen wurden im August 2003 gemessen. Für das Schneckenbachgebiet (800–1050 m ü. NN) lagen die Quelltemperaturen zwischen 7.2 °C und 9.5 °C, für das Heidenwuhrgebiet (740–900 m ü. NN) betrugen sie zwischen 8.1 °C und 9.8 °C. Im Jahresgang schwanken die Quellen zwischen 0.4 °C und 1.5 °C entsprechend ist die Jahresmitteltemperatur um 0.2 °C bis 0.75 °C kühler als die oben angegebenen Jahresmaxima. Vergleicht man August 2003 mit August 2002, fallen vor allem die im Durchschnitt um 4–6°C erhöhten mittleren und maximalen Tageswerte der Wassertemperaturen auf (Ausnahme: quellnahe Messpunkte). SN3 z. B. erzielte 2002 ein Maximum von 18.3 °C, 2003 hingegen von 24.1 °C. Aufgrund der geringen nächtlichen Abkühlung lagen die Minima noch deutlicher über den Vorjahrswerten (SN3 2003 >19.5 °C, 2002 <12 °C). Grosse Temperaturunterschiede gab es auch bei den Zusammenflüssen, vor allen am Zusammenfluss Rüttebach/Schneckenbach (SN3/RBZ). RBZ war z.T. 6 °C kühler als SN3. Ähnlich war die Situation an den Zusammenflüssen ERB/HW1, HM2/HW1. Nur die Quellbäche NZA und NZB wiesen im Vergleich zum Heidenwuhrgewässer (HW3) eher geringe Temperaturunterschiede (2–3°C kühler) auf.

### *Vergleich der Gewässerabschnitte*

Im Schneckenbach (Gewässer 1. bis 3. Ordnung) nimmt die Wassertemperatur von der Quelle bis zur Bifurkation/Wuhrbeginn stetig zu. Besonders stark ist die Temperaturerwärmung vor allem auf den ersten zwei Kilometern des Schneckenbachs wegen fehlender Beschattung (kaum Ufergehölze) und unterhalb der Zuleitung des erwärmen Teichwassers.

Im Heidenwuhr (3. Ordnung) werden die höchsten Werte von annähernd 25 °C am Messpunkt HW1 (Wuhrbeginn) aufgezeichnet. Unterhalb HW1 beugen kühle, quellnahe Gewässer 1. Ordnung einer weiteren Erwärmung vor. Massgeblich daran beteiligt sind die Quellbäche ERB, HM1/HM2, NZA sowie NZB. Sie übercompensieren zusätzlich eine aufgrund des unnatürlichen Breiten-Tiefen-Verhältnisses und wegen des geringen Abflussvolumens – Grund ist die Regulierung des Zuflusses aus dem Schneckenbach – zu erwartende Erwärmung.

Im Bereich des Schöpfelbachs (3. Ordnung) dämpfen die durchgehende Beschattung und ein ausgeprägter Grundwasserzustrom zwischen SP1 und SP2 die Tages- und Jahresamplituden; im Sommer kühlert der Bach sogar ab.

## 6 Diskussion

### *Zeitliche Muster*

Sommerkühle Gewässer mit geringen Temperaturschwankungen sowohl im Tages- wie im Jahresverlauf sind durch Grundwassereinfluss geprägt (z. B. die Fließstrecken zwischen HW4/SP1 oder SP1/SP2, auf der nur minimale Temperaturänderungen, z. T. sogar Abkühlung erfolgen). Kleine, sonnenexponierte Bäche können Erwärmungen von bis zu 3 °C pro Stunde erfahren (Fließstrecke SN1/SN2). Dagegen ist in stark beschatteten Gewässern die Amplitude selten grösser als 2–3°C. Die Tagesamplituden sind im Allgemeinen am ausgeprägtesten während eines Strahlungstags im Frühsommer, am geringsten an einem bedeckten Wintertag. Die im Laufe des Sommers geringer werdenden Amplituden zeugen von einer Pufferung der Temperatur, die aus der fortschreitenden Erwärmung des Bodens resultiert. Zeitliche Schwankungen der Amplituden hängen von Jahreszeit und meteorologischen Bedingungen ab. Zwar variieren die tagesperiodischen Muster, doch treten die Minima am frühen Morgen (05.00–07.00 Uhr), die Maxima in der Regel am Nachmittag (15.00–16.00 Uhr) auf. In Niedrigwasserzeiten oder in kleinen Bächen sind die Fluktuationen grösser und die täglichen Maxima treten früher als in grossen Bächen auf. Die Extrema der Wassertemperaturen verzögern sich gegenüber der Lufttemperatur um eineinhalb bis drei Stunden.

### *Räumliche Muster*

Eine thermische Heterogenität ist sowohl klein- als auch grossräumig gegeben. Als makroskalig kann das longitudinale Temperaturprofil bezeichnet werden, als mikroskalig vertikale und horizontale Gradienten (*Ward 1985*). Die vorliegende Arbeit betrachtet vor allem das longitudinale Temperaturprofil der Bäche des Untersuchungsgebiets. Die Maximaltemperaturen steigen dort wie erwartet von der

Quelle bis zur Mündung und treten tageszeitlich betrachtet flussab später auf. Ebenso nehmen Amplituden und Jahresmitteltemperaturen des Schneckenbachs und des Heidenwuhrs longitudinal zu. Für den Schöpfelbach gilt dies nicht im gleichen Mass, da bis zur untersten Station SP2 Grundwasser zuströmt.

#### Thermische Verhältnisse (Synthese)

Folgende Arbeitshypothesen (vgl. *Hauer & Hill* 1996, *Hütte* 2000) hinsichtlich der thermischen Verhältnisse für beliebige Fixpunkte eines Fliessgewässers konnten für das Untersuchungsgebiet verifiziert werden:

- Die Quelle selbst hat die konstantesten Temperaturen.
- Die mittleren Luft- und Wassertemperaturen sind miteinander korreliert.
- Die sommerlichen Tagesamplituden nehmen von der Quelle flussab zunächst zu, dann werden sie geringer (anfangs wirken die grossen Temperaturunterschiede zwischen Luft und Quellwasser, danach gibt es einen amplitudenreduzierenden Volumeneffekt).
- Die Jahresamplitude der Temperatur nimmt flussabwärts zu.
- Die Tagesamplituden sind gegenüber der Jahresamplitude sehr gering, aber umso grösser, je geringer Wassertiefe, Abflussvolumen und Ausgangstemperatur sind.
- Die sommerlichen Mitteltemperaturen nehmen mit der Entfernung von der Quelle zu (Ausnahme: grundwasserbeeinflusste Gewässerabschnitte – die meist keinem longitudinalen Muster unterliegen – haben lokal geringere Temperaturschwankungen sowohl im Tages- wie im Jahresverlauf).
- Die Temperaturänderung pro km wird flussab geringer und die Flussstrecken annähernd gleicher Temperatur werden länger.
- Das Gewässernetz selbst hat einen Einfluss auf die thermischen Verhältnisse (die Anzahl von Quellzuflüssen erster Ordnung ist besonders signifikant, wegen den mitunter grossen Temperaturunterschieden zum Hauptgewässer).

Zu ergänzen bleibt, dass die geringeren sommerlichen Temperaturamplituden des Schöpfelbaches nicht durch Volumenzunahme, sondern v. a. durch Grundwasserzustrom und Beschattung – eine lokale Besonderheit, die konsequenter Weise auch die Jahresamplitude dämpft – hervorgerufen werden. Für das Heidenwahr gilt, dass die aufgrund der Gerinnemorphologie und Gewässerstruktur zu erwartende deutliche Erwärmung durch einen auch volumenmässig bedeutenden Anteil an Quellzuflüssen überkompensiert wird.

## 7 Fazit

Fliessgewässertemperaturen lassen sich zuverlässig, präzise und mit relativ geringem finanziellem Aufwand in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung messen. Einerseits wird ein dominanter abiotischer Habitatparameter, die Temperatur, direkt gemessen sowie das weitere Parameter prägende Temperaturregime erfasst (Sauerstoff, pH, physikalische Eigenschaften des Wassers). Andererseits spiegeln sich in den Temperaturdaten viele Informationen der flussauf einer Messstelle geleg-

genen Fliessgewässerstrecke wider. So lässt sich beispielsweise der Zufluss erwärmt Wassers aus dem Fischteich bei Strick nachweisen. Im unteren Schneckenbach (SN3) und dem obersten Abschnitts des Heidenwuhrs (HW1) wurden mehrfach kritische Werte (Crisp 1990) von annähernd 25 °C erreicht. Unterhalb HW1 beugen einmündende kühle Quellbäche einer weiteren Erwärmung vor. Sie überkompensieren zusätzlich eine wegen des unnatürlichen Breiten-Tiefen-Verhältnisses zu erwartende Erwärmung.

Aber auch ausgeprägte Grundwasserzuflüsse, starke Absickerung ins Grundwasser oder unterschiedliche Gerinnemorphologie bzw. Gewässerstrukturgüte (v. a. Parameter, die Fließzeit oder Strahlungshaushalt beeinflussen, wie z. B.: Breiten-Tiefen-Verhältnis, Breiten- u. Tiefenvariabilität, Gefälle, Substrat, Flussverwilderung, Mäander, Kanalisierung, Ufergehölzsaum etc.) lassen sich identifizieren. Beispielsweise resultiert die starke Erwärmung zwischen SN1 und SN2 aus der fehlenden Beschattung dieses weitestgehend gehölzsaumfreien Gewässerabschnitts. Von Grundwasserzustrom geprägte Flussabschnitte (z. B. der Schöpfbach zwischen SP1 und SP2) sind gekennzeichnet durch einen ausgeglicheneren Tages- und Jahresgang. Auch Niederschlagsereignisse, insbesondere Sommergewitter, hinterlassen deutliche Spuren in den Temperaturdaten.

Kurzum, in dem einfach und kostengünstig zu messenden hydroökologischen Parameter Temperatur steckt eine Vielzahl an ökologisch, hydrologisch und morphologisch bedeutenden Informationen. Erstaunlich ist, dass bisher kaum hoch auflösende Temperatur-Messnetze für Gewässersysteme eingerichtet sind. Entsprechende Studien sind in der Literatur selten. Meist wird die Temperatur nur punktuell gemessen und die Daten werden hinsichtlich einer einzigen Fragestellung interpretiert.

## Literatur

- Allan J.D. 1997. *Stream ecology – Structure and function of running waters*. London, 1–388.
- Baur W.H. 1998. *Gewässergüte bestimmen und beurteilen*. Berlin, 1–209.
- Crisp D.T. 1990. Water temperatures in a stream gravel bed and implications for salmonid incubation. *Freshwater Biology* 23: 601–612.
- Constantz J., Thomas C.L. & Zellweger G. 1994. Influence of diurnal variations in stream temperature on streamflow loss and groundwater recharge. *Water Resources Research* 30(12): 3253–3264.
- Constantz J. 1998. Interaction between stream temperature, streamflow, and groundwater exchanges in alpine stream. *Water Resources Research* 34(7): 1609–1615.
- Hauer F.R. & Hill W.R. 1996. Temperature, Light and Oxygen. In: Hauer F.R. & Lamberti G.A. (ed.): *Methods in stream ecology*. New York, 93–106.

- Hofius K. 1971. *Das Temperaturverhalten eines Fließgewässers, dargestellt am Beispiel der Elz*. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Geowissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 1–156.
- Hütte M. 2000. *Ökologie und Wasserbau – Ökologische Grundlagen von Gewässerverbauung und Wasserkraftnutzung*. Berlin, 1-280.
- Illies J. 1961. Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fließgewässer. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* 46(2): 205–213.
- Schmitz W. 1954. Grundlagen der Untersuchung der Temperaturverhältnisse in den Fließgewässern. *Berichte der Limnologischen Flussstation Freudenthal* 6: 29–50.
- Schmitz W. 1955. Physiographische Aspekte der limnologischen Fließgewässertypen. *Archiv für Hydrobiologie* (Supplementband 22): 510–523.
- Schmidt A. 2003. mündliche Mitteilungen. Schluchseewerk, Freiburg.
- Schönborn W. 1992. *Fliessgewässerbiologie*. Jena, 1–504.
- Schwoerbel J. 1999. *Einführung in die Limnologie*. Jena, 1–465.
- Schwoerbel J. 2000. mündliche Mitteilungen. Konstanz.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. & Cushing C.E. 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 37: 130–137.
- Ward J.V. 1985. Thermal characteristics of running waters. *Hydrobiologica* 125: 31–46.

