



# Temperatur: räumliche und zeitliche Temperaturheterogenität im Oberflächengewässer

Autoren: Klement Tockner und Lorenz Moosmann, Eawag



## Hintergrund

Temperatur ist ein Umweltparameter, der die Verteilung und Zusammensetzung der aquatischen Organismen und die Intensität ökologischer Prozesse grundlegend beeinflusst. Regulierungsmassnahmen verändern zumeist den saisonalen Temperaturverlauf und reduzieren die räumliche thermische Heterogenität. Gerade für viele sensible aquatische Arten wie forellenartige Fische und Steinfliegenlarven ist die Verfügbarkeit von thermischen Refugien während kritischer Perioden wie z. B. dem sommerlichen Niederwasser überlebenswichtig. Durch die Schaffung von Stillwasserbereichen und die Wiederherstellung von Austauschprozessen zwischen Grund- und Oberflächenwasser und zwischen Auegewässern und dem Hauptgerinne können die thermischen Bedingungen eines Flussabschnittes nachhaltig beeinflusst werden.

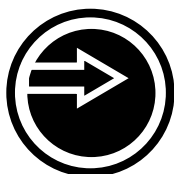
Der Indikator beschreibt die räumliche und zeitliche Verteilung der Oberflächentemperatur in Gewässern.

Der Indikator ist für die Beurteilung der in Tabelle 1 gekennzeichneten Projektziele geeignet.

Tabelle 1: Eignung des Indikators für die Beurteilung der Projektziele.

Nutzen für Gesellschaft		Umwelt und Ökologie	Wirtschaft	Umsetzung
● nachhaltige Trinkwasserversorgung	hoher Erholungswert	morphologische und hydraulische Variabilität	Budgeteinhaltung	politische Akzeptanz
		◆ naturnahes Temperaturregime ● longitudinale Vernetzung ● laterale Vernetzung ● vertikale Vernetzung ● naturnahe Diversität und Abundanz Flora ● naturnahe Diversität und Abundanz Fauna ● funktionierende organische Kreisläufe		Stakeholder-Partizipation

- ◆ = direkte Messgrößen: Indikatoren, welche das Projektziel direkt messen
- = indirekte Messgrößen: Indikatoren, die eine Gegebenheit messen, die sekundär vom Projektziel beeinflusst wird.



## Erhebung

---

### Messgrösse:

Es werden Zeitreihen der Wassertemperatur aufgezeichnet, um die räumliche Temperaturheterogenität bzw. die Maximaltemperaturen zu bestimmen.

### Aufnahmeverfahren:

Die Temperatur wird mit Hilfe von Loggern kontinuierlich erfasst. Es gibt eine breite Palette an Messfühlern, von sehr kostengünstigen Loggern mit jedoch geringer Speicher- und Messgenauigkeit (z. B. ibuttons) bis zu sehr präzisen und robusten Loggern (z. B. der Firma Vemco Ltd). Die Messung soll im Stundenrhythmus erfolgen.

Die Logger werden wie folgt verteilt: Erst wird eine Kartierung der Mesohabitate durchgeführt. Mesohabitate sind Flächen oder Teillebensräume, die bezüglich Wassertiefe, Fliessgeschwindigkeit und Substratzusammensetzung in sich einheitlich sind (z. B. Schnelle, Stille, Flachuferbereiche, Hinterwasser, Tümpel, Seitengerinne, Mündung eines Zubringers). Anschliessend werden die Mesohabitate entsprechend ihrer Anzahl mit Loggern bestückt (Exposition im permanent aquatischen Bereich bei Niederwasser).

### Sekundäre Erhebungen:

Abschätzung der Austauschprozesse zwischen Oberflächen- und Grundwasser und des lateralen Wassereintrags.

### Zeitlicher und personeller Aufwand: (Tabelle 2)

Aufwandstufe A

**Tabelle 2:** Geschätzter zeitlicher und personeller Aufwand der Erhebung.

Arbeitsschritt	Spezialisten		Helfer	
	Personen	Dauer pro Person (h)	Personen	Dauer pro Person (h)
Vorbereitung, Exposition, Entnahme, Datenabruf			1	9
Total Personenstunden (P-h)				9

Bemerkungen: Logger sind ab ca. 25 sFr pro Stück (ibutton) erhältlich. Je nach Loggertyp und Gewässercharakteristiken kann sich der Aufwand für den Datenabruf erhöhen (siehe „Zeitpunkt und Häufigkeit der Erhebung“).

### Materialeinsatz:

Temperaturlogger, Schutzhülle für Logger, Befestigung

### Zeitpunkt und Häufigkeit der Erhebung:

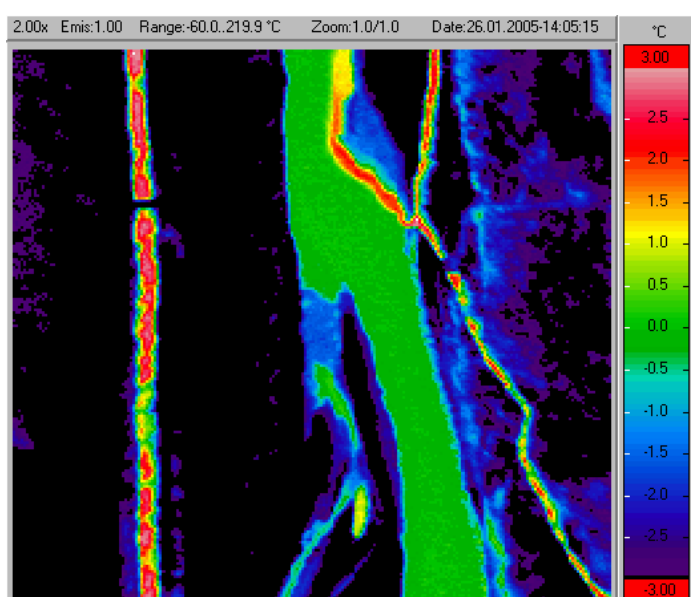
Ganzjährige Temperaturganglinien sind anzustreben. Wesentlich sind jedoch sommerliche Schönwetter- und Niederwasserperioden. Es werden Aufnahmen über einen Jahreszyklus vor und nach der Revitalisierungsmassnahme vorgeschlagen. Ein weiterer Jahreszyklus soll

etwa fünf Jahre nach Abschluss der Revitalisierungsmassnahmen erfasst werden (nach Entwicklung der Ufervegetation).

In Abhängigkeit vom Aufnahmeintervall (stündlich) und der Speicherkapazität der Logger müssen die Daten mehrmals abgerufen werden. Dieser zusätzliche Zeitaufwand ist bei der Anschaffung der Logger zu berücksichtigen. In umlagerungsaktiven Gerinnen wird ein monatlicher Datenabruf empfohlen, um den potenziellen Verlust von Daten gering zu halten.

#### Alternative Datenquelle:

Infrarot-Aufnahmen vom Helikopter aus. Diese Methodik ist derzeit noch arbeitsintensiv, liefert aber präzise Aufnahmen der räumlichen Temperaturheterogenität (Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Infrarotaufnahme der Thur bei Niederneunforn im Januar 2005 (Aufweitungsstelle). Gut sichtbar sind die Einleitung eines Grundwassergerinnes (oben im Bild) und das aufstossende alluviale Grundwasser (untere Bildmitte; U. Uehlinger & C. Tanner, unveröffentlicht).



### Analyse der Resultate

Es werden zwei Methoden vorgeschlagen. Methode 1 (räumliche Temperaturheterogenität) kann verwendet werden, wenn Mesohabitate (z. B. Seitenarme) mit unterschiedlichen Wassertemperaturen bestehen. Methode 2 dagegen bietet sich an, wenn durch die Revitalisierungsmassnahme die Temperatur im Hauptgerinne verändert wird, z. B. mittels Beschattung. Die gleichzeitige Anwendung beider Methoden ist hier nicht vorgesehen.

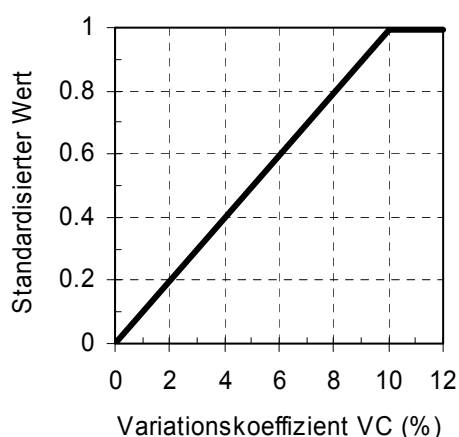
#### 1. Räumliche Temperaturheterogenität

Für jede Messstelle wird das tägliche Maximum der Temperatur (Tagesmaximum) bestimmt. Die Tagesmaxima der Monate Juli und August

werden gemittelt, somit erhält man ein mittleres Tagesmaximum für jede Messstelle. Tage mit erhöhter Wasserführung (ab Mittelwasser) werden dabei nicht berücksichtigt. Die mittleren Tagesmaxima werden logarithmisch transformiert ( $\log_{10}$ ). Für die transformierten Werte aller Messstellen wird der Variationskoeffizient (VC) bestimmt. Die minimale Anzahl an Werten, um einen VC zu berechnen, und damit die minimale Anzahl an Loggern, ist 5. Der VC wird nach der nachfolgenden Gleichung bestimmt:

$$VC = \frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Mittelwert}} \times 100\%$$

Bei der Standardisierung des VC entspricht ein VC von 0 dem 0-Richtwert, ein VC von 10 % dem 1-Richtwert. Dazwischen wird linear interpoliert (Abbildung 4). Anmerkung: Wird der VC berechnet, wie hier beschrieben, so sind selbst in natürlichen Fließgewässern mit grosser Temperaturvariabilität keine Werte grösser als 10 % zu erwarten.



**Abbildung 4:** Graphik zur Standardisierung der Resultate.

## 2. Maximaltemperaturen (Alternative, diese ist nicht in der Excel-Vorlage implementiert)

Wie weiter oben beschrieben, werden die mittleren Tagesmaxima im Hauptgerinne (Schnelle, Stille, Run) während der Monate Juli und August (Mai und Juni bei glazial geprägten Gewässern) berechnet. Durch Revitalisierungsmassnahmen wie Beschattung oder Niedrigwasserrinnen kann sich diese Temperatur einem Referenzwert nähern. Die Grössenordnung solcher Temperaturänderungen liegt im Bereich von wenigen °C (vgl. Meier et al. 2003).

Bei der Auswertung sind natürliche Schwankungen von Jahr zu Jahr zu berücksichtigen. Es wird die folgende Standardisierung vorgeschlagen, die jedoch im Einzelfall kritisch überprüft werden muss: Dem Mittelwert vor der Revitalisierungsmassnahme wird der standardisierte Wert 0.5 zugeordnet. Tritt nach der Revitalisierung keine Änderung der mittleren Maximaltemperatur auf, so beträgt der zweite Wert ebenfalls 0.5. Tritt eine Änderung um 2 °C in Richtung des Referenzzustandes auf, so wird der Wert 1 zugeordnet, bei anderen Temperaturänderungen wird linear interpoliert. Damit erhält man sowohl für die Situation vor der

Revitalisierungsmassnahme als auch für die Situation danach je einen standardisierten Wert. Diese Werte können in der Excel-Vorlage in den Spalten G und H eingetragen werden.



### Verbindung zu anderen Indikatoren

Eine wesentliche Verbindung besteht zu Indikatoren, die die laterale und vertikale Vernetzung erfassen und zu den Indikatoren, die die Biologie der Gewässer als Mass haben:

- Nr. 10: Fische: ökologische Gilden
- Nr. 23: Makroinvertebraten: taxonomische Zusammensetzung des Makrozoobenthos
- Nr. 24: Makroinvertebraten: Vorkommen von amphibiontischen Arten im Grundwasser
- Nr. 40: Übergangszonen: Stoffaustausch zwischen Fluss- und Grundwasser
- Nr. 44: Ufer: Länge der Grenzlinie zwischen Wasser und Land



### Anwendungsbeispiele

Arscott et al. (2001): Die Autoren haben entlang des Tagliamento (NO Italien) die Temperaturheterogenität erfasst. Sie konnten zeigen, dass die Heterogenität in einem natürlichen Auenquerschnitt genauso gross ist wie die Heterogenität entlang des 170 km langen Hauptflusses. Gerade Hinterwasser und Grundwasser gespiesene Tümpel und Gerinne erhöhen die thermische Heterogenität.

Frutiger (2004): Der Autor hat die Auswirkungen von Wasserableitungen und des Schwallbetriebes auf die Temperaturverhältnisse des Ticino untersucht.

Meier et al. (2003): In diesem Artikel werden Veränderungen der Temperatur durch den Kraftwerksbetrieb modelliert.

Uehlinger et al. (2003): In diesem Artikel wird die thermische Vielfalt in einer Gletscherschwemmebene (Val Roseg) quantifiziert. Auch hier zeigt sich, dass gerade Grundwasser führende Gerinne die Heterogenität erhöhen und relativ stabile thermische Habitate schaffen.



### Literatur

Arscott, D.B., K. Tockner & J.V. Ward. 2001. Thermal heterogeneity along a braided floodplain river (Tagliamento River, northeastern Italy). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58 (12): 2359-2373.

Frutiger, A. 2004. Ecological impacts of hydroelectric power production on the River Ticino. Part 1: Thermal effects. Archiv für Hydrobiologie 159(1): 43-56.

Meier, W., C. Bonjour, A. Wüest & P. Reichert. 2003. Modeling the effect of water diversion on the temperature of mountain streams. Journal of Environmental Engineering-Asce 129(8): 755-764.

Uehlinger, U., F. Malard & J.V. Ward. 2003. Thermal patterns in the surface waters of a glacial river corridor (Val Roseg, Switzerland). Freshwater Biology 48(2): 284-300.