

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 114 (2022)
Heft: 4

Artikel: Durch Revitalisierung zu mehr Abfluss und kühlerem Wasser? :
Massnahmen und Ergebnisse der Messstrecke Sissle 2030
Autor: Will, Insa / Šeatovi, Dejan / Albert, Reto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1008205>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.05.2025

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

Durch Revitalisierung zu mehr Abfluss und kühlerem Wasser?

Massnahmen und Ergebnisse der Messstrecke Sissle 2030

Insa Will, Dejan Šeatović, Reto Albert

Zusammenfassung

Die Sissle fällt in Trockenperioden regelmässig über viele Tage trocken. Im Projekt Sissle 2030 wird die Revitalisierung der Sissle auf einem Abschnitt von 8,8 km projektiert. Neben der Sicherstellung des Hochwasserschutzes soll die Revitalisierung dazu beitragen, die Trockenheit im Gewässerbett und die Wassertemperaturen zu reduzieren.

Vor dem Revitalisierungsprojekt wurden mögliche Massnahmen zur Verringerung der Wasserverluste sowie zur Reduktion der Temperaturen skizziert und in einem Workshop mit den kantonalen Fachstellen ausgewählt. Im Juni 2022 wurden die ausgewählten Massnahmen auf einer 200 m langen Strecke umgesetzt und während knapp drei Monaten mit einem Messprogramm überprüft und ausgewertet. Der vorliegende Artikel beschreibt die Messmethoden, Messergebnisse und Schlussfolgerungen.

Die realisierten Massnahmen umfassen das Anlegen einer Niederwasserrinne, das Eintiefen von Pools und die Optimierung der Beschattung.

In der Testphase von knapp drei Monaten konnten weder positive Effekte der Niederwasserrinne auf die Wasserführung noch eine Senkung der Temperatur durch die realisierte Teilbeschattung nachgewiesen werden. Trotzdem können aus den durchgeführten Arbeiten wertvolle Schlussfolgerungen gezogen werden, einerseits zur Konzeption zukünftiger Messreihen, andererseits besteht Grund zu der Annahme, dass insbesondere eine durchgehende Vollbeschattung – auch von kurzen Abschnitten – einen abkühlenden Effekt auf das Gewässer hat und einer Teilbeschattung vorzuziehen ist.

Résumé

En période de sécheresse, la Sissle s'assèche régulièrement pendant plusieurs jours. Le projet Sissle 2030 prévoit la revitalisation de la Sissle sur un tronçon de 8,8 km. La revitalisation doit notamment contribuer à réduire l'assèchement du lit du cours d'eau et la température de l'eau.

Avant l'élaboration du projet de revitalisation, les mesures possibles pour réduire les pertes d'eau ainsi que les températures ont été esquissées et sélectionnées lors d'un atelier avec les services cantonaux. En juin 2022, les mesures sélectionnées ont été mises en œuvre sur un tronçon de 200 m et contrôlées et évaluées pendant près de trois mois à l'aide d'un programme de mesure. Le présent article décrit les méthodes de mesure, les résultats des mesures et les conclusions.

Les mesures mises en place comprennent la création d'un lit d'étiage, l'approfondissement des bassins et l'optimisation de l'ombrage.

Au cours de la phase de test de près de trois mois, aucun effet positif du lit d'étiage sur le débit d'eau n'a pu être démontré, ni aucune baisse de la température due à l'ombrage partiel réalisé. Néanmoins, les travaux réalisés permettent de tirer de précieuses conclusions, d'une part pour la conception de futures séries de mesures, d'autre part pour l'hypothèse qu'un ombrage complet continu – même sur de courts tronçons – a un effet refroidissant sur le cours d'eau et est préférable à un ombrage partiel.

1. Ausgangslage

1.1 Einzugsgebiet und Abflussverhältnisse

«Das ist der Aargauer Problemfluss: Droht der Sissle in diesem Sommer erneut das Austrocknen?», so titelte die Aargauer Zeitung am 23.06.2022 in ihrer Printausgabe. Stimmt das?

Charakterisierung des Einzugsgebiets

Die Sissle entspringt auf einer Höhe von 650 m ü. M. am Südhang des Dreierbergs und am Nordhang des Zeiher Hombergs, fliesst durch das östliche Fricktal und mündet nach rund 18 km bei Sisseln in den Rhein. Der untere Abschnitt der Sissle

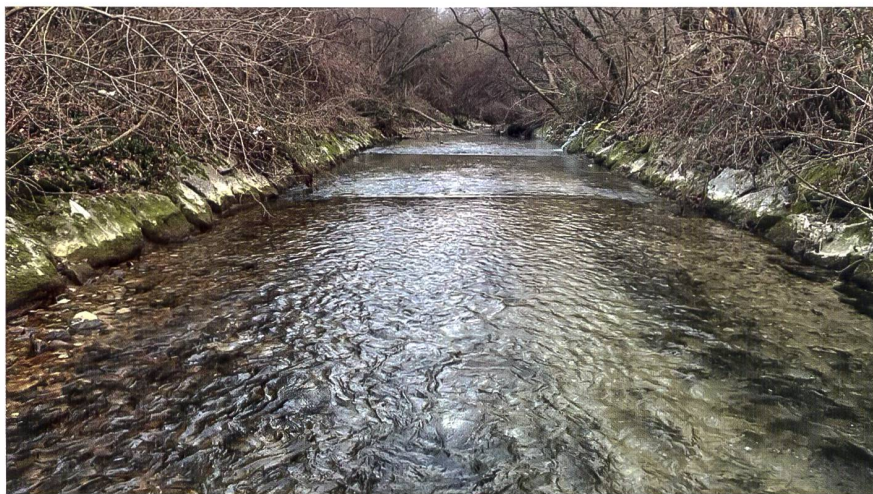


Bild 1: Sissle bei km 8'727 am oberen Perimeterende des Vorprojekts.

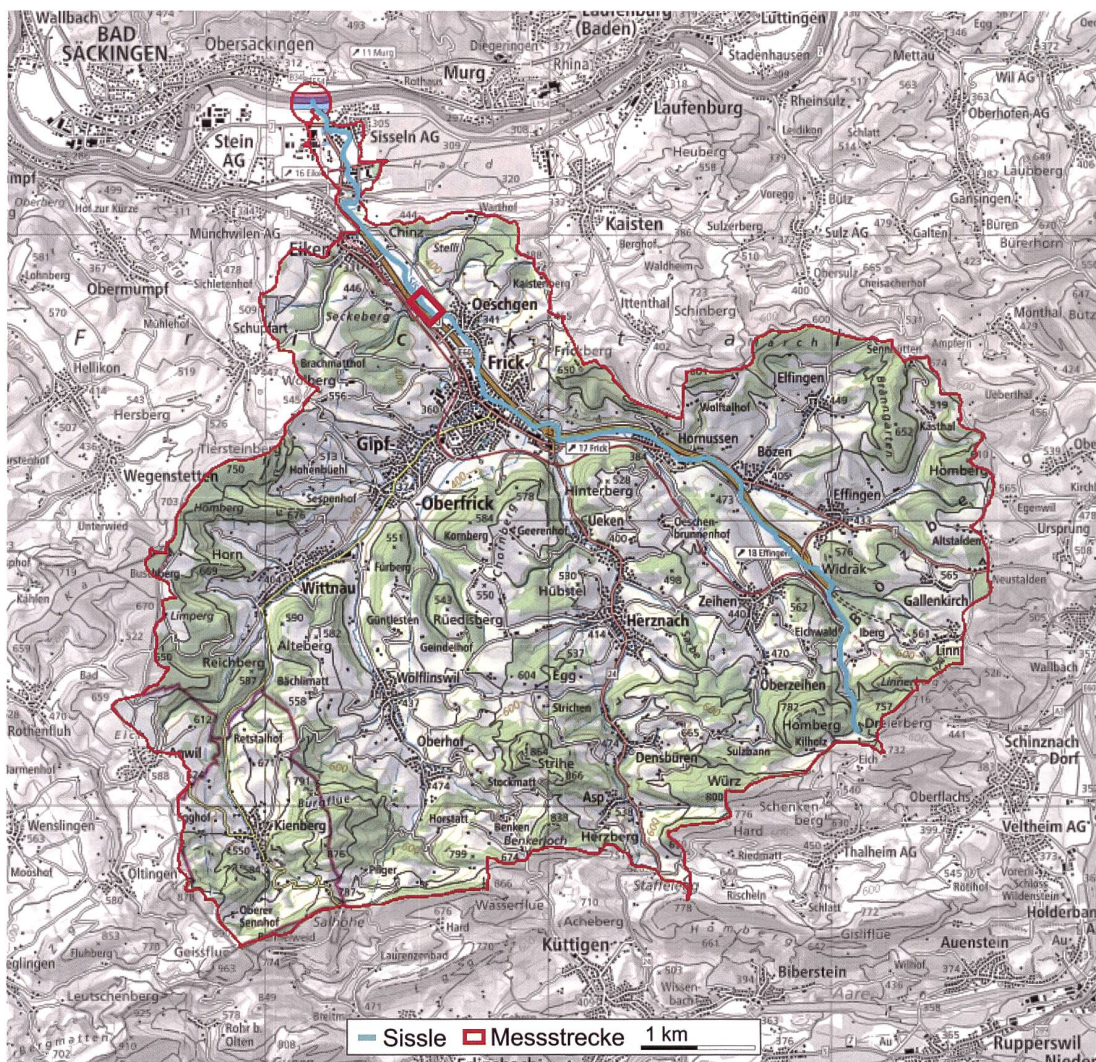


Bild 2:
Einzugsgebiet
der Sissle und
Projektperimeter
der Messstrecke.
Foto: map.geo.
admin.ch, 2022.

ist seit der «Sissle-Correction» Ende des 19. Jahrhunderts (*Volkstimme aus dem Frickthal*, 1893) stark kanalisiert und stellt aus Sicht der Gewässerökomorphologie ein stark beeinträchtigtes Gewässer dar.

Die Sissle fliesst auf langen Abschnitten in einem homogen breiten, seichten, verbauten und teilweise eingeschnittenen Flussbett. Die Längsvernetzung für aquatische Lebewesen ist aufgrund einer Vielzahl von Querbauwerken unterbrochen. Die Fallhöhe beträgt oft mehr als 80 cm.

Die Grösse des Einzugsgebiets der Sissle beträgt über den gesamten Gewässerlauf etwa 127 km².

Abflussverhältnisse

Die Sissle trocknet in niederschlagsarmen Perioden vermehrt aus. Das war ab 2006 regelmässig und ab 2015 jährlich während mehreren Tagen der Fall (*Tagesanzeiger*, 2022). Im Jahr 2022 waren es bis zum 6. September gesamthaft 48 Tage ohne Abfluss an der kantonalen Messstelle in Eiken (*Tagesanzeiger*, 2022). Dies ist kein neues Phänomen, auch in den Jahren 1959, 1962 und 1976 fiel sie trocken (*Scherrer AG*, 2021).

	Q ₃₄₇	HQ ₃₀	HQ ₁₀₀	HQ ₃₀₀
Wassermenge [m ³ /s]	0.08	74	119	190

Tabelle 1: Dimensionierungsmengen im Abschnitt der Messstrecke

Vorgängig zum Revitalisierungsprojekt wurden die Hydrologie und die Ursachen des Trockenfallens untersucht (*Scherrer AG*, 2021). Die wichtigsten Erkenntnisse sind:

- Der Grundwasserstand entlang der Sissle liegt fast ausschliesslich unterhalb der Gewässersohle. Es findet eine natürliche substanzielle Infiltration in das Grundwasser im Bereich der ausgedehnten alluvialen Schotter im Unterlauf statt. Die Versickerungsrate beträgt gemäss *Scherrer AG*, 2021 im Mittel 28 l/s*km². Hierdurch lassen sich die tiefen Werte für Q₃₄₇ begründen. Die mittlere Aufenthaltszeit im System des Gewässereinzugsgebiets beträgt etwa 12 Tage, was im Vergleich zu anderen Gewässern sehr kurz ist.
- Die Nutzung des Grundwassers (Trink- und Brauchwasser) trägt nur in beschränktem Ausmass zur Trockenheit der Sissle bei (*Scherrer AG*, 2021).

- Ein Grund für das Trockenfallen liegt in der Abwasserbewirtschaftung: Seit 2004 wurden die Kleinkläranlagen des Fricktals nach und nach an die ARA Kaisten (Vorfluter: Rhein) angeschlossen. Bei Trockenwetter werden bis zu 84 l/s aus dem Einzugsgebiet abgeführt (was etwa dem Q₃₄₇ entspricht) (*Scherrer AG*, 2021). Dies umfasst auch einen sauberen Quell-, resp. Fremdwasseranteil, der nicht der Kläranlage zugeführt werden dürfte und dem Gewässer fehlt.
- Der Klimawandel mit wärmeren Sommern verschärft die Problematik.

2. Ziele und Perimeter des Projekts Sissle 2030

2.1 Gesamtprojekt

Die Revitalisierung der Sissle als grösserer Rheinzufluss hat im Kanton Aargau gemäss strategischer Planung (Kanton Aargau, 2014) erste Priorität. Der Berücksichtigung der extremen Niedrigwasserperioden wird höchste Bedeutung beigemessen.

Das Projekt Sissle 2030 umfasst den Hochwasserschutz und die Revitalisierung

auf einem Abschnitt von 8,8 km zwischen der Gemeindegrenze Hornussen/Frick via Oeschgen und Eiken bis zur Mündung in den Rhein in der Gemeinde Sisseln.

Neben der Behebung der bestehenden Hochwasserschutzdefizite stehen die Revitalisierungsziele im Vordergrund: Schaffung einer ausreichenden Sohlenbreite, Reaktivierung von Auen und Mäanderschlaufen, Wiederherstellung der Längsvernetzung.

Die Sohle soll von etwa 9 m (Ist-Zustand) auf 22 bis 27 m aufgeweitet und die Längsvernetzung wiederhergestellt werden. Gleichzeitig wird das Gefälle im Gesamtperimeter so angepasst, dass der Gleichgewichtszustand des Geschiebetriebs erreicht wird.

Bei der konkreten Ausgestaltung der Massnahmen sollen die Ergebnisse der Messstrecke berücksichtigt werden.

Diese Massnahmen werden um den Anschluss der Seitenbäche und die Ergebnisse der Messstreckenauswertung ergänzt.

2.2 Messstrecke

Auf einer Länge von 200m wurden Massnahmen zur Verbesserung der Trockenwetterabflüsse definiert, geplant, umgesetzt, beobachtet und anschliessend bewertet. Die Messungen wurden auf den Zeitraum Mai bis Ende August 2022 festgelegt, damit die Ergebnisse in die Planung des Gesamtprojekts einfließen können.

Ziel ist, die Wirksamkeit der Massnahmen während mindestens einer Trockenperiode zu bestimmen. Daraus ergaben sich die konkreten Fragestellungen:

- Wie kann erreicht werden, dass das Bachwasser im Gerinne verbleibt und die Anzahl der Tage ohne Abfluss reduziert wird?
- Kann die Temperatur im Gerinne reduziert werden?

3. Massnahmen in der Messstrecke

Gemeinsam mit den kantonalen Fachstellen wurde im Rahmen eines Workshops der Standort der Messstrecke und die umzusetzenden Massnahmen definiert.

Die Sickerstrecke liegt gemäss den Erfahrungen der kantonalen Fachstellen und Anliegern etwa zwischen km 5'800 und km 2'600. Der für die Messstrecke definierte Perimeter zwischen km 5'400 und km 5'200 liegt auf dem Gemeindegebiet Oeschgen. In unmittelbarer Nachbarschaft befindet sich ein landwirtschaftlicher Betrieb und die Nationalstrasse A3. Die Zugänglichkeit ist gewährleistet.

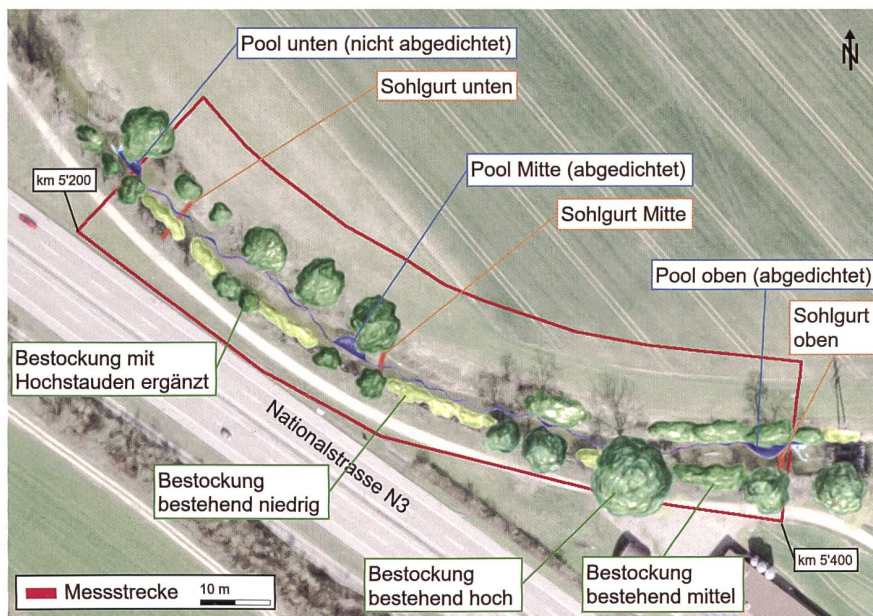


Bild 3: Übersicht Messstrecke zwischen km 5'400 und km 5'200.

Folgende Massnahmen zur Verringerung der Wasserverluste, zur Senkung der Temperatur und zur Verringerung der Auswirkungen auf die Fische wurden realisiert:

- Niederwasserrinne: Zirka 20 cm tief und 50 cm breit, mit Strukturierungsmassnahmen an der Sohle zur Stabilisierung der Massnahmen und zur Anregung der Selbstregulierung: Stammbuhnen, seitliche Sicherung der Niederwasserrinne mit Faschinen, Wurzelstöcke und Trichterbuhnen. Durch die Niederwasserrinne soll sowohl die Versickerungsrate als auch die Verdunstungsrate reduziert werden, da sowohl die benetzte Fläche als auch die Wasseroberfläche verkleinert werden.
- Beschattung: Die Niederwasserrinne wurde entlang der bestehenden und teilweise neu angelegten Beschattung geführt, mit dem Ziel, die Sonnenbestrahlung und somit die Erwärmung des Wassers und der Umgebung zu reduzieren.
- Abgedichtete Pools: Am oberen Perimeterende und in der Mitte der Messstrecke wurde je ein abgedichteter Pool (Pool oben und Pool Mitte) erstellt. Die Pools sind rund 6 m² gross und etwa 1,3 m tief. Sie sollen als Rückzugsort für aquatische Tiere bei sehr geringem Abfluss dienen.
- Nicht abgedichteter Pool: Am unteren Perimeterende wurde ein nicht abgedichteter Pool erstellt, um einen Vergleich für den Effekt der Abdichtung zu schaffen (Pool unten).

Weitere realisierte Massnahmen:

- Die Sohle wurde mit drei Fixpunkten gesichert. Hierfür wurde jeweils ein doppelt

gesetzter sohlbündiger Sohlgurt über die gesamte Sohlbreite gesetzt. Diese Sohlgurte haben eine Niederwassersektion.

Andere diskutierte Massnahmen wurden verworfen, weil sie nicht den Prinzipien einer naturnahen Revitalisierung entsprechen:

- Abdichtung der gesamten Sohlbreite oder der Niederwasserrinne: Im nachfolgenden Vorprojekt für den ganzen Perimeter wird die Sohle von rund 9 m auf 22 bis 27 m verbreitert. Eine eigen-dynamische Sohlgestaltung ist langfristig erwünscht und möglich. Daher wurde eine Abdichtung der initiierten Niederwasserrinne als nicht sinnvoll und nachhaltig beurteilt.
- Absenkung der Gewässersohle auf ein Niveau nahe des Grundwasserspiegels.
- Auf das Entfernen von invasiven, nicht verbotenen Neophyten (*Schweizerische Eidgenossenschaft, 2022*) wurde bei der Realisierung der Messstrecke verzichtet, da insbesondere grössere Robinien für die Beschattung sorgen. Bei der Umsetzung in den späteren Projekten werden diese voraussichtlich eliminiert.

Akzeptierte Risiken und Effekte:

- Es wird bewusst akzeptiert, dass sich die Niederwasserrinne durch den natürlichen Geschiebetrieb befüllen oder durch die Dynamik des Gewässers verlegen kann.
- Die bestehende Ufersicherung wurde trotz Bau-fälligkeit nicht erneuert. Somit wurde die Erosion der Ufer mit dem damit verbundenen Materialeintrag von der Seite in Kauf genommen.

- Die Massnahmen wurden auf das Q_{347} von 80 l/s ausgelegt. Die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit bei Hochwasser wurden nicht definiert, da die Massnahmen als temporär im Sinne von Testobjekten installiert wurden. Die Sohle wird in der nachfolgenden Projektierung verbreitert.

4. Messprogramm und -Methoden

4.1 Wassermenge

Drei Messquerschnitte befanden sich in der Messstrecke (km 5'400, km 5'300, km 5'200) und zwei unterhalb der Messstrecke bei km 5'050 und km 4'450. Ausserdem befindet sich in Eiken eine kantonale Messstelle bei km 3'750 (Bild 6).

Es wurden drei Abflussmessungen durchgeführt:

- Eine Nullmessung am 28.03.2022 vor Beginn der Bauarbeiten: In der Nähe der späteren Sohlgurte wurde ein ADCP-Messboot (Acoustic Doppler Current Profiler) eingesetzt.
- Zwei weitere Messungen am 19.07.2022 und 29.08.2022: Hier war der Wasserstand zu niedrig für das Messboot; es wurde die Menge im Niederwasserauschnitt der Sohlgurte gemessen (Pegel plus magnetisch-induktive Durchflussmessung).

Aufgrund des geringen Abflusses im Juli und August beträgt die Messtoleranz +/- 10 Prozent.

Zusätzlich zu den gemessenen Werten wurde der Abfluss oberhalb der Messstelle bei km 7'100 berechnet. Die Wassermenge bei km 7'100 ist das Summenergebnis der kantonalen Messstellen in Hornussen (Sissle, FG 0342), am Bruggbach (Gipf-Oberfrick, FG 0344) und Stafelleggbach (Frick, FG 0341), (Teledyne FLIR, 2022). Die summierten Abflüsse werden hier vereinfachend

für den km 7'100 angenommen. Weitere kleine Seitenbäche auf der Strecke zwischen km 7'100 und km 4'200 hatten bei den trockenen Verhältnissen vernachlässigbare Zuläufe (wenige l/s).

Bei km 3'750 sind die Daten der Messstelle in Eiken ausgewiesen.

4.2 Beschattung

Die Dokumentation der Beschattung ist eine Momentaufnahme. Je nach Uhrzeit und Verlauf der Sonnenbewegung ändert sich die Schattenlage und -qualität innerhalb kurzer Zeit um mehrere Zentimeter. Ebenso sind Vergleiche zwischen verschiedenen Tagen schwierig, weil sich die Lage der Erdachse zur Sonne verändert.

Analyse der Beschattung im Luftbild

Der Perimeter wurde am 27.07.2022 und 11.08.2022 mit einer Drohne überflogen und die Bilder georeferenziert. Die Bilder wurden im GIS analysiert. Die Schattenqualität wurde optisch beurteilt und differenziert in «Vollschatten», «Halbschatten» und «kein Schatten».

Aufnahmen der Beleuchtungsstärke, Bestrahlungsstärke und Aufnahmen mit der Infrarotkamera (Temperatur-Quer- und Längsprofile)

Es wurden an zwei Tagen mehrere Querprofile im Bachbett und Schattenlängsprofile aufgenommen. Dabei wurde die Beleuchtungsstärke in Lux und die Bestrahlungsstärke in W/m^2 gemessen. Ausserdem wurden Infrarotbilder mit einer Wärmebildkamera aufgenommen, um die Oberflächentemperaturen zu bestimmen.

Erläuterungen zu den Infrarotaufnahmen: Wärmebilder sind eine Messung der Intensität der Infrarotstrahlung, die von einem Punkt ausgeht, und erlauben die Deutung der Temperatur.

Das Verfahren hat Grenzen: Bei starker Sonneneinstrahlung sind die Strahlungswerte ausserhalb des messbaren Bereichs. Ausserdem ist die Infrarotkamera nicht exakt positionierbar.

Um eine absolute und exakte Temperatur eines Objekts zu erhalten, müssen die Messungen aufwändig vorbereitet und durchgeführt werden. Das liegt daran, dass die berührungslose Messmethode mit einer Wärmebildkamera (FLIR i7) die Wärmestrahlung misst, die aus drei Komponenten besteht:

- Der Wärmestrahlung des Messobjekts («gewünschte Messung») und zwei Störungen:
- Die Temperatur der Atmosphäre (wobei die Atmosphäre zusätzlich als Dämpfungs- und Dispersionsmedium wirkt).
- Die reflektierte Strahlung anderer Wärmequellen (Sonne, Gebäude, Strassen etc.), siehe *Teledyne FLIR (2022)* und *Temperature Guns versus thermal imaging Technology (2022)*. Die Einflüsse der Störgrössen müssen entweder genau gemessen, unterbunden oder modelliert werden. Für die Sissle wurden Standardmodelle und Standardwerte verwendet.

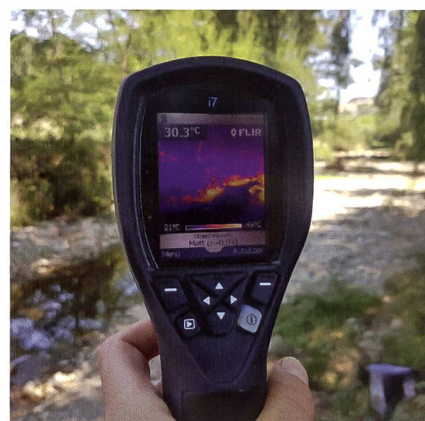


Bild 4: Aufnahme mit der Infrarotkamera.

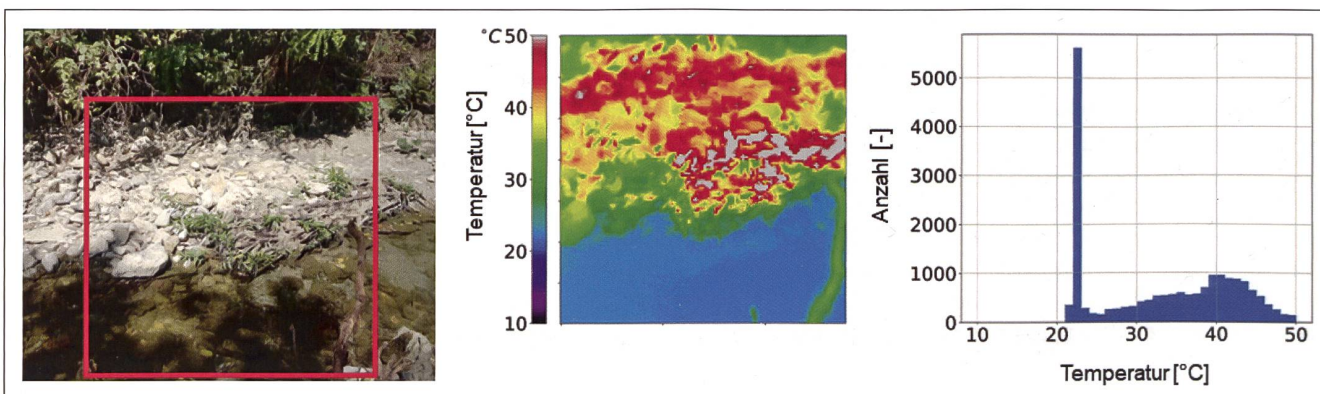


Bild 5: Beispielbild einer Infrarotaufnahme: Das rot eingetragene Quadrat zeigt den gewählten Ausschnitt, welcher mit der Wärmebildkamera aufgenommen wurde. Das mittlere Bild zeigt die Infrarotaufnahme des Abschnitts. Gut zu erkennen ist die kühlere benetzte Fläche (blau). Das Histogramm zeigt die Verteilung der Anzahl Pixel der jeweiligen Temperatur.

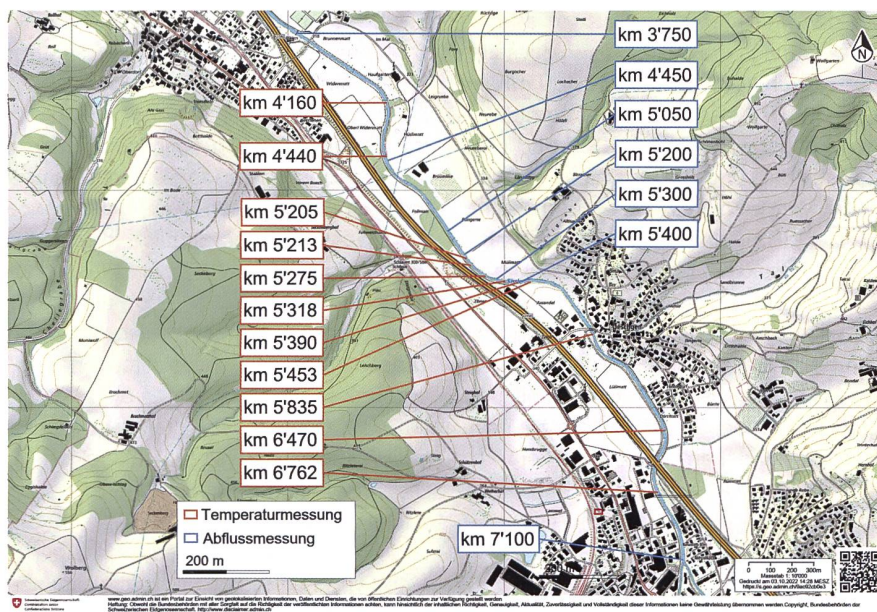


Bild 6: Messstandorte Temperaturlogger und Abflussmessung.

Die Infrarotkamera verwendet pro Aufnahme eine andere Skala. Die Infrarotaufnahmen wurden so aufbereitet, dass in allen Aufnahmen dieselbe Temperaturskala verwendet wird. Dies war notwendig, um eine Auswertung und einen Vergleich von kühlen und warmen Orten zu ermöglichen. Ausserdem wurde die Anzahl an Pixel statistisch ausgewertet und in einem Histogramm dargestellt. Somit können die Bilder sowohl optisch als auch qualitativ beurteilt werden. Die Skala der Häufigkeit variiert in den nachfolgend dargestellten Bildern.

Die Beschattungsmessungen lassen keine fundierten Rückschlüsse zu. Allerdings lässt sich qualitativ die Schattenqualität aufzeigen.

4.3 Temperaturlogger im Wasser

Innerhalb der Messstrecke wurden fünf Temperaturlogger (Produkt HOBO) im Wasser installiert. Ergänzt wurden sie mit mehreren Referenzpunkten unter- und oberhalb der Messstrecke. Für die Auswertung wurden die Logger bei km 6'762, 6'470, 5'835, 5'453, 5'390 (Messstrecke,

Pool oben), 5'318 (zwischen Pool oben und Pool Mitte), 5'275 (Pool Mitte), 5'213 (Zulauf Pool unten), 5'205 (Pool unten), 4'440 und 4'160 verwendet (Bild 6). Die Messungen erfolgten alle 10 Minuten zwischen dem 29.06.2022 und 31.08.2022.

5. Messergebnisse

5.1 Wetter und Wasserführung während der Messperiode

Bettbildende Abflüsse

Die Realisierung der Messstrecke erfolgte Mitte Juni bis Anfang Juli 2022. Unmittelbar während der Ausführung ereigneten sich mehrere kleine Ereignisse mit erhöhten Abflüssen (2 bis 5,5 m³/s), welche die Sissle nutzte, um eigene Strukturen zu gestalten: Die Niederwasserrinne wurde mit 1,8 m etwas breiter, ausserdem wurde der oberste Pool teilweise mit Geschiebe gefüllt.

Trockener Sommer 2022

Ab Mitte August war es so trocken, dass etwa die halbe Länge der Messstrecke

trockenfiel. Der Pool Mitte hatte Mitte August einen sehr geringen Zulauf und Auslauf. Dieses Restwasser versickerte im unteren Drittel der Messstrecke. Der Pool unten war ohne Zulauf. Dieser Pool wurde nicht abgedichtet. Ein geringer Restwasserstand verblieb im Pool. Der Wasserstand war jedoch deutlich tiefer als eine Woche zuvor, als der Pool unten durchströmt wurde (Fotovergleich Bild 8). Die gemessene Temperatur im Pool stieg an diesem Tag bis 25,1 °C (Lufttemperaturmaximum in Buchs AG: 30,7 °C); in den umliegenden Tagen lag die Temperatur bei etwas mehr als 22 °C. Der Zulauf zum Pool unten entfiel nur am 17.08.2022 (gemäss Temperaturmessungen).

Der Grundwasserstand in Frick lag am 17.08.2022 bei 333,25 m ü. M., sein Tiefstwert 6 Tage vorher lag bei 333,04 m ü. M. Aufgrund dieser geringen Schwankung ist es unwahrscheinlich, dass das Trockenfallen mit dem Grundwasser zusammenhängt.

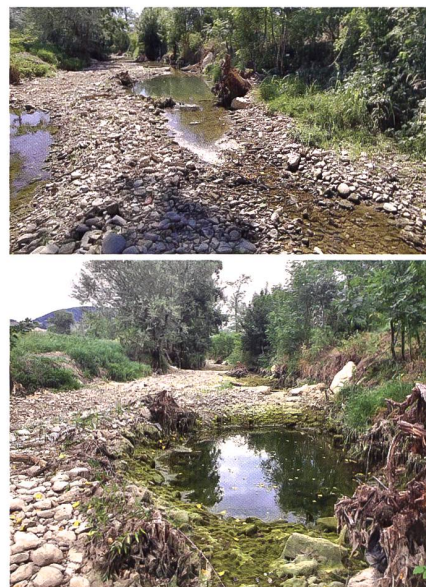


Bild 8: Pool unten: oben am 11.08.2022 (mittags) – unten am 17.08.2022 (abends).

5.2 Wassermengen und Versickerung

Bild 9 zeigt die gemessenen Abflüsse im Längsverlauf und die aus den Abflussmengen abgeleiteten Versickerungsraten im Längsverlauf. Bild 10 visualisiert den Grundwasserstand in Frick.

Nullmessung vor der Realisierung der baulichen Massnahmen

Am 28.03.2022 nahm die Wassermenge zwischen km 7'100 und km 3'600 von rund 0,3 auf 0,2 m³/s ab. Die Versickerungsrate auf dieser Strecke betrug zwischen 0,03 und 0,11 l/(100 m²), die Versickerung fand vor allem unterhalb der Messstrecke statt.



Bild 7: Oberer Perimeterrand der Messstrecke, nach Realisierung der Massnahmen. Blick in Fliessrichtung.

Der Grundwasserspiegel der nächstgelegenen Messstelle (Frick, Neumatt II, FG_0341) lag in diesem Zeitraum bei etwa 333,6 m ü. M.

Messungen 1 und 2 nach der Realisierung der baulichen Massnahmen

Bei der Messung 1 am 19.07.2022 verringerte sich der Abfluss oberhalb der Messstrecke nicht (analog zur Nullmessung), halbierte sich aber innerhalb der Messstrecke auf kurzer Distanz von ca. 0,1 auf 0,05 m³/s, und versickerte bis weiter unten kontinuierlich.

Bei der Messung 2 am 29.08.2022 zeigte sich ein anderes Muster, der Abfluss verringerte sich von ca. 0,1 m³/s fast kontinuierlich über die ganze Strecke.

Bei den Messungen 1 und 2 variierte die Versickerungsrate oberhalb der Messstrecke zwischen 0,0 und 0,05 l/(100 m³). Im Bereich der Messstrecke betrug die Versickerungsrate zwischen 0,15 und 0,5 l/(100 m³). Die Versickerungsraten waren somit im Vergleich zur Nullmessung erhöht.

Der Grundwasserspiegel Neumatt II lag bei beiden Messungen bei rund 333,4 m ü. M. und damit deutlich unterhalb des Mittelwerts über die letzten zehn Jahre von 333,8 m ü. M., jedoch nur 0,2 m über dem Wert während der Nullmessung. Ein Zusammenhang des Grundwasserspiegels mit der erhöhten Versickerungsrate bei Messung 1 und 2 ist unwahrscheinlich.

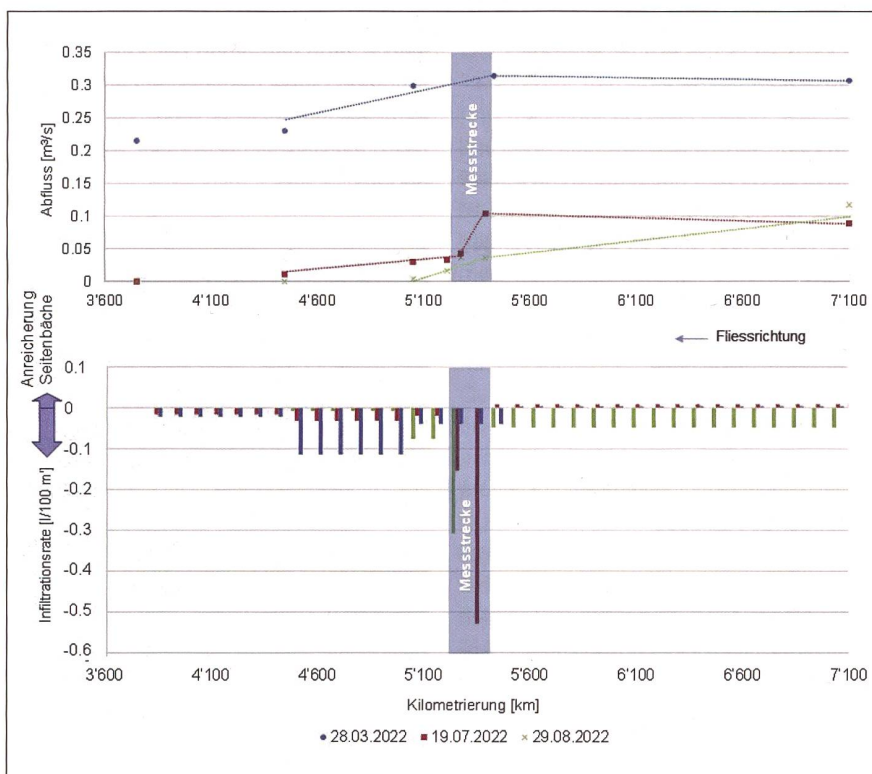


Bild 9: Oben: Wassermengen im Längsverlauf zwischen km 7'200 und km 3'600. Messungen im Juli und August 2022 mit einer Genauigkeit von ± 10 Prozent. Unten: Versickerung (Infiltration) und Anreicherung entlang der Sissle zwischen km 7'100 und km 3'600.

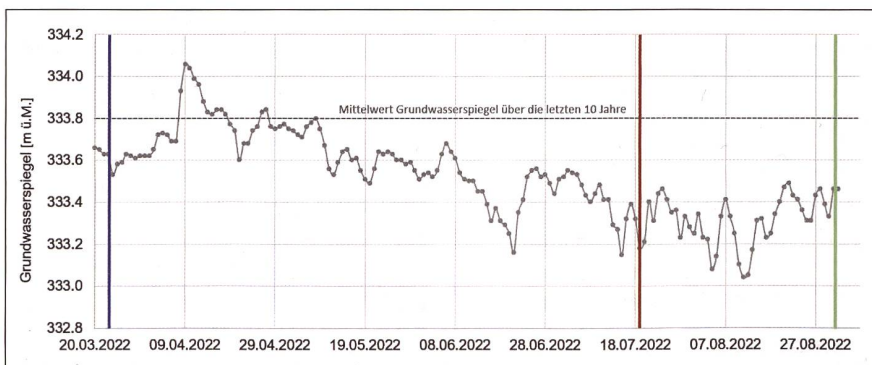


Bild 10: Kantonale Grundwassermessstelle Neumatt II in Frick, mit Eintrag der Messtage der Wassermengenmessung.

5.3 Beschattung

Ergebnis der Beschattungs-Analyse im Luftbild

Durch die geringeren Abflüsse nach dem Umbau (Trockenheit) sowie deren Sammlung in der realisierten Niederwasserrinne sind Wasserflächen deutlich kleiner geworden. Die Energie, die dem Wasser zugeführt wird (und somit auch die Erwärmung) dürfte also geringer sein. Wie die in *Tabelle 2* zusammengestellten Analyseergebnisse zeigen, konnten die realisierten Massnahmen den Anteil der beschatteten Wasserfläche aber nicht steigern.

Der Anteil der beschatteten Wasserfläche zum Aufnahmezeitpunkt (14:00 Uhr und 16:30 Uhr) kann im Vergleich zum Zustand vor den Bauarbeiten als gleichbleibend beurteilt werden (16:30 Uhr) oder wurde verringert (14:00 Uhr). Aus diesem Grund wird auf eine Analyse verzichtet.

	Messung um 14:00 Uhr		Messung um 16:30 Uhr	
	vor Umbau	nach Umbau	vor Umbau	nach Umbau
Wasserfläche [m²]	1860	646	1860	646
Wasserfläche im Vollschatten [m²]	442	66	460	156
Wasserfläche im Halbschatten [m²]	342	127	443	150
Schattenanteil (Summe Voll- und Halbschatten)	42 %	30 %	48 %	48 %

Tabelle 2: Beschattungsflächen in der Messstrecke.

Auswertung der Infrarotaufnahmen im Längsprofil

Der Vollschatten im Längsprofil wurde zu zwei Zeitpunkten gemessen: 14:45 Uhr und 15:15 Uhr. Die Anordnung und die Ergebnisse sind in *Bild 11* dargestellt. Punkte A und B liegen zum ersten Zeitpunkt bereits ein bis zwei Stunden im Vollschatten. Punkte C und D liegen im guten bis schlechten (viele Sonnendurchbrüche) Halbschatten.

Es ergibt sich ein deutliches Bild: Innerhalb einer halben Stunde wärmt sich der Untergrund an allen gemessenen Punkten A bis D um durchschnittlich 2°C auf, unabhängig davon, ob sich der Punkt im Voll- oder Halbschatten befindet.

Auswertung der Infrarotaufnahmen im Querprofil

Die Aufnahmen des Querprofils bei km 5'365 bilden ein Schattenprofil mit den

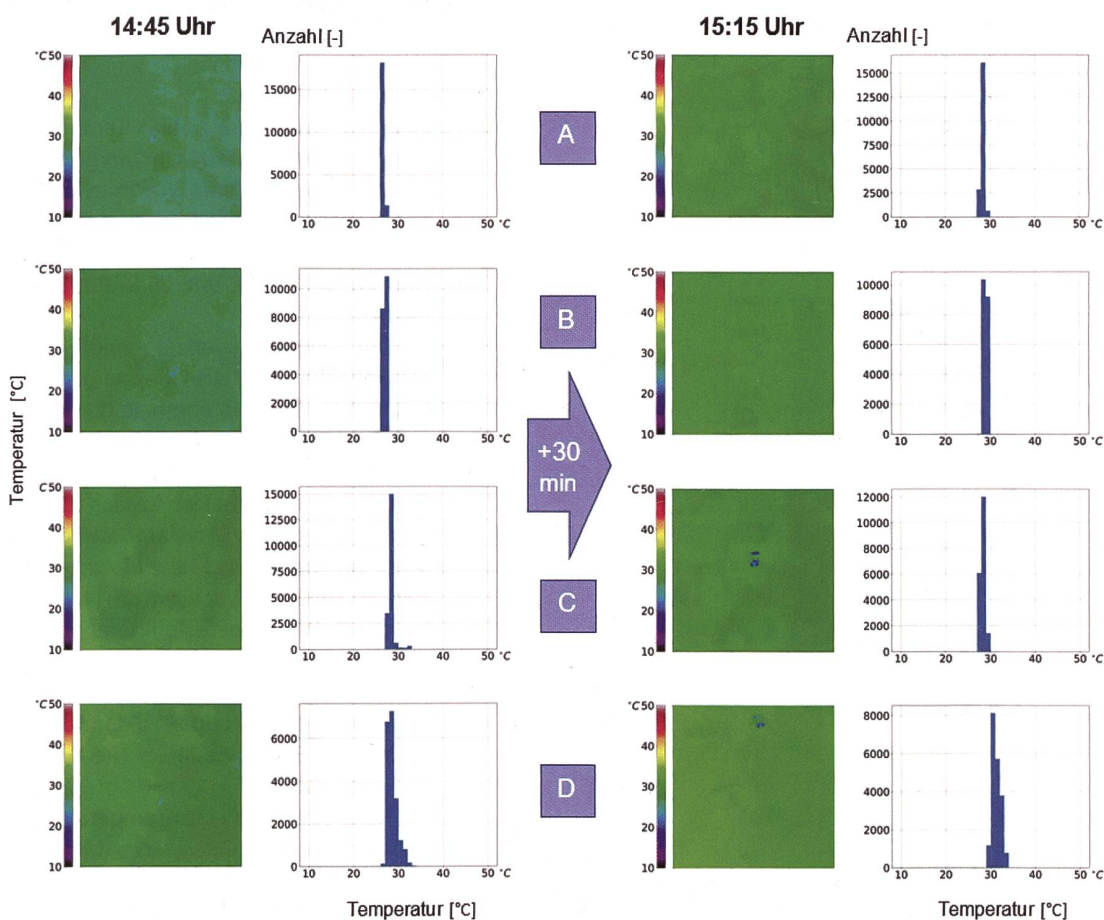
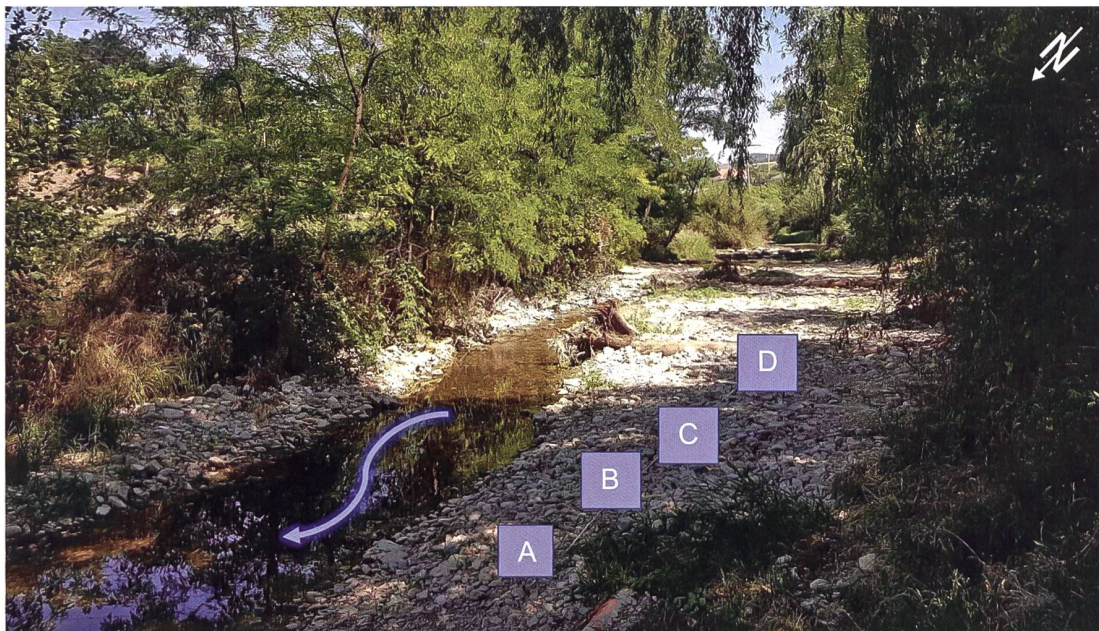


Bild 11: Längsprofil Schattenverlauf um 14:45 Uhr und 15:15 Uhr bei km 5'365. Die Peaks der Histogramme sind an allen Messorten bei der späteren Aufnahme weiter rechts angeordnet bzw. ist der Anteil Hellgrün grösser. Die Farbdarstellung der Infrarotaufnahme wird entsprechend heller.

Messpunkten E bis I ab (Bild 12). Im Bereich der Punkte E und F im Bild ist Vollschatten und im Bereich der Punkte G bis I ist Halbschatten mit wechselnder Sonneneinstrahlung. Die Bestrahlungsstärke nimmt von E bis I zu. Die Beleuchtungsstärke nimmt ebenso zu, bei Punkt H und I ist sie jedoch eingeschränkt messbar aufgrund einzelner Sonnendurchbrüche, die eine Überlast des Messgeräts verursachen. Die Aufnahmen der Wärmebildkamera zeigen

eine deutlich höhere Temperatur von E bis I von durchschnittlich 25°C bei Punkt E bis 33°C bei Punkt I. Die Temperatur ist im Vollschatten also 8°C tiefer als im Halbschatten.

5.4 Temperaturlogger im Wasser

Messpunkte

In Bild 13 sind die Temperaturmesswerte an zwei Tagen (16.07.2022 und 25.07.2022)

entlang der Sissle zwischen km 6'762 und km 4'440 dargestellt. Unterhalb der Messstrecke ist nur ein Referenzpunkt bei km 4'160 eingeschränkt auswertbar. Des Weiteren sind einzelne Logger von Dritten demontiert worden (z. B. km 5'390). Die Bedingungen an den gemessenen Punkten variieren stark: So liegt einer der Referenzpunkte unterhalb einer Brücke (km 5'835) und mehrere Punkte liegen im Perimeter, der bei Trockenphasen trockenfällt.



Weitere Messpunkte unterhalb der Messstrecke wurden nicht ausgewertet, da über viele Tage kein Abfluss vorhanden war.

Ausgewähltes Messdatum

Für die Auswertung wurden Tage gewählt, an denen möglichst viele Logger auswertbar waren. Gemäss MeteoSchweiz (*Temperature Guns versus thermal imaging Technology*, 2022) war der 19.07.2022 mit 35,5°C einer der drei heissesten Tage im Jahr 2022 (Messstation Buchs/Aarau). Da einzelne Temperaturlogger während der Messperiode ausfielen, liegen für diesen Tag am meisten Daten vor. Für einen Temperaturvergleich wird darum der 19.07.2022 gewählt.

Innerhalb der Messperiode waren die Temperaturen im Wasser im Tagesverlauf inklusive der umliegenden Nächte am 25.07.2022 am höchsten.

Messergebnisse

Generell wurde die tiefste Temperatur zwischen 7:00 und 8:00 Uhr morgens gemessen, die höchsten Werte zwischen 17:00 und 18:00 Uhr. In Bild 13 ist der Temperaturverlauf zwischen 8:00 und 20:00 Uhr am 19.07.2022 und 25.07.2022 dargestellt.

Der Temperaturverlauf innerhalb der Messstrecke ist bei allen Messungen ähnlich. Die Messungen oberhalb der Messstrecke zeigen geringere Werte, die Werte unterhalb der Messstrecke liegen höher. Das Wasser erwärmt sich folglich entlang des Fließwegs. Die Messung bei km 5'835 (unter Brücke, oberhalb der Messstrecke) zeigt im Mittel und vor allem am Nachmittag deutlich niedrigere Temperaturen als die anderen Logger. Die Logger in den drei Pools zeigen generell keine statistisch relevanten Abweichungen zu den Temperaturen der Standorte in der Niederwasserrinne.

Bei Betrachtung des Temperaturverlaufs entlang des Gewässers (Messung am 19.07.2022, Bild 14) wird die Erwärmung über den Gewässerverlauf bestätigt. Insbesondere unterhalb der Messstrecke steigt die Temperatur stark auf bis zu 26,6°C.

Der Messpunkt bei km 5'835 (Brücke) sticht wegen der niedrigeren Werte (maximaler Tageswert bei 21,8°C) heraus. Er ist aufgrund der Lage stark beschattet. Die Messwerte in Bild 13 und Bild 14 zeigen, dass ab etwa 14:00 Uhr eine deutlich tiefere Temperatur als an den Messstellen im Oberwasser und Unterwasser gemessen wurde.

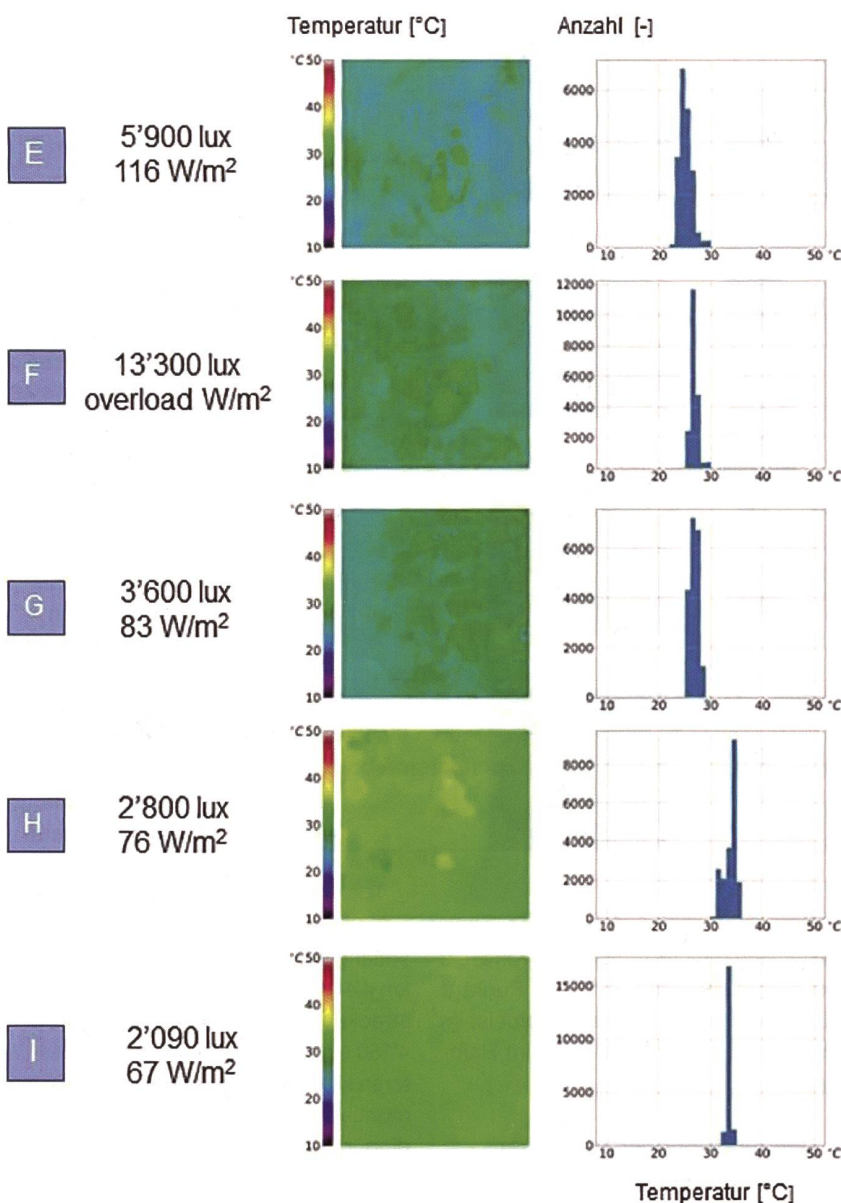


Bild 12: Querprofilaufnahme bei km 5'365 mit Beleuchtungsmessungen, Bestrahlungsmessungen und Temperaturaufnahmen mit Infrarotkamera.

5.5 Abdichtung der Pools

Die Pools oben und Mitte wurden während der Testphase ständig durchströmt. Nur der Zulauf zu Pool unten war über einen Zeitraum von etwa einem Tag unterbrochen. Somit ist eine Auswertung des Abdichtungseffekts bei Pool oben und Mitte nicht möglich. Der Pool unten fiel nicht trocken, obwohl der Zufluss unterbrochen war und der Pool nicht abgedichtet ist.

6. Erkenntnisse für Projektierung und Messkampagnen

6.1 Niederwasserrinne

Ziele

Ziel der neu erstellten Niederwasserrinne war eine Reduktion der überflossenen Fläche und somit langfristig die Reduktion der Versickerungsmenge. Gleichzeitig sollte in einem ähnlichen Mass die Verdunstung reduziert werden.

Bauliche Massnahmen

Die Niederwasserrinne wurde mit einer Breite von ca. 0,5m und einer Tiefe von 0,2m angelegt. Mit den verbauten Strukturen wird die Eigendynamik des Gewässers unterstützt. Daher wurde auch die Niederwasserrinne nicht durchgehend gesichert, sondern nur ausgehoben und mit Strukturmassnahmen ergänzt. Grössere Abflüsse, welche etwa 20-mal im Jahr vorkommen, haben diese unmittelbar nach Abschluss der Realisierung auf ca. 1,8m verbreitert. Dabei hat sich eine Rinentiefe von im Mittel 10cm eingestellt. Der Bach baut also mit!

Beobachtungen

Die Versickerung war nach Umsetzung der Messstrecke verstärkt.

Interpretation der Beobachtungen

Die Wassermengenmessung zeigt eine erhöhte Versickerung im Baubereich. Dies war in Anbetracht des Sohleingriffs rund zwei Monate vor der zweiten Messung zu erwarten. Die Baumassnahmen in der kiesigen Sohle der Sissle haben die ohnehin schon hohe Versickerungsrate nochmals erhöht. Der Effekt der erhöhten Versickerung ist – mindestens innerhalb des Zeitraums des Messprogramms – so stark, dass die Reduktion der überflossenen Fläche und somit auch Verdunstungsfläche übersteuert wird.

Vermutlich ist die natürliche Kolmation aufgrund des auf die Niederwasserrinne konzentrierten Fliessquerschnitts langfristig reduziert, da die Fliessgeschwindigkeit

wesentlich höher ist als beim kanalisierten Profil und sich Feinsedimente weniger ablageren können.

Empfehlungen

Bei der Messstrecke wurde auf den Einbau einer Abdichtung verzichtet, da in der kommenden Projektierung die Sohle verbreitert wird. Im Referenzzustand bilden sich neue Strukturen (*Hunziker Zarn und Partner, 2019*). Eine Niederwasserrinne wird lediglich als Initialrinne zur eigendynamischen Entwicklung angelegt. Somit wäre eine Abdichtung eine aus baulicher Sicht «verlorene» Massnahme.

Verallgemeinert auf andere Projekttypen ist abhängig von den lokalen Randbedingungen abzuwägen, ob bei Strecken mit grosser Versickerung die Versickerung durch den Einbau einer Abdichtung im Bereich der Niederwasserrinne allenfalls reduzierbar ist. Diese Massnahme kann die verstärkte Versickerung aufgrund einer geöffneten Kieselsohle reduzieren bis zum Eintreten der natürlichen Kolmation. Wenn die Abdichtung ohne Erosionssicherung eingebaut wird, unterbricht sie den natürlichen Sohlstrukturierungsprozess nicht. (Vergleich mit Totfaschinen, die den Anwuchsprozess einer natürlichen Ufersicherung überbrücken.) Eine bauliche Abdichtung zur Überbrückung des Zeitraums bis zur Entwicklung einer natürlichen Sohlabdichtung kann in einzelnen Fällen sinnvoll sein: Zum Beispiel ist bei beengten Verhältnissen, in denen ohnehin nicht die natürliche Regimebreite erreichbar ist, die natürliche Sohlstrukturierung meist wenig ausgeprägt. In diesem Fall hat eine bauliche Abdichtung der Niederwasserrinne eine grössere Lebensdauer als bei Gewässern mit einer ausgeprägten Dynamik wie der Sissle.

6.2 Beschattung

Ziele

Mit der Vergrösserung der beschatteten Fläche sollte eine reduzierte Aufwärmung oder gar Temperaturreduktion erreicht werden.

Bauliche Massnahmen

Die Niederwasserrinne wurde – soweit möglich – entlang der vorhandenen Beschattung geführt. Aufgrund der kurzen Messperiode konnte keine wirksame neue Beschattung gepflanzt werden.

Beobachtungen

Im Bereich von Einzelschatten stieg die Oberflächentemperatur auch ohne direkte Sonneneinstrahlung im gesamten beschatteten Bereich an.

Interpretation der Beobachtungen

Ein abkühlender Effekt von Halbschatten bzw. Einzelschatten konnte nicht nachgewiesen werden. Der Grund dazu ist der «Nachbrenn»-Effekt der Umgebungsstrahlung (*Moosmann, Schmid, Wüest, 2005*). Sobald Sonnenstrahlen auf die Oberfläche der Umgebung treffen, das heisst auch bei Halbschatten, wärmt sich die Umgebung auf und strahlt Wärme ab. Beim Temperaturlogger unterhalb der Brücke konnte der abkühlende Effekt beobachtet werden.

Empfehlungen für die Projektierung

Wenn durchgehender Vollschaten auf einem Abschnitt von mehreren Metern besteht, kühlt das Wasser im Bach in diesem Bereich ab. Um diesen Effekt zu erzielen, sind Abschnitte mit sehr guter durchgehender Beschattung (Wald) vorzusehen. Bereiche mit Einzelschatten sind sicherlich aus diversen anderen Gründen empfehlenswert. Einen abkühlenden Effekt auf das Gewässer haben sie jedoch nicht oder nur unwesentlich.

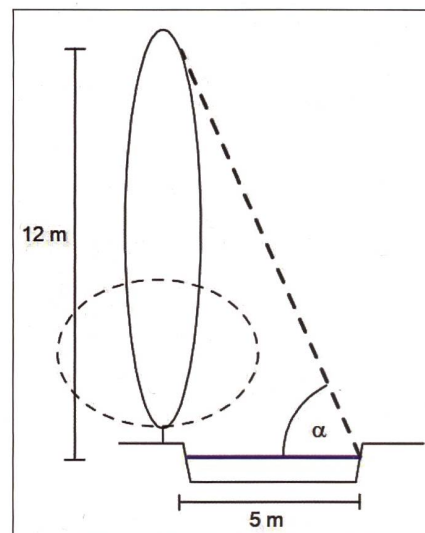


Bild 15: Bei einem Sonnenwinkel α von 67° über der Horizontalen ist bei einer Sohlbreite von 5 m eine Höhe der Bepflanzung von rund 12 m notwendig (*Moosmann, Schmid, Wüest, 2005*).

Damit ein 5 m breites Gewässerbett auch bei Sonnenhöchststand (Sonne im Süden) vollständig beschattet wird, muss die Bepflanzung etwa 12 m hoch sein (*Moosmann, Schmid, Wüest, 2005*). Mit einer breiteren Gewässersohle erhöht sich dieser Wert entsprechend. Eine einseitige Beschattung erreicht noch nicht die Qualität eines Vollschatens. Um diesen zu bewirken, ist eine beidseitige Uferbepflanzung notwendig.

Bei einer grossen Sohlbreite erzielt auch die beidseitige Bepflanzung keine Vollbeschattung. Allenfalls kann bei aus-

reichenden Platzverhältnissen innerhalb der Sohle Schatten erzeugt werden, beispielsweise durch gut bewachsene Inseln. Je nach lokalen Verhältnissen benötigt dies erhöhte Hochwasserschutzmassnahmen aufgrund des dann stärker bewachsenen Querschnitts und der somit grösseren Rauigkeit.

Die benötigte Bepflanzungshöhe ist im Rahmen von Revitalisierungsprojekten nicht kurzfristig erreichbar. Es ist somit wesentlich, dass die Bepflanzung und der Gewässerunterhalt langfristig geplant werden. Aufgrund der oft mehrere Jahre dauernden Projektierungs- und Bewilligungsphase sind vorgezogene Bepflanzungsprogramme zu prüfen.

Die Platzierung einer Niederwasserrinne entlang bestehender Beschattung schränkt den Planungsspielraum für den Verlauf der Niederwasserrinne stark ein. Aufgrund der Erkenntnis, dass Halbschatten keinen abkühlenden, sondern höchstens temperaturhaltenden Effekt hat (*Kanton Aargau, 2022*) und langfristig ohnehin eine vom Gewässer gestaltete Niederwasserrinne erreicht werden soll, kann im Falle der Sissle die initiale Niederwasserrinne ohne Beachtung des Schattenverlaufs angelegt werden.

Empfehlungen für weitere Messkampagnen

Die Messung der Beschattung (Verlauf und Qualität) ist abhängig von mehreren Faktoren wie dem Sonnenstand, der Eichung sowie den technischen Möglichkeiten der Messgeräte, um nur einige zu nennen. Die Aufstellung und Anwendung der Geräte und die Datenverarbeitung müssen sorgfältig durchdacht sein, um vergleichbare Datensätze zu gewinnen.

Es ist sinnvoll, den Nachbrenneffekt der Umgebungsstrahlung besser zu quantifizieren. Weitere Untersuchungen zum Wirkungssperimeter dieses Effekts können dazu beitragen, die notwendige Abschnittslänge eines Vollschatteins zur gewünschten Abkühlung zu beurteilen.

6.3 Temperaturlogger im Wasser

Ziele

Mit den Temperaturloggern wurden Daten im Bereich der Niederwasserrinne, in beschatteten Bereichen und in den Pools für die Interpretation des Massnahmeneffekts gesammelt.

Bauliche Massnahmen

Die Logger wurden an Bewehrungsseilen befestigt und im Untergrund verankert.

Beobachtungen

Im Bereich von Halbschatten stieg die im Wasser gemessene Temperatur entlang des Fliesswegs nicht oder kaum an. Im Vollschatteins reduzierte sich die Temperatur.

Unterhalb der Messstrecke stieg die im Wasser gemessene Temperatur stark an.

Interpretation der Beobachtungen

Im Bereich von Vollschatteins wird eine Abkühlung entlang des Fliesswegs erreicht.

Die Erfahrungen der Messungen an der Sissle führen zu folgender Hypothese: Ein abkühlender Effekt, der zum Beispiel bei Eindolungen nachgewiesen ist (*Mende, Sieber, 2021*), kann mit einer Vollbeschattung auch an offenen Fliessgewässern erreicht werden. Die Vollbeschattung bezieht sich dabei auf den gesamten Querschnitt des Gewässers.

Es wird vermutet, dass der starke Temperaturanstieg im Wasser unterhalb der Messstrecke vorwiegend auf die sehr geringe Wassermenge im Sommer 2022 zurückgeführt werden kann. Die Messwerte aus diesem Bereich sind entsprechend mit Vorsicht zu interpretieren.

Empfehlungen

Bei der Wahl des Standortes für die Temperaturlogger ist auf die Wasserführung, die Vermeidung direkter Sonneneinstrahlung, die Abstrahlung der Umgebung, die Einbautiefe und auf den Diebstahlschutz/Schutz vor Sachbeschädigungen zu achten. Unter Berücksichtigung aller Aspekte ist ein Idealstandort in der Regel nicht vorhanden. Aufgrund der nicht vermeidbaren Beeinflussung durch die Umwelt ist es sinnvoll, die Daten innerhalb eines Interpretationsspielraumes zu betrachten.

Die Erfahrungen der Messstrecke an der Sissle führen zu folgenden Anregungen für ähnliche Messkampagnen:

- Logger so tief wie möglich einbauen.
- Regelmässig die Funktionstüchtigkeit kontrollieren (mindestens wöchentlich).
- Eine ausreichende Zahl an Loggern einbauen sowohl in der Messstrecke als auch in den oben- und untenliegenden Referenzstrecken. Die Lage der Logger muss sehr genau geplant werden, um lokale Effekte bei der Interpretation der Messergebnisse zu berücksichtigen.
- Sonnenschutz oberhalb der Temperaturlogger vorsehen, auch wenn die Messungen unter Wasser vorgenommen werden.

6.4 Einsatz der Infrarotkamera

Ziele

Mit der Infrarotkamera wurden Aufnahmen der Umgebungstemperatur gemacht, um

die räumliche Ausdehnung eines Sonnen-Schatteneffekts zu dokumentieren.

Bauliche Massnahmen

Die Messungen erfolgten mit einer Handkamera.

Beobachtungen

Der Einsatz einer Infrarotkamera vor Ort ist anspruchsvoll (Was sind sinnvolle Messstandorte?). Die Bildaufnahmen müssen am Computer aufbereitet werden, um sie miteinander vergleichen zu können.

Interpretation der Beobachtungen

Die Infrarotbilder haben den Nachbrenneffekt in Schattenbereichen, die entweder kurze Zeit vorher besonnt oder in der Nähe von besonnten Bereichen waren, dokumentiert.

Empfehlungen

Im Feld soll die zu interpretierende Fläche abgesteckt werden, damit die Bilder später miteinander verglichen werden können. Dazu eignen sich Gegenstände, welche eine andere Temperatur als die Umgebung aufweisen, wie z. B. ein Stein, welcher vorher im Wasser lag, als Markierung im trockenen (aufgeheizten) Kiesbett. Durch eine flächige Drohnenaufnahme mit einer Infrarotkamera können vermutlich konsistentere Datenbilder erzeugt werden.

7. Fazit

Neben dem Klimawandel tragen weitere von Menschen beeinflusste Faktoren zur Trockenheit der Sissle im Einzelnen und der Schweizer Gewässer generell bei. Der «Problemfluss» Sissle ist, wie fast jedes Gewässer in der Jurakette, vermehrt von Trockenheit betroffen. Der Sommer 2022 hat gezeigt, dass viele Fliessgewässer im Mittelland bei ausbleibenden Regenfällen ebenfalls trockenfallen.

Eine der notwendigen Massnahmen, um die angespannte Situation der Gewässer zu verbessern, ist die Revitalisierung mit Massnahmen zur Beschattung, Ausscheidung von Gewässerräumen und dem Schutz vor Immissionen.

7.1 Messstrecke und Massnahmen

Die anvisierte Trockenphase der Sissle ist zwar wie erhofft eingetreten, die Erkenntnisse aus der Messstrecke sind jedoch nicht so umfassend, wie erwartet. Einerseits ist das untersuchte Zeitfenster von rund drei Monaten sehr klein, andererseits lassen die Messergebnisse einen grossen Interpretationsspielraum zu. Dies liegt am

pilotprojektartigen Dokumentieren der Beschattung und an der extremen Wetterlage im Sommer 2022 mit sehr langer Trockenphase.

Teil- und Einzelschatten

In *Mende, Sieber (2021)* wird beschrieben, dass mit einer mittleren Beschattung von 40 bis 60 Prozent einer weiteren Erwärmung des Gewässers vorgebeugt werden kann. Dies kann mit den vorliegenden Messungen bestätigt werden. Ein abkühlender Effekt von Teil- und Einzelschatten auf die Temperatur des Gewässers ist nicht nachweisbar.

Vollschatten

Vollschatten über die gesamte Gewässbreite reduziert die Gewässertemperatur. Die Aussagen von *Moosmann, Schmid, Wüest, 2005* und *Mende, Sieber, 2021* wurden bestätigt.

Niederwasserrinne

Ein gewünschter Effekt des Wasserrückhalts durch den Einbau einer Niederwasserrinne war in der Testphase nicht nach-

weisbar. Stattdessen wurde die Versickerung verstärkt. Bei einer Fortsetzung der Messungen über die kommenden Jahre lässt sich eine Reduktion der Versickerungsmenge allenfalls feststellen.

7.2 Massnahmen an der Sissle in den Folgeprojekten

Mit einer abschnittswisen Vollbeschattung wird eine Abkühlung des Gewässers angestrebt. Es werden Waldbereiche vorgesehen, in denen die Bepflanzung mit grossen Bäumen erfolgt. Um auch bei grösseren Sohlbreiten eine gute Beschattung zu erzielen, sind Verzweigungen und begrünte Inseln in die Hochwasserschutzbetrachtung zu integrieren.

Weitere Massnahmen, um der Versickerung in Trockenphasen entgegenzuwirken, wie beispielsweise die Abdichtung der Niederwasserrinne, sind möglich, haben jedoch den zeitlichen und kostenmässigen Rahmen der Messstrecke gesprengt. Aufgrund des schnellen Leerlaufens des Einzugsgebiets bieten sich Massnahmen zur Verbesserung des Rückhalts an: Bepflanzung im Gesamtperimeter, Anpas-

sungen an Drainagesysteme, Einleitung von Quellwasser, Varianten der Bewirtschaftung, Entsiegelung von Flächen, um nur einige zu nennen. Die Erarbeitung eines Massnahmenfächers wird als sinnvoll erachtet.

Dank

Wir danken der Monitron AG für die Ausführung der Wassermengenmessungen, der OST für die Messgeräte zur Beschattungsmessung und dem Kanton Aargau für die Temperaturmessungen, die gute Zusammenarbeit und das Gegenlesen dieses Artikels. Es haben ausserdem an der Erarbeitung des Artikels und dessen Grundlagen mitgewirkt: *Mirjam Murer* (Überarbeitung der Grafiken und Lektorat), *Heiko Wehse* (Lektorat), *Stefan Hess* (Drohnen-aufnahmen).

Nebenbemerkung: In der Sissle ist seit Frühling 2021 die Krebspest ausgebrochen. Sämtliche Arbeiten im Gewässer erfolgten nach den Hygienevorgaben des kantonalen Veterinärdiensts.

Quellen:

Agis, Kanton Aargau, agis.ch/app/agisviewer4, August 2022
BAFU. Trockenheit im Sommer und Herbst 2018 – Auswirkungen und deren Bewältigung in der Schweizer Wasserwirtschaft, 2019.
Diebold P. Bitterli-Brunner P., Naef H.: Erläuterungen zum geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000, 1069 Frick, 2006.
Höhn E. H.: Hydrogeologische Untersuchungen im Gebiet westlich von Frick AG. Dissertation ETH Zürich n2. 6101, 1978.
<https://www.ag.ch/app/hydrometrie/station/>, September 2022.
MeteoSchweiz, <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home.html?tab=overview>
Hunziker Betatech AG (Fotos), 2022.
Hunziker Zarn und Partner AG: Sissle 2030: Ökologische und wasserbauliche Grundlagen, 2019.
Jäckli H., Kempf Th.: Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100'000. Blatt Bözberg-Beromünster. Hrsg. Schweiz. Geotechnische Kommission, 1972.

Kanton Aargau (Fotos), 2022.
Kanton Aargau, Departement, Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Landschaft und Gewässer, Revitalisierung Fließgewässer – Strategische Planung, Schlussbericht, 23. Dezember 2014.
Lorenz Moosmann, Martin Schmid, Alfred Wüest. Einfluss der Beschattung auf das Temperaturregime der Orbe, Eawag, 2005.
map.geo.admin.ch. August 2022.
Matthias Mende, Pascal Sieber. Kurzbericht: Wie halten wir unsere Fließgewässer kühl?, 29. April 2021.
Scherrer AG: Hydroökologische Verhältnisse der Sisseln zwischen Hornussen und Sisseln im Hinblick auf die wasserbauliche Aufwertung, Januar 2021.
Schweizerische Eidgenossenschaft: Verordnung über den Umgang mit Organismen in der Umwelt, (Freisetzungsverordnung, FrSV), vom 10. September 2008, Stand am 1. Januar 2022).
Tagesanzeiger: Flüsse und Bäche bleiben warm, Fischsterben werden sich häufen, 22.09.2022.

Teledyne FLIR, «Measurement formula», https://flir.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/3321/~the-measurement-formula, last visited 25.09.2022.
Temperature Guns versus thermal imaging Technology, http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/RND_048/RND_048_EN.pdf, last visited 25.09.2022.
Volkstimme aus dem Frickthal, 17.06.1893 (aus [Scherrer AG, 2021]).
WSL: Wälder schützen Pflanzen und Tiere vor Klimaerwärmung. <https://www.wsl.ch/de/newsseiten/2019/04/waelder-schuetzen-pflanzen-und-tiere-vor-klimaerwaermung.html#tabelle1-tab2>, 2019.
WWF. Factsheet: Kühler Kopf dankt dichtem Laub, 2017.

Autorinnen und Autoren:

Insa Will, Hunziker Betatech AG,
Pflanzschulstrasse 17, 8400 Winterthur
Dejan Šeatović, OST, ILT, Oberseestrasse 10,
8640 Rapperswil
Reto Albert, Hunziker Betatech AG