

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 115 (2024)
Heft: 4

Artikel: Améliorer la gestion des éclusées thermiques =
Temperaturschwankungen während Sunk und Schwall
Autor: Dorthe, David / Pfister, Michael / Lane, Stuart N.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1075082>

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: 03.04.2026

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



Visualisation de l'influence du rejet de la centrale sur la température de l'eau.

Améliorer la gestion des éclusées thermiques

Modélisation de la température d'un cours d'eau régulé | Les éclusées impactent non seulement le débit des cours d'eau en aval des centrales, mais aussi leur température. La modélisation de cette dernière peut donc constituer un outil d'aide à la décision pour la gestion actuelle et future des cours d'eau. Une étude a désormais montré qu'une telle modélisation était à même d'atteindre un haut niveau de fidélité.

DAVID DORTHE, MICHAEL PFISTER, STUART N. LANE

Dans le contexte de l'assainissement de la force hydraulique, les détenteurs de centrales hydroélectriques sont notamment tenus d'éliminer les impacts négatifs des éclusées sur les écosystèmes aquatiques (loi fédérale sur la protection des eaux LEaux, art. 39a). Ces modifications artificielles et rapides du débit dans un cours d'eau sont induites par la production intermittente d'hydroélectricité nécessaire pour répondre à la demande variable. Or, lorsque l'eau turbinée est captée dans un lac, sa température peut être différente de celle du cours d'eau récepteur au point de rejet. Ainsi, les variations de débit peuvent

être accompagnées d'une variation rapide de la température de l'eau dans le cours d'eau récepteur, appelée éclusée thermique (ou thermopeaking).

Pour agir efficacement contre les impacts des éclusées thermiques, les détenteurs de centrale doivent pouvoir identifier des variantes d'assainissement efficaces sous le climat actuel ainsi que dans le contexte du changement climatique. Il est donc nécessaire de disposer d'outils de modélisation numérique permettant d'analyser l'évolution future de la température du cours d'eau ainsi que de tester l'efficacité de différents scénarios d'assainissement de la production hydroélectrique.

Site d'étude et récolte de données

Dans cet objectif, une étude a été consacrée au tronçon de la Sarine situé entre le barrage de Rossens et le barrage de la Maigrauge, en ville de Fribourg (figure 1). Sur ce tronçon d'environ 22 km, la Sarine présente une végétation importante sur ses berges et s'écoule dans une gorge d'une profondeur de 50 à 100 m. Le périmètre d'étude comprend également la centrale hydroélectrique de Hauterive, qui turbine des eaux acheminées depuis le lac de la Gruyère par une galerie d'une longueur de 6 km, avant de les restituer à la Sarine. Entre Rossens et Hauterive,

cette dernière est donc soumise à un débit de dotation quasi constant compris entre 2,5 et 3,5 m³/s, alors qu'en aval de Hauterive, le tronçon est soumis aux éclusées avec des débits turbinés pouvant atteindre 75 m³/s.

Des données de température ont été récoltées sur ce tronçon de la Sarine depuis 2016. Des sondes de mesure ont en effet été placées dans différentes sections en amont et en aval du rejet afin de mesurer les variations de température de l'eau avec une résolution temporelle de 10 min. Les données récoltées permettent naturellement de caractériser l'impact des éclusées sur la température du cours d'eau, mais elles ont surtout servi à calibrer et à valider un modèle numérique de prédiction de la température de l'eau.

Dans l'optique de cette modélisation, des données complémentaires ont été récoltées concernant les paramètres d'influence de la température de l'eau. Il s'agit principalement de la température du lac en amont, des valeurs de débit récoltées auprès de l'exploitant de la centrale (Groupe E) ainsi que des données météorologiques mesurées par la station MétéoSuisse de Fribourg/Grangeneuve.

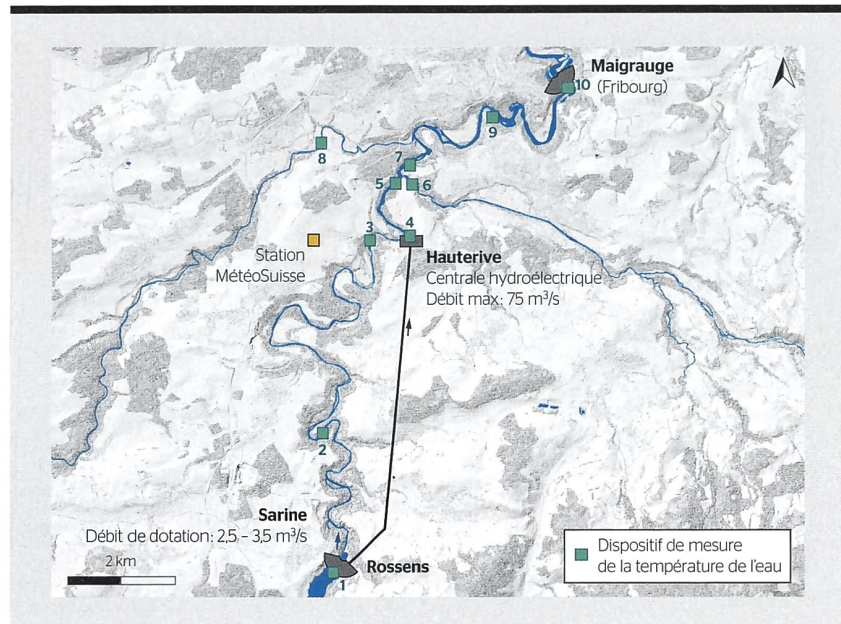


Figure 1 Tronçon étudié et emplacement des capteurs de température.

Modélisation numérique thermique

L'approche de modélisation numérique adoptée se base sur le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System). Largement utilisé dans le domaine de la modélisation

hydrodynamique des cours d'eau, il permet de calculer les hauteurs et vitesses d'écoulement dans un cours d'eau en fonction notamment des débits, des rugosités et de sa bathymétrie.

En complément, un module d'analyse de la qualité de l'eau intégré à HEC-RAS

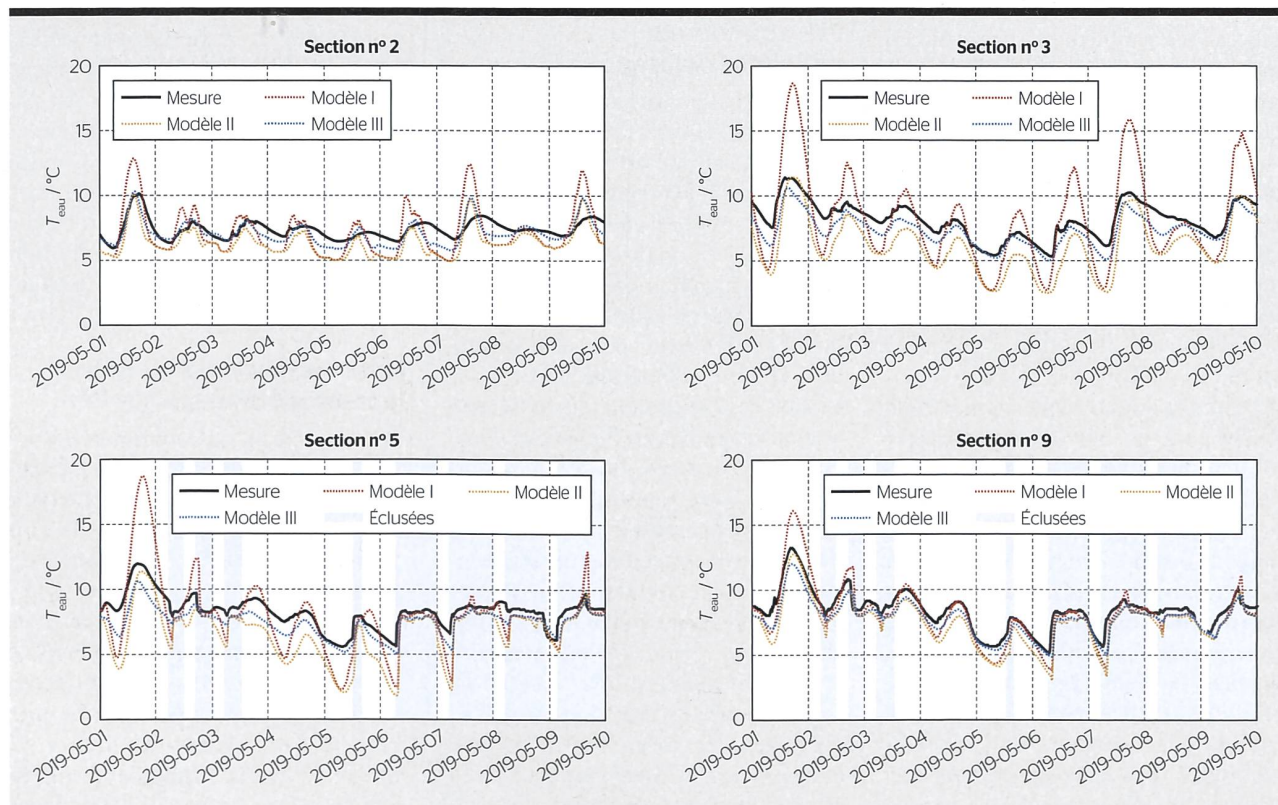


Figure 2 Comparaison, pour quatre sections sur une semaine de printemps, entre les températures d'eau simulées par les différents modèles et les températures mesurées dans le cours d'eau.

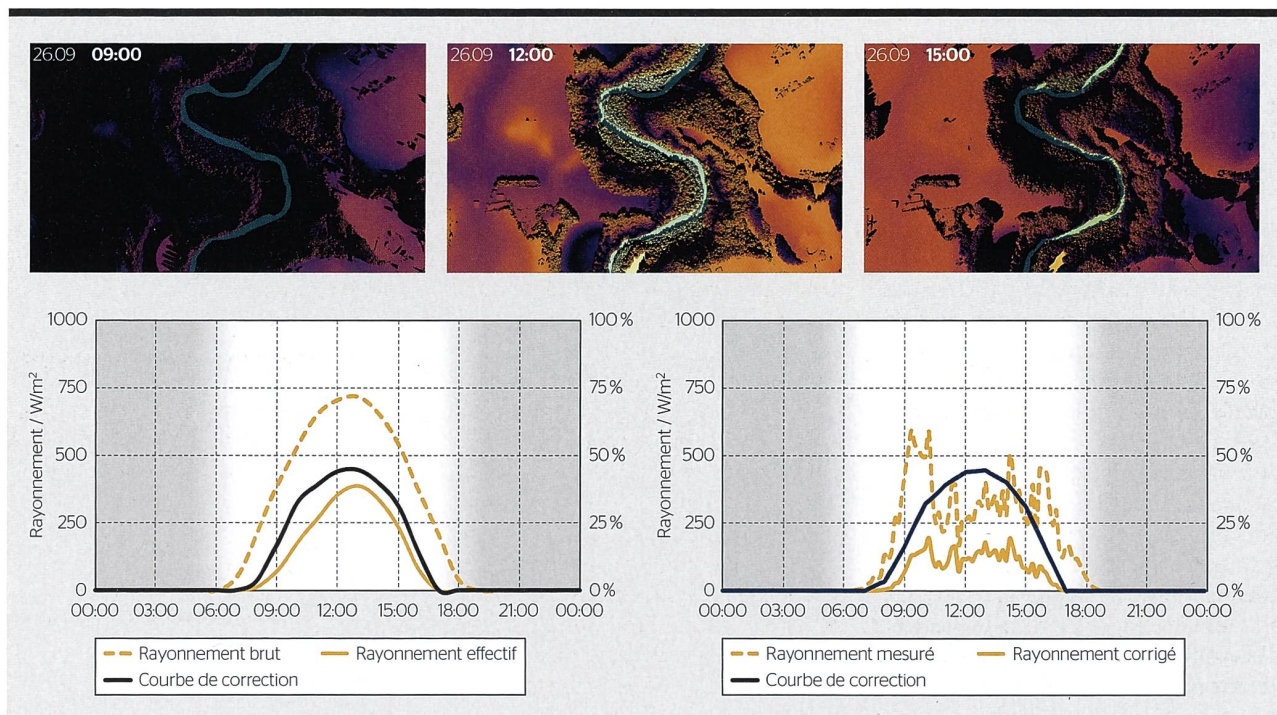


Figure 3 Le modèle SIG permet de déterminer heure par heure la part du rayonnement arrivant à la surface d'eau (en haut), et ainsi de corriger le rayonnement mesuré à la station selon une courbe de correction établie (en bas).

permet de simuler l'évolution de la température en fonction des conditions atmosphériques et des caractéristiques du lit de la rivière. Dans ce modèle, les flux thermiques induits par différents processus (rayonnement solaire direct, rayonnement indirect, chaleur sensible, chaleur latente, etc.) peuvent être quantifiés par des équations à base physique – par opposition aux modèles à base statistique.

Le modèle hydrodynamique a été créé sur la base des profils transversaux du cours d'eau (données de l'Office fédéral de l'environnement, OFEV) et des données hydrologiques récoltées (données de Groupe E). Les données météorologiques recueillies à la station de Fribourg/Grangeneuve (données de MétéoSuisse) ont ensuite été utilisées pour la modélisation thermique.

La **figure 2** présente les résultats obtenus avec ce premier modèle non calibré, en comparaison avec les températures mesurées sur le cours d'eau pour la même période. La courbe des résultats (modèle I) présente une variabilité élevée avec des températures nocturnes trop faibles et, surtout, des températures trop élevées en journée. L'utilisation d'un modèle numérique couplant une description hydro- et thermodynamique ne garantit donc pas

automatiquement l'obtention de résultats satisfaisants. Un processus de correction et de calibration du modèle est dès lors nécessaire.

Prise en compte de l'effet d'ombrage

La principale correction apportée consiste à réduire le rayonnement solaire considéré dans le modèle numérique pour tenir compte de l'effet d'ombrage. En effet, le rayonnement brut mesuré à la station météorologique n'atteint pas intégralement la surface de la rivière en raison de l'ombrage induit par la topographie et la végétation. Cet effet d'ombrage a été calculé à l'aide d'un outil de système d'information géographique (Grass GIS, Geographic Resources Analysis Support System – Geographical Information System) sur la base d'un modèle numérique de surface décrivant le relief avec la végétation (SwissSurface3D de Swisstopo). Pour chaque jour de l'année et chaque heure du jour, il est ainsi possible de déterminer l'angle du rayonnement solaire et donc de définir un facteur de correction correspondant à la part du rayonnement effectif atteignant la surface de la rivière. Ce facteur de correction se caractérise par une courbe propre à chaque jour de

l'année, et permet ainsi de corriger les données mesurées à la station météorologique (**figure 3**).

Les résultats correspondant au modèle intégrant l'effet d'ombrage sont représentés par la courbe du modèle II dans la **figure 2**. Celle-ci se rapproche de façon significative de la courbe des températures mesurées, notamment pour les températures maximales atteintes durant la journée. L'effet d'ombrage constitue donc un processus déterminant pour une modélisation représentative des températures de l'eau.

Échanges thermiques entre le cours d'eau et son aquifère

La deuxième modification apportée au modèle réside dans la prise en compte de l'échange thermique intervenant entre la couche de sédiments et la colonne d'eau. Bien que l'influence de l'échange thermique avec les sédiments soit limitée pour la plupart des cours d'eau, les variations régulières de niveau d'eau en lien avec les éclusées accroissent les échanges entre le cours d'eau et son aquifère. Le modèle III intègre ce terme supplémentaire, en plus de la considération de l'effet d'ombrage. Les résultats de la **figure 2** indiquent une amélioration substan-

tielle de la performance du modèle avec la prise en compte de ce processus.

Si, dans cette étude, l'effet d'ombrage et les échanges avec les sédiments sont des processus déterminants à considérer pour la modélisation du régime thermique, d'autres processus ont été identifiés comme ayant peu d'influence sur l'évolution de la température du cours d'eau. Il s'agit ici du vent, des apports d'eau souterraine ainsi que de la différence de température de l'air entre la station météorologique et les abords du cours d'eau. Ces conclusions sont toutefois propres au cas étudié. Pour reproduire cette approche sur d'autres cas d'étude, il faudrait procéder en priorité à la mise en place d'un système de mesure de température. En effet, seule la comparaison des résultats du modèle avec ces mesures permet d'identifier les processus à intégrer dans le modèle et de valider ce dernier.

En vue d'un assainissement de la force hydraulique

L'approche présentée a permis d'aboutir à un modèle numérique capable de

simuler le régime thermique d'un cours d'eau sur une échelle pluriannuelle avec une résolution temporelle fine (10 min). La performance finale de ce modèle atteint, pour ce cas, une erreur absolue moyenne inférieure à 0,6°C et une valeur de 0,90 pour le coefficient d'efficacité de Kling-Gupta (Kling-Gupta efficiency, KGE). Ces résultats démontrent que la calibration d'outils numériques existants, alimentés par des données disponibles, peut permettre de parvenir à un haut niveau de fidélité dans la reproduction d'un régime thermique de cours d'eau. Cette performance est atteinte ici autant pour le tronçon à débit résiduel caractérisé par des variations naturelles de la température que pour le tronçon soumis aux éclusées. Pour parvenir à ce niveau de performance et l'attester, il est toutefois nécessaire d'acquérir un ensemble de données de température de haute résolution temporelle et spatiale.

Une fois le modèle numérique calibré, il peut être utilisé pour évaluer l'évolution du régime thermique sous différents scénarios. Ceux-ci peuvent

comprendre des scénarios climatiques futurs, mais également des variantes d'assainissement de la force hydraulique afin d'évaluer leur pertinence sous des conditions présentes ou futures. Ainsi, malgré la multitude de facteurs influençant la température de l'eau, la calibration d'un modèle numérique représente un outil décisionnel pertinent en matière de gestion durable des cours d'eau.

Auteurs

David Dorthe est maître d'enseignement à la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR) et doctorant à l'Université de Lausanne.
→ HEIA-FR, 1700 Fribourg
→ david.dorthe@hefr.ch

Prof. Dr Michael Pfister est professeur associé à la HEIA-FR.
→ michael.pfister@hefr.ch

Prof. Dr Stuart N. Lane est professeur ordinaire à l'Université de Lausanne (UNIL).
→ UNIL, 1015 Lausanne
→ stuart.lane@unil.ch

Cette étude a été financée par Groupe E, Ribli SA ingénieurs hydrauliciens et la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR, fonds Ra&D). Le travail d'acquisition des données a été effectué par Elodie Moulin, Yanis Schaller, Dominique Delaquis et Bruno Spahni, du groupe technique de la HEIA-FR.



Convention d'objectifs

Votre voie vers une efficacité accrue

PROFITER
D'UN PREMIER
CONSEIL SANS
ENGAGEMENT

Les nouvelles conditions-cadre relatives aux conventions d'objectifs sont synonymes d'opportunités mais aussi de risques pour les gros consommateurs d'énergie. Informez-vous pour en apprendre plus sur les potentiels que vous pouvez exploiter ! Notre team Ingénierie vous aide à surmonter tous les défis liés à votre convention d'objectifs.



electrosuisse.ch/convention-dobjectifs





Visualisierter Einfluss
des Kraftwerks auf die
Temperatur der Saane.

Temperaturschwankungen während Sunk und Schwall

Modellierung des Temperaturverlaufs entlang eines regulierten Fliessgewässers | Sunk und Schwall wirken sich nicht nur auf die Abflüsse der Fliessgewässer nach Wasserkraftwerken aus, sondern auch auf deren Temperatur. Die Modellierung Letzterer kann daher nützlich für die Bewirtschaftung von Fliessgewässern sein. Eine Studie hat gezeigt, dass eine solche Modellierung eine hohe Zuverlässigkeit aufweist.

DAVID DORTHE, MICHAEL PFISTER, STUART N. LANE

Im Rahmen der Sanierung der Wasserkraft sind Betreiber von Kraftwerken verpflichtet, die negativen Auswirkungen von Sunk und Schwall auf aquatische Ökosysteme zu beseitigen (Gewässerschutzgesetz, Art. 39a). Diese künstlichen, schnellen Abflussänderungen in einem Fliessgewässer werden durch den intermittierenden Produktionszyklus der Wasserkraft verursacht, der zur Deckung des schwankenden Strombedarfs nötig ist. Wenn das turbinierete Wasser eines Ausleitkraftwerks aus einem See stammt, kann sich seine Temperatur an der Rückgabestelle von der Temperatur des Fliessgewässers

unterscheiden. Abflussschwankungen können eine schnelle Änderung der Wassertemperatur (auch als Thermo-peaking bezeichnet) im Fliessgewässer verursachen.

Um die Auswirkungen dieses Thermo-peakings zu minimieren, müssen Kraftwerksbetreiber Sanierungsvarianten für das aktuelle Klima sowie im Kontext des Klimawandels identifizieren. Mit numerischen Modellierungsansätzen lässt sich die zukünftige Entwicklung der Temperatur in Fliessgewässern analysieren und die Wirksamkeit verschiedener Sanierungsszenarien der Wasserkraft untersuchen.

Untersuchungsgebiet und Datenerfassung

Um ein solches Modell zu testen, wurde der Abschnitt der Saane zwischen der Staumauer Rossens (Greyerzersee) und der Staumauer Maigrange (Lac de Pérolles) in der Stadt Freiburg untersucht (**Bild 1**). Auf diesem 22 km langen Abschnitt weist die Saane an ihren Ufern eine ausgeprägte Vegetation auf und fliesst auf einem Bett in einer 50 bis 100 m tiefen Schlucht. Zum Untersuchungsgebiet gehört auch das Ausleitkraftwerk Hauterive, welches das im Greyerzersee gefasste und durch einen 6 km langen Stollen transportierte Wasser turbiert, bevor es in die Saane

zurückgeleitet wird. Zwischen Rossens und Hauterive fliesst die Saane somit entlang einer Restwasserstrecke und mit einem meist konstanten Abfluss zwischen 2,5 und 3,5 m³/s. Der Abschnitt stromabwärts von Hauterive unterliegt Sunk und Schwall, mit Abflussschwankungen bis zu 75 m³/s.

Seit 2016 werden in diesem Abschnitt der Saane Temperaturdaten gesammelt. Mehrere Sonden wurden in verschiedenen Abschnitten ober- und unterstrom des Ausleitkraftwerks eingebaut, um das Spektrum der Wassertemperaturen mit einer zeitlichen Auflösung von 10 Minuten zu messen. Die Daten erlauben es, die Auswirkungen von Sunk und Schwall auf die Temperatur der Saane zu beschreiben. Sie wurden jedoch insbesondere zur Kalibrierung und Validierung eines numerischen Modells zur Vorhersage der Wassertemperatur verwendet.

Im Hinblick auf diese Modellierung wurden zusätzliche Daten zu den Einflussparametern der Wassertemperatur erhoben. Dabei handelt es sich vor allem um die Temperatur des Greyerzersees, vom Kraftwerksbetreiber erhobene Abflusswerte (Groupe E) sowie meteorologische Daten der

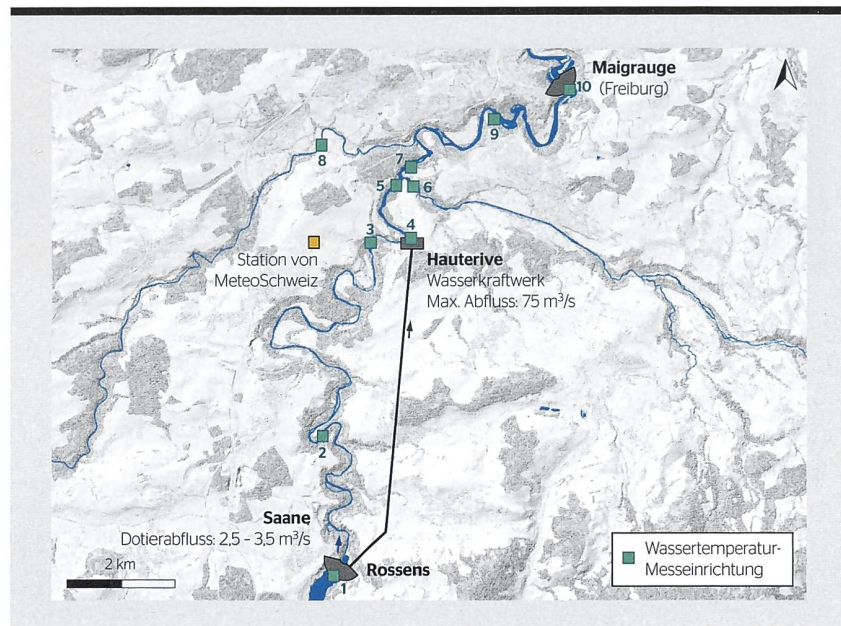


Bild 1 Untersucher Abschnitt und Lage der Temperatursonden.

MeteoSchweiz-Station in Fribourg/Grangeneuve.

Numerische thermodynamische Modellierung

Die numerische Modellierung basiert auf der Software HEC-RAS (Hydrolo-

gic Engineering Center's River Analysis System). Dieses Programm ist im Bereich der hydrodynamischen Modellierung von Fließgewässern weit verbreitet und ermöglicht die Berechnung von Abflusstiefen und -geschwindigkeiten in einem Fließgewässer,

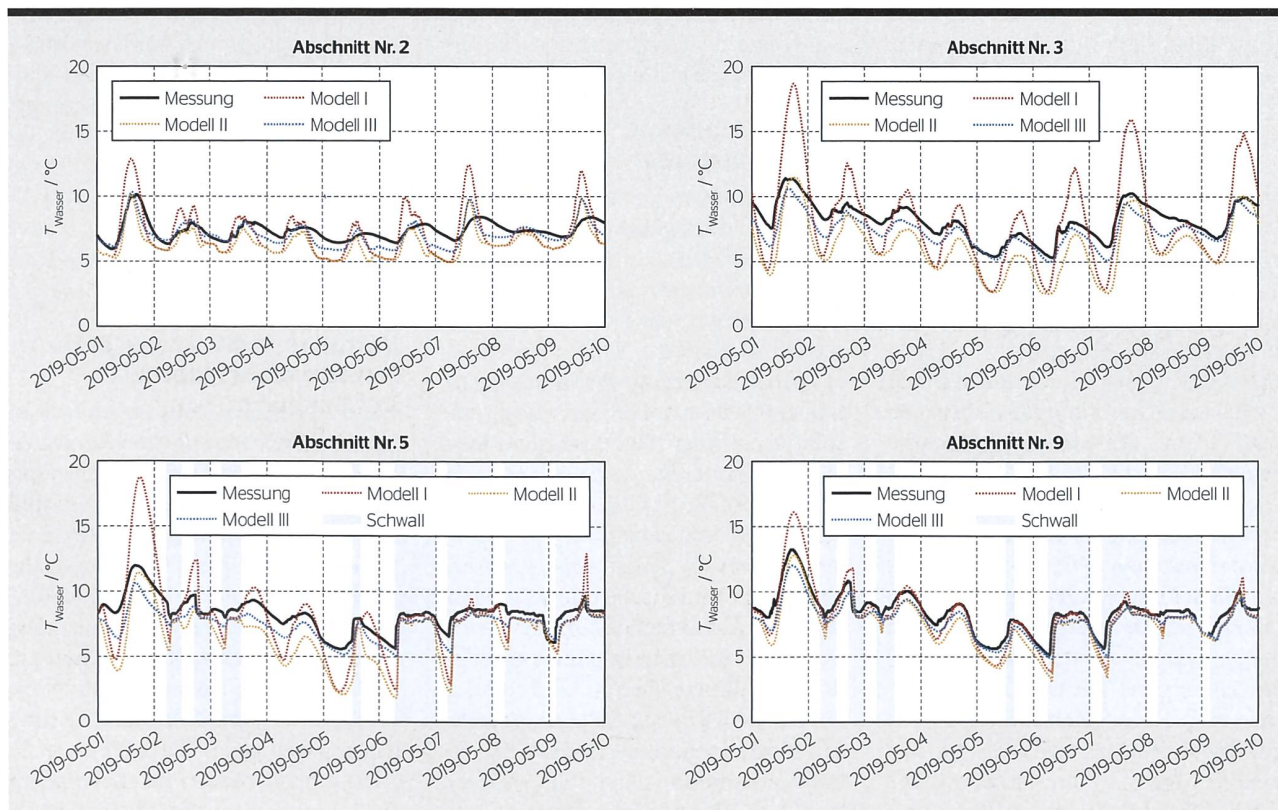


Bild 2 Vergleich der simulierten (Modelle I bis III) und der gemessenen Wassertemperaturen für vier Querschnitte einer Frühlingswoche.

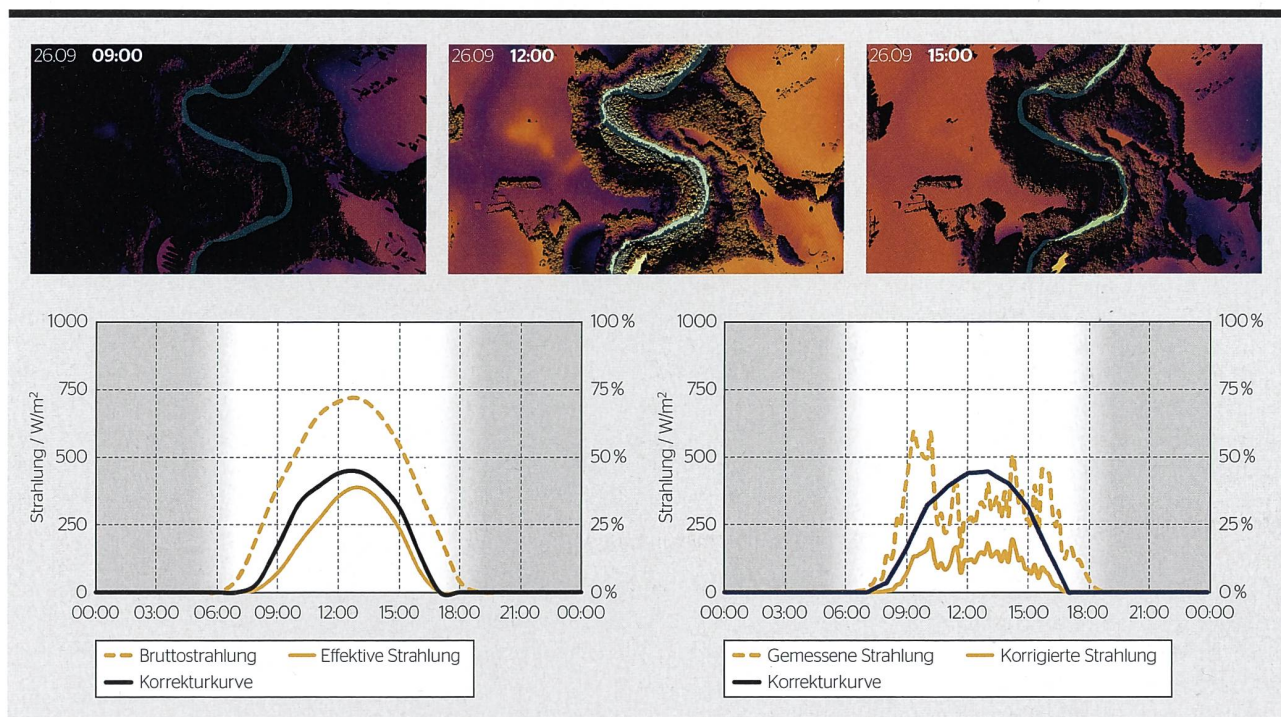


Bild 3 Das GIS-Modell ermöglicht es, die stündliche Beschattung zu bestimmen (oben) und die bei der Wetterstation gemessene Strahlung entsprechend zu korrigieren (unten).

insbesondere auf der Grundlage des Abflusses, der Rauheit und der Bathymetrie.

Zudem ermöglicht ein in HEC-RAS integriertes Wasserqualitätsmodul die Simulation der Temperaturentwicklung gemäss den atmosphärischen Bedingungen und den Eigenschaften des Flussbetts. In diesem Modell können durch verschiedene Prozesse (direkte Sonnenstrahlung, indirekte Strahlung, sensible Wärme, latente Wärme usw.) induzierte Wärmeströme durch physikalische Gleichungen quantifiziert werden – im Gegensatz zu statistischen Modellen.

Das hydrodynamische Modell wurde auf Basis der Querprofile des Gewässers (BAFU) und der erhobenen Abflussdaten (Groupe E) erstellt. Die meteorologischen Daten der Wetterstation Fribourg/Grangeneuve (MeteoSchweiz) wurden anschliessend für die thermische Modellierung verwendet.

Bild 2 zeigt einen kleinen Ausschnitt der mit einem ersten, unkalibrierten Modell erzielten Temperaturen, verglichen mit den im gleichen Zeitraum in der Saane gemessenen Werten. Die resultierende Temperaturkurve (Modell I) zeigt eine hohe Variabilität mit zu niedrigen Nachttemperaturen und vor allem zu hohen Tagestempera-

turen. Die Verwendung eines numerischen Modells, das eine hydro- und thermodynamische Berechnung kombiniert, garantiert daher nicht automatisch zufriedenstellende Ergebnisse. Daher ist eine Korrektur bzw. Kalibrierung des Modells nötig.

Berücksichtigung der Beschattung

Um den Einfluss der Beschattung bzw. der Schlucht zu berücksichtigen, wurde die im numerischen Modell berücksichtigte Sonnenstrahlung reduziert. Tatsächlich erreicht die an der Wetterstation gemessene Sonnenstrahlung aufgrund der Topografie und Vegetation die Gewässeroberfläche nicht vollständig. Dieser Beschattungseffekt wurde mit einem Geoinformationssystem-Tool (Grass GIS) auf Basis eines digitalen Oberflächenmodells berechnet, welches das Relief mit Vegetation beschreibt (SwissSurface3D von Swisstopo). Für jeden Tag des Jahres und jede Stunde des Tages war es möglich, den Winkel der Sonnenstrahlung zu bestimmen und somit einen Korrekturfaktor zu definieren, der dem Bruchteil der Strahlung entspricht, welcher die Gewässeroberfläche erreicht. Dieser Korrekturfaktor zeichnet sich durch eine für jeden Tag des Jahres spezifi-

sche Kurve aus und ermöglicht so eine Korrektur der an der Wetterstation gemessenen Sonnenstrahlungsdaten (**Bild 3**).

Die Ergebnisse mit integrierter Beschattungswirkung werden in **Bild 2** als Modell II gezeigt. Diese liegen deutlich näher bei den gemessenen Temperaturen, insbesondere für die im Tagesverlauf erreichten Höchsttemperaturen. Der Beschattungseffekt stellt daher ein entscheidendes Element zur repräsentativen Modellierung der Wassertemperaturen dar.

Wärmeaustausch zwischen Gewässer und Flussbett

Die zweite Anpassung im Modell ist eine Berücksichtigung des Wärmeaustausches zwischen der Sedimentschicht und dem Wasserkörper. Obwohl der Einfluss dieses Wärmeaustausches bei den meisten Fliessgewässern gering ist, erhöhen regelmässige Schwankungen des Abflusses im Zusammenhang mit Sunk und Schwall den Austausch. Modell III integriert zusätzlich zur Berücksichtigung der Beschattung diesen Austausch. Die Ergebnisse, in **Bild 2** gezeigt, deuten auf eine erhebliche Verbesserung der Modellvorhersage unter Berücksichtigung dieses zweiten Prozesses hin.

Während in dieser Studie der Beschattungseffekt und der Austausch mit dem Flussbett dominierende Prozesse sind, die bei der Modellierung des thermischen Regimes berücksichtigt werden müssen, wurde festgestellt, dass andere Prozesse nur geringen Einfluss auf die Temperaturentwicklung der Saane haben. Dies betrifft den Wind, Grundwassereinträge sowie den Lufttemperaturunterschied zwischen der Wetterstation und der unmittelbaren Umgebung des Fließgewässers. Diese Beobachtung ist jedoch spezifisch für den untersuchten Fall. Um diesen Ansatz auf andere Fließgewässer zu übertragen, sollte dort unbedingt ein eigenes Temperaturmessnetz installiert werden. Denn erst der Vergleich der Simulation mit den Messungen ermöglicht es, die ins Modell zu integrierenden Prozesse zu identifizieren und die Vorhersagen zu validieren.

Bezug zur Sanierung der Wasserkraft

Der vorgestellte Ansatz ermöglichte die Erstellung eines numerischen

Modells, mit dem das mehrjährige thermische Regime eines Fließgewässers unter einer feinen zeitlichen Auflösung (10 Minuten) simuliert werden kann. Das Modell erreicht für die Saane einen durchschnittlichen absoluten Fehler von weniger als $0,6^{\circ}\text{C}$ und einen Wert von $0,90$ für die Kling-Gupta-Effizienz (KGE). Diese Ergebnisse zeigen, dass es die Kalibrierung bestehender numerischer Modelle mit verfügbaren Messdaten ermöglichen kann, eine hohe Genauigkeit bei der Reproduktion des thermischen Regimes eines Fließgewässers zu erreichen. Diese Genauigkeit wird hier sowohl für die Restwasserstrecke, die durch natürliche Temperaturschwankungen gekennzeichnet ist, als auch für den Abschnitt mit Sunk und Schwall erreicht. Um diese Genauigkeit zu erreichen bzw. nachzuweisen, ist jedoch die Erfassung von Temperaturmessreihen mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung erforderlich.

Sobald das numerische Modell kalibriert wurde, kann es zur Bewertung des thermischen Regimes unter ver-

schiedenen Szenarien verwendet werden. Dazu können zukünftige Klimaszenarien, aber auch Varianten der Wasserkraftsanierung gehören, um deren Wirkung unter heutigen oder künftigen Bedingungen abzuschätzen. Dann ist ein zuverlässiges numerisches Modell, trotz der Vielzahl an Einflussfaktoren auf die Wassertemperatur, eine zentrale Entscheidungshilfe im Hinblick auf die Erhaltung gesunder Fließgewässer.

Autoren

David Dorthé ist Maître d'enseignement an der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg (HEIA-FR) und Doktorand an der Université de Lausanne (UNIL).
→ HEIA-FR, 1700 Freiburg
→ david.dorthé@hefr.ch

Prof. Dr. **Michael Pfister** ist Professor an der HEIA-FR.
→ michael.pfister@hefr.ch

Prof. Dr. **Stuart N. Lane** ist Professor an der UNIL.
→ UNIL, 1015 Lausanne
→ stuart.lane@unil.ch

Die Studie wurde finanziert von der Groupe E, Ribi SA ingénieurs hydrauliciens und der HEIA-FR (Fonds Ra&D). Die Datenakquisition wurde von Elodie Moulin, Yanis Schaller, Dominique Delaquis und Bruno Spahni von der Technikgruppe der HEIA-FR durchgeführt.



SICAM 8 – Die intelligente Lösung für zuverlässige Energieinfrastrukturen

Entdecken Sie SICAM 8: Die Power Automation Plattform, die Ihre Energieautomatisierung auf ein neues Level hebt. Mit fortschrittlichen Funktionen und einer benutzerfreundlichen Oberfläche ermöglicht SICAM 8 eine effiziente Überwachung und Steuerung Ihrer kritischen Energieinfrastruktur. Die Plattform bietet vielfältige Erweiterungsmöglichkeiten für individuelle Anforderungen in den Bereichen Hardware, Software, Visualisierung und Cybersecurity. Vertrauen Sie auf SICAM 8 und profitieren Sie von einer zukunftssicheren Lösung!

Weitere Informationen: [siemens.ch/sicam8](https://www.siemens.ch/sicam8)

SIEMENS