

Zukünftige Flusstemperaturen unter dem Einfluss des Klimawandels

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer, einschliesslich der Auswirkungen auf die Flusstemperaturen und den Abfluss, sind bereits heute zu beobachten. Im Rahmen des Forschungsprojektes [\[1\]](#) «Zukünftige Flusstemperaturen in der Schweiz unter dem Klimawandel – SwissFuRiTe» wurden für alle 82 Flussmessstationen des Bundesamts für Umwelt (BAFU) landesweite Projektionen der zukünftigen Flusstemperaturen simuliert (**Abbildung 1**).

Hierfür haben wir einen neuartigen Modellierungsansatz gewählt, der Lufttemperaturen aus 22 allgemeinen Zirkulations- und regionalen Klimamodellen (GCM-RCM) und Abflussprojektionen aus 4 hydrologischen Modellen als Input für 2 semi-empirischen Oberflächentemperaturmodellen kombiniert. Mit diesen Modellen konnten für die 3 Klimaemissionsszenarien (RCP2.6, RCP4.6 & RCP8.5) zukünftige Projektionen von Flusswassertemperaturen simuliert werden.

Die Flussmessstationen wurden gruppiert und die Ergebnisse nach Wärmeregimen analysiert (See, Mittelland/Jura, Alpine, Reguliert und Quellen), welche durch unterschiedliche thermische Prozesse flussaufwärts beeinflusst werden (**Abbildung 1**).

Mit dem Oberflächentemperaturmodellen air2stream [\[2\]](#) (Flüsse) und air2water [\[3\]](#) (Seen) konnte ermittelt werden, welches der beiden Modelle für die Settings der jeweiligen Flussmessstationen besser geeignet ist. Während air2stream an allen Standorten angewandt wurde, wurde das Modell air2water an Standorten angewandt, an denen der Einfluss von Seewasser flussaufwärts das Temperatursignal in den Flüssen dominiert.

Die Studie ergab, dass der wichtigste Faktor für die Höhe des Temperaturanstiegs bis zum Ende des 21. Jahrhunderts die Klimaemissionsszenarien sind (**Abbildung 2**). Für das RCP2.6-Szenario ist die mittlere Veränderung der Flusswassertemperatur vom Referenzzeitraum (1990 bis 2019) in die nahe (2030 bis

2059) und ferne Zukunft (2070 bis 2099) 0,8 bzw. 0,9 °C. Der grösste Temperaturanstieg kann für das RCP8.5-Szenario beobachtet werden, bei dem die mittlere Flusswassertemperatur in der nahen und fernen Zukunft für alle Stationen um 1,2 bzw. 3,1 °C ansteigt. Die Erwärmungsrate unterscheidet sich für jede Station in Abhängigkeit der vorgelagerten Prozesse. Darüber hinaus verstärken die saisonalen Trends der Lufttemperatur und des Abflusses die Erwärmung der Fliessgewässer im Sommer, als Resultat höherer Lufttemperaturen und geringerer Abflussmengen. Während die Zunahme der Abflüsse und die geringere Erwärmung der Atmosphäre im Winter auch zu einer geringeren Erwärmung der Fliessgewässer führen.

Eine Analyse thermischer Schwellen- und Extremwerte zeigt, dass Hitzewellen in der Schweiz in Zukunft wahrscheinlich zunehmen werden. Auf der Grundlage unserer Studie konnten wir besonders gefährdete Flussabschnitte identifizieren, zum einen solche, die bereits heute gefährdet sind, und zum anderen solche, die in Zukunft gefährdet sein werden.

Künftige Studien sollten darauf ausgerichtet sein, den lokalen negativen Auswirkungen des Klimawandels entgegenzuwirken. Die Ergebnisse unserer Studie können genutzt werden, um Flussabschnitte mit erhöhter Anfälligkeit zu identifizieren und gezielt Refugien für aquatische Organismen auszuweisen.

[1] Bundesamt für Umwelt (CH) BAFU-Projekt „Zukünftige Flusstemperaturen in der Schweiz unter dem Einfluss des Klimawandels“ 22.0007.PJ / 5C2F04B23 (04.2022 – 07.2023)

[2] Toffolon M & Piccolroaz S (2015) A hybrid model for river water temperature as a function of air temperature and discharge. Environ. Res. Lett. 10, 114011

[3] Piccolroaz S, Toffolon M & Majone B (2013) A simple lumped model to convert air temperature into surface water temperature in lakes. Hydrol. Earth Syst. Sci. 17, 3323–3338

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Projektlaufzeit: 2022 – 2023

Projektbearbeitung AUG: Love Råman Vinnå, Oliver Schilling & Jannis Epting

Regime

- ◆ Downstream Lake
- ◆ Plateau
- ◆ Regulated
- ◆ Alpine
- ◆ Spring

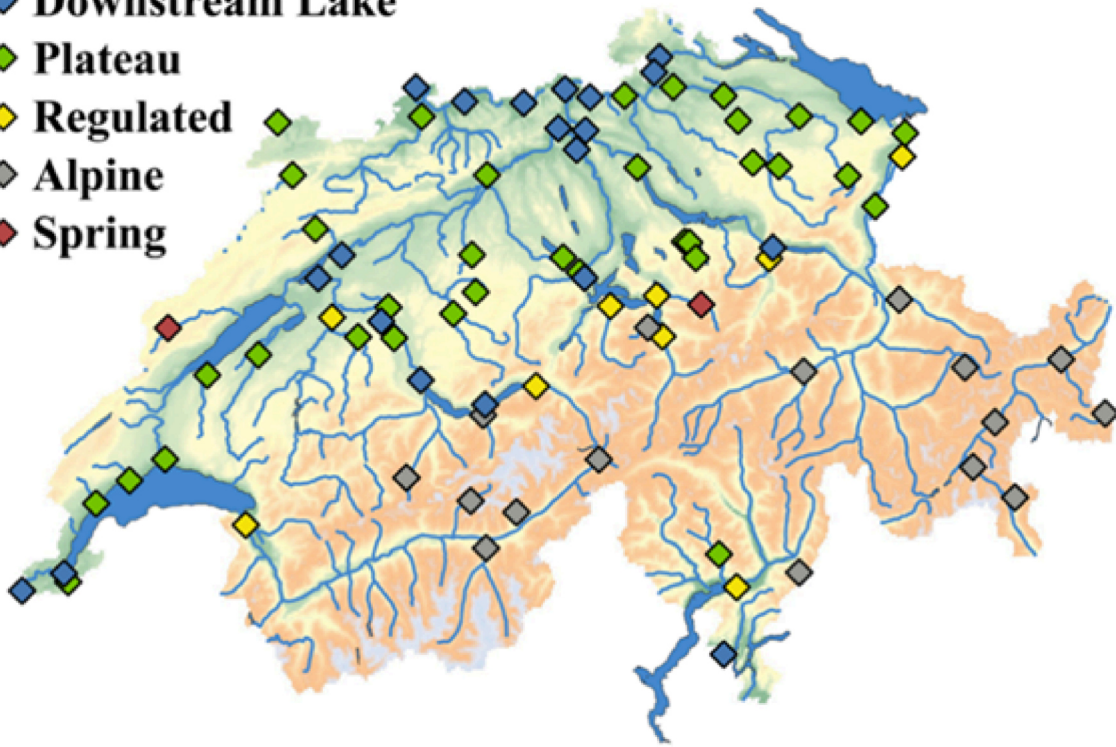


Abbildung 1: Thermische Regime der Fließgewässer an den BAFU-Stationen.

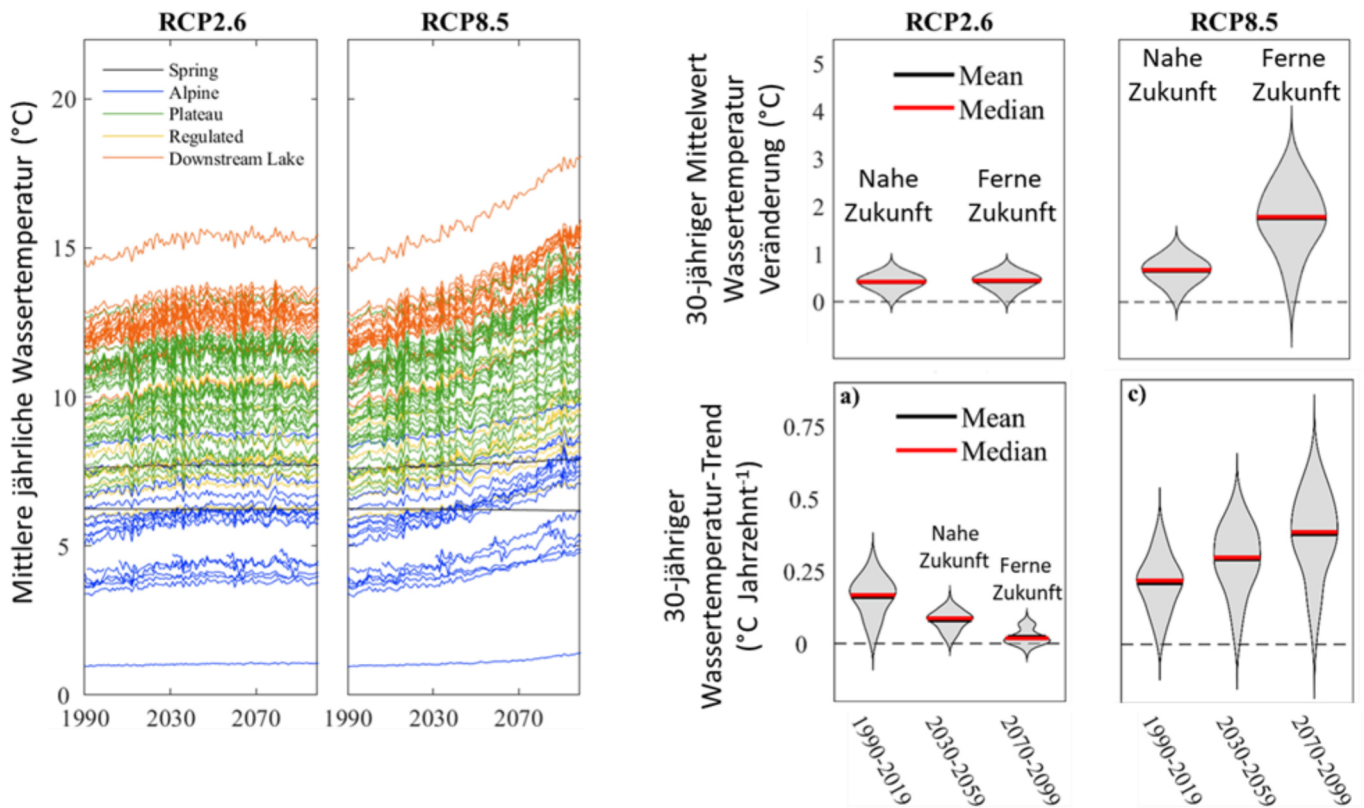


Abbildung 2: Links: Modellerte jährliche mittlere Wassertemperatur der 82 Flussmessstationen für die Klimaszenarien RCP2.6 und RCP8.5. Dargestellt sind Projektionen von bis zu 23 gekoppelten GCM-RCM-Klimamodellen und 4 hydrologischen Strömungsmodellen nach Anwendung einer Trendverzerrungskorrektur. Die Flüsse sind nach dem thermischen Regime geordnet. Rechts: Violin-Plots der Statistik und Entwicklung der Gewässertemperaturen in naher und ferner Zukunft.

Zukünftige Flusstemperaturen unter dem Einfluss des Klimawandels - SwissFuRiTe

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer, einschliesslich der Auswirkungen auf die Flusstemperaturen und den Abfluss, sind bereits heute zu beobachten. Im Rahmen des Forschungsprojektes «Zukünftige Flusstemperaturen in der Schweiz unter dem Klimawandel – SwissFuRiTe» wurden für alle 82 Flussmessstationen des Bundesamts für Umwelt (BAFU) landesweite Projektionen der zukünftigen Flusstemperaturen simuliert.

Die zukünftigen Wassertemperaturen in den Flüssen für die Schweiz wurden dabei auf der Grundlage eines Multi-Fidelity-Modellierungsansatzes projiziert. Hierfür verwendeten wir 2 verschiedene, semi-empirische Modelle für die Wassertemperatur an der Oberfläche, 22 gekoppelte und herunterskalierte allgemeine Zirkulations- und regionale Klimamodelle, zukünftige Projektionen der Flussabflüsse aus 4 hydrologischen Modellen und 3 Szenarien für den Klimawandel (RCP2.6, 4.5 und 8.5). Durch die Gruppierung von Fliessgewässerabschnitten, Einzugsgebieten und Grundwassergespeisten Wasserläufen unter repräsentativen thermischen Regimen und durch die Anwendung hierarchischer clusterbasierter thermischer Mustererkennung wurde automatisch ein optimales Modell und eine optimale Modellkonfiguration ausgewählt, die Modellleistung optimiert und die Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wassertemperaturen der Flüsse verbessert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die durchschnittlichen Wassertemperaturen der Flüsse in der Schweiz bis zum Ende des 21. Jahrhunderts unter RCP8.5 wahrscheinlich um $3,1 \pm 0,7$ °C (oder $0,36 \pm 0,1$ °C pro Jahrzehnt) ansteigen werden, während unter RCP2.6 der Temperaturanstieg bei $0,9 \pm 0,3$ °C ($0,12 \pm 0,1$ °C pro Jahrzehnt) bleiben könnte. Unter RCP8.5 werden die Temperaturen der Flüsse, die dem alpinen Wärmeregime zugeordnet sind, am stärksten ansteigen, nämlich um $3,5 \pm 0,5$ °C, gefolgt von den Flüssen des Regimes unterhalb von Seen, die um $3,4 \pm 0,5$ °C ansteigen werden.

Ein allgemeiner Rückgang des Abflusses im Sommer (-10 bis -40%) und ein Anstieg im Winter (+10 bis +30%) in Verbindung mit einem weiteren Anstieg der durchschnittlichen oberflächennahen Lufttemperaturen ($0,5$ °C pro Jahrzehnt) kann nicht nur zu insgesamt wärmeren Flüssen, sondern auch zu längeren Perioden extremer sommerlicher Flusswassertemperaturen führen.

Schliesslich wurde über eine Klassifizierung von Hystereseschleifen deutlich, dass die Klimaerwärmung die meisten thermischen Hystereseschleifen diagonal nach links oben streckt (**Abbildung:** Beispiel BAFU-

Messstation Thur – 2044). Dieser Streckungstrend resultiert aus der allgemeinen Abnahme des Abflusses sowie der erhöhten saisonalen oberflächennahen Lufttemperatur und der Wassererwärmung in den Sommermonaten; zusammen erhöhen diese beiden Prozesse die Wassertemperatur der Fließgewässer auch im Sommer.

Dies erhöht das thermische Stresspotenzial für temperaturempfindliche Wasserorganismen wie die Bachforelle drastisch. Immer häufigere Stressphasen betreffen nicht nur Flüsse, bei denen solche Situationen bereits beobachtet wurden, sondern auch Flüsse, die bisher keine Probleme hatten. Durch die Bereitstellung von Informationen über zukünftige Wassertemperaturen können die Ergebnisse dieser Studie als Leitfaden für Managementmassnahmen zur Begegnung der Auswirkungen des Klimawandels dienen.

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Projektlaufzeit: 2022 – 2024

Love Råman Vinnå, Oliver Schilling & Jannis Epting

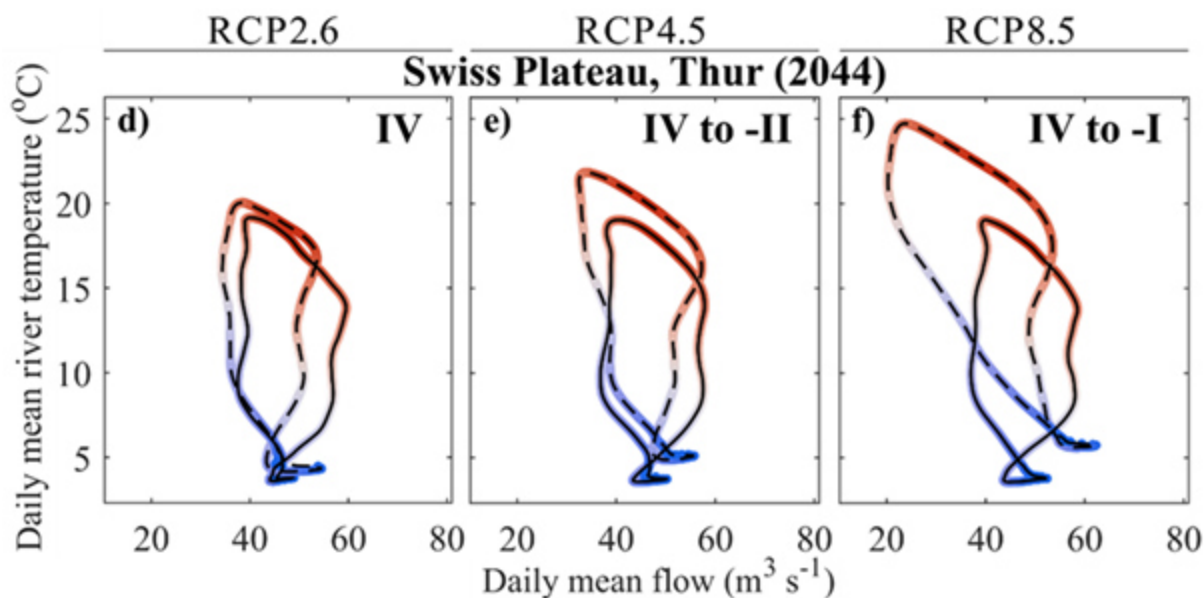


Abbildung: Aktuelle und zukünftige thermische Hystereseschleifen: Täglich gemittelte Abflüsse und Wassertemperaturen für die BAFU-Messstation Thur (2044) und den Referenzzeitraum (1990 bis 2019, durchgezogene Linie) sowie den weit in der Zukunft liegenden Zeitraum (2070 bis 2099, gestrichelte Linie). Die Station gehört zu dem thermischen Regime «Schweizer Mittelland». Die täglich gemittelten Datensätze wurden zweimal mit einem laufenden Durchschnitt von 30 Tagen geglättet.

Nach Titel oder Author filtern



Vinnå, L.R. *u. a.* (2025) «Multi-fidelity model assessment of climate change impacts on river water temperatures and thermal extremes and potential effects on cold-water fish in Switzerland», *Hydrology and Earth System Sciences*, 29, S. 5931–5953. Verfügbar unter: [10.5194/hess-29-5931-2025](https://doi.org/10.5194/hess-29-5931-2025).

Weitere Publikationen:

Råman Vinnå L, Bigler V, Schilling OS, Epting J (2025): Klimawandel und steigende Wassertemperaturen in Schweizer Fliessgewässern: Ein zunehmender Stressfaktor für Kaltwasserfische. Zeitschrift Wasser Energie Luft Heft 1 (117), 19–14

Råman Vinnå L, Bigler V, Schilling OS, Epting J (2025): Zukünftige Fliessgewässertemperaturen – Simulation schweizweiter Projektionen der steigenden Temperaturen in Fliessgewässern. AQUA & GAS No. 17+8, 58-66; <https://www.aquaetgas.ch/wasser/gew%C3%A4sser/20250707-ag7-8-simulation-fliessgew%C3%A4ssertemperaturen/>