

Wärmenutzung aus Seen und Fließgewässern

Die Wärmenutzung (Wärmeentzug für Heizzwecke und Wärmeeinleitungen für Kühlnutzungen) von Oberflächengewässern gewinnt an Bedeutung – nicht zuletzt auch im Rahmen der neuen Energiestrategie des Bundes. Es stellt sich dabei auch die Frage der ökologischen Auswirkungen auf die genutzten Seen und Fließgewässer. Im Rahmen eines angewandten Projekts hat die Eawag dazu Grundlagen erarbeitet.

Dieses Faktenblatt richtet sich an Planer und Betreiber von Nutzungsanlagen, an Fachleute aus Ingenieurbüros, an Fachstellen bei Bund und Kantonen, und an die zuständigen Behörden. Weiterführende Informationen können auf der Webseite <https://thermdis.eawag.ch/de> abgerufen werden.

Langfristige Strategie: grossräumiges Wärmemanagement und gewässerökologisches Monitoring

Flüsse haben je nach Abflussregime unterschiedlich ausgeprägte saisonale Temperaturregimes. In stark genutzten Gewässern kann sich ausserdem der Einfluss von Wärmenutzungen über lange Distanzen flussabwärts auswirken. In grossen Flüssen ist eine messbare Beeinflussung der Temperatur über hunderte von Kilometern möglich (Abb. 1). In solchen Fällen ist eine Koordination zwischen den Wärmenutzungen innerhalb des Einzugsgebiets notwendig, um (i) die Gleichbehandlung der Nutzer zu gewährleisten, (ii) die physikalischen und ökologischen Auswirkungen zu begrenzen und (iii) die ökologischen und sozioökonomischen Funktionen des Gewässers zu be-

wahren. Dies erfordert eine Planung auf überregionaler Ebene. Schutzmassnahmen (typischerweise Einschränkungen der thermischen Nutzungen) sollten für alle Nutzer an den betroffenen Gewässern gelten.

Auch bei Seen, an die verschiedene Kantone (und/oder Länder) anstossen, sollten die Verfahren (z.B. Bewilligungspraxis, Auflagen, etc) harmonisiert werden. Eine Gewässerschutzkommission (z.B., [CIPEL](#) für den Genfersee, [AKV](#) für den Vierwaldstättersee, [IGKB](#) für den Bodensee) kann ein einheitliches Vorgehen ausarbeiten und unterstützen.

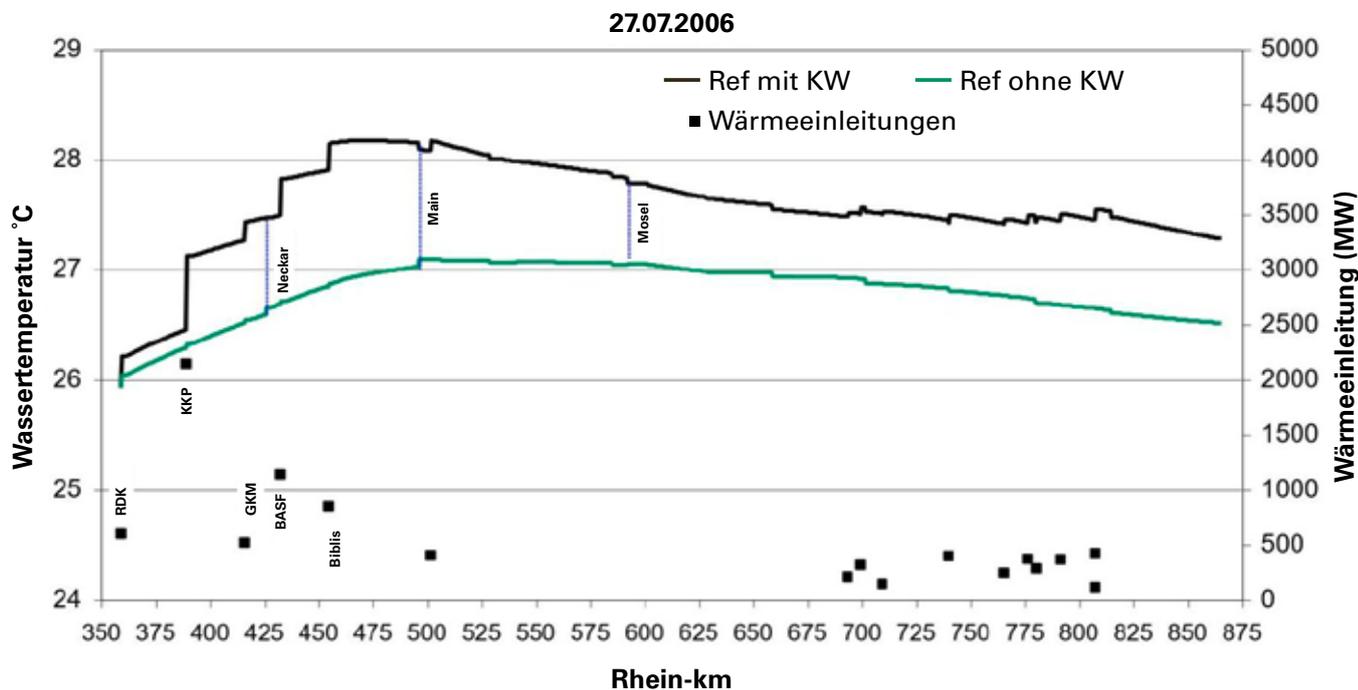
Neben der Berücksichtigung der (gesetzlichen) Schutzansprüche sollen die physikalischen und ökologischen Auswirkungen von Wärmenutzungen untersucht werden. Ein Monitoring durch die Betreiber in Zusammenarbeit mit den Behörden ist hilfreich, um thermische Belastungen besser verstehen und Anlagen optimieren zu können.

Beispielsweise sollen für jede Jahreszeit folgende Fragen untersucht werden:

- Was sind die lokal maximalen Temperaturveränderungen?
- Wie stark und wie weit breitet sich die thermische Belastung flussabwärts oder innerhalb eines Sees aus?

• Wie reagieren sensible Arten in den thermisch belasteten Bereichen.

Auch der Austausch von Wärme zwischen verschiedenen Gewässern soll bei der Planung und bei der Einschätzung der Auswirkungen berücksichtigt werden (z.B. der Wärmeeintrag eines thermisch belasteten Flusses in einen See).



Beispiel von sommerlichen Rheintemperaturen ab Karlsruhe bis zur Grenze Deutschland-Niederlande mit und ohne Einfluss der Wärmeeinleitungen aus der Kühlung von Kraftwerken. Mit dem Klimawandel werden sich Perioden mit sehr hohen, für gewisse Gewässerorganismen problematischen Temperaturen noch verstärken. (Quelle: IKSR)

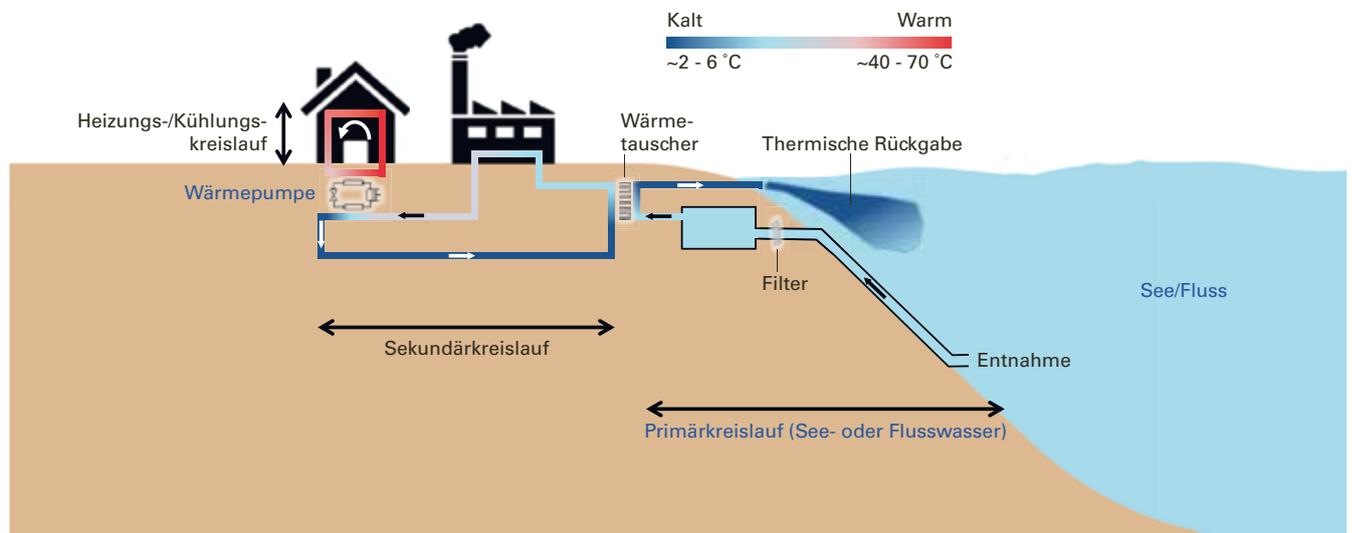
Empfehlungen

Für die Wärmenutzung relevante Eigenschaften von Seen und Fließgewässern

- Gebirgsflüsse können sich aufgrund der kühlen Temperaturen gut für Kühlnutzungen im Sommer eignen. Im Winter fällt die Temperatur hingegen oft unter 3 °C, und der Abfluss ist gering. Sie sind deshalb für Wärmeentzug im Winter nicht geeignet.
- Flachlandflüsse eignen sich vor allem für Wärmeentzug, da sie auch im Winter genügend Abfluss aufweisen und die Temperaturen kaum unter 4°C sinken. Für Wärmeeinleitungen im Sommer sind sie aufgrund der hohen Temperaturen weniger geeignet. Insbesondere unterhalb von tief gelegenen Seen oder in langsam strömenden Fließgewässern überschreitet die Temperatur im Sommer immer öfter den gesetzlichen Grenzwert für eine Nutzung von 25 °C. Dies führt zu Einschränkungen und verminderter Effizienz bei der Kühlnutzung.
- Der Betrieb einer Anlage wird durch Aufwuchs, wie beispielsweise Algen, Bakterien oder Muscheln, und Krustenbildung beeinträchtigt. Beim Design einer Anlage muss dies berücksichtigt werden. Aufwuchs wird durch warmes, nähr-

stoffreiches Wasser gefördert. Dies spricht allgemein gegen die Entnahme an der Oberfläche von Seen. Filter sind in der Regel notwendig, um Aufwuchs und somit Betriebskosten zu begrenzen.

- Die Oberflächenschicht von Seen wird für viele Zwecke genutzt. Sie weist eine höhere biologische Aktivität und eine sehr variable Temperatur auf. In Seen sollen daher in der Regel keine Wasserentnahmen oberhalb von 15 m Tiefe erfolgen. Für Kühlnutzungen ist es vorteilhaft, die Entnahme unterhalb von 30 m zu planen. Für Anlagen, die ununterbrochen eine tiefe und stabile Temperatur benötigen, können Tiefen von 50 bis 70 m ideal sein. Allerdings können in großen Seen in Folge von Herbststürmen auch bis in solche Tiefen vorübergehend höhere Temperaturen auftreten. Das sollte bei der Planung einer Anlage berücksichtigt werden.
- Bei der Auswahl von Standorten müssen die bestehenden Wasserentnahmen und -rückgaben und andere Nutzungen (z.B. Schutzgebiete) berücksichtigt werden. Benachbarte thermische Einleitungen und Abwassereinleitungen können den Betrieb stören.



System zur thermischen Nutzung eines Gewässers. Im Beispiel wird eine Industrie gekühlt und ein Haus geheizt. Da die Heizung dominiert, ist das Rückgabewasser kälter als das Entnahmewasser. (Grafik: Adrien Gaudard, Eawag)

Entnahme- und Rückgabebauwerke

- Der Bau einer Wasserentnahme oder -rückgabe ist immer ein Eingriff in das betreffende Gewässer. Mögliche Auswirkungen auf Schutzgebiete und aquatische Organismen müssen vor dem Bau sorgfältig abgeklärt werden, unter anderem, ob das betroffene Gebiet für gewisse Arten eine besondere Bedeutung hat (z.B. während der Laichzeit).
- Die Anzahl von Bauwerken wie Wasserentnahmen und -rückgaben in Gewässern soll möglichst gering gehalten werden. Wenige grössere Anlagen sind für die gleiche Energiemenge zahlreichen kleinen Anlagen vorzuziehen. Bei der Planung von neuen Anlagen sollen deshalb bestehende oder mögliche zukünftige Wassernutzungen in der lokalen Umgebung berücksichtigt werden.
- Wasserentnahmen aus Seen und Fließgewässern sind so zu gestalten, dass auch kleine Fische nicht in die Anlagen gelangen. Zu diesem Zweck sollen Seiher oder ähnliche Vorkehrungen installiert werden, und die Ansauggeschwindigkeit soll 10 cm/s nicht überschreiten. Um einen möglichst kurzen Kontakt von Fischen mit dem Seiher zu gewährleisten, sollte in Fließgewässern ein möglichst kleiner Winkel zwischen Seiher und der Fließrichtung angestrebt werden.
- Bei kombinierten Wärme- und Kühlnutzungen (Anergienetze) kann ein Teil der Wärme direkt innerhalb des thermischen Netzes wieder genutzt werden, ohne in das Gewässer zu gelangen. Solche kombinierten Nutzungen sind aus Sicht des Gewässerschutzes vorteilhaft.
- In Seen muss die Uferstabilität berücksichtigt werden. Standorte mit instabilem Untergrund und Bereiche, wo mit Sedimentrutschungen gerechnet werden muss, sollten gemieden werden.

Wasserentnahmen und thermische Einleitungen

- Der Durchfluss und die Temperaturdifferenz (ΔT) bestimmen die Wärmemenge, die einem Gewässer entzogen oder in ein Gewässer eingeleitet wird. Aus Sicht der Betriebseffizienz sind höheres ΔT und niedrigerer Durchfluss erwünscht. Ein höheres ΔT ist aber in der Regel mit stärkeren lokalen ökologischen Auswirkungen verbunden. Doch auch ein höherer Durchfluss kann sich negativ auswirken, z.B. bei Wasserverlagerungen zwischen verschiedenen Schichten in Seen.
- Die **Rückleitung** aus einem See in den Seeabfluss kann allenfalls helfen, die Auswirkungen zu vermindern, und soll bei der Planung einer Anlage in Betracht gezogen werden.
- Kenntnis von **saisonalen Zyklen** in aquatischen Lebensräumen ermöglicht, die ökologischen Auswirkungen zu verringern, z.B. durch besseres Timing und optimale Platzierung von thermischen Einleitungen.
- **Eingetauchte Wärmetauscher** können eine Alternative zu Wasserentnahmen sein, sofern die lokale Strömung genügt, um einen effizienten Wärmeaustausch zu gewährleisten. Ihr Vorteil ist, dass sie im Gewässer keine Wasserverlagerung verursachen. Sie stellen aber allenfalls einen grösseren baulichen Eingriff ins Gewässer dar.

Wärmenutzungen in Fliessgewässern

- Das Entstehen einer Restwasserstrecke soll vermieden werden. Bei einer grossen Nutzung (Entnahme eines beträchtlichen Anteils des natürlichen Durchflusses) soll die Rückgabe unmittelbar nach der Entnahme erfolgen.
- Die Wasserrückgabe soll auf jeden Fall ins gleiche Gewässer erfolgen. Die Gefahr besteht sonst, dass Krankheiten (Proliferative Nierenkrankheit PKD bei Fischen, Krebspest bei Krebsen) oder Neobiota verschleppt werden, wenn das Wasser in bisher nicht kontaminierte Gewässerabschnitte umgeleitet wird.
- Die Anordnung einer Einleitung soll gemäss Gewässerschutzverordnung eine rasche Mischung über den Flussquerschnitt gewährleisten, um lokal hohe Temperaturunterschiede zu vermeiden. Doch Ausnahmen können sinnvoll sein, wenn nachgewiesen wird, dass eine langsamere Durchmischung für das Ökosystem positiv wäre (z.B. schnellere Abgabe von Wärme an die Atmosphäre, Erhaltung eines wenig beeinflussten Migrationskorridors für Fische oder eines Kaltwasserrefugiums bei Grundwasseranstoss oder kühlen Zuflüssen).
- Kühlnutzungen sollen nicht zu einer Erhöhung der sommerlichen Temperaturextreme führen. Diese können für das Überleben von aquatischen Organismen entscheidend sein und werden mit dem Klimawandel, auch ohne zusätzliche Nutzungen, weiter zunehmen.
- Die saisonalen Bedürfnisse der in einem Fliessgewässer vorkommenden Arten (z.B. die Temperaturpräferenzen für die Wanderung oder die Laichablage von Fischen, die lokal unterschiedlich sein können) sollen bei der Abschätzung der Auswirkungen einer thermischen Einleitung neben den gesetzlich vorgeschriebenen Richtwerten ebenfalls berücksichtigt werden.
- Wärme, welche in ein Fliessgewässer eingeleitet wird, verbleibt meist über lange Fliessdistanzen im Gewässer. Bei der Abschätzung möglicher Auswirkungen müssen deshalb auch die übrigen thermischen Belastungen im Ober- und Unterlauf eines Fliessgewässers berücksichtigt werden.

Wärmenutzungen in Seen

- Eine Erwärmung der Oberflächenschicht soll vermieden werden. Insbesondere soll auch vermieden werden, dass die saisonale Mischung deutlich verzögert oder deren Intensität deutlich vermindert wird.
- In tieferen Schichten von Seen kann sich eingeleitete Wärme über einen längeren Zeitraum bis zur nächsten Winter-Durchmischung anreichern. Die maximale Temperaturänderung als Folge einer Wärmenutzung wird deshalb jeweils kurz vor der Durchmischung erreicht. Für die Abschätzung dieser Temperaturänderung soll neben der eingetragenen/entnommenen Wärmemenge auch deren vertikale Verteilung aufgrund der Ausbreitung der Fahne des eingeleiteten Wassers (juristisch = Abwasser) und der natürlichen Mischungsprozesse berücksichtigt werden. Der Tiefenbereich, in welchem sich ein Grossteil der Wärme saisonal anreichert, wird als Rückgabevolumen bezeichnet.
- Die Temperatur im Rückgabevolumen soll durch die Summe aller Wärmenutzungen in einem See nicht um mehr als 0.5 °C erwärmt oder um mehr als 1 °C abgekühlt werden. Bei einer Abkühlung um wenige Zehntel Grad sind im Allgemeinen keine negativen Folgen zu erwarten. Bei Abkühlungen um mehr als 0.5°C und generell bei Wärmeeinleitungen sind vertiefte Abklärungen der Auswirkungen empfohlen.
- Becken, die vom Rest eines Sees isoliert sind (geringer Wasseraustausch), sollen einzeln betrachtet werden.
- Je nach Rückgabtiefe werden zwei Fälle betrachtet:
 - a) Das rückgeleitete Wasser schichtet sich im gleichen Tiefenbereich ein, in dem sich die Wasserentnahme befindet. Es muss vermieden werden, dass die Rückgabe die Entnahme beeinflusst (Kurzschluss).
 - b) Das rückgeleitete Wasser schichtet sich in einem anderen Tiefenbereich ein, als sich die Wasserentnahme befindet. Neben dem Wärmetransport wird dadurch auch ein Wassertransport zwischen diesen beiden Tiefenbereichen verursacht. Dieser Wassertransport soll keine wesentlichen Nährstoffflüsse und keine deutliche Veränderung der Schichtung verursachen. Eine Verminderung des Durchflusses (typischerweise durch eine Erhöhung des ΔT) erlaubt, die verlagerten Wassermengen zu reduzieren. Ein solches Design ist erwünscht, falls die erwarteten Auswirkungen der Wasserverlagerung grösser sind als diejenigen der lokalen Temperaturveränderungen im Bereich der Rückleitungen.
- Die Rückgabe soll so gestaltet werden, dass die resultierenden Strömungen natürliche Prozesse (z.B. Eisbedeckung, Sedimentation, Wachsen der Ufervegetation) nicht stören.

Information zu weiteren relevanten Aspekten, externe Quellen

- Generell: [Zusammenfassung Berichte Programm «Thermische Netze»](#) (EnergieSchweiz, BFE 2021)
- Leitungen: [Nutzung von Oberflächengewässern für thermische Netze](#) (EnergieSchweiz, BFE 2017)
- Verschmutzung von Wärmetauschern: [Wärmerückgewinnung aus Abwasser](#); (Schriftenreihe der Eawag, Nr. 19; Eawag 2009)
- Wärmepumpen: [Handbuch Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung](#). (BFE, 2008, überarbeitet 2018)
- Wärmeverbände, Fernwärme: [Weissbuch Fernwärme Schweiz – VFS Strategie](#); Langfristperspektiven für erneuerbare und energieeffiziente Nah- und Fernwärme in der Schweiz (eicher+paoli, 2014) und [F1 d Richtlinie für Fernwärme](#) (SVGW; Ausgabe 2017)
- Kältenutzung: [Heizen und Kühlen mit Abwasser](#), Ratgeber für Bauherren, Gemeinden und Betreiber (EnergieSchweiz, BFE 2016)

Gesetzliche Grundlagen

Die allgemeinen Anforderungen an die Temperaturverhältnisse aus der Gewässerschutzverordnung (GSchV) gelten für alle Wärme- oder Kältenutzungen aus Seen oder Fliessgewässern:

- GSchV, Anhang 1, 1³
Die Wasserqualität soll so beschaffen sein, dass:
a. Die Temperaturverhältnisse naturnah sind.
- GSchV, Anhang 2, 12³
Durch Wasserentnahmen, Wassereinleitungen und bauliche Eingriffe dürfen die Hydrodynamik, die Morphologie und die Temperaturverhältnisse des Gewässers nicht derart verändert werden, dass dessen Selbstreinigungsvermögen vermindert wird oder die Wasserqualität für das Gedeihen der für das Gewässer typischen Lebensgemeinschaften nicht mehr genügt.

Für Fliessgewässer werden maximale Temperaturveränderungen definiert. Diese gelten im Vergleich zum möglichst unbeeinflussten Zustand. Das heisst, bereits bestehende Temperaturveränderungen müssen bei der Planung einer neuen Anlage mitberücksichtigt werden. Zudem sind Temperaturveränderungen nur soweit erlaubt, dass die obenstehenden allgemeinen Anforderungen noch erfüllt werden:

- GSchV, Anhang 2, 12⁴
Die Temperatur eines Fliessgewässers darf durch Wärmeeintrag oder -entzug gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand um höchstens 3 °C, in Gewässerabschnitten der Forellenregion um höchstens 1,5 °C, verändert werden; dabei darf die Wassertemperatur 25 °C nicht übersteigen. Diese Anforderungen gelten nach weitgehender Durchmischung.

Für Seen gibt es in der GSchV keine quantitativen Angaben für die maximal erlaubten Temperaturveränderungen, sondern nur qualitative Richtlinien:

- GSchV, Anhang 2, 13³
Für Seen gilt ausserdem:
a. *Durch Seeregulierungen, Wassereinleitungen und -entnahmen, Kühlwassernutzung und Wärmeentzug dürfen im Gewässer die natürlichen Temperaturverhältnisse, die Nährstoffverteilung sowie, insbesondere im Uferbereich, die Lebens- und Fortpflanzungsbedingungen für die Organismen nicht nachteilig verändert werden.*

Anforderungen an Durchlaufkühlungen:

- GSchV, Anhang 3.3, 21¹
Anlagen mit Durchlaufkühlung sind so zu planen und zu betreiben, dass nach dem Stand der Technik möglichst wenig Wärme anfällt und die Abwärme soweit möglich zurückgewonnen wird.
- GSchV, Anhang 3.3, 21⁴
Für Einleitungen in Fliessgewässer und Flusstau gilt zudem:
a. *Die Temperatur des Kühlwassers darf höchstens 30 °C betragen. Davon abweichend kann die Behörde zulassen, dass sie höchstens 33 °C beträgt, wenn die Temperatur des Gewässers, aus dem die Entnahme erfolgt, 20 °C übersteigt.*
b. *Die Aufwärmung des Gewässers darf gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand höchstens 3 °C, in Gewässerabschnitten der Forellenregion höchstens 1,5 °C, betragen; dabei darf die Wassertemperatur 25 °C nicht übersteigen. Übersteigt die Wassertemperatur 25 °C, so kann die Behörde Ausnahmen zulassen, wenn die Erwärmung der Wassertemperatur höchstens 0,01 °C pro Einleitung beträgt oder die Einleitung von einem bestehenden Kernkraftwerk stammt.*
c. *Das Einlaufbauwerk muss eine rasche Durchmischung gewährleisten.*
d. *Das Gewässer darf nur so schnell aufgewärmt werden, dass keine nachteiligen Auswirkungen für Lebensgemeinschaften von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen entstehen.*
- GSchV, Anhang 3.3, 21⁵
Für Einleitungen in Seen sind zusätzlich zu den Anforderungen nach den Absätzen 1-3 die Einleitungsbedingungen, insbesondere die Temperatur des Kühlwassers, die Einleitungstiefe und die Einleitungsart, entsprechend den örtlichen Verhältnissen im Einzelfall festzulegen.

Mehr Informationen: Projektwebseite: <https://thermdis.eawag.ch/de> (in de, fr und en). Relevante Eigenschaften der grösseren Schweizer Seen und Flüsse (übliche Temperaturen, Niedrigwasserabflüsse, usw.); saisonale thermische Potenziale; bestehende thermische Nutzungen; Ausbreitung einer thermischen Fahne; Die Wärmepotentiale der grösseren Schweizer Seen und Flüsse sind abrufbar über map.geo.admin.ch, Karte "Potential Wärmenutzung Gewässer".

Ansprechperson: Martin Schmid, Abteilung Oberflächengewässer, +41 58 765 2193, martin.schmid@eawag.ch

Mitarbeit an diesem Factsheet: Adrien Gaudard (†), Martin Schmid, Alfred Wüest, Abt. Oberflächengewässer; Andri Bryner, Peter Penicka, Abt. Kommunikation

Adresse: Eawag, Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf, Schweiz, +41 58 765 5511, info@eawag.ch, eawag.ch