

Physikalisch-chemische und gewässerökologische Auswirkungen von thermischen Einleitungen

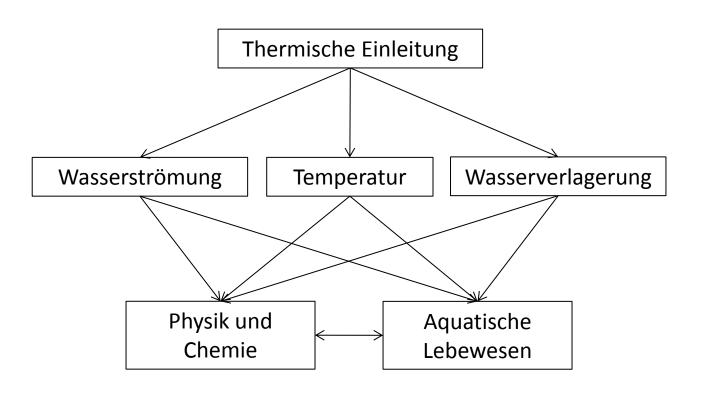
Adrien Gaudard & Martin Schmid



PEAK Kurs: Heizen und Kühlen mit Seen und Flüssen

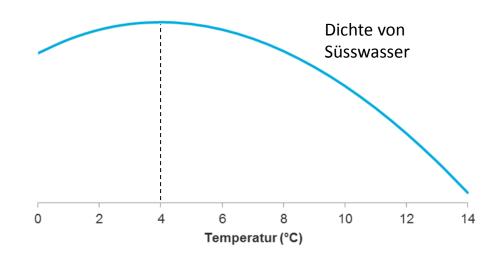
Kastanienbaum, 8. November 2017

Betroffene Aspekte

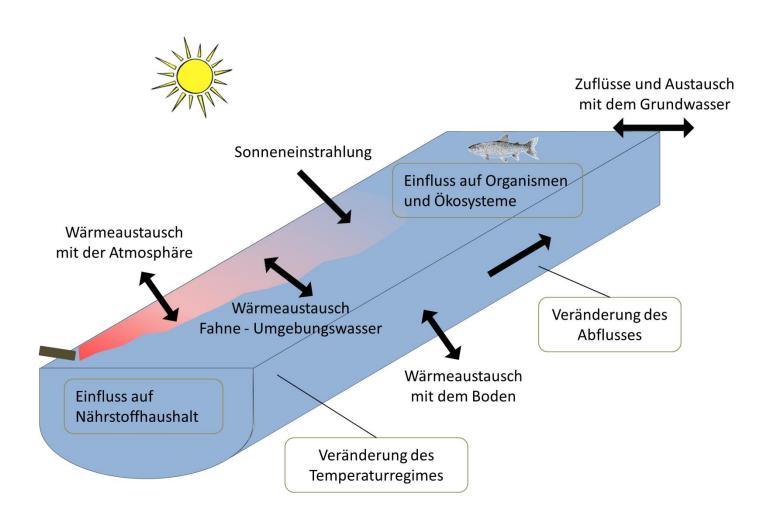


Hintergrund

- Es werden Wärme <u>und</u> Wasser transportiert
- Wasserdichte ist temperaturabhängig
- Klimawandel erwärmt das Gewässer und setzt aquatische Systeme unter Druck



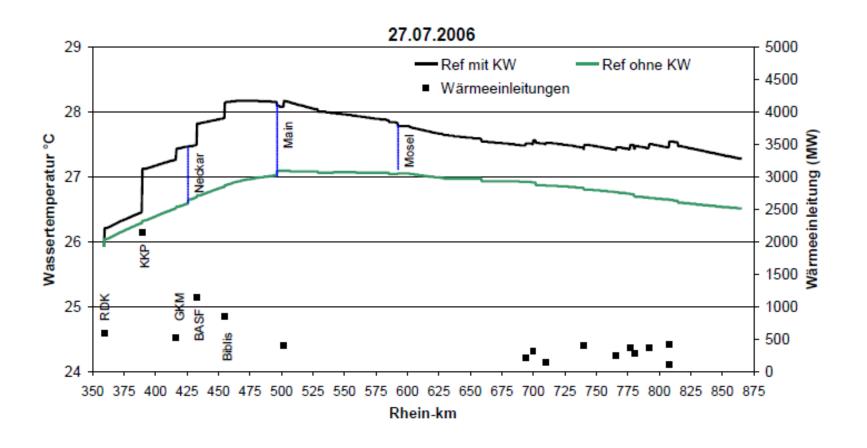
Relevante Prozesse in Flüssen



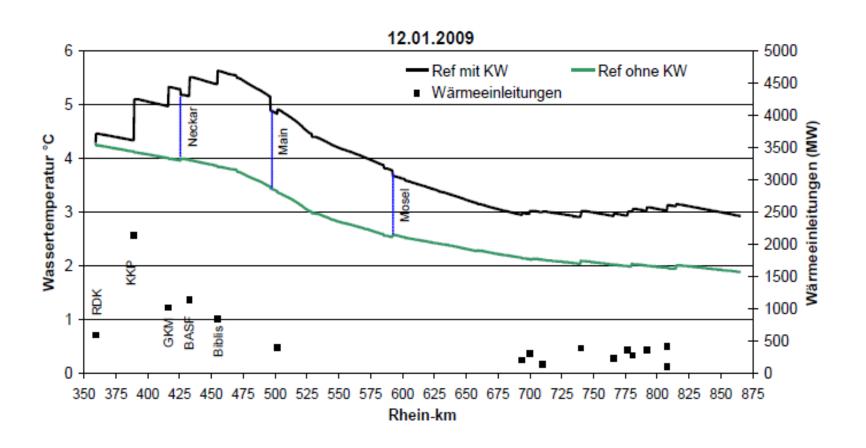
Ausbreitung von thermischen Einleitungen in Flüssen

- Thermische Strömung
 - Fliesst mit dem Strom und vermischt sich allmählich
 - Langsam in kanalisierten Abschnitten
 - Schneller in turbulenten Flüssen
 - Kann sich als Über- oder Unterströmung entwickeln
 - Nach der Mischung ist der ganze Fluss betroffen
 - Veränderter Austausch mit der Atmosphäre
 - Ein Teil der thermischen Verschmutzung kann den unterliegenden See erreichen

Beispiel: Kraftwerke am Rhein



Beispiel: Kraftwerke am Rhein

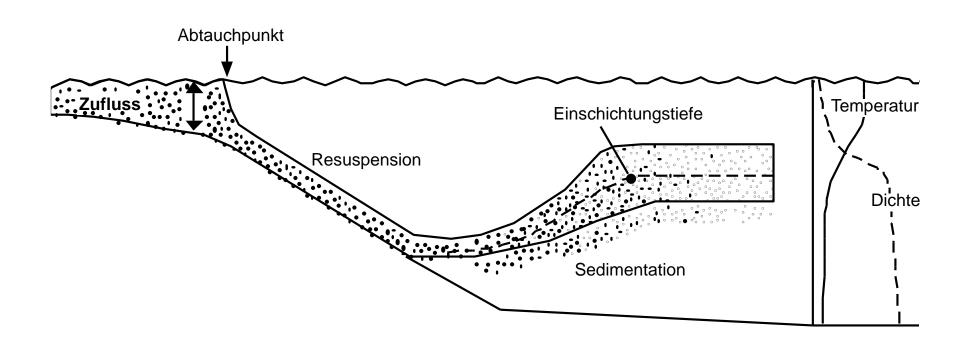


Physikalisch-chemische Auswirkungen

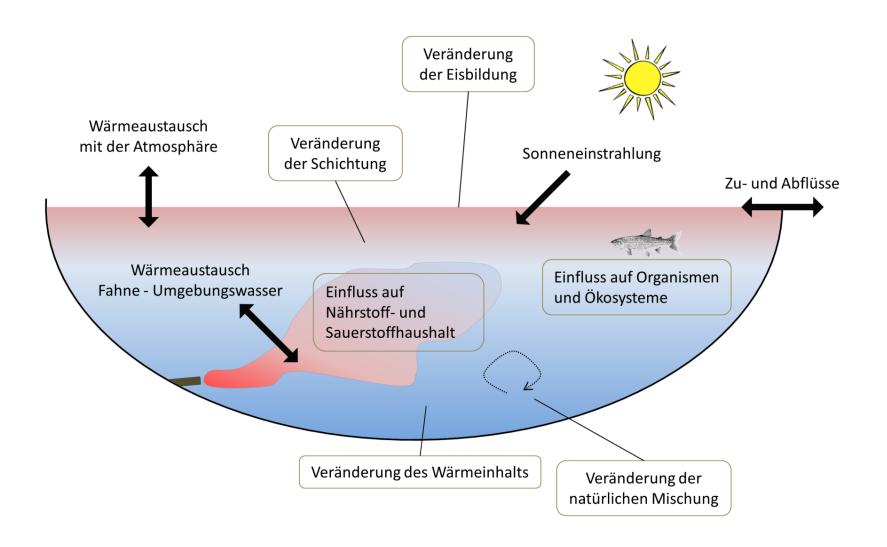
Bei erhöhten Temperaturen

- Beschleunigung chemischer Reaktionen
- Verminderung der Löslichkeit von Gasen
- Verminderung der Dichte und Einschichtungstiefe in unterliegende Seen
 - Mit entsprechenden Auswirkungen auf Sauerstoff-,
 Nährstoff- und Sedimentenzufuhr

Einschichtung eines Flusses



Relevante Prozesse in Seen



Ausbreitung von thermischen Einleitungen in Seen

- Thermische Fahne
 - Lokal grössere Temperaturänderungen
 - Steigt auf/ab und schichtet sich ein

Alternative: Ableitung in den Seeabfluss

Einschichtungsmodell

Input

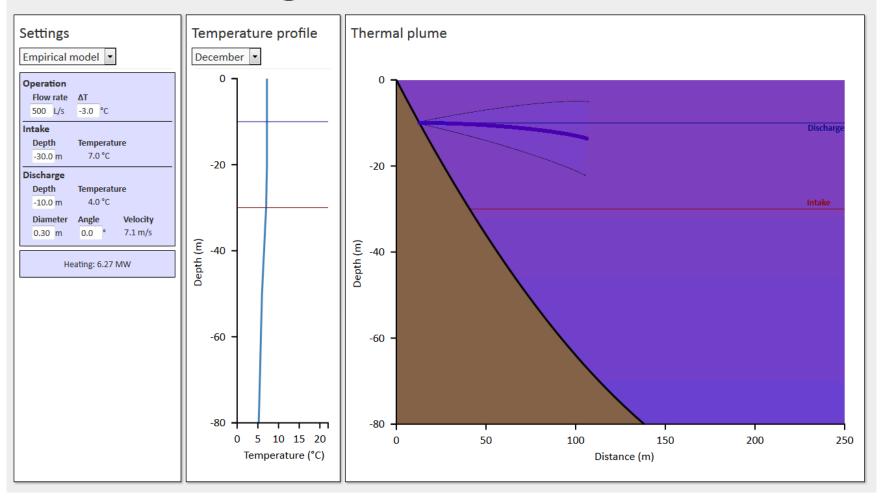
- Design- und Betriebsparameter
 - Entnahmetiefe
 - Einleitungstiefe, -winkel und -geschwindigkeit
 - Durchfluss und Temperaturdifferenz
- Saisonale Temperaturprofile im See

Output

Räumliche Entwicklung der thermischen Fahne

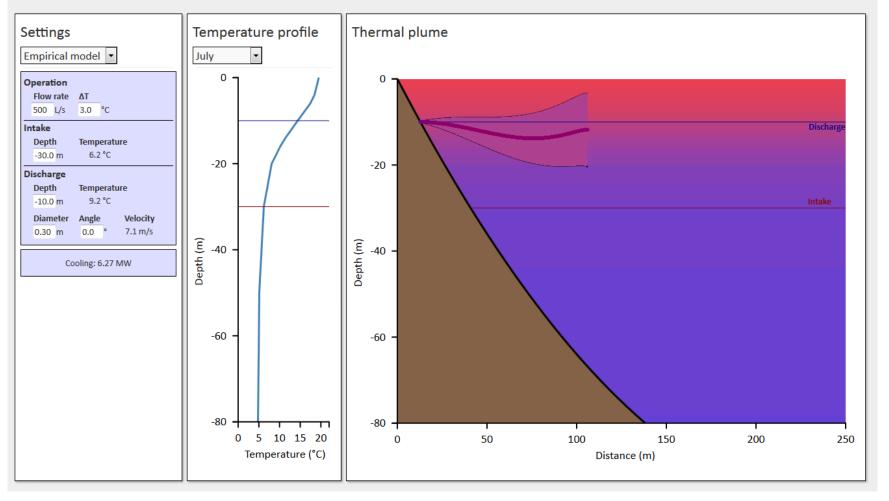
Beispielsimulation Winter

Thermal discharge in a lake



Beispielsimulation Sommer

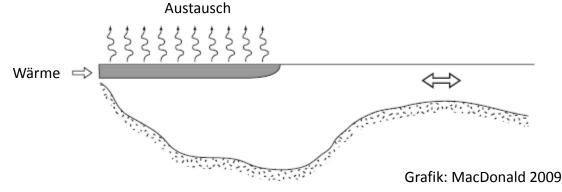
Thermal discharge in a lake

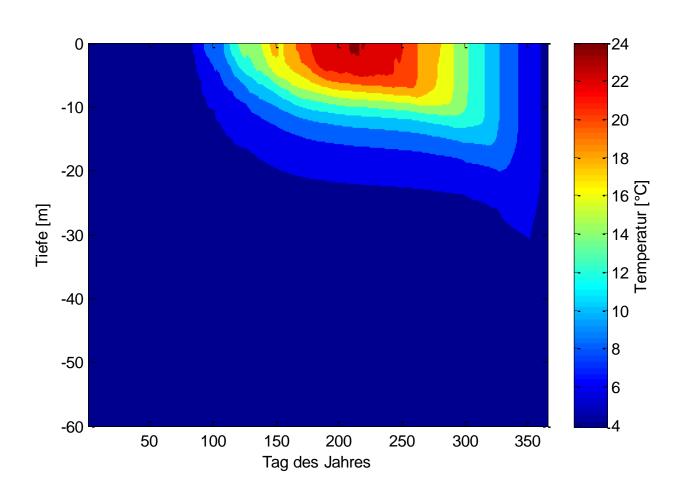


Saisonale Zeitskala

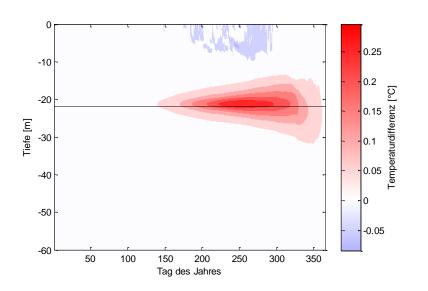
Seen sind Speicher, im Gegensatz zu Flüssen Wärme/Kälte kann über längere Zeit gespeichert und angereichert werden

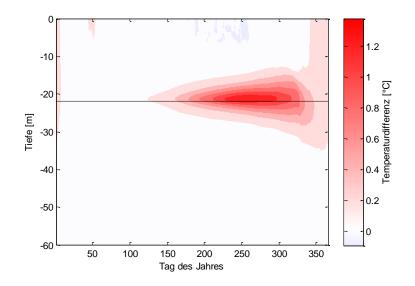
- Oberflächliche Einschichtung: schnellerer Austausch mit der Atmosphäre
- Im Tiefenwasser: Akkumulation bis zur n\u00e4chsten
 Mischung





Szenarien für Potenzialabschätzungen

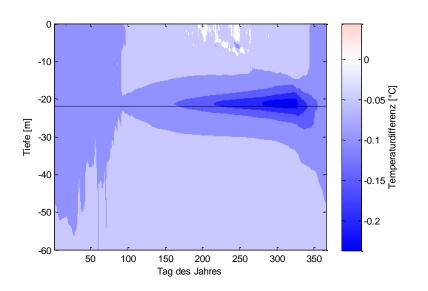


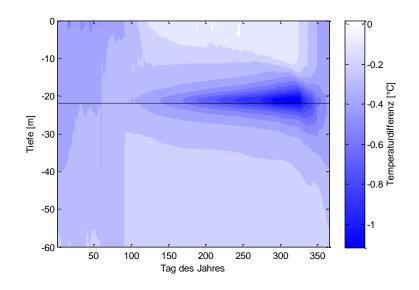


Wärmeeintrag von 100 GWh max. $\Delta T \sim 0.25$ °C

Wärmeeintrag von 500 GWh max. $\Delta T > 1^{\circ}C$

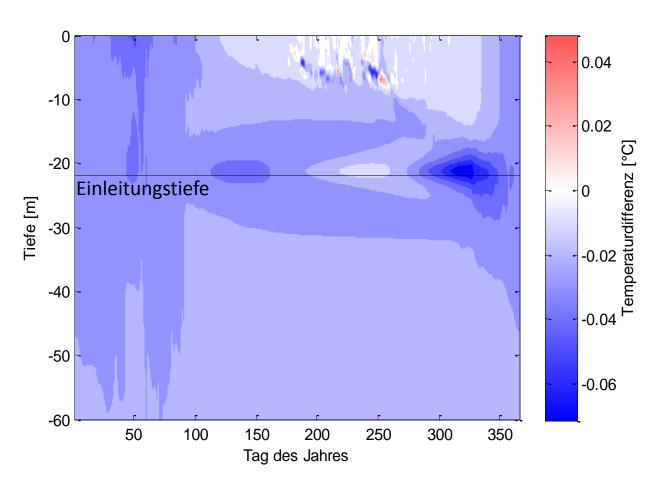
Szenarien für Potenzialabschätzungen



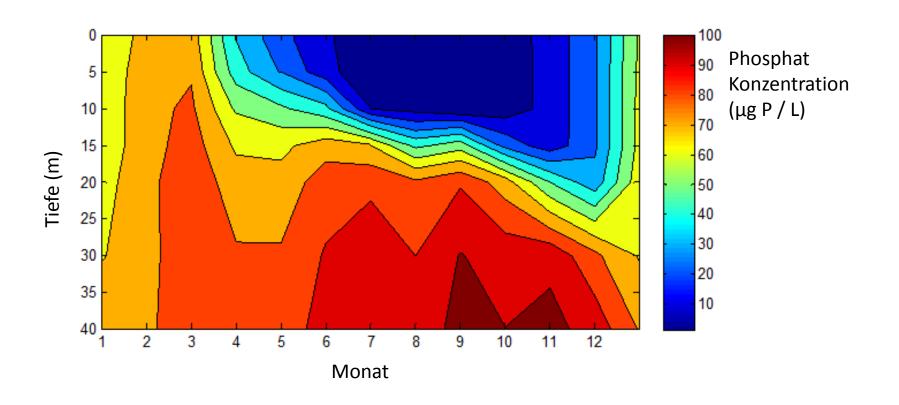


Wärmeentnahme von 200 GWh max. $\Delta T \sim 0.20$ °C

Wärmeentnahme von 1000 GWh max. $\Delta T \sim 1^{\circ}C$



Simulierte Temperaturänderungen in einem Nutzungsszenario des Energieverbunds Zug. Jährliche Wärmeentnahme: 114 GWh, Wärmeeintrag: 32 GWh.



Wassertransfer aus dem Tiefenwasser ins Oberflächenwasser führt zu Nährstoffeintrag.

Physikalisch-chemische Auswirkungen

Einfluss auf die Schichtung Mögliche Verstärkung der Sprungschicht und/oder Störung der Tiefenmischung

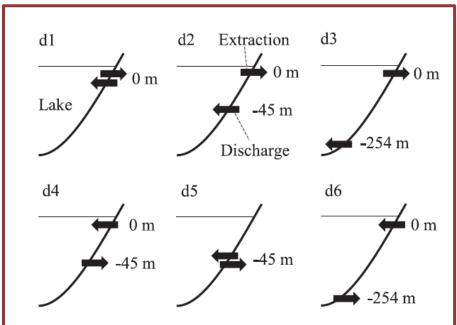
 Vor allem im Fall einer Wärmerückgabe ins Epilimnion oder einer Wärmeextraktion aus dem Hypolimnion, insb. im Sommer und Herbst

Simulation Bodensee

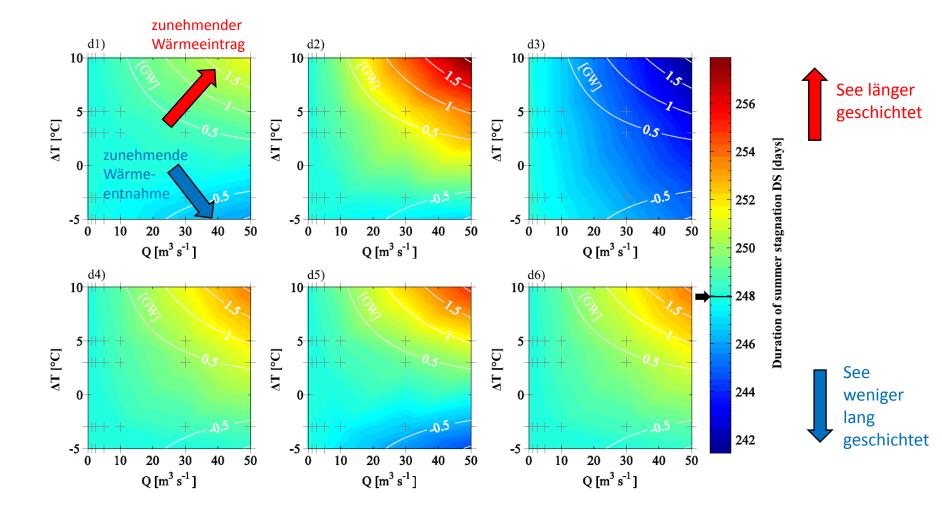
Modellierung Temperatur und Schichtung für

- verschiedene Entnahme- und Rückgabeszenarien
- Wärmeentnahme und/oder -eintrag bis 1 GW

Überblick modellierte Szenarien



Simulation Bodensee



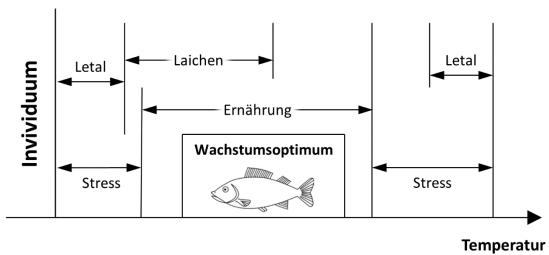
Simulation Bodensee

Schlussfolgerungen

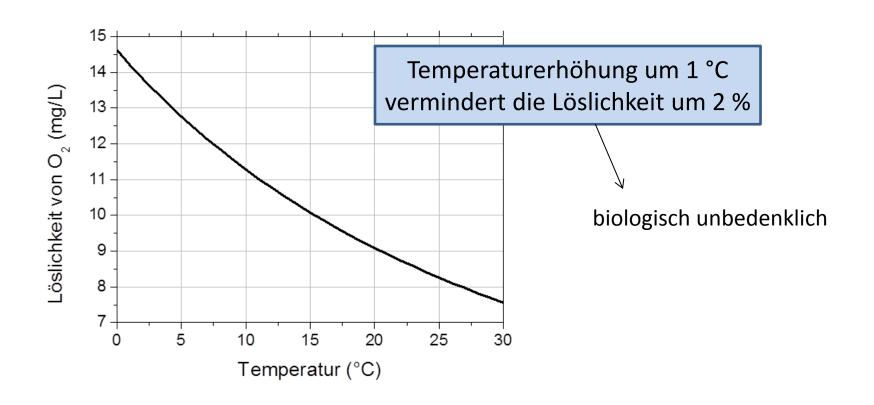
- Veränderung der Oberflächentemperatur < 0.2 °C
- Mögliche Verlängerung der sommerlichen Schichtung um wenige Tage, insb. bei oberflächennaher Wärmeeinleitung
- Verstärkung der winterlichen Durchmischung bei Wärmeentnahme
- Geringere Auswirkungen, wenn die natürliche Schichtung genutzt wird, um ΔT zu minimieren (Einleitung des erwärmten Wassers nahe an der Oberfläche, Einleitung des abgekühlten Wassers in der Tiefe)
- Geringere Auswirkungen bei Doppelnutzung (Heizen und Kühlen), auch wenn die saisonale Verteilung der beiden Nutzungen unterschiedlich ist

Ökologische Auswirkungen

- Temperatur beeinflusst alle aquatischen Organismen und Ökosysteme
- Thermische Toleranzgrenzen
- Akklimatisierung



Sauerstofflöslichkeit



Ökologische Auswirkungen

- Verhalten
 - Anziehung/Vermeidung von mobilen Organismen
 - Bessere Temperaturbedingungen
 - Mehr Beute zur Verfügung
 - Auswanderung
 - Andere Tiefenbereiche; flussabwärts oder -aufwärts
 - Suche nach thermischen Zufluchtsorten

Ökologische Auswirkungen

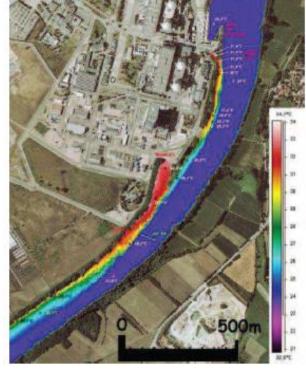
- Biodiversität
 - Lokale Änderungen in der Artenzusammensetzung
 - Typischerweise werden kälteliebende Arten im Sommer benachteiligt
 - Salmoniden wenn T > 20 bis 21°C
 - Mögliche Verdrängung durch besser angepasste Arten
 - Einfachere Lebewesen (Bakterien, Plankton) sind oft toleranter

Fallstudie: Rhône

Ein KKW generiert eine thermische Fahne

Das Verhalten von verschiedenen Fischarten

wurde beobachtet



Bergé J. 2012. Apport de la télémétrie acoustique pour la compréhension de l'utilisation dynamique des habitats par les poissons dans un grand fleuve aménagé, le Rhône. PhD. Université Claude Bernard-Lyon I, Lyon, France.

Fallstudie: Rhône

- Auswirkungen
 - Die Fische nutzen die Temperaturunterschiede
 - Die Karpfenfische vermeiden die erwärmte Flussseite
 - Der Flusswels bleibt oft in der Fahne
 - Fischaktivität ist signifikant unterschiedlich
 - Einfluss der Temperatur auf den Metabolismus und Schwimmfähigkeiten
 - Kompromiss zwischen Wachstum, Metabolismus und Ernährung

Ökologische Auswirkungen

- Ökosystemprozesse
 - Produktivität wird erhöht im wärmeren Wasser
 - Timing von ökologischen Prozessen ist oft durch Temperatur bestimmt
 - Früheres Algenwachstum
 - Schnellere Entwicklung (z.B. Jungfische, Wirbellose)
 - Längere Reproduktionsperiode
 - Häufigeres Vorkommen von Krankheiten im wärmeren Wasser

Bild: Wikipedia

Fallstudie: Stechlinsee

- Starke thermische Verschmutzung von einem KKW (1966-1989)
- Nutzungsmenge = ganzes Seevolumen innerhalb von 1 Jahr
- ΔT bis 10 °C
- Nährstoffflüsse



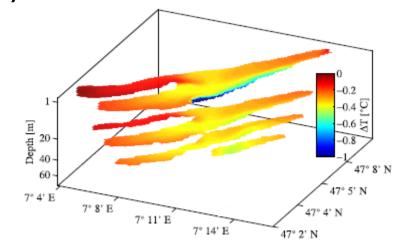
Fallstudie: Stechlinsee

- Auswirkungen
 - See im Mittel um 1 °C erwärmt
 - Wind und Strömungen bestimmen die Verteilung der Wärmefahne
 - Oberflächenwasser besonders im Sommer betroffen
 - Einleittemperatur über 25 °C im Sommer
 - Verminderung der Produktion
 - Absterben von Organismen
 - Verstärkung der Sommerschichtung
 - Abschwächung der Winterschichtung
 - Verminderung der Eisbildung
 - Zunahme der Planktonbildung
 - Jahreszeitliche Zyklen gegen vorne verschoben

Simulation: Aare und Bielersee

- Einfluss der thermischen Einleitung des KKW Mühleberg
 - − Wärmeeinleitung (~ 700 MW) in der Aare
 - Die Wärme erreicht den Bielersee
 (Aufenthaltszeit: ~ 60 Tage)

in kurzer Zeit



Simulation: Aare und Bielersee

- Hauptresultate (Bielersee)
 - Mittlere Temperaturerhöhung: 0.3 °C; max.: 3.4 °C
 - Über die Hälfte der eingeleiteten Wärme erreicht den Auslauf
 - Verlängerung der Sommerschichtung
 - Mögliche «Spülung» der Oberflächenschicht
 - Möglicher «Kurzschluss»-Effekt

Schlussfolgerungen

- Erwärmungen sind am heikelsten
 - Klimawandel
 - Grosse Wärmeeinleiter (insb. Kraftwerke) sind problematisch, insb. im Frühling und Sommer
 - Abkühlungen können sich positiv auswirken
- Verlagerung von Wasser und Nährstoffen können grosse Auswirkungen haben

Schlussfolgerungen

- Kritische Fälle
 - Seen: Störung der Mischung
 - Flüsse: Beeinträchtigung von sensiblen Arten
- Kritische Faktoren
 - Eingeleitete Wärme-/Kältemenge
 - Seen: Einleitungstiefe, Einschichtungstiefe und kumulatives Rückgabevolumen vs. Seevolumen
 - Flüsse: Art der Mischung, Lage der Einleitung entlang des Flusses

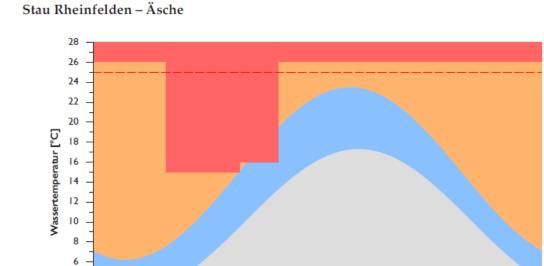
Schlussfolgerungen

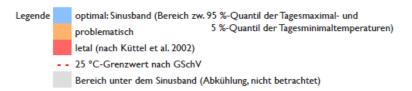
2

Laichzeit Entwicklung Eier

Juvenile (0⁺) Adulte

- Natürlicher
 Temperaturverlauf ist entscheidend
- Vorhandene Arten und Nutzungen sind zu betrachten
- Räumliche
 Temperaturvariabilität
 ist essenziell





Mai.

Okt.

Nov.

Dez.

März

15-30 Tage

Dönni W. 2016. Fliessgewässertyp und thermisches Habitat der Fische: Evaluation des methodischen Vorgehens. Bundesamt für Umwelt (BAFU).