

HAWK

HOCHSCHULE

FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFT UND KUNST

Hildesheim/Holzminden/Göttingen

www.hawk.de

Engagieren Erhalten

Bauen Fühlen

Verstehen

Entwerfen

Aktivieren

Denken Handeln

Managen

Erleben Helfen

Unterstützen

Entwickeln Leben

Kommunizieren

Fördern

Lernen Gestalten

Gründen Betreuen

www.hawk.de

Entfalten

Designen Erfinden

Prüfen

Erforschen

Erweitern Konservieren

Konstruieren

Erkennen

Verändern Vorangehen

Restaurieren Weiterdenken

Begründen

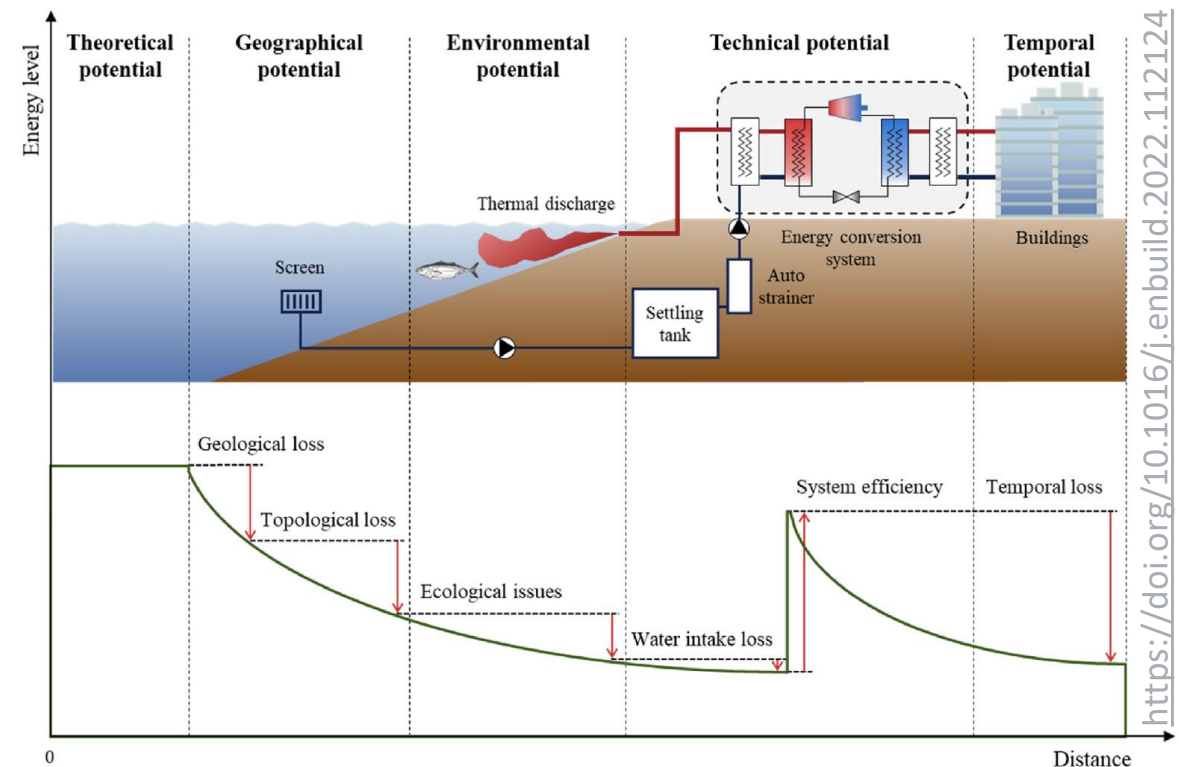
Green Building Forum

Nachhaltige Wärmenutzung aus Oberflächengewässern: Technische Möglichkeiten, regionale Unterschiede und ökologische Grenzen

Online-Vortrag am 07.10.2025 von **Abdulraheem Salaymeh**
im Rahmen der landesweiten Kampagne „Wochen der Wärme“

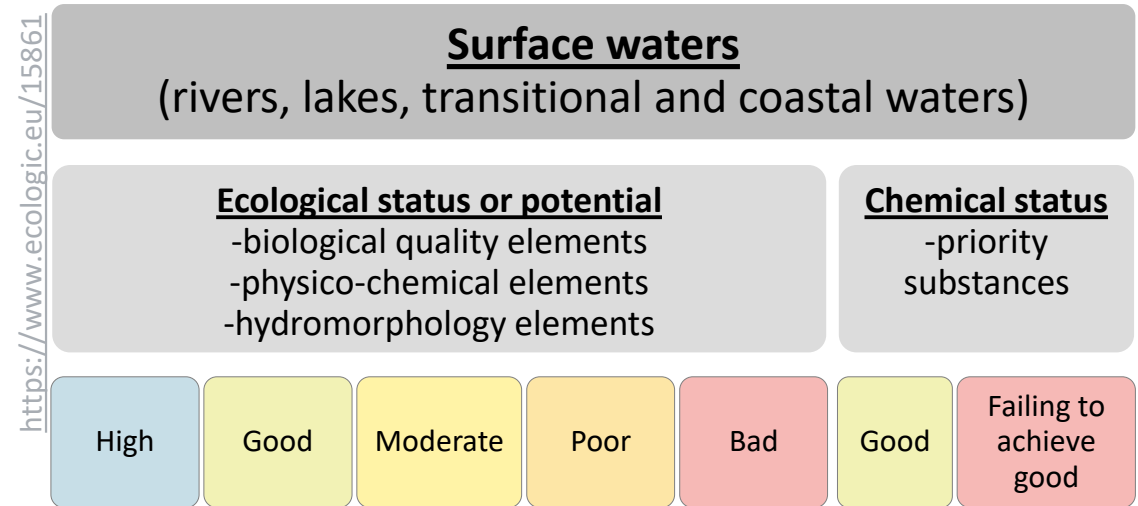
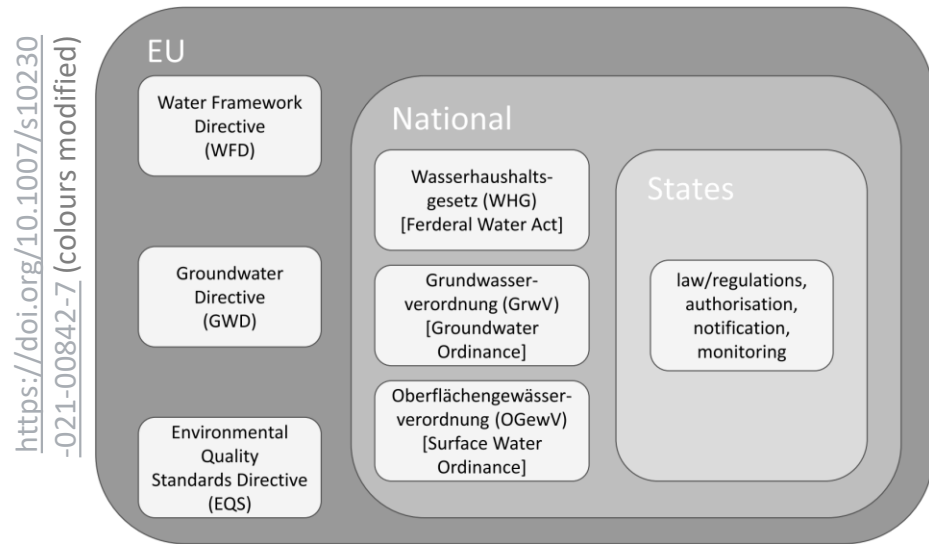
Einleitung – Technik und Potenzial

- Die Transformation zum klimaneutralen Energiesystem erfordert die Nutzung eines breiten Spektrums erneuerbarer Energiequellen.
- Oberflächengewässer gelten als weitgehend unerschlossene Wärmequellen mit hoher Energiekapazität.
- Besondere Herausforderung
--> Lebenswichtige Ressource für Menschen sowie Lebensraum für Tiere und Pflanzen.
- Untersuchung des ökologischen Potenzials unter Berücksichtigung der Anforderungen und Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie – Water Framework Directive (WFD).

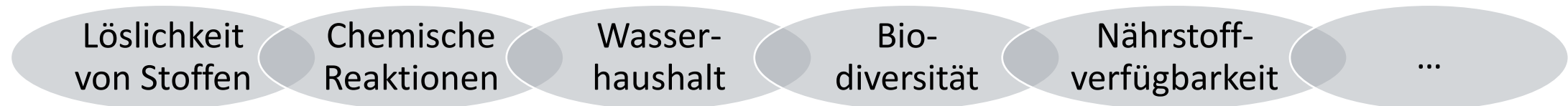


Einleitung – Rechtlicher Rahmen und Ökologie

- Die WFD ist das Rechtsinstrument für den langfristigen Schutz von Gewässern.
- Alle europäischen Gewässer sollen mindestens einen „guten Zustand“ erreichen.

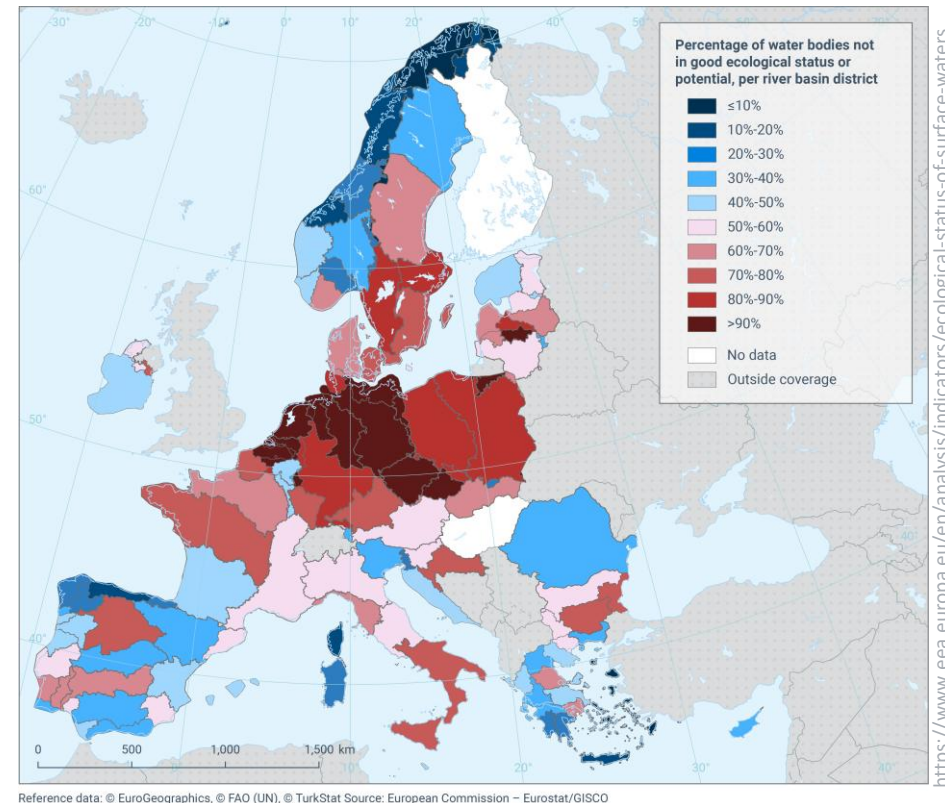


- Wassertemperatur – ein Schlüsselfaktor für den ökologischen Zustand von Gewässern.
- Kleine Temperaturänderungen ($\geq 1K$ Thermal Pollution) --> verschiedene Folgewirkungen:



Ausgangssituation

- Etwa 40% der EU Oberflächengewässer sind in einem guten ökologischen Zustand. “Only ten percent of Germany’s water ecologically intact” [UBA].
- Klimawandel --> Temperaturanstieg ca. 0,8°C/Jahrzehnt, anhaltend niedrige Wasserstände.
- In 12 Bundesländern entfallen die Wasserentnahmeentgelte bei Wärmenutzung.
- OGewV Anlage 7 – Temperaturerhöhung ΔT [K] und T_{\max} [°C] nach Gewässertypen und Fischgemeinschaften. Ähnliche Grenzen für Abkühlung (nach [IGB]).



Zielsetzung

- Charakterisierung und Clusterung von Flüssen nach Typologie & Temperaturtoleranz.
- Bewertung des thermischen Potenzials und der nachhaltigen Entnahmeraten.
- Räumliche Verteilung des Potenzials sowie Verknüpfung mit ökologischem Zustand.
- Sensitivitätsanalyse: Einfluss technischer Parameter auf Potenzialschätzung und Anlagendimensionierung.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.137093>

Energy 332 (2025) 137093



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy



Techno-spatial evaluation of the sustainable thermal potential and water withdrawal rates of waterbodies

Abdulraheem Salaymeh^{a,b,*}, Johannes Eck^a, Stefan Holler^a, Irene Peters^b

^a HAWK University of Applied Sciences and Arts Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Rudolf-Diesel-Straße 12, Göttingen, 37075, Germany

^b HafenCity University Hamburg, Henning-Voßcherau-Platz 1, Hamburg, 20457, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:

Environmental potential
Ecological status
Thermal tolerance
River clusters
Techno-spatial sensitivity
GIS
Major natural regions

ABSTRACT

The rising need for renewable energy intensifies interest in the thermal utilisation of waterbodies, which in turn gives rise to ecological risks such as thermal pollution and water quality deterioration, underscoring the need for valid potential evaluation to ensure sustainable use. Conventional evaluation methodologies often apply uniform limits for allowed water temperature changes, overlooking the diversity of waterbody typologies and existing aquatic biota, which leads to uncertainty in the sustainably usable thermal potential and water withdrawal rates. Addressing this gap, this study applies a novel techno-spatial approach, characterising waterbodies by temperature tolerance and evaluating their thermal potential considering the ecological status and technical sensitivity, in compliance with the European Water Framework Directive (WFD) and the German Surface Waters Ordinance (OGewV). Findings reveal substantial regional variation, with only 6% of rivers displaying high tolerance to temperature change, predominantly in lowland areas. When comparing plant siting strategies, broad inclusion of all river types increases the number of possible sites and improves urban accessibility, but overall reduces available capacity due to stricter ecological thresholds. Sensitivity analyses identify water withdrawal rates and operational parameters as primary sources of technical uncertainty. These findings highlight considerable spatial, technical, and ecological constraints, and inform region-specific water-energy management.

1. Introduction

The transition to a climate-neutral energy system demands a significant spread in the use of Renewable Energy Sources (RES) [1] in the context of smart energy [2,3] or multi-energy [4,5] systems to exploit synergies through sector integration [6]. Surface waterbodies are scarcely exploited heat sources [7] with vast potential for heating and cooling [8]. They are defined as any atmospheric-exposed water body like lakes and rivers [9], and are classified as low enthalpy RES [10,11], or more specifically, as ambient water sources [12,13]. Their use in riparian infrastructures is expected to increase in the near future [7,14,15], as they serve as a renewable, reliable, and local energy resource [8] with high debit of water and high proximity to urban areas [12,16]. The high density [17] and the large heat capacity [11, 15] allow efficient heat extraction by heat pumps. Unlike industrial waste heat, ambient water heat ensures long-term stability [12,13]. Moreover, in cooling applications, waterbodies can significantly reduce electricity consumption by supplementing or replacing air-based chillers [7]. Their fluidity and specific temperature inversion offer

environmental and technical advantages over air-based systems [5, 18]. Compared to waste-, groundwater and wasteheat sources, a key drawback of near-surface waterbodies is their temperature variation across spatiotemporal scales, following daily and seasonal atmospheric cycles [7,12], but with decreased amplitude and a phase shift [8].

The major ecological drawback of the thermal utilisation of waterbodies is the potential impact on the aquatic ecosystem [8]. It induces both thermal impacts, attributed to temperature alterations, and non-thermal impacts, stemming from the translocation of water and nutrients, release of contaminants and modification in flow dynamics and patterns [7]. The water balance components, such as evapotranspiration, runoff and groundwater recharge will be inevitably affected [19]. In fact, even slight temperature changes in water [20], about 1 K and known as “thermal pollution” [15], may already interfere with ecological systems, influence the physiological rates [20] and the structure of biotic communities [15] and consequently deteriorate water quality [21]. Matousek et al. [22] observed increased fish mortality at elevated temperatures, a finding further illustrated by [7,23], which

* Corresponding author at: HAWK University of Applied Sciences and Arts Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Rudolf-Diesel-Straße 12, Göttingen, 37075, Germany.

E-mail address: abdulraheem.salaymeh@hawk.de (A. Salaymeh).

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.137093>

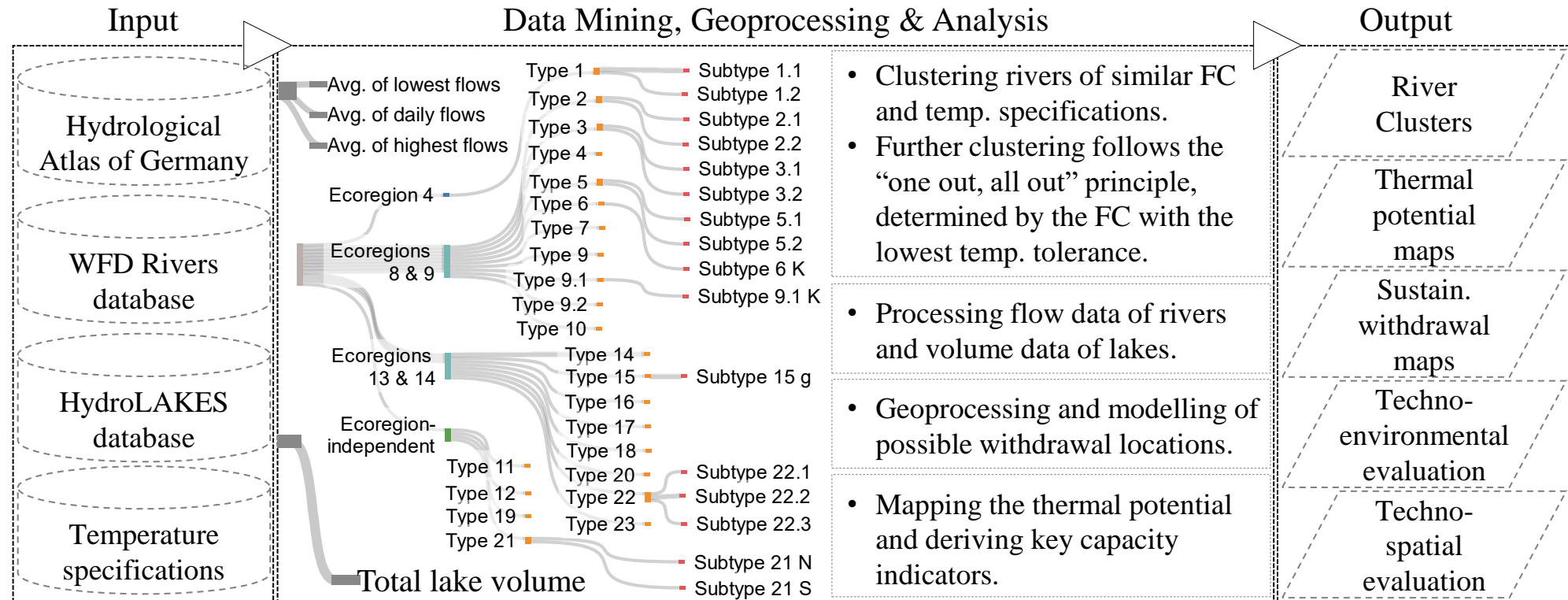
Received 19 December 2024; Received in revised form 24 May 2025; Accepted 11 June 2025

Available online 24 June 2025

0360-5442/© 2025 The Author(s). Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Methodik

- Datenakquise und GIS-gestützte Datenaufbereitung (Flüsse und Seen).
- Verschneidung mit Vorgaben über zulässige Temperaturänderungen und Informationen über verfügbare Volumenströme (Flüsse) und Wasservolumina (Seen).

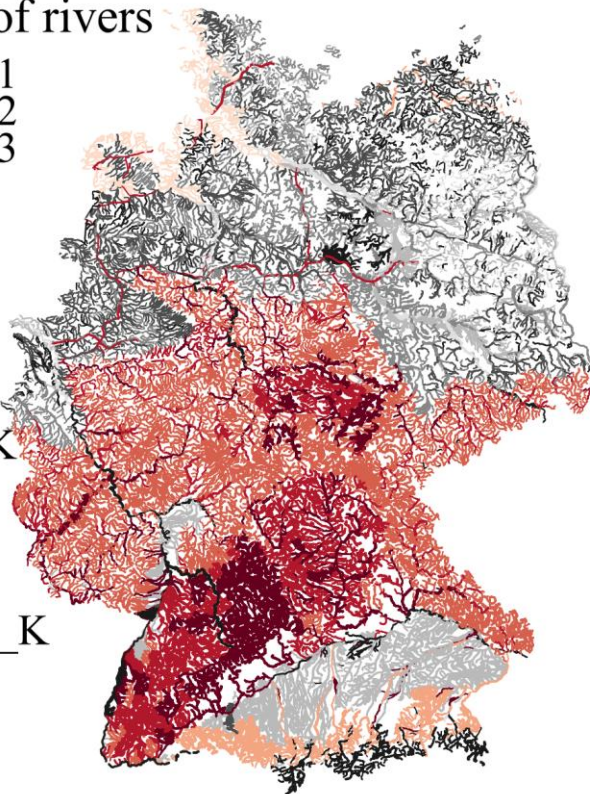


Methodik – Clusterbildung Fließgewässer

- Kategorisierung der 35 WFD- Fließgewässertypen nach Fischgemeinschaften.
- Clusterbildung nach Temperaturtoleranz und WFD „one out, all out“ Prinzip.

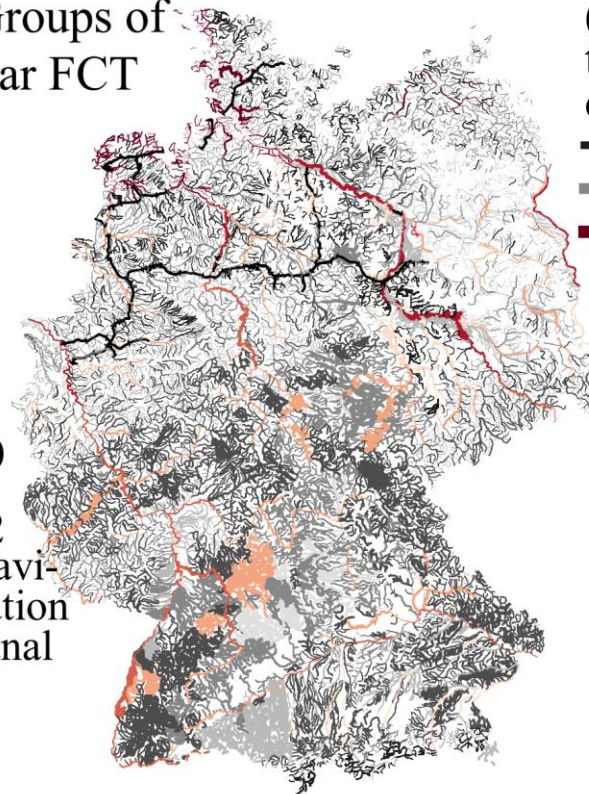
(a) Types of rivers

- 1.1 - 22.1
- 1.2 - 22.2
- 10 - 22.3
- 11 - 23
- 12 - 3.1
- 14 - 3.2
- 15 - 4
- 15_G - 5
- 16 - 5.1
- 17 - 6
- 18 - 6_K
- 19 - 7
- 2.1 - 77
- 2.2 - 9
- 20 - 9.1
- 21 - 9.1_K
- 21_N - 9.2
- 21_S



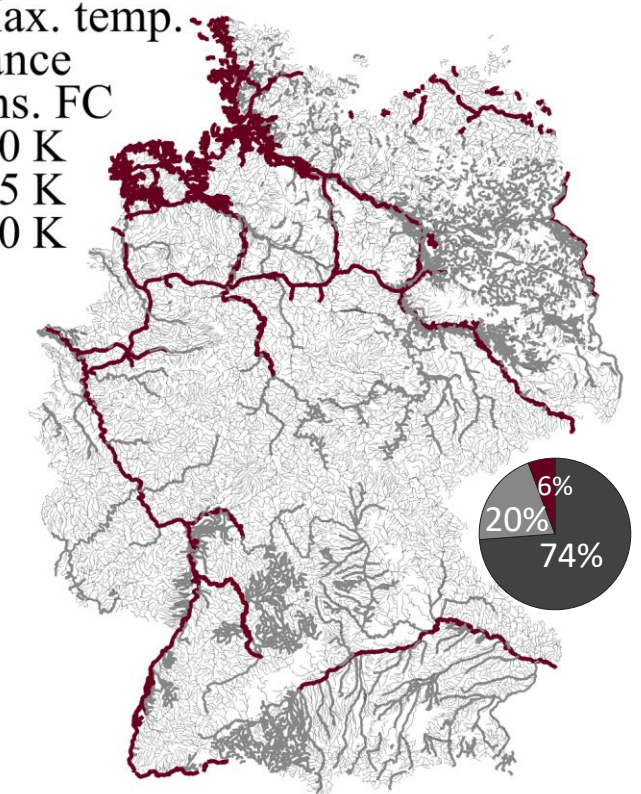
(b) Groups of similar FCT

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- Navigation canal

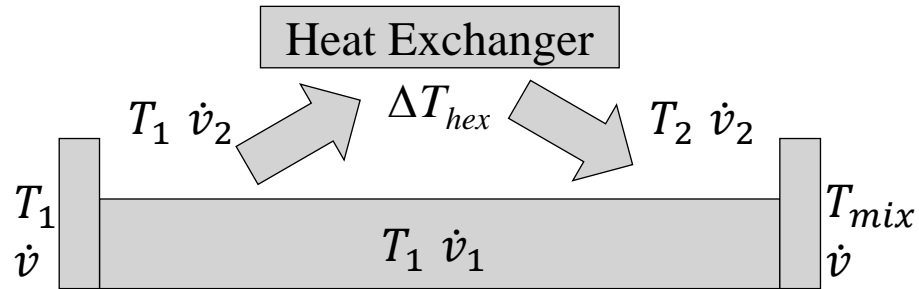


(c) Max. temp. tolerance of sens. FC

- 1.0 K
- 1.5 K
- 2.0 K



Methodik – Potenzial und Wasserentnahmerate



Schematic of water withdrawal/discharge and thermal mixing.

Sensitivity and scenario analysis:

Applied parameter values in the initial scenario.

Parameter	Lakes	Rivers
ΔT_{sus} in K	1	Acc. maps
ΔT_{hex} in K	5	5
h in hours	4000	4000
\dot{v}_2 in m^3/s	HydroLAKES	HAD
d in km	n. a.	50

“variation factor” from 0.0 to 2.0 in 0.1 interval

--> initial values (at 1.0) maximally doubled or reduced to zero.

Richmannsche Mischungsregel

$$\dot{v}_1 \cdot \rho_1 \cdot c_{p1} \cdot (T_1 - T_{\text{mix}}) = \dot{v}_2 \cdot \rho_2 \cdot c_{p2} \cdot (T_{\text{mix}} - T_2)$$

Nachhaltige Wasserentnahmerate

$$\dot{v}_2 = \frac{\dot{v} \cdot \Delta T_{\text{sus}}}{T_1 - T_2} = \frac{\dot{v} \cdot \Delta T_{\text{sus}}}{\Delta T_{\text{hex}}}$$

Nachhaltige Temperaturänderung

$$\Delta T_{\text{sus}} = T_1 - T_{\text{mix}}$$

Nachhaltig nutzbare Wärmeleistung

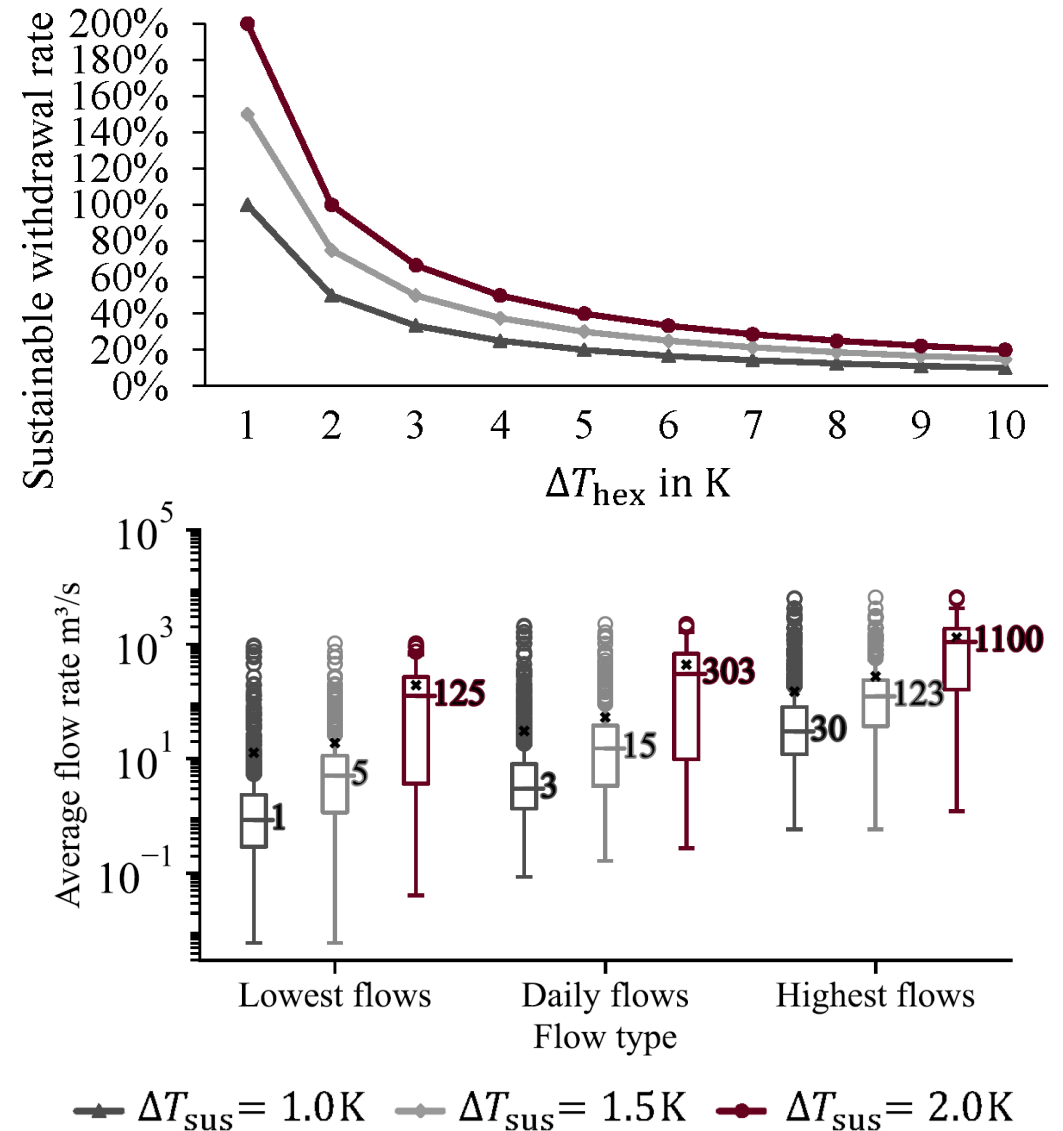
$$\dot{Q} = \dot{v}_2 \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T_{\text{hex}}$$

Nachhaltig nutzbares Potenzial (Anlagen: Anzahl n , Abstand d)

$$Q_d = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_i \cdot h$$

Ergebnisse – Temperatur

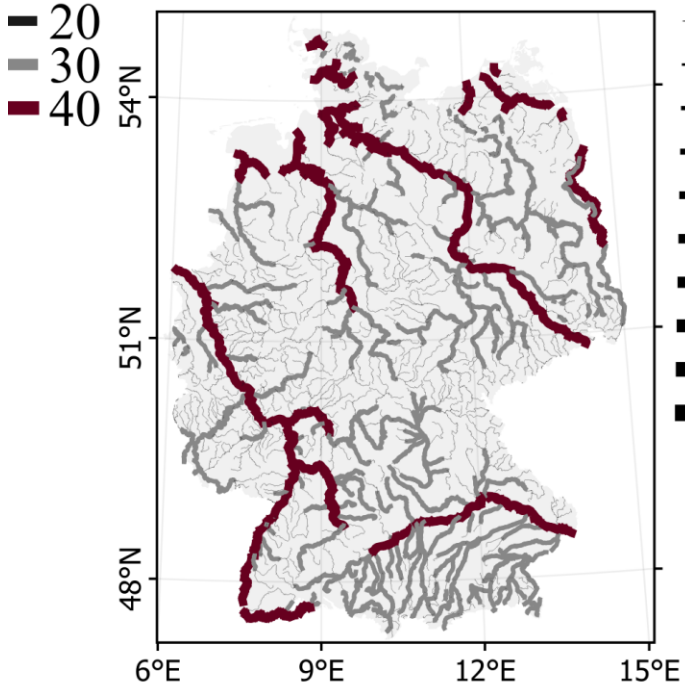
- Sinkende Entnahmerate bei steigender Temperaturabkühlung durch größere Wärmetauscher.
- $\Delta T_{hex} < 4K$ besonders hohe Durchflussraten, höherer Energieverbrauch, höheren Pumpenbedarf, stärkerer Anlagenverschleiß u. weniger effektive Wärmeübertragung.
- Steigende Temperaturtoleranz bei steigender Durchflussmenge (z. B. in Schifffahrtskanälen, große Flüsse wie Elbe und Weser).



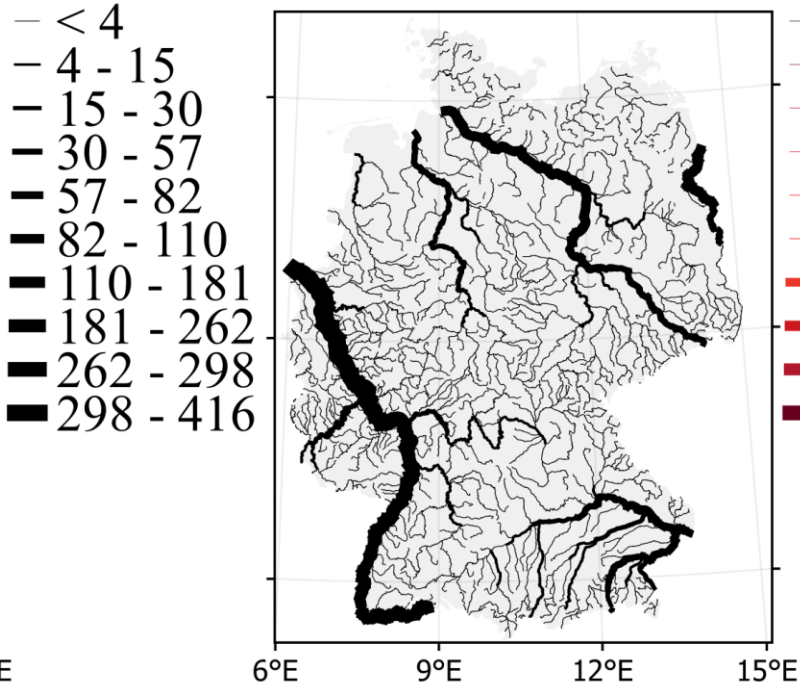
Ergebnisse – Nachhaltig nutzbares Potenzial (Entnahmerate & Leistung)

- Rhein: 178 m³/s (Schweizer Grenze) bis 416 m³/s (niederländische Grenze), max. th. Kapazität 8,7 GW.
- Elbe: Min. an der tschechischen Grenze, Max. 110 m³/s (Nordsee-Anbindung).
- Donau & Inn: max. an der österreichischen Grenze; Oder steigert nach der Warta (Polen) auf 104 m³/s.
- 0,001GW (Hase) bis >2,3GW (nur Rhein); Top 10: Rhein, Elbe, Inn, Oder, Donau, Weser, Isar, Main, Mosel.

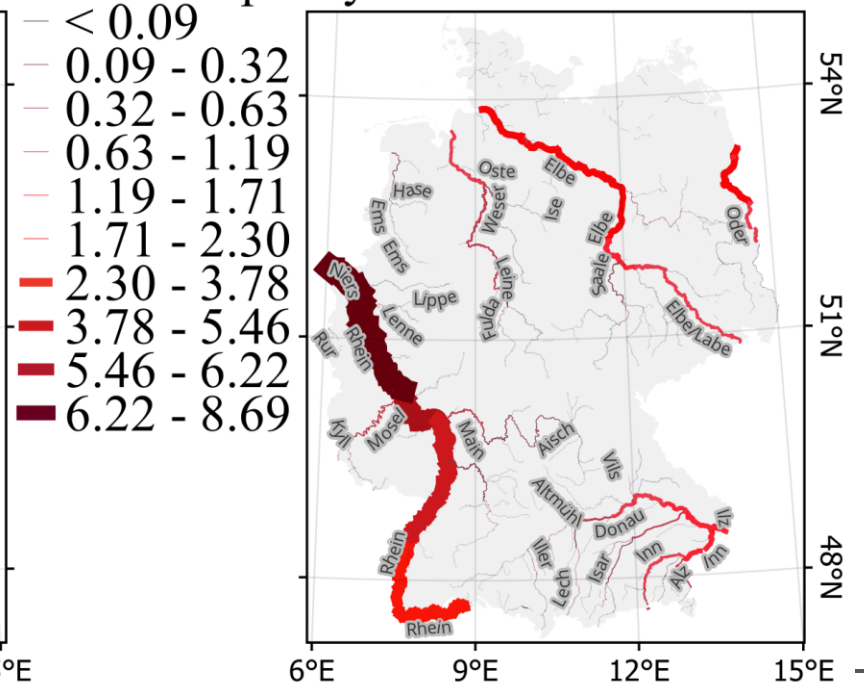
(a) Max. sustainable withdrawal rate %



(b) Max. sustainable withdrawal rate m³/s

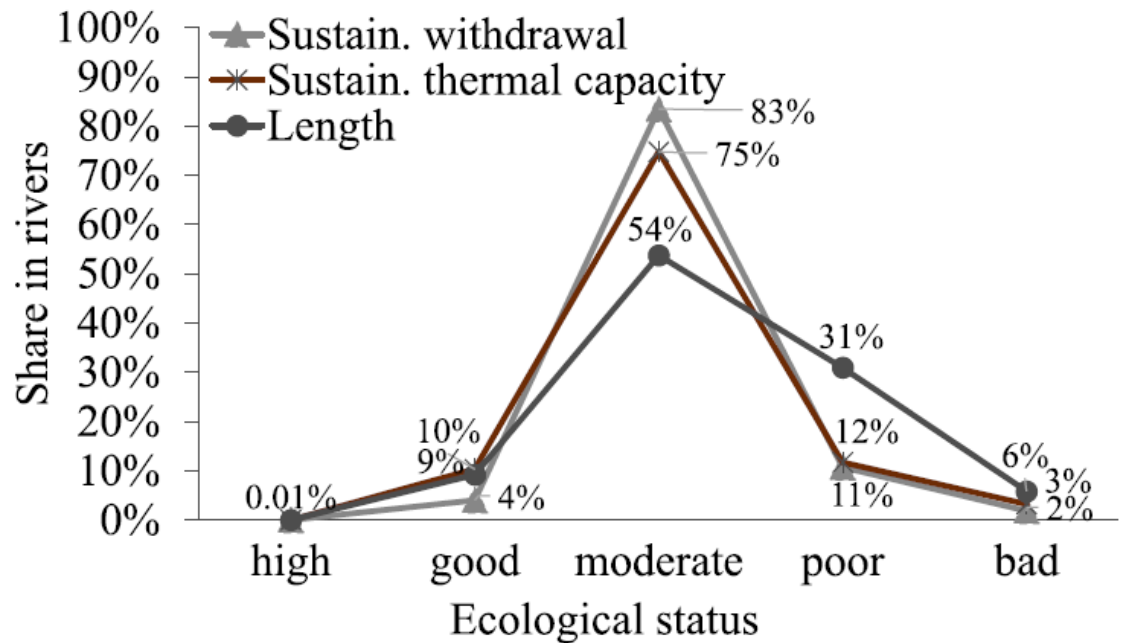
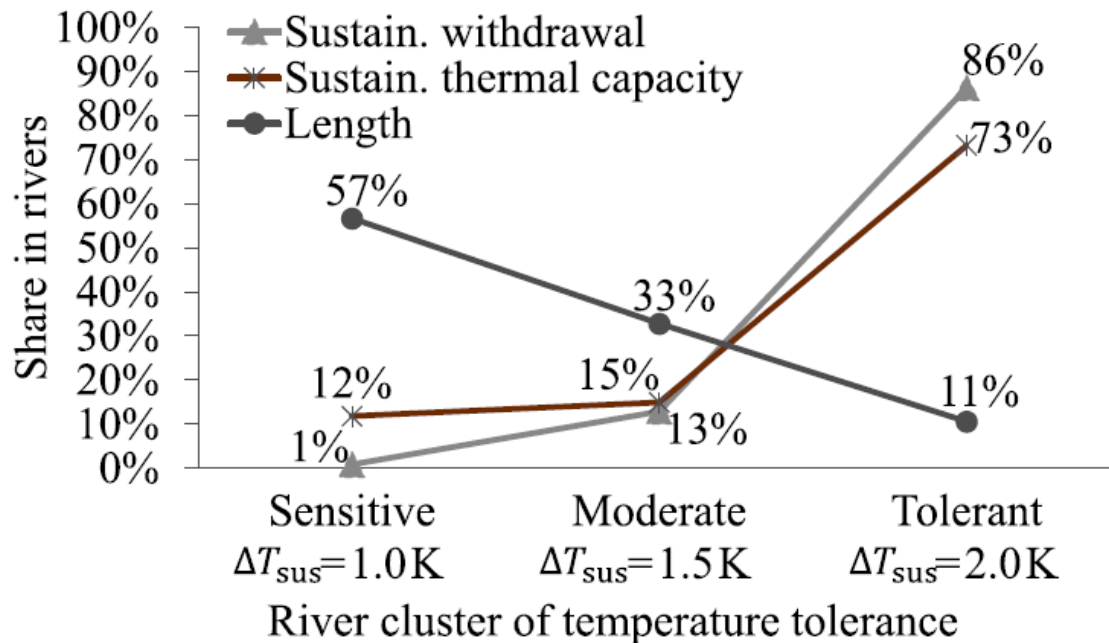


(c) Sustainable thermal capacity GW



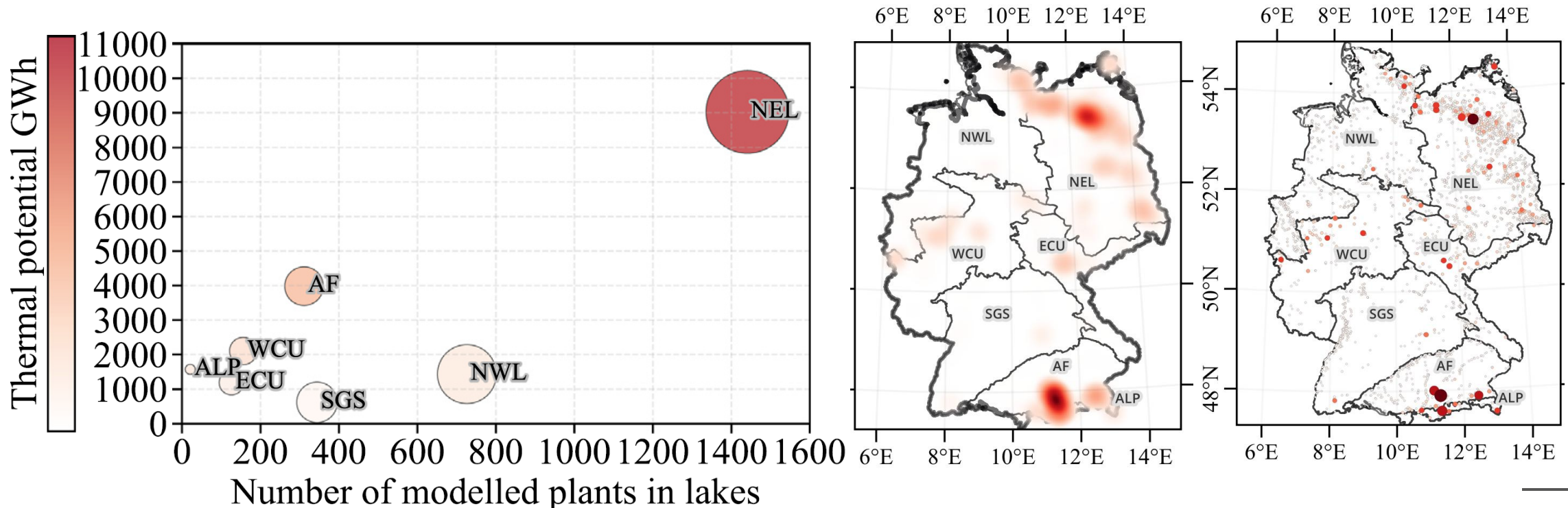
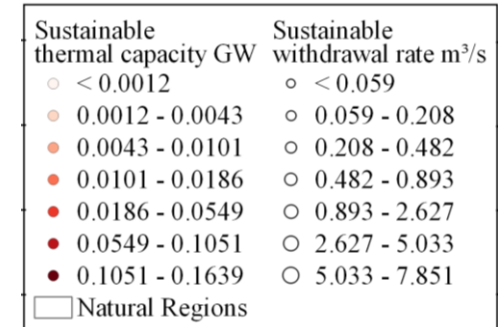
Ergebnisse – Potenzial und Ökologie

- Rund 3/4 der gesamten therm. Kapazität liegen in Flüssen mit hoher Temperaturtoleranz.
- Über 50 % der Flüsse in ökologisch moderatem Zustand (eine Klasse unter EU-Zielzustands „good“), besitzen 75% des Potenzials und 83% der nachhaltig nutzbare Durchflussmengen.



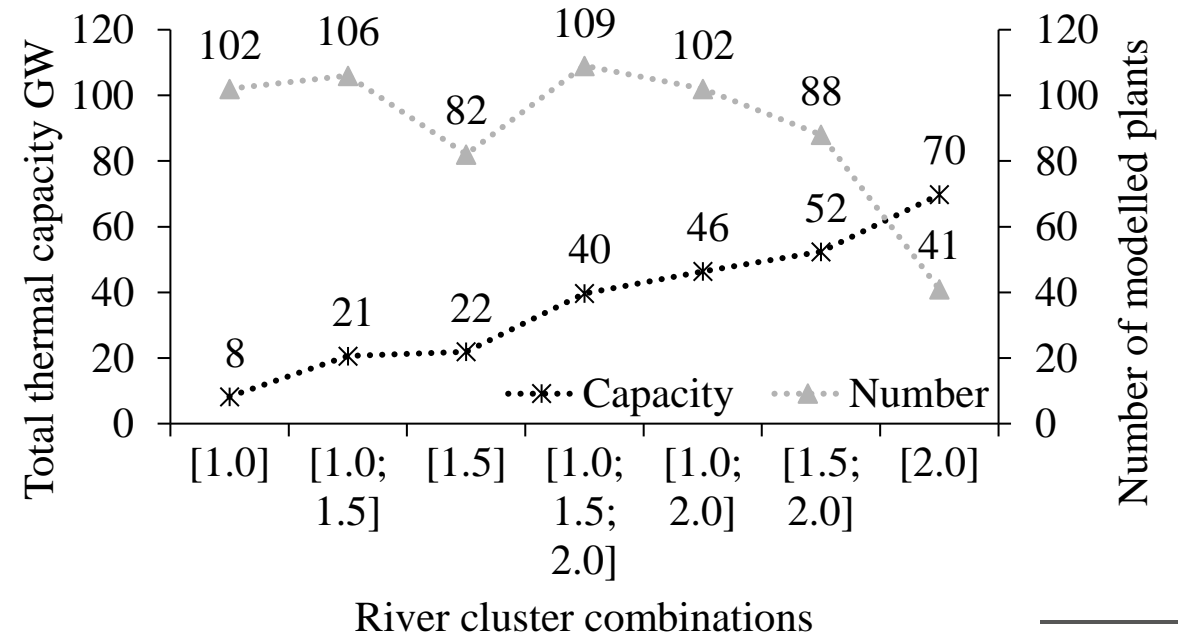
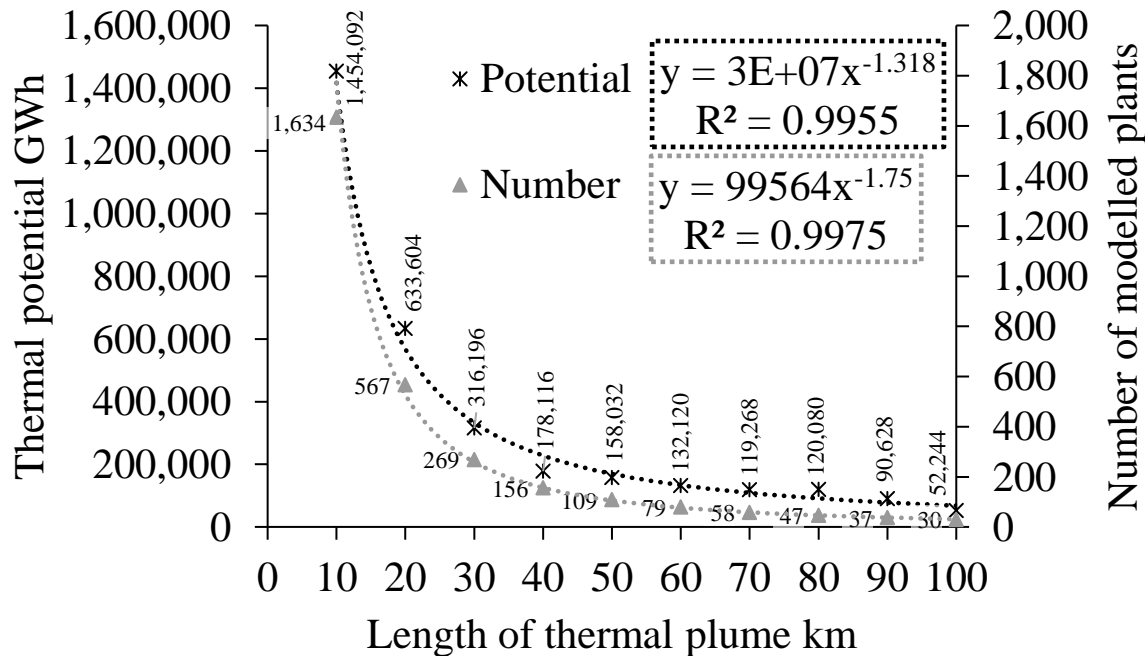
Ergebnisse – Potenzial in Seen

- In NEL verteilt sich das Potenzial auf viele Seen mit zusammen sehr hohem Gesamtpotenzial; in AF u. ALP konzentriert sich ein sehr hohes Einzelpotenzial auf wenige, große Seen (z. B. Starnberger See, Walchensee).
- Thermisches Potenzial variiert stark von 0,0012 bis 0,16 GW je See.
- NWL u. SGS hohe Anzahl aber weniger Potenzial ≠ WCU.



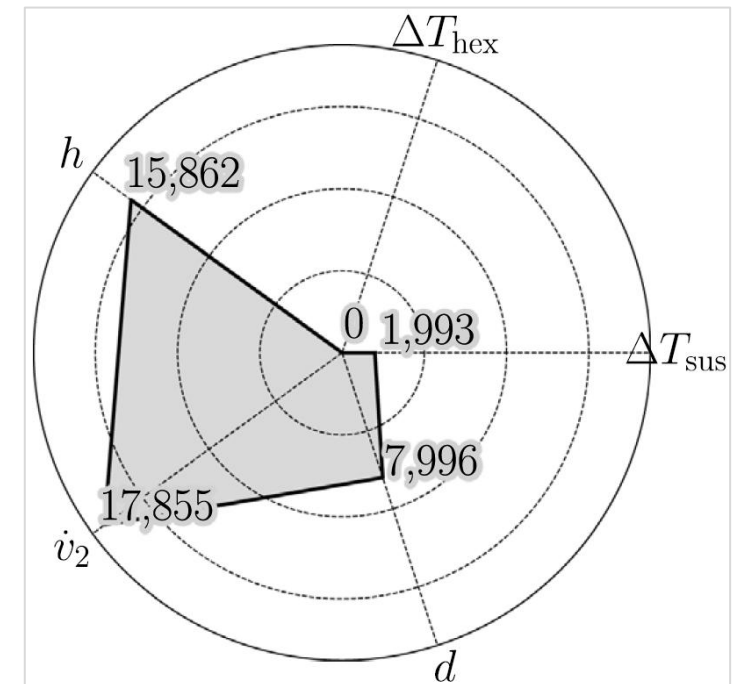
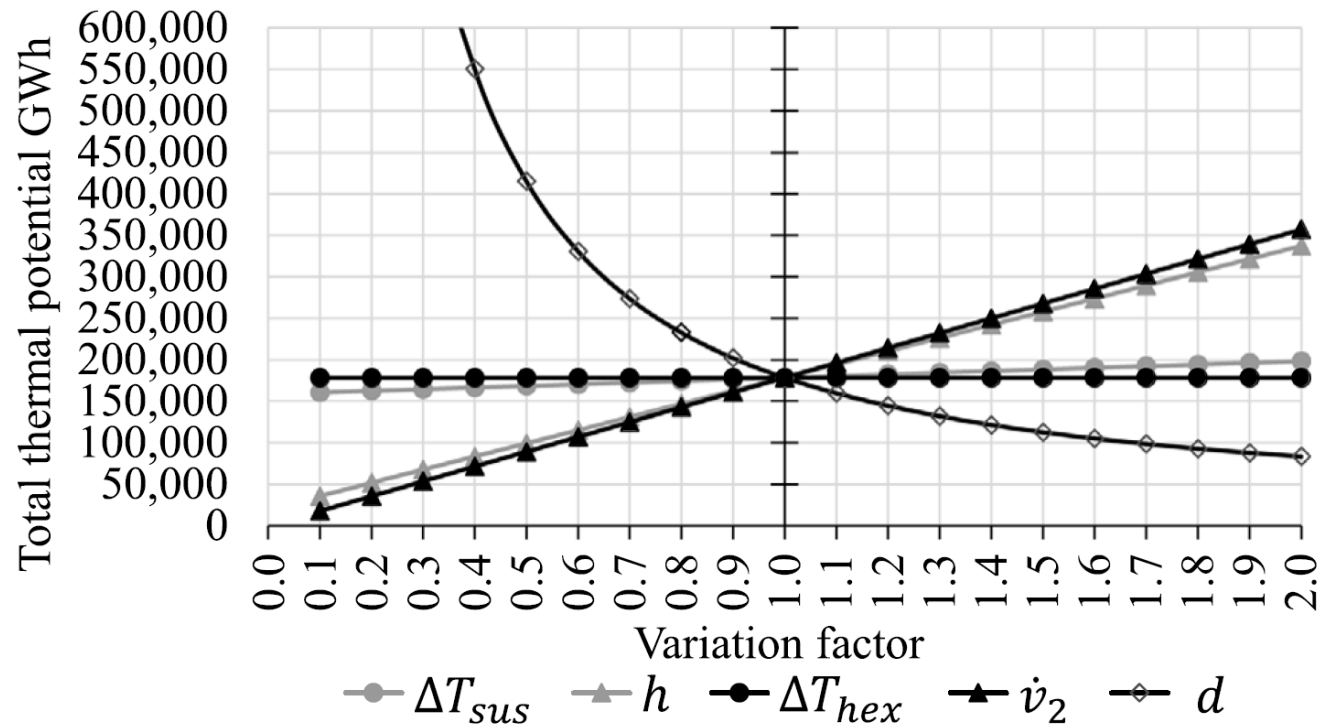
Ergebnisse – Temperaturfahnen u. Anlagenpositionierung

- Thermische Fahnen verursachen überlappende Erwärmung und Heterogenität im Flusssystem – teils über Dutzende bis Hunderte Kilometer.
- Überlappung begrenzt Potenzial und Anzahl der zulässigen Entnahmestellen.
- Potenzial und Anlagenzahl: spacing ≤ 40km (~50 %), > 40km (~10 %) Rückgang je Schritt.
- Verschiedene Flusstypen --> Mehr Anlagen, aber Gesamtkapazität sinkt um ca. 50 %.
- Zielkonflikt: Breite Erreichbarkeit vs. max. Potenzial (Fokus auf große/temperaturtolerante Flüsse).



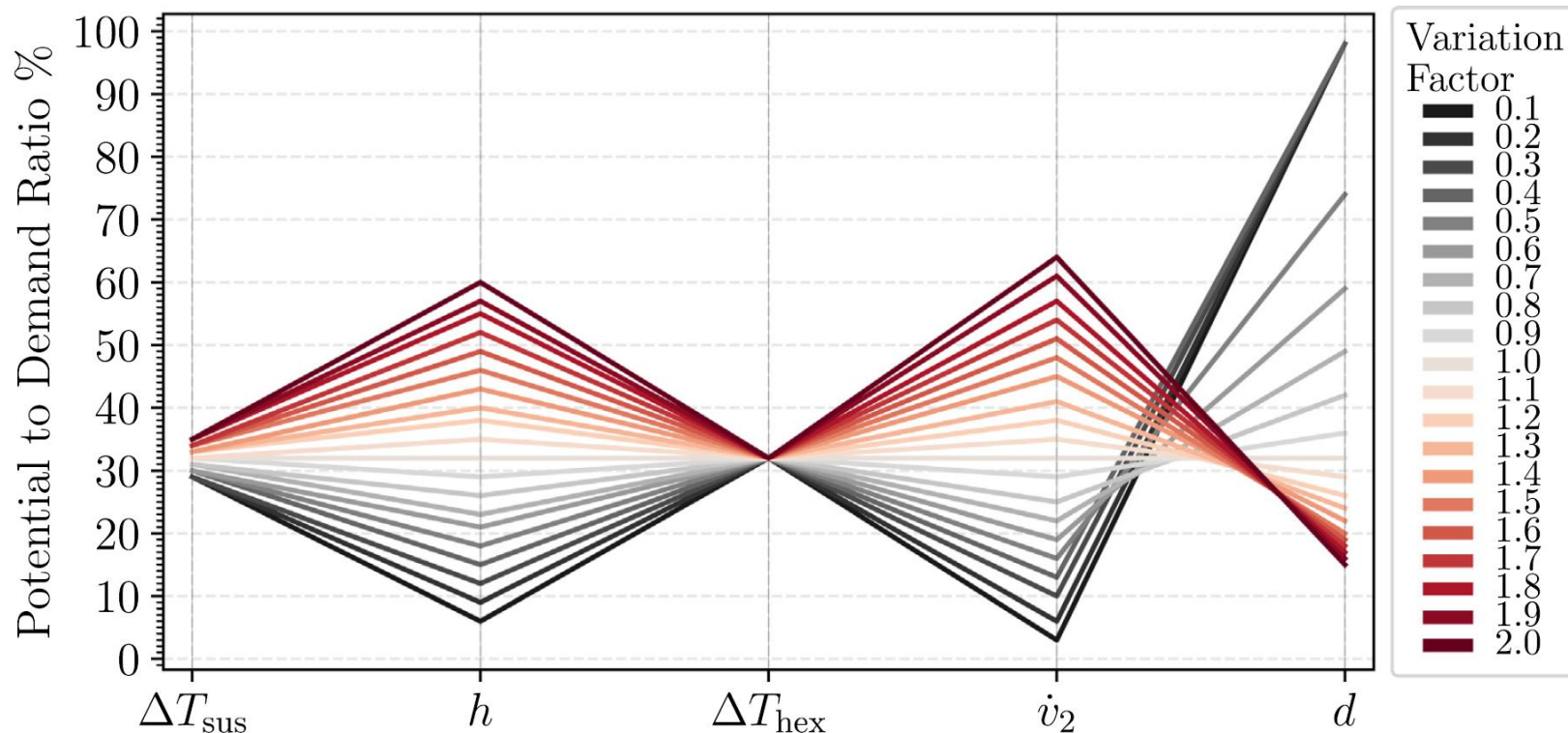
Ergebnisse – Sensitivitätsanalyse

- Steigung: Maß für Einfluss eines Parameters (z. B. zulässige Temperaturgrenzen, Betriebsstunden, Temperaturabkühlung, Entnahmerate, Anlagenabstand) auf das Potenzial.
- Potenzial reagiert sehr stark auf Änderungen nachhaltiger Entnahmerate u. Volllaststunden.
- Kleinere Abstände erhöhen das Potenzial deutlich.



Ergebnisse – Szenarien der Wärmebedarfsabdeckung

- Potenzial deckt – je nach Szenario 3% (Worst Case), 32% (wahrscheinlich) bis max. 98% (Best Case) des Wärmebedarfs deutscher Wohngebäude (560.194 GWh) ab.
- Weitgehende Deckung des Bedarfs bei ≤ 20 km Anlagenabstand möglich.
- Kein Einfluss des Parameters ΔT_{hex} durch automatische Steuerung im Modell.



Zusammenfassung

- Wärmetauscher-Dimensionierung $\Delta T \geq 4K$ vermeidet ineffizient hohe Volumenströme.
- Anlagenpositionierung $\leq 30km$ steigert technisches Potenzial deutlich.
- Hohe Wärmebedarfsdeckung möglich bei Begrenzung therm. Fahnenlänge auf $\leq 20 km$.
- Über 50 % des Potenzials in ökologisch „mäßigen“ Gewässern (eine Klasse unter EU-Ziel).
- Höhere Temp.-Toleranz bei großen, durchflussstarken, ökolog. beeinträchtigten Flüssen.

Ausblick

- Weitere Forschung zu Wechselwirkung mit anderen Stressoren, Einfluss der Wärmenutzung auf Ökologie, saisonaler Dynamik, Nachfrage-Entfernung und empfohlen.

Kontakt

Abdulraheem Salaymeh, M. Eng.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Fachgebiet Nachhaltige Energie- und Umwelttechnik (NEUTec)

Rudolf-Diesel-Straße 12, 37075 Göttingen

E-Mail: abdulraheem.salaymeh@hawk.de | Tel.: +49 551 5032 154 | Web: www.hawk.de

Doktorand

Fachgebiet Infrastrukturplanung und Stadttechnik; Prof. Irene Peters, Ph.D.

HafenCity Universität Hamburg