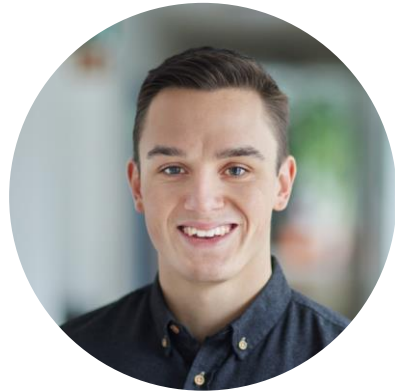




Wärmepumpen an Fließgewässern

Analyse des theoretischen Potenzials in Bayern

Kurzvorstellung



Niklas Wettberg, M. Eng.

**Wissenschaftlicher Mitarbeiter und
Projektingenieur
FfE GmbH**

**nwettberg@ffe.de
+49 89 158121-98**



Joachim Ferstl, M. Sc.

**Wissenschaftlicher Mitarbeiter
FfE e.V.**

**jferstl@ffe.de
+49 89 158121-65**

Unsere Arbeit

Das Beste aus Forschung und Beratung

Transfer wissenschaftliche Methoden
und Ergebnisse in die Praxis

Forschung



Beratung



Partner & Kunden



In Zusammenarbeit

- Verbundprojekte
- Umsetzung & Demonstration, Reallabore
- Begleitforschung



Wir bieten

- Studien & Gutachten
- Vor-Ort-Beratung
- Umsetzungsbegleitung
- Schulung und Leitfäden

Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen an Fließgewässern

Wärmepumpen an Fließgewässern

Funktionsweise und Ausprägungen

Funktionsweise

- Kein grundsätzlicher Unterschied zu Wärmepumpen im Gebäudebereich
- Anstatt z. B. der Außenluft dient ein nahegelegener Fluss als Umweltwärmequelle

Wärmequelle Flusswasser

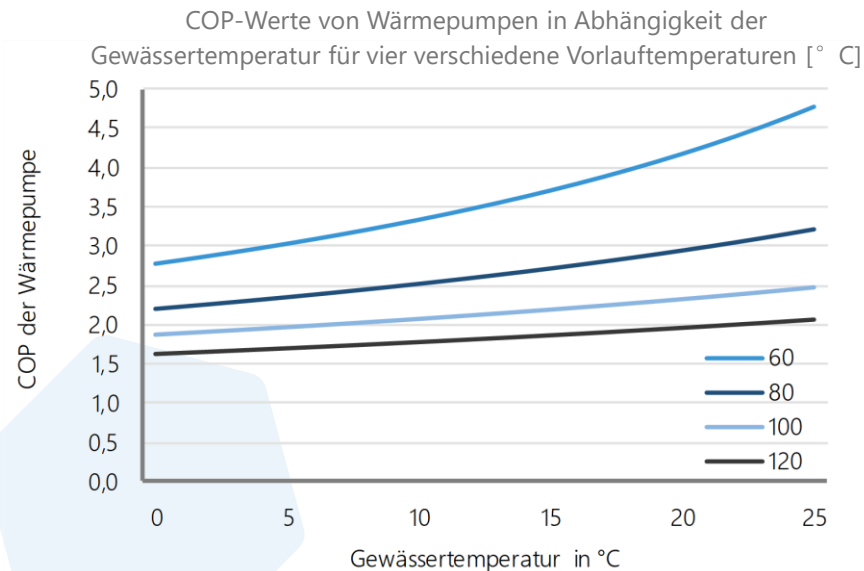
- Hohe spezifische Wärmekapazität und sehr gute Wärmeübertragungseigenschaften
- Schnelle und eigenständige Regeneration der Wärmequelle durch kontinuierlichen Abfluss
- Geringere Schwankungen der Temperatur im tages- und jahreszeitlichen Verlauf verglichen mit der Außenluft

Ausprägungen

- **Offenes System:** Aktive Wasserentnahme aus dem Gewässer mit Hilfe entsprechender Bauwerke, um das Wasser zur Wärmepumpe zu leiten
- **Geschlossenes System:** Platzierung des Verdampfers der Wärmepumpe im Gewässer, so dass keine Wasserentnahme notwendig ist

Wärmepumpen an Fließgewässern

Effizienz, Gewässertemperatur und Volumenstrom beeinflussen die Nutzung



1 Effizienz

- Der *coefficient of performance (COP)* bzw. die *Jahresarbeitszahl (JAZ)* beschreibt das Verhältnis zwischen eingesetzter Antriebsenergie (Strom) und erzeugter Wärme
- Der Wert ist umso größer, je kleiner die Differenz zwischen Gewässer- und Wärmesenken-Temperatur ist



2 Gewässertemperatur

- Bei der Nutzung von Flüssen zu Heizzwecken wird das Wasser abgekühlt
- Für die Abkühlung existieren keine allgemein gültigen Vorgaben → Eine moderate Abkühlung kann aus ökologischer Sicht als grundsätzlich positiv beurteilt werden



3 Durchflussvolumen

- Die nutzbare Durchflussmenge eines Gewässers ist begrenzt und schwankt im jahreszeitlichen Verlauf

Flusswasser-Wärmepumpen erzeugen bereits Wärme

Beispielprojekte in Rosenheim und Mannheim demonstrieren die Umsetzung in verschiedenen Dimensionen

Steckbrief Flusswasser-Wärmepumpe Mannheim in Anlehnung an [1]		Steckbrief Flusswasser-Wärmepumpe Rosenheim in Anlehnung an [1]	
Allgemeine Daten		Allgemeine Daten	
Betreiber	MVV AG	Betreiber	Stadtwerke Rosenheim
Weitere Projektbeteiligte	IER Universität Stuttgart, Fraunhofer ISE, AGFW	Weitere Projektbeteiligte	IER Universität Stuttgart, Fraunhofer ISE, AGFW
Standort	Mannheim	Standort	Rosenheim (DE)
Objektyp	Flusswasserwärmepumpe	Objektyp	Bachwasserwärmepumpe für Fernwärmenetz (offenes System)
Baustart	April 2022	Baustart	März 2021
Inbetriebnahme	Oktober 2022	Inbetriebnahme	Juni 2022 (IKWK 1), Dezember 2022 (IKWK 2), Oktober 2023 (IKWK 3)
Wärmequelle	Flusswasser	Wärmequelle	Flusswasser (Mühlbach), gerecht und gesiebt
	Entnahmesernutzung		Entnahmevermögenstrom für Wärmepumpe: 40 l/s ¹
	Abkühlung		Abkühlung des Entnahmevermögensstroms: $\Delta T = 3-6 \text{ K}^1$
	Minimale Temperatur für Betrieb		Minimale Rückführtemperatur: 1 °C ¹
	Temperatur (kaum messbar)		Temperatur Wärmequelle: 3–21 °C, während Heizperiode: 3–12 °C (Mindesttemperatur für Betrieb: >3 °C ¹)
Wärmesenke	Fernwärme	Wärmesenke	Fernwärme
	Vorlauf- und Rücklauf		Vorlauf- und Rücklauf
	Temperatur		Temperaturveränderung des Gesamtflusses durch Wärmepumpenbetrieb: max. 0,5 K ¹
COP	2,5–3,0 [1]	COP	2,5–2,8
Technische Daten		Technische Daten	
Hersteller Wärmepumpe	Siemens Energy	Hersteller Wärmepumpe	Johnson Controls
Fabrikat	SHP 600	Fabrikat	SABROE/NS-DualPAC
Thermische Leistung	20,5 MW	Thermische Leistung	Wärme: 3 x 1.566 kW; Kälte: 3 x 1.105 kW
Elektrische Leistung	7 MW (Lastbereich)	Elektrische Leistung	3 x 628 kW (Lastbereich: 40–100 Prozent)
Kompressor	Radialverdichter	Kompressor	Doppelstufiges Aggregat aus Schrauben- und Kolbenverdichter
Kältemittel	R1234ze(E)	Kältemittel	R717 (Ammoniak, natürliches Kältemittel), ca. 3 x 260 kg
Abmessungen	18 x 8,8 x 142 cm	Abmessungen	6,7 x 4,0 x 2,6 m je WP
Gewicht	142 t	Gewicht	19 t je WP
Schalldruckpegel	99 dB(A) ¹	Schalldruckpegel	108,9 dB(A)
Betriebsstunden	2.000 h pro Jahr	Betriebsstunden	4500 Vollbenutzungsstunden der Wärmepumpe
Zusätzliche Systeme	4 Steinkohle	Zusätzliche Systeme	Wärmepumpe werden in 3 IKWK-Anlagen ergänzt um: 3 x Gasmotor (je 4,5 MW _{el} und 4,7 MW _{th} ; 3500 Vollbenutzungsstunden), 2 x Elektroesel (1,8 MW _{el} und 3,3 MW _{th} ; 500 Vollbenutzungsstunden)
Wärmespeicher	43.000 m ³	Wärmespeicher	1.000 m ³
Steuerungssystem	Omnivise		
CO₂-Vermeidung, Investitionsvolumen und Förderung		CO₂-Vermeidung, Investitionsvolumen und Förderung	
CO ₂ -Vermeidung	10.000 t pro Jahr	CO ₂ -Vermeidung	16.500 t pro Jahr für 3 IKWK
Investitionsvolumen	15 Mio. €	Investitionsvolumen	3,8 Mio. € (Wärmepumpen), 8,5 Mio. € (inkl. Gebäude u. Anbindung)
Förderung	BMWK-Reallabor	Förderung	IKWK-Zuschlag, BMWK-Reallabor
Quellen: [20], [3], [21], 'Expertinnen-Interviews'		Quellen: [22], [23], [24], [25], 'Expertinnen-Interviews'	

Gemeinsamkeiten

- Teil der Reallaborprojekte der Energiewende
- Einspeisung in das lokale Wärmenetz
- Integration in bestehendes Gelände und Nutzung bereits vorhandener Entnahmebauwerke
- Ähnliche Effizienz beider Anlagen

Unterschiede

- Größenunterschiede, v. a. thermische Leistung
- Größenunterschiede der entsprechenden Flüsse (Rhein vs. Mühlbach)
- Technische Komponenten (Verdichter) und verwendete Kältemittel (natürlich vs. synthetisch)

Potenzialanalyse

Hinweis

Die folgenden Berechnungen und Auswertungen unterliegen gewissen Annahmen und Limitationen, auf die in diesem Vortrag nicht vollumfänglich eingegangen werden kann.

Details hierzu sind der Studie zu entnehmen.

Ziele und Nicht-Ziele bei der Potenzialabschätzung

Im Rahmen der Studie wird das **theoretische Potenzial von Wärmepumpen an Fließgewässern in Bayern grob abgeschätzt und in Relation zum Wärmebedarf gesetzt.**



- Detailanalysen für einzelne Regionen
- Quantifizierung des Potenzials unter Annahme zu möglichen Standorten und Dimensionierungen einzelner technischer Anlagen



- flächendeckende Bewertung des Potenzials in Bayern auf einer hohen Flugebene
- transparent aufzeigen wovon die Potenziale maßgeblich abhängen
- Betrachtung des Potenzials in Relation zum Bedarf und unter Berücksichtigung saisonaler Effekte

Datengrundlage

Welche Flüsse können bei der Potenzialabschätzung betrachtet werden?



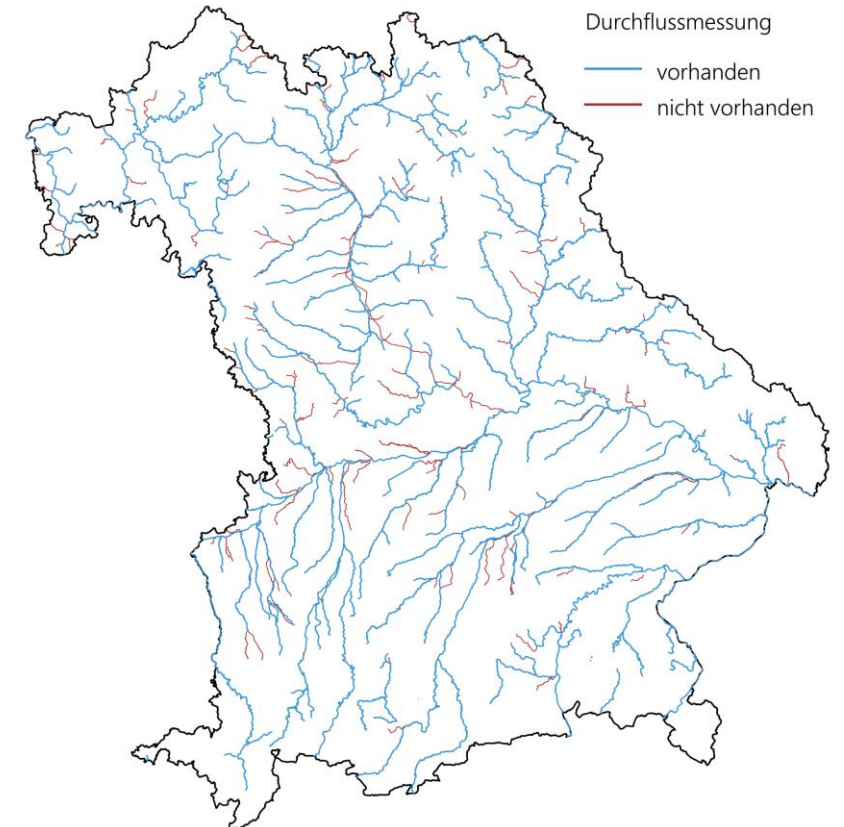
etwa 500 Messtellen in Bayern mit Durchflussmessung verfügbar



historische Daten über einen Zeitraum von über 30 Jahren (1990 – 2022)



Verwendung von Messstellen mit geprüften Daten über den Zeitraum



© GeoBasis-DE / BKG 2017 | Generalisierung: FfE e.V.
ATKIS ®, DLM1000; Copyright © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2008

FLÜSSE I. UND II. ORDNUNG NACH DATENVERFÜGBARKEIT

Methodik

Wie viel theoretisches Potenzial steckt in den Flüssen?

Thermische Entzugsenergie aus dem Gewässer

+

Elektrische Energie der Wärmepumpe

=

Wärmebereitstellungspotenzial

$$E_{Fluss} = c_{Wasser} * Q * \Delta T * t$$

c_{Wasser} = spez. Wärmekapazität von Wasser [kWh / m³K]

Q = Durchflussvolumen [m³/s]

ΔT = Abkühlung [K]

t = Betrachtungszeitraum [s]

$$E_{WP} = \frac{1}{COP - 1} * E_{Fluss}$$

COP = Coefficient of Performance

$$E_{gesamt} = E_{Fluss} + E_{WP}$$

Notwendige Daten / Annahmen

- Durchflussmenge ✓
- Annahme zur Abkühlung (z.B. 1,5 Grad) ✓

- COP der Wärmepumpe ?

- Thermische Entzugsenergie
- Elektrische Energie der Wärmepumpe

Methodik

Wie viel theoretisches Potenzial steckt in den Flüssen?

Thermische Entzugsenergie aus dem Gewässer

$$E_{Fluss} = c_{Wasser} * Q * \Delta T * t$$

c_{Wasser} = spez. Wärmekapazität von Wasser [kWh / m³K]

Q = Durchflussvolumen [m³/s]

ΔT = Abkühlung [K]

t = Betrachtungszeitraum [s]

Notwendige Daten / Annahmen

- Durchflussmenge ✓
- Annahme zur Abkühlung (z.B. 1,5 Grad) ✓

- **Der COP einer Wärmepumpe ist von individuellen Faktoren und regionalen Gegebenheiten (z.B. Gewässertemperatur) abhängig.**
- **Daher beschränken wir uns im Rahmen der Studie auf die thermische Entzugsenergie, die wir als theoretisches Potenzial bezeichnen.**

Methodik

Wie hoch ist das theoretische Potenzial im Vergleich zur Wärmenachfrage?

Für verschiedene Annahmen bei der Abkühlung der Gewässer:

1. Berechnung des theoretischen Potenzials je Fließgewässer und Monat
2. Aufsummieren der Potenziale aller Fließgewässer und Monate
3. → Schätzung des Gesamtpotenzials in Bayern

ΔT in K	theoretisches Potenzial in TWh / Jahr
0,5	57,0
1	114,1
1,5	171,1
2	228,1
2,5	285,1
3	342,2

Zur Einordnung: Wärmebedarf von 142,5 TWh¹⁾

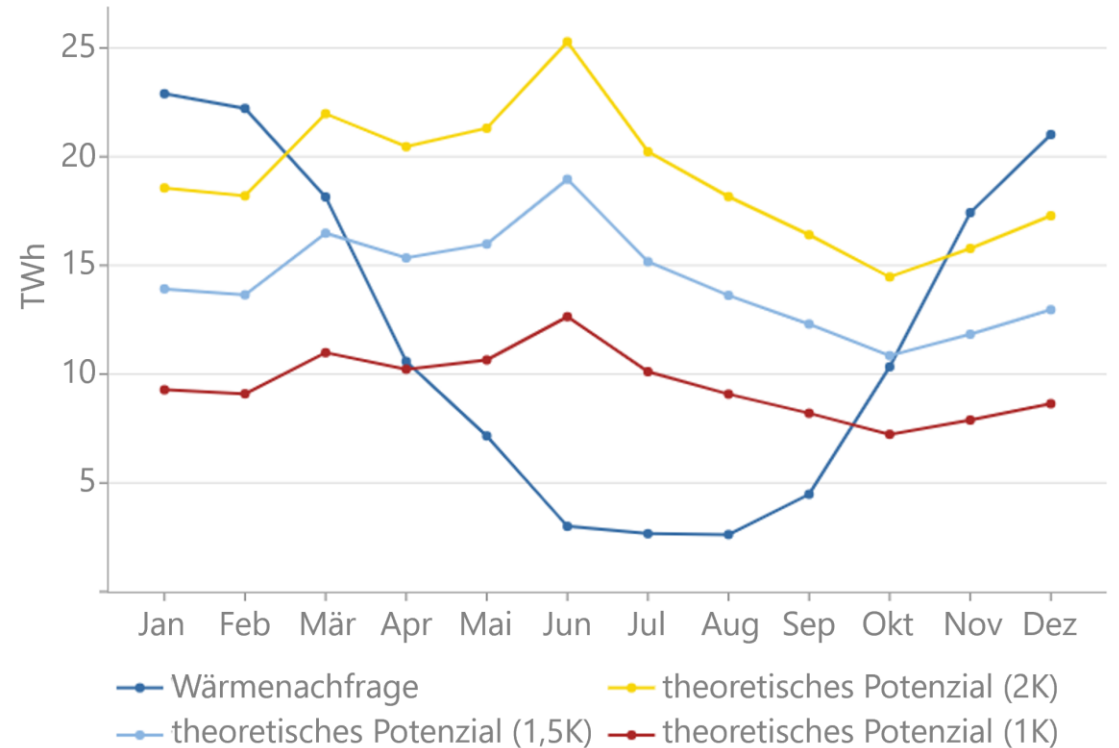
Aber: Steht das theoretische Potenzial auch dann zur Verfügung wenn Wärme nachgefragt wird?

Methodik

Gibt es saisonale Effekte?

Darstellung der Wärmenachfrage und des theoretischen Potenzials im Zeitlichen Verlauf:

- Sowohl die Wärmenachfrage als auch das Durchflussvolumen unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen
- Überangebot in den Sommermonaten und Unterdeckung in den Wintermonaten
- Diese Effekte müssen bei der Planung berücksichtigt werden
- Das theoretische Potenzial von 171,1 TWh (Annahme: Abkühlung um 1,5 Grad) könnte den Wärmebedarf von 142,5 TWh also nur bilanziell übers Jahr gesehen decken



Methodik

**Wie verteilt sich das theoretische Potenzial regional?
Kann die regionale Nachfrage damit gedeckt werden?**

Vorgehen bei der Regionalisierung:

- Räumliches Verschneiden von Gemeinden und Fließgewässern
- Jede Gemeinde erhält einen Anteil des theoretischen Potenzials, welches zuvor für die Fließgewässer berechnet wurde
- Der Anteil bemisst sich nach Fluss-Kilometern
- Monatlicher Wärmebedarf wird auf die Gemeinden verteilt¹⁾
- Bestimmung des Deckungsgrades

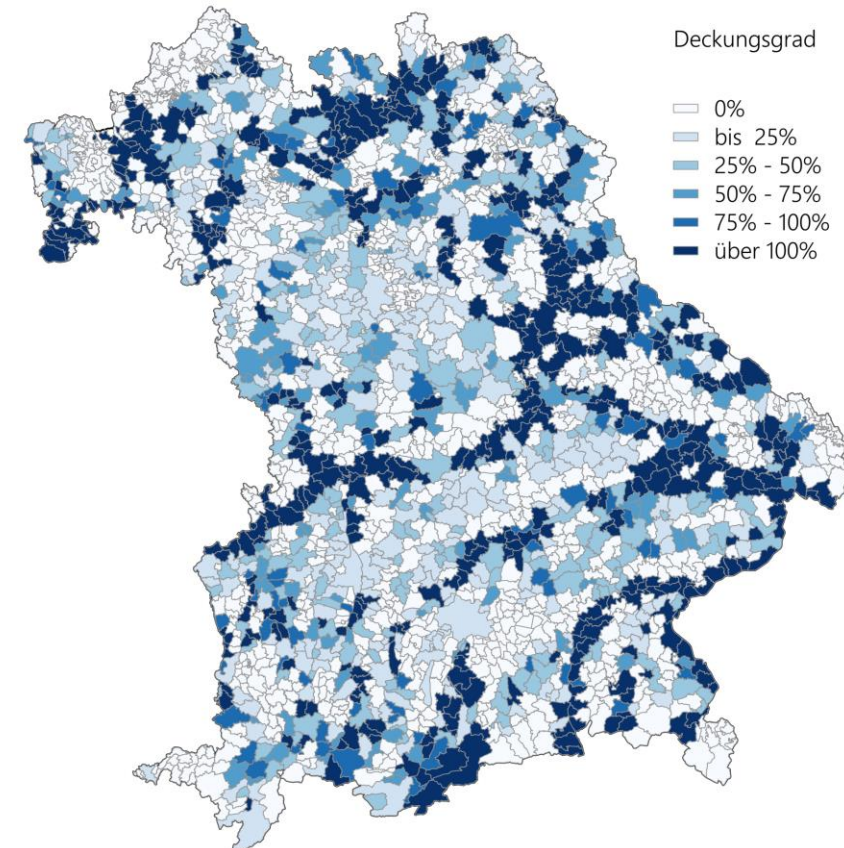
Methodik

Wie verteilt sich das theoretische Potenzial regional? Kann die regionale Nachfrage damit gedeckt werden?

Erkenntnisse:

- 52 % aller Gemeinden wurde ein Potenzial zugewiesen (die restlichen schneiden sich mit keinem der betrachteten Flüsse)
- Hohe Deckungsgrade an der Donau und deren Zuflüsse (Isar, Inn, Salzach, Naab, Wörnitz)
- Hohe Deckungsgrade am Main und dessen Zuflüsse (Rodach, Itz, Fränkische Saale)
- Etwa ein Fünftel der bayerischen Gemeinden weisen im Januar einen Deckungsgrad von mind. 100 % auf

Deckungsgrad je Gemeinde im Januar



© GeoBasis-DE / BKG 2017 | Generalisierung: FfE e.V.

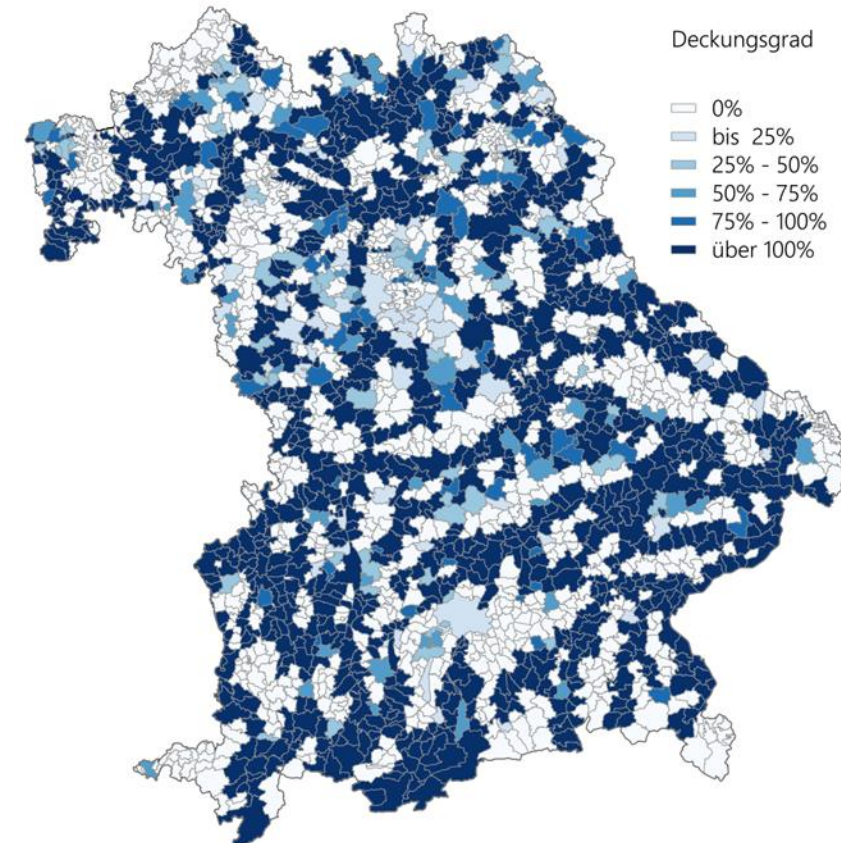
Methodik

Wie verteilt sich das theoretische Potenzial regional? Kann die regionale Nachfrage damit gedeckt werden?

Erkenntnisse:

- Im Sommer: geringere Nachfrage, höheres Angebot
- Rund 40 % der bayerischen Gemeinden weisen im Juni einen Deckungsgrad von mind. 100 % auf
- Bei knapp einem Fünftel der bayerischen Gemeinden ist der Deckungsgrad ganzjährig über 100 %

Deckungsgrad je Gemeinde im Juni



© GeoBasis-DE / BKG 2017 | Generalisierung: FFE e.V.

Rahmenbedingungen

Methodik zur Betrachtung der Rahmenbedingungen

Expert:innen-Interviews gewähren Einblicke in die Praxis

4 EXPERT:INNEN-INTERVIEWS¹⁾

JE 90 MINUTEN

Interviewkürzel	Interviewpartner:innen
EI-01	MVV Energie (Felix Hack)
EI-02	Stadtwerke Rosenheim GmbH & Co. KG
EI-03	Seiffert Architektur- und Ingenieurbüro (Dr. -Ing. Michael Seiffert)
EI-04	MAN Energy Solutions (Tobias Hirsch)



¹⁾ Wir stellen klar, dass die Erkenntnisse aus den Interviews an den entsprechenden Stellen im Abschlussbericht gekennzeichnet wurden. Es ist explizit zu erwähnen, dass die Expert:innen keinen Einfluss auf die restlichen Inhalte der Studie hatten und somit weder die Zustimmung der Organisation noch der Einzelperson dazu impliziert wird.

Randbedingungen

Gewässertemperatur, Durchfluss und Umweltauswirkungen



„Die **erlaubte Abkühlung ΔT** des Gesamtgewässers ist **stark einzelfallabhängig**. Hierzu existieren keine allgemeingültigen Vorgaben.“



„Die **Abkühlung** des Entnahmestroms kann im jahreszeitlichen Verlauf **variabel erfolgen**. Im **Winter** kann die (minimale) Gewässertemperatur den Betrieb aus **Frostschutzgründen einschränken**.“



„Die **anteilige Durchflussnutzung** der Flüsse ist ebenfalls **einzelfall- und genehmigungsabhängig** und kann im jahreszeitlichen Verlauf leicht variiert werden, um Schwankungen in der Temperatur auszugleichen.“

Standortwahl und rechtlicher Rahmen

Neben der (notwendigen) Erschließung neuer Standorte können Synergien geschaffen werden



„**Besonders geeignet** sind Standorte in unmittelbarer Gewässernähe mit bereits **vorhandener Entnahmeinfrastruktur** und **Eingriffen in das Ökosystem**, z.B. **Wasserkraftwerke**, Industrie- und Kraftwerksstandorte, Mühlen oder Kanäle.“



„Bei der konkreten Standortwahl spielt neben der Wärmequelle auch die **Wärmesenke eine wichtige Rolle**, denn Wärmepumpen arbeiten bei niedrigeren Netztemperaturen besonders effizient.“



„Idealerweise kann bereits auf **Bestandsgenehmigungen und vorhandene Wasserrechte zurückgegriffen** werden. Besonders relevant sind die Gesetze und Verordnungen zum Wasserrecht (z. B. WHG, OGewV) und individuelle Genehmigungsbescheide.“

Vor- und Nachteile

Die (ökologischen) Vorteile und Chancen von Wärmepumpen an Fließgewässern überwiegen



„Die Abkühlung der Gewässer in Zeiten der Klimaerwärmung ist in einem gewissen Rahmen als **unkritisch und ökologisch tendenziell vorteilhaft** zu betrachten.“



„Flusswasser-Wärmepumpen bieten im Zuge der **kommunalen Wärmeplanung** eine große Chance zur **lokalen Wertschöpfung** und zur teils **alternativlosen Erschließung von Umweltwärmequellen**.“



„Als Nachteile und Risiken sind die teils noch fehlende **Standardisierung**, die Notwendigkeit von **Redundanzen** zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit sowie die aktuell von Förderungen abhängende **Wirtschaftlichkeit** zu nennen.“

Ausblick

Empfehlungen an politische Entscheidungsträger:innen und Anwender:innen



„Eine **Konkretisierung** und Vereinheitlichung der relevanten **regulatorischen Rahmenbedingungen** (Gewässerschutz, Abkühlvorgaben, Kältemittel) erscheint zukünftig **sinnvoll**.“



„**Schaffung eines stabilen wirtschaftlichen Rahmens** zur Ermöglichung einer nachhaltigen Verbreitung von Flusswasser-Wärmepumpen.“



„Mut zur **Realisierung von ‚Quick-Wins‘** bei vorhandenen Genehmigungen und entsprechender Infrastruktur. Eine gezielte Akteurseinbindung und transparente Berichterstattung trägt zum weiteren Aufbau von Akzeptanz bei.“

Zusammenfassung

Die Technologie ist ausgereift

Es gibt bereits umgesetzte Projekte, welche Fließgewässer als Wärmequelle nutzen. Dies bietet einige Vorteile gegenüber anderen Wärmequellen – wie z.B. der Außenluft.

Die Flusslandschaft in Bayern bietet in vielen Regionen großes Potenzial

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits eine teilweise Erschließung des vorhandenen Potenzials einen signifikanten Beitrag zur Deckung der Wärmenachfrage und somit auch zur Dekarbonisierung des Energiesystems leisten könnte.

Tatsächliches Potenzial hängt von vielen regional unterschiedlichen Faktoren ab

Bei der Erschließung des Potenzials und der Planung konkreter Anlagen sind unterschiedlichste Rahmenbedingungen und Standortfaktoren zu beachten (z.B. bestehende Wasserkraftwerke).

Kontakt



JOACHIM FERSTL

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

JFERSTL@FFE.DE



NIKLAS WETTBERG

Projektingenieur und wissenschaftlicher Mitarbeiter
Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH

NWETTBERG@FFE.DE

Ffe
Am Blütenanger 71
80995 München

