



# Gewässerswärmennutzung

Ergebnisse der Seethermie-Studie Zwenkauer See

Jörg Schmidt, JENA-GEOS<sup>®</sup>-Ingenieurbüro GmbH

ein Projekt der



INNOVATIONSREGION  
MITTELDEUTSCHLAND



METROPOLREGION  
MITTELDEUTSCHLAND

Quartiersansatz



Datengewinnung

Limnologie

Wirtschaftlichkeit

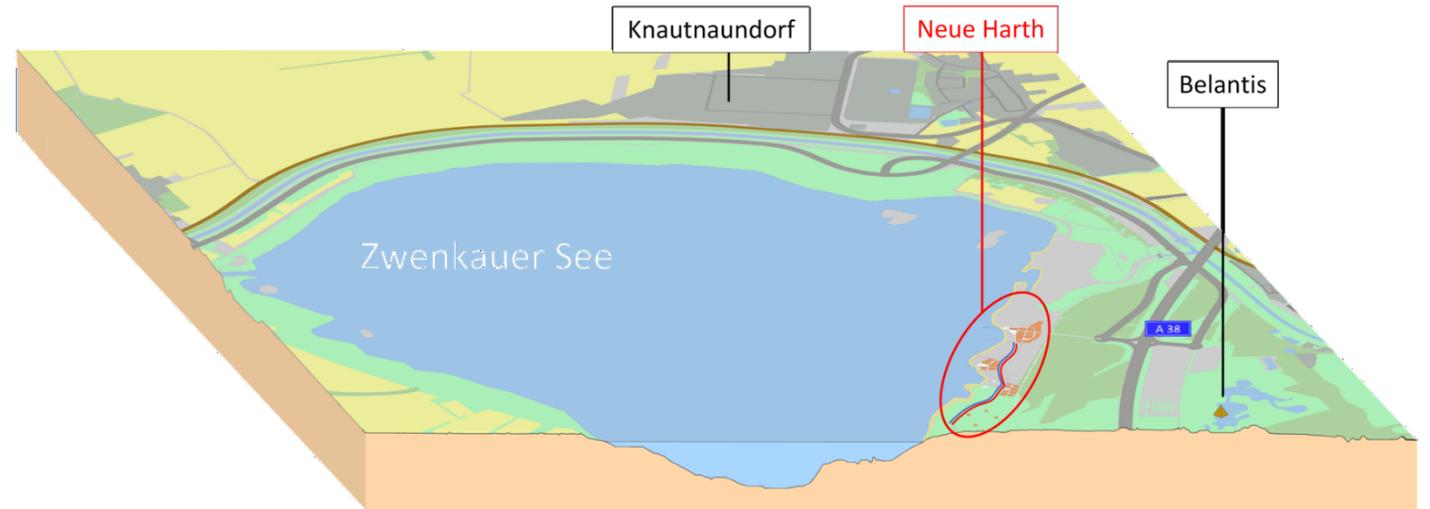
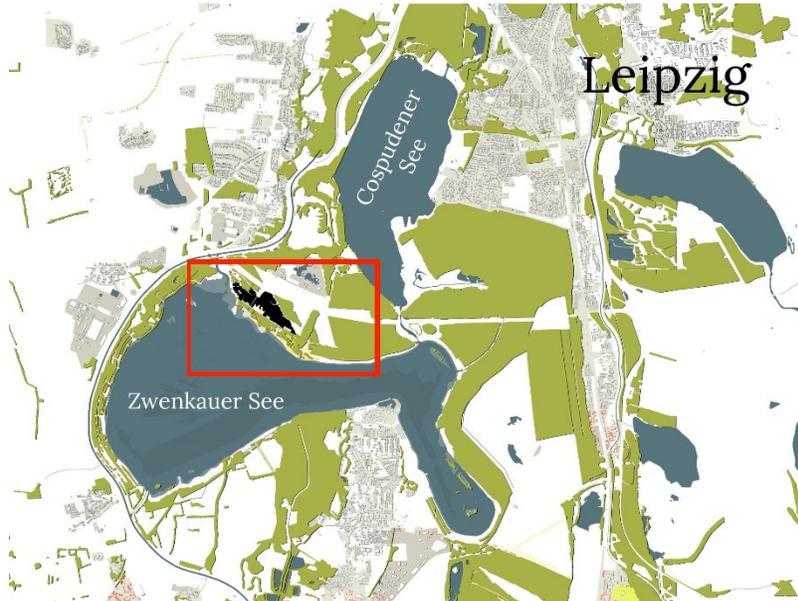
Genehmigungsfähigkeit

Übertragbarkeit

**ZIEL:**

**technisches und umsetzbares Konzept zur Wärme-  
Versorgung der 150 Gebäude am Nordufer des Zwenkauer  
Sees unter Nutzung der Vakuum-Flüssigeis-Technologie**

# Zwenkauer See



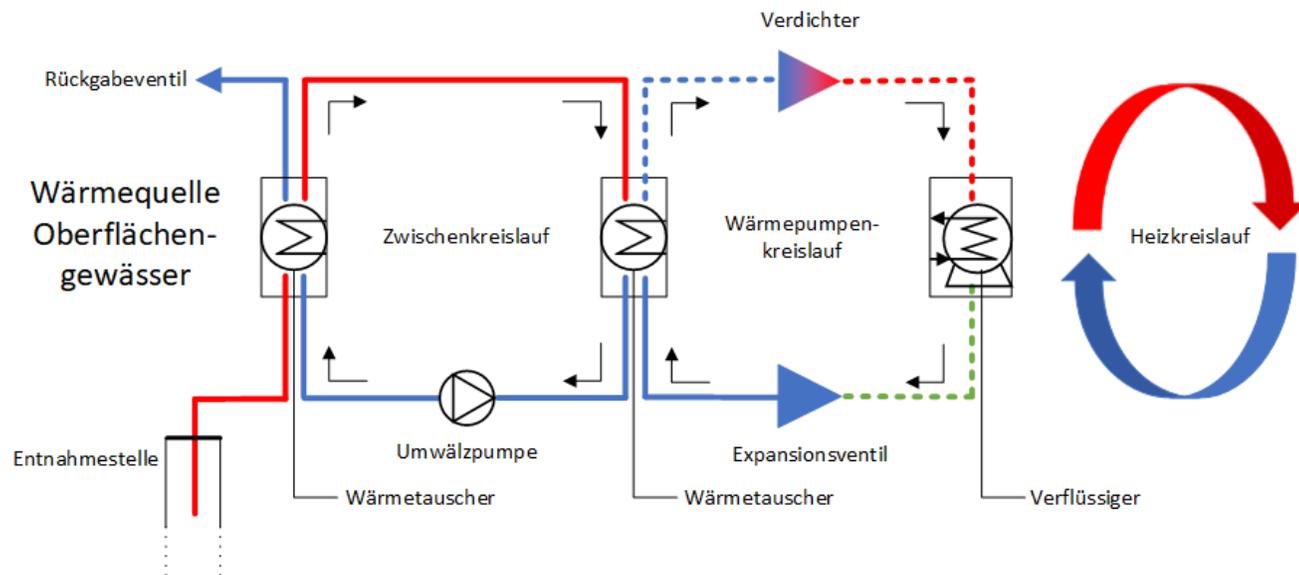
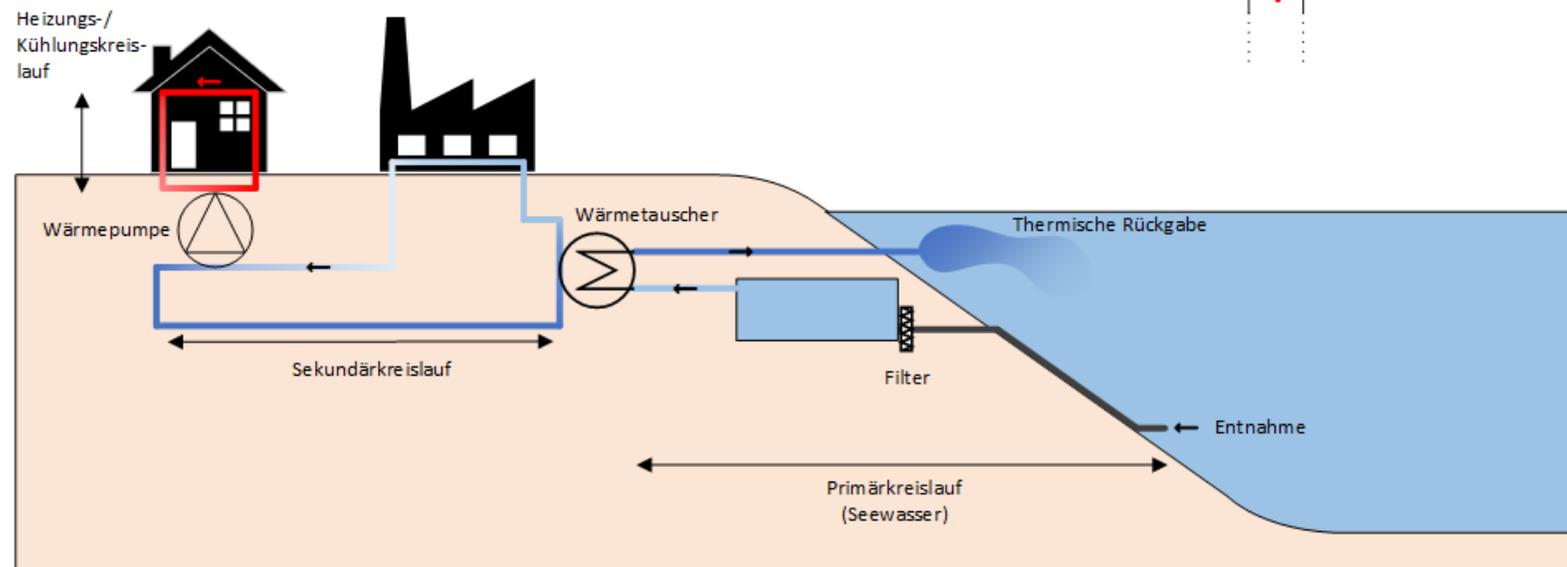
## Gewässerkenngößen

- ▶ Fläche: 9,7 km<sup>2</sup>
- ▶ Mittlere Tiefe: 17,7 m
- ▶ Maximale Tiefe: 48,5 m
- ▶ Gesamtvolumen: 176.000.000 m<sup>3</sup>

## Energetische Kenngrößen

- ▶ Solarer Wärmeeintrag: 9.515,7 GWh /a
- ▶ Wärmebedarf Quartier: 1,5 GWh /a

# State of the Art



Quelle: Schwinghammer (2012):  
Thermische Nutzung von Oberflächengewässern

Nach Quelle: Gaudard *et. al* (2018):  
Thermische Nutzung von Seen und Flüssen

## Die innovative Vakuum-Flüssigeis-Technologie



- ▶ Bei Flüssigvereisung wird ein erheblich geringerer Wasservolumenstroms aus dem Gewässer im Vergleich zum Wärmeentzug durch Abkühlung des Wassers (Faktor 5...10) benötigt.

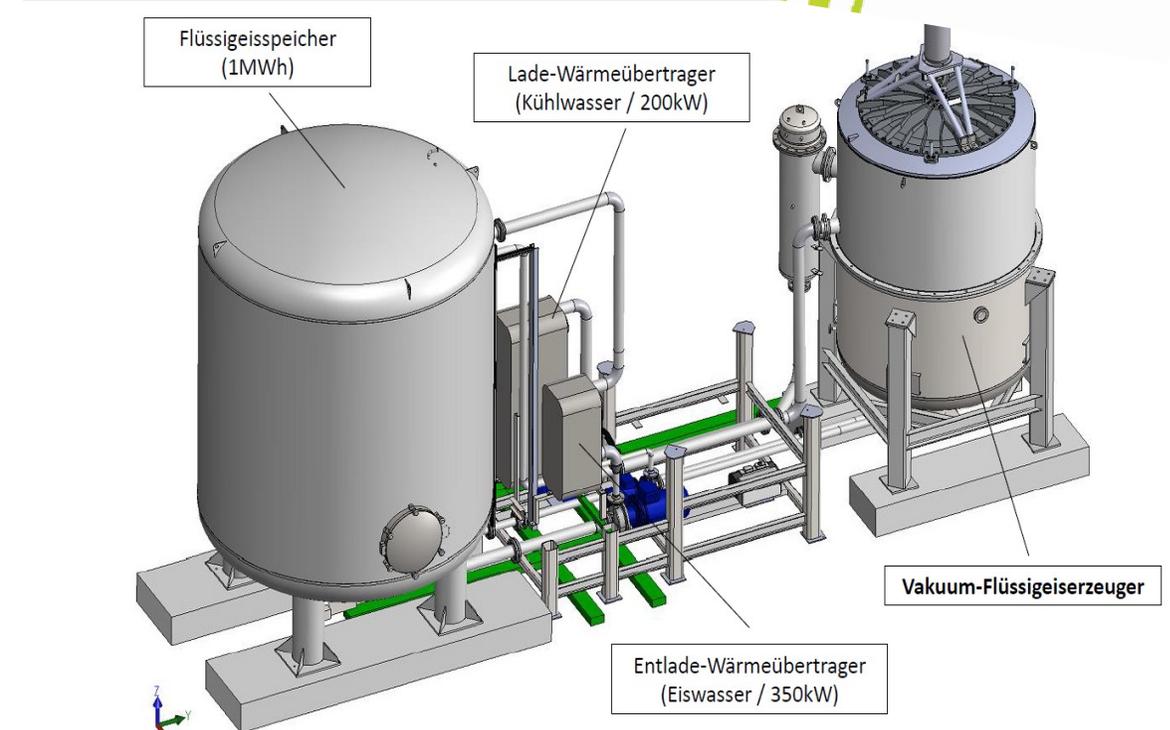
Wasser Abkühlung  
von 8 °C auf 2 °C:

100 kW -> 14,3 m<sup>3</sup>/h

„Flüssigvereisung“  
von 0 °C / 0 % Eis auf  
0 °C / 40 % Eis:

100 kW -> 2,8 m<sup>3</sup>/h

- ▶ Dem Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH (ILK Dresden) wurde im Jahr 2020 der „eku-innovativ-Zukunftspreis für Energie , Klima & Umwelt in Sachsen“ verliehen.



# Neuer Ansatz

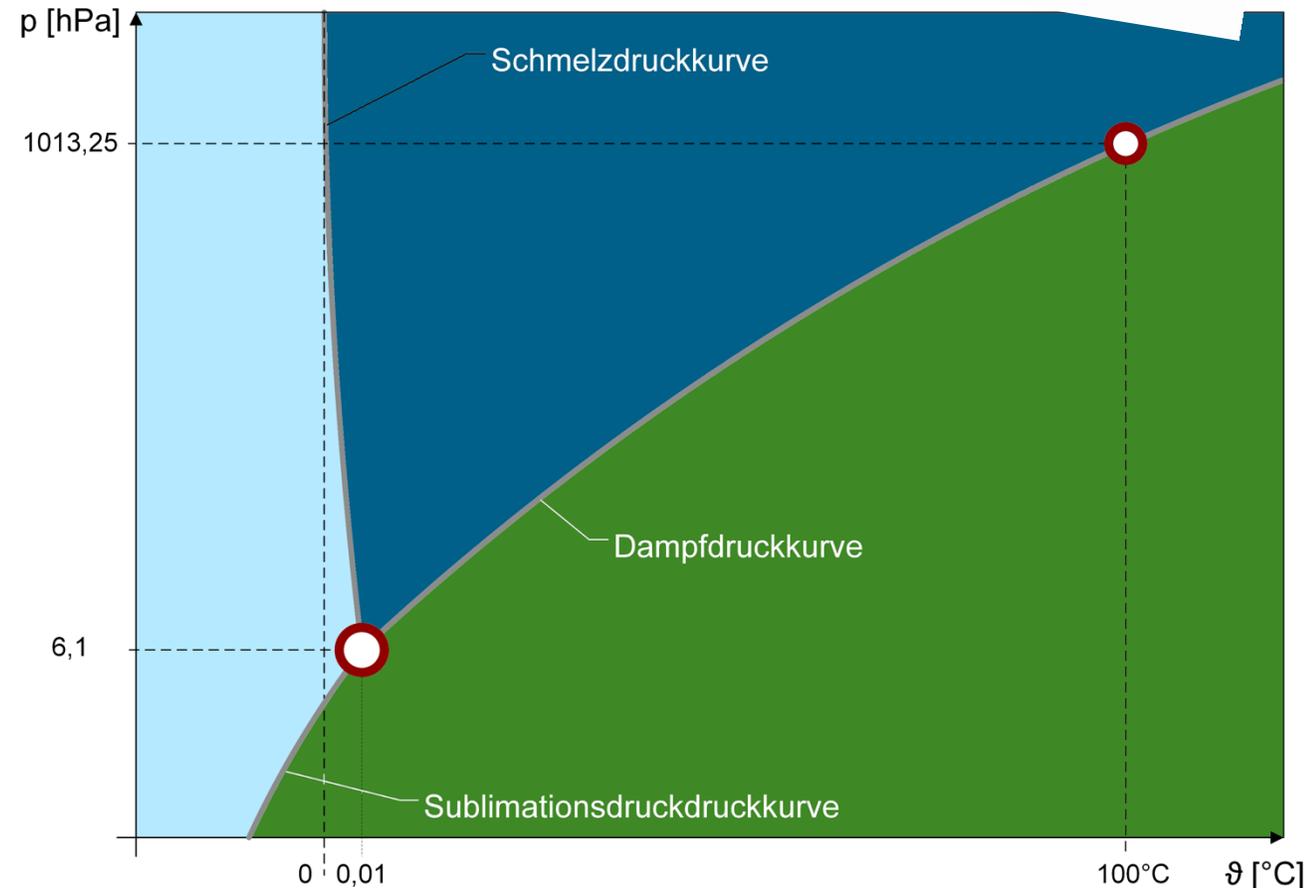
ILK Dresden



## Die innovative Vakuum-Flüssigeis-Technologie



- ▶ eignet sich zur thermischen Nutzung (kalter) Oberflächenwässer
- ▶ ohne „Wärmeübertrager“, d.h. keine Verschmutzungsprobleme
- ▶ Reduktion der Wassermenge
- ▶ Speicherung Flüssigeis und zeitversetzte Nutzung zur Kühlung (Wärme-Kälte-Kopplung)
- ▶ nur Wasser als Arbeitsstoff/Kältemittel



# Neuer Ansatz

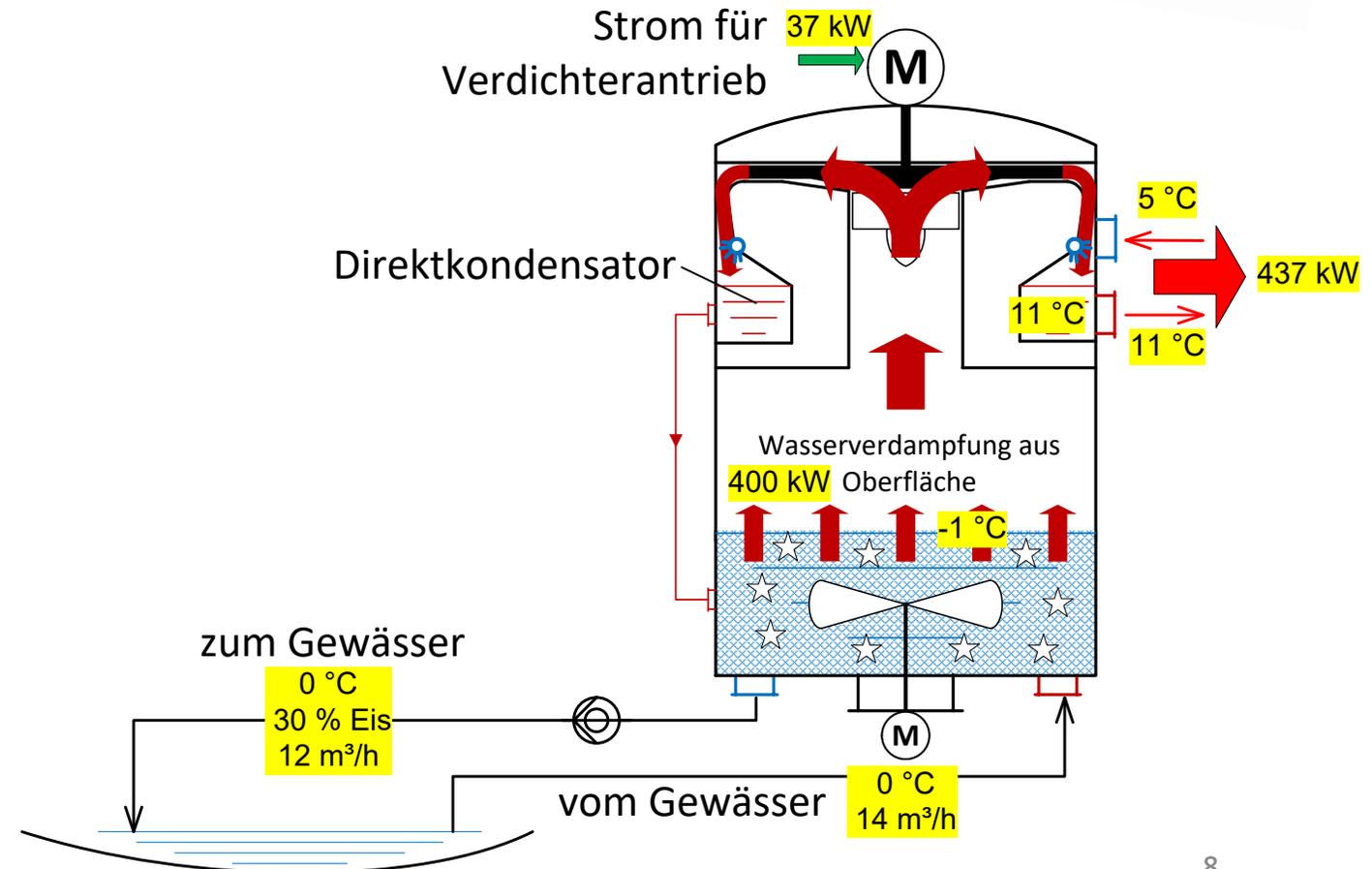
ILK Dresden



## Die innovative Vakuum-Flüssigeis-Technologie



- ▶ eignet sich zur thermischen Nutzung (kalter) Oberflächenwässer
- ▶ ohne „Wärmeübertrager“, d.h. keine Verschmutzungsprobleme
- ▶ Reduktion der Wassermenge
- ▶ Speicherung Flüssigeis und zeitversetzte Nutzung zur Kühlung (Wärme-Kälte-Kopplung)
- ▶ nur Wasser als Arbeitsstoff/Kältemittel

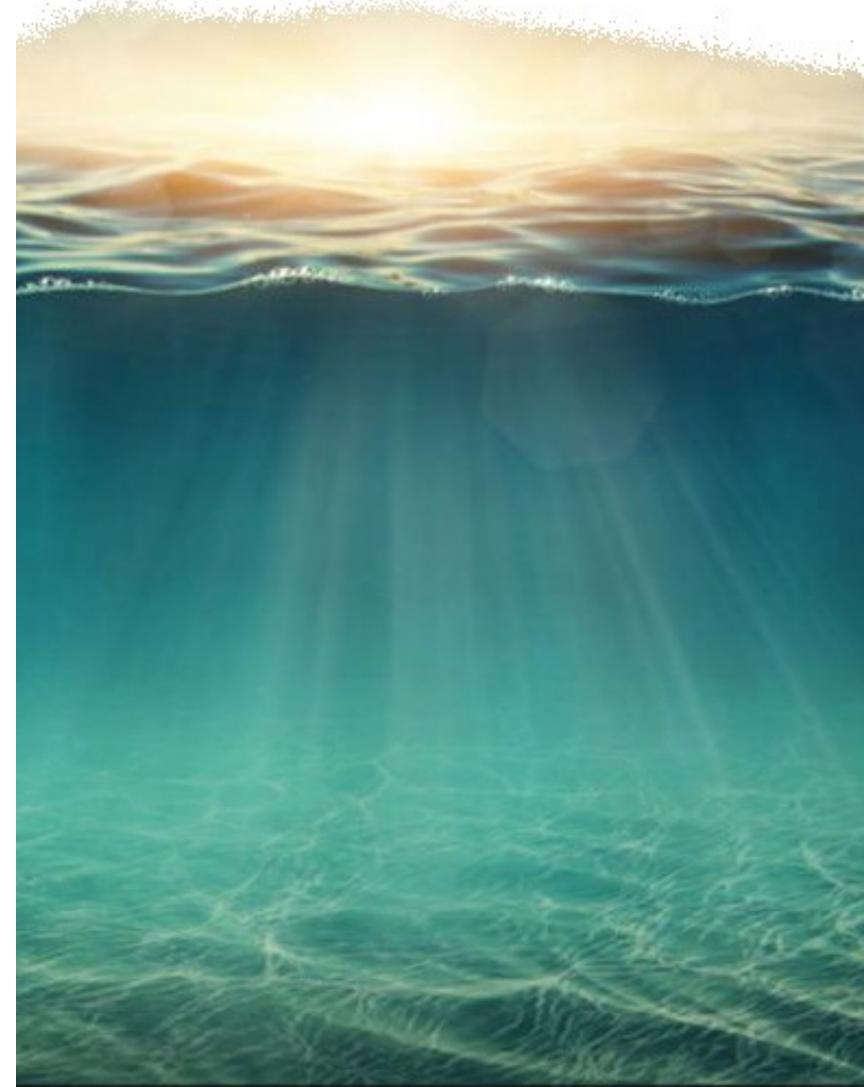


# Genehmigungsrechtliche Aspekte



## Auswirkungen von Temperaturveränderungen im Gewässer

- ▶ Evaporation / Wasserstand / Nebelbildung
- ▶ Stabilität der Dichteschichtung in Seen / Schichtungsdauer / Eisbildung
- ▶ Löslichkeit von Stoffen / O<sub>2</sub>-Verfügbarkeit
- ▶ Geschwindigkeit chemischer Reaktionen
- ▶ Stoffwechselprozesse / Wachstum von Organismen
- ▶ Verfügbarkeit an Nährstoffen / Trophie
- ▶ Fortpflanzung von Pflanzen und Tieren
- ▶ Biozönotische Strukturen; Artenzusammensetzung

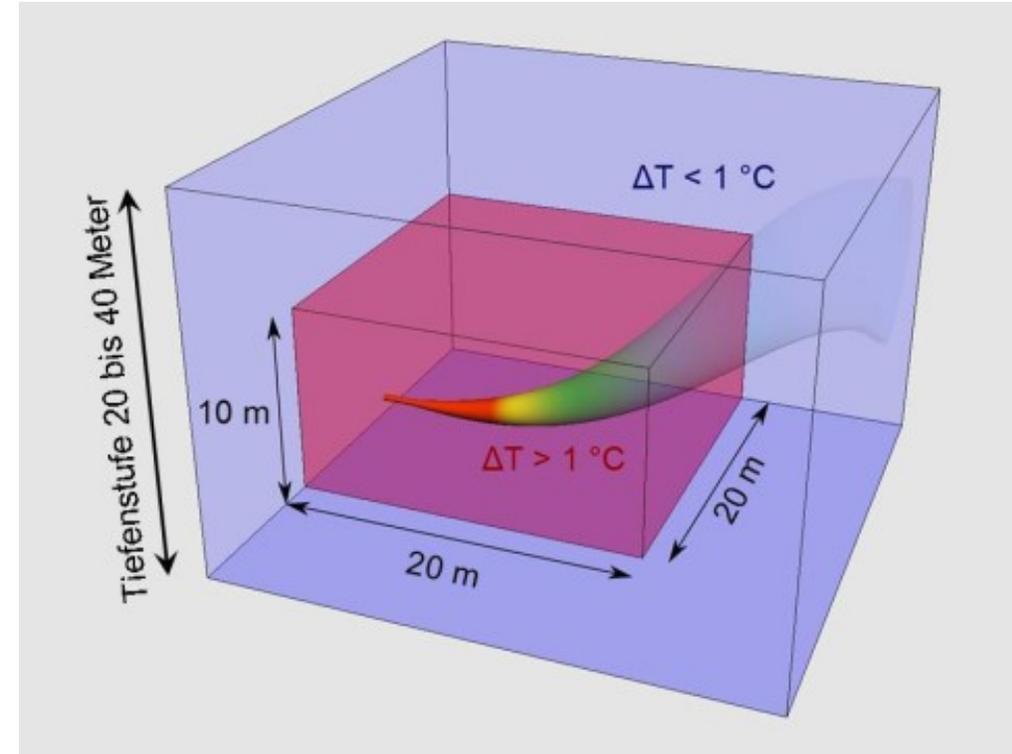


# Genehmigungsrechtliche Aspekte



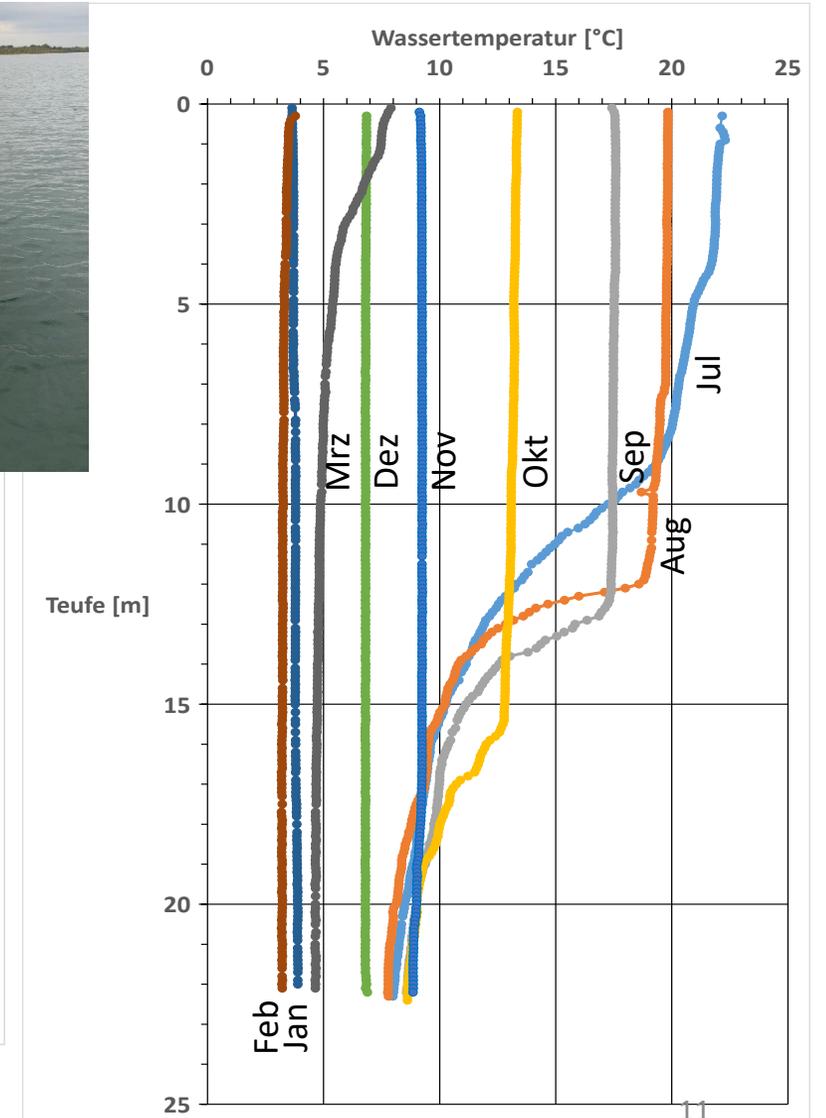
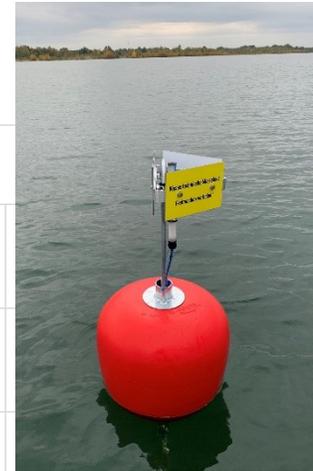
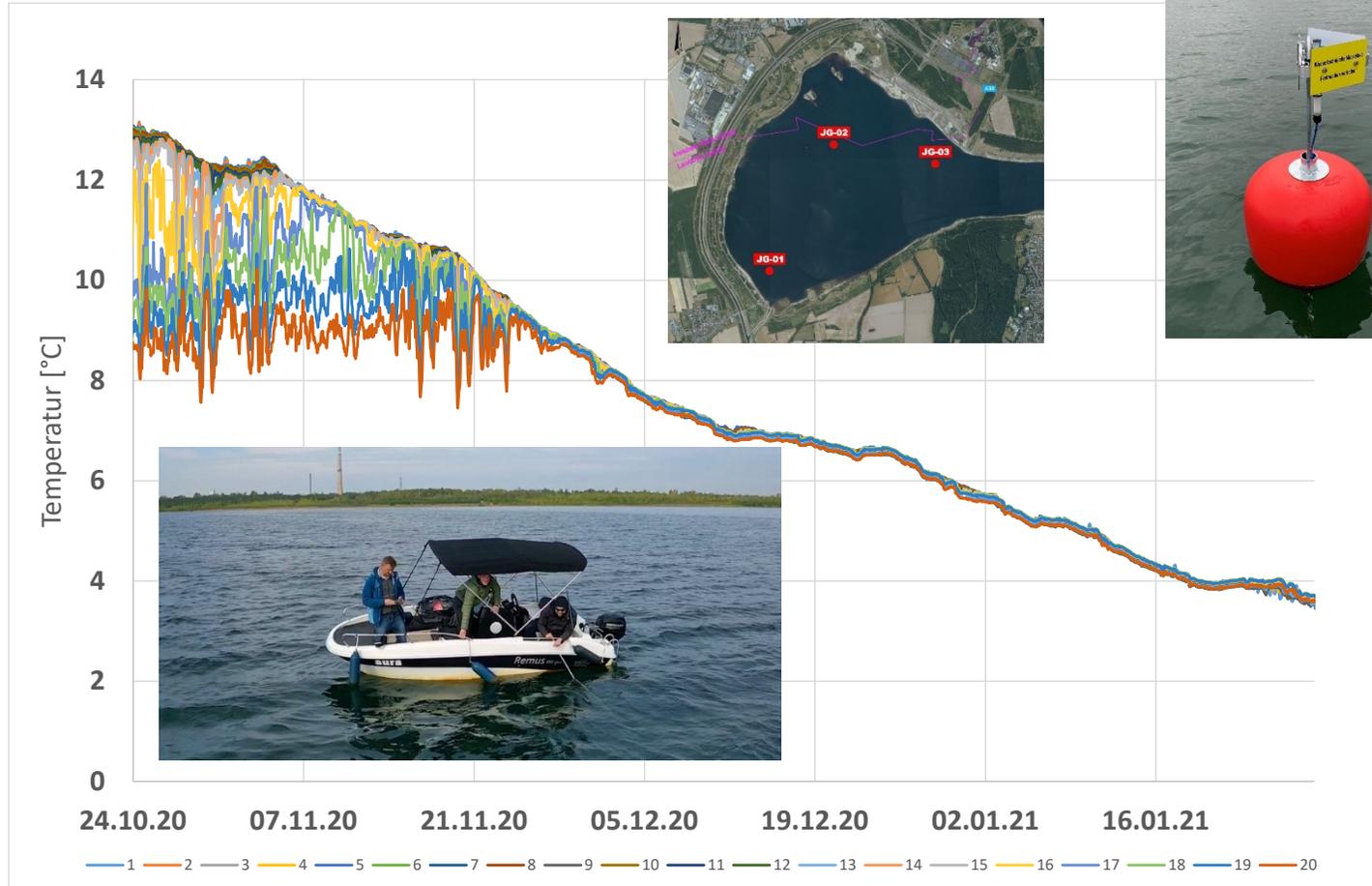
## „Bodenseerichtlinie“

- ▶ Die thermische Nutzung ist soweit zulässig, als der Zustand des Sees und seiner Lebensgemeinschaften weder regional bzw. lokal nachteilig beeinträchtigt werden.
- ▶ Die Entnahmetiefe ist zwischen 0 und 40 m frei wählbar.
- ▶ Rückgabe des thermisch genutzten Wassers unter Beachtung der Schichtung in Tiefen zwischen 20 und 40 m.
- ▶ Die Rückgabetemperatur darf max. 20°C betragen.
- ▶ Die Temperaturänderung außerhalb der Mischungszone muss kleiner 1 K sein.
- ▶ Als Mischungszone gilt ein Bereich von 20 mal 20 Meter horizontaler und 10 Meter vertikaler Ausdehnung.



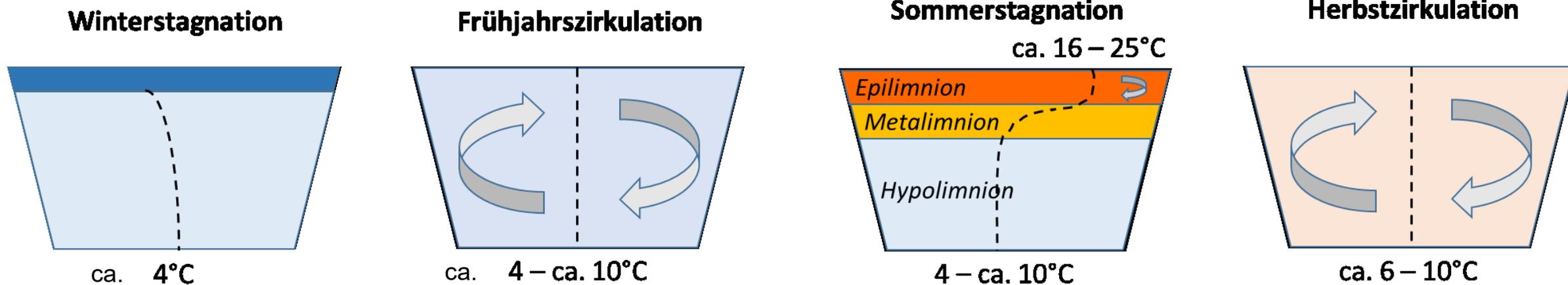
# Datengewinnung

## Hochauflösendes Temperaturmonitoring



# Modellierung

## Jahresgang der thermischen Schichtung tiefer Seen

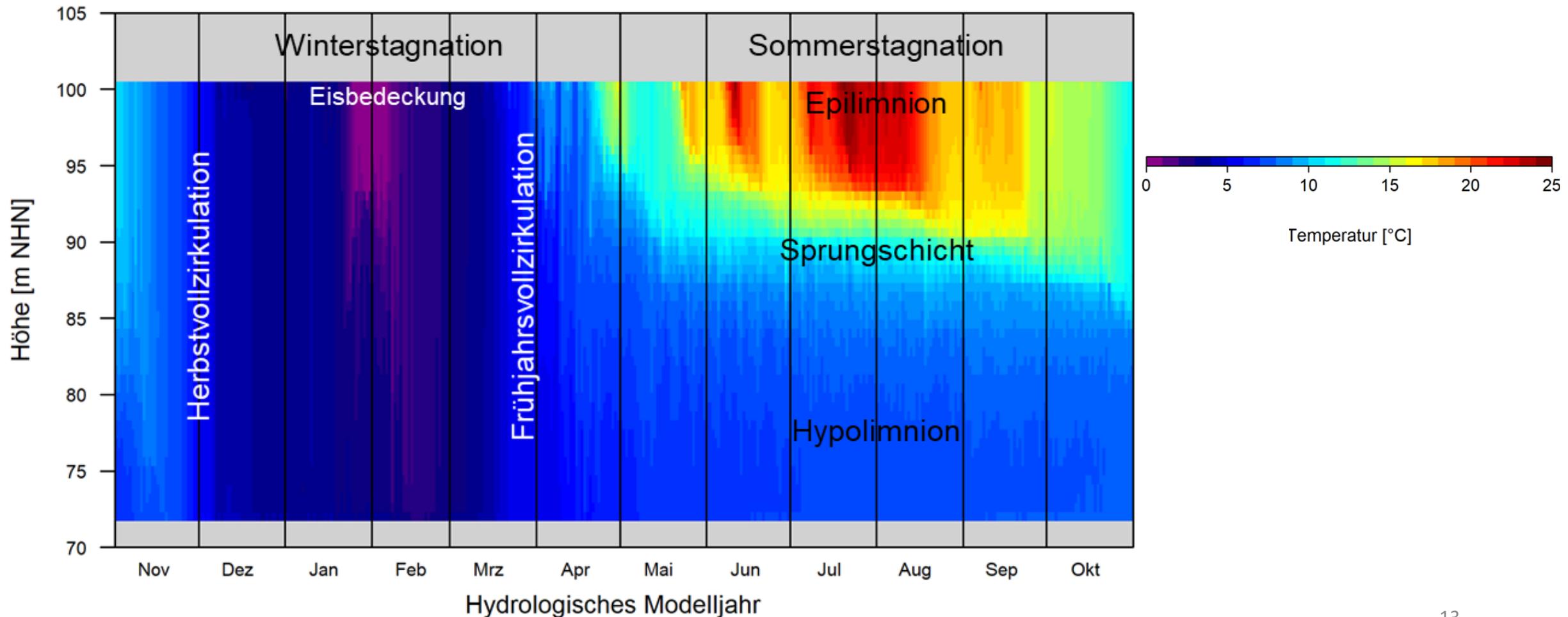


## Limnophysikalische Modellierung

- ▶ Bewertung des Einflusses eines Wärmepumpenbetriebs auf die Temperaturschichtung
- ▶ Bewertung des Einflusses eines Wärmepumpenbetriebs auf den Sauerstoffhaushalt

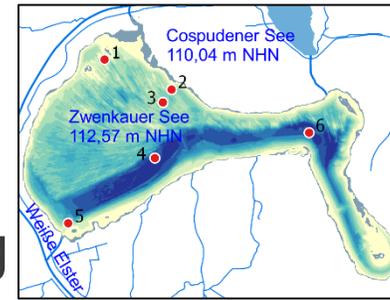
# Modellierung

## Jahresgang der thermischen Schichtung tiefer Seen

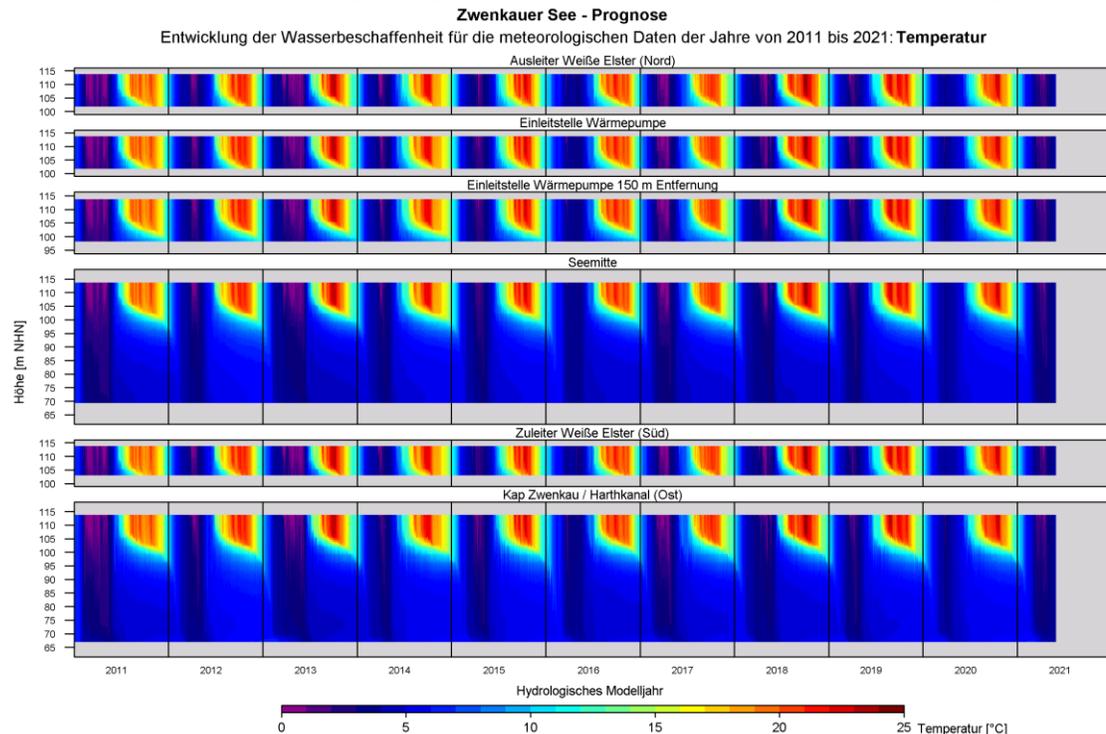


# Modellierung

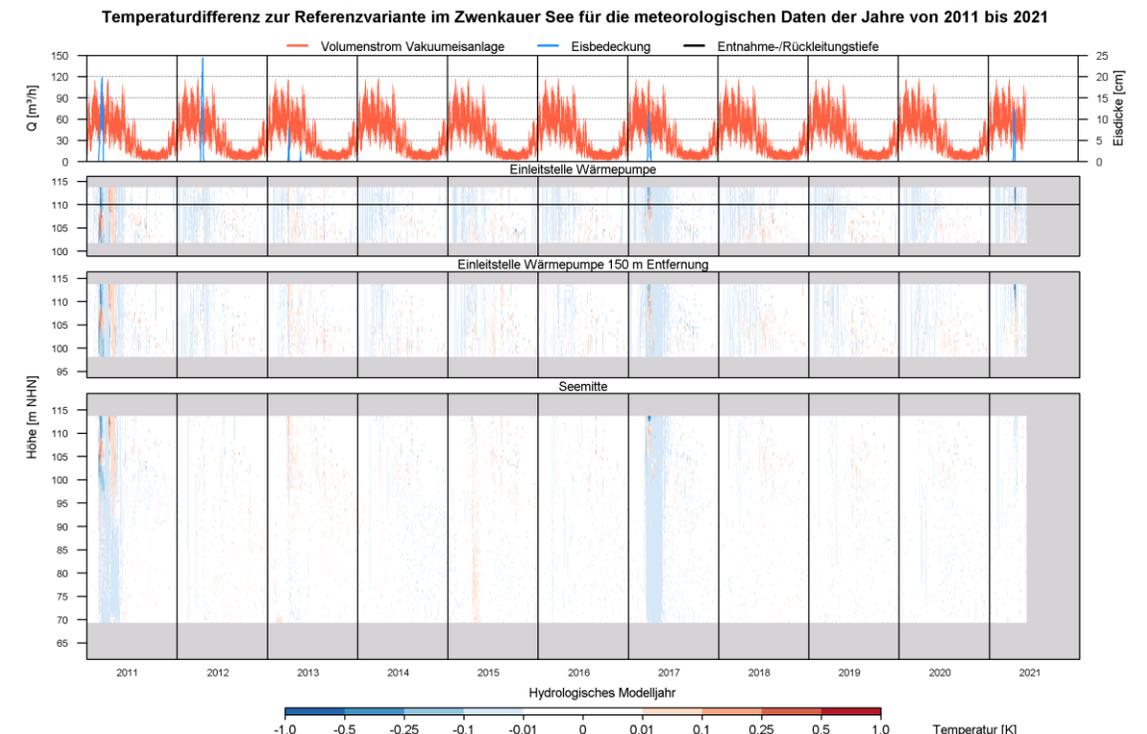
## Auswirkungen der thermischen Nutzung



### Temperaturgang ohne thermische Nutzung



### Auswirkungen der thermischen Nutzung

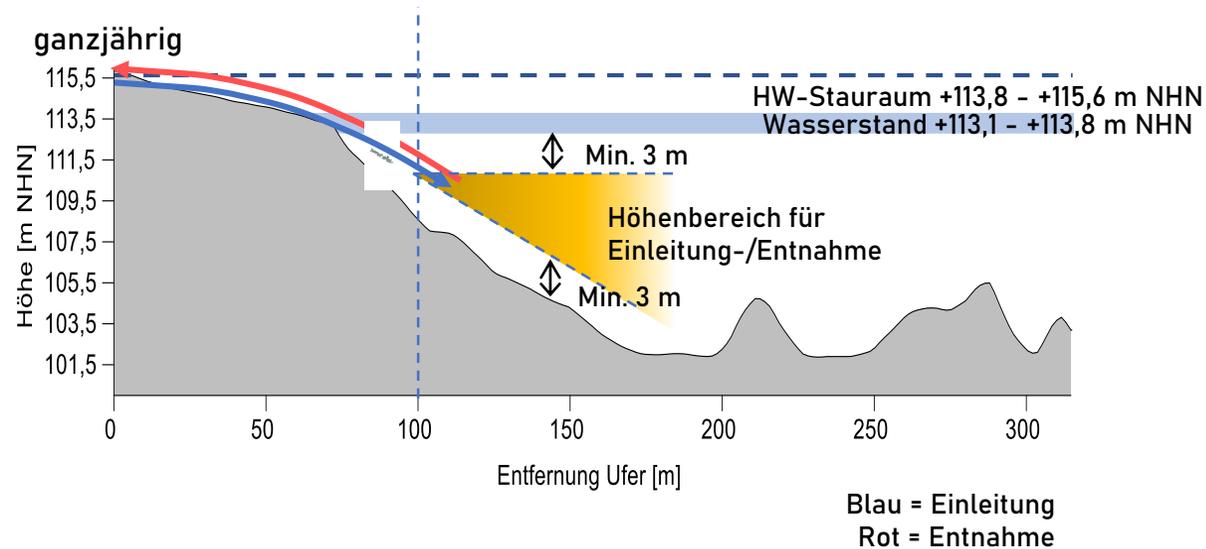


- ▶ Wärmepumpenbetrieb führt im Seewasserkörper in keinem der betrachteten Seebereiche zu keiner Zeit zu einer Temperaturveränderung von 1 K oder darüber.

# Technisches Konzept

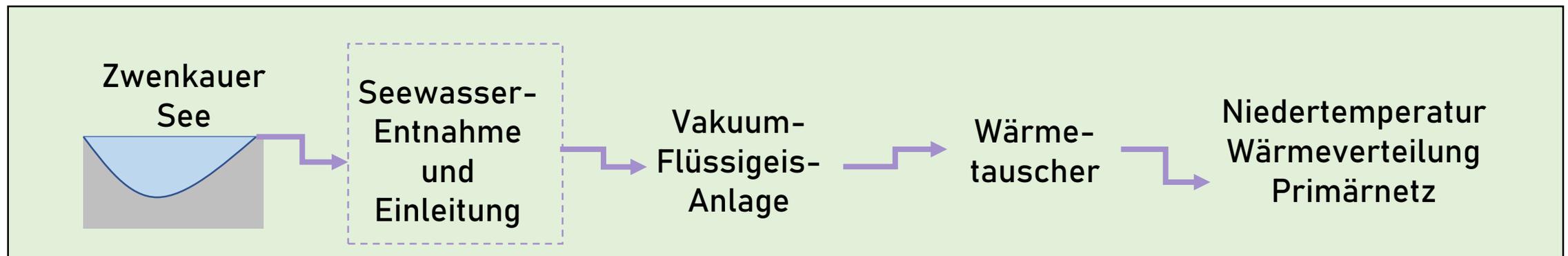


## Vorzugsvariante der Seewasserentnahme und Einleitung

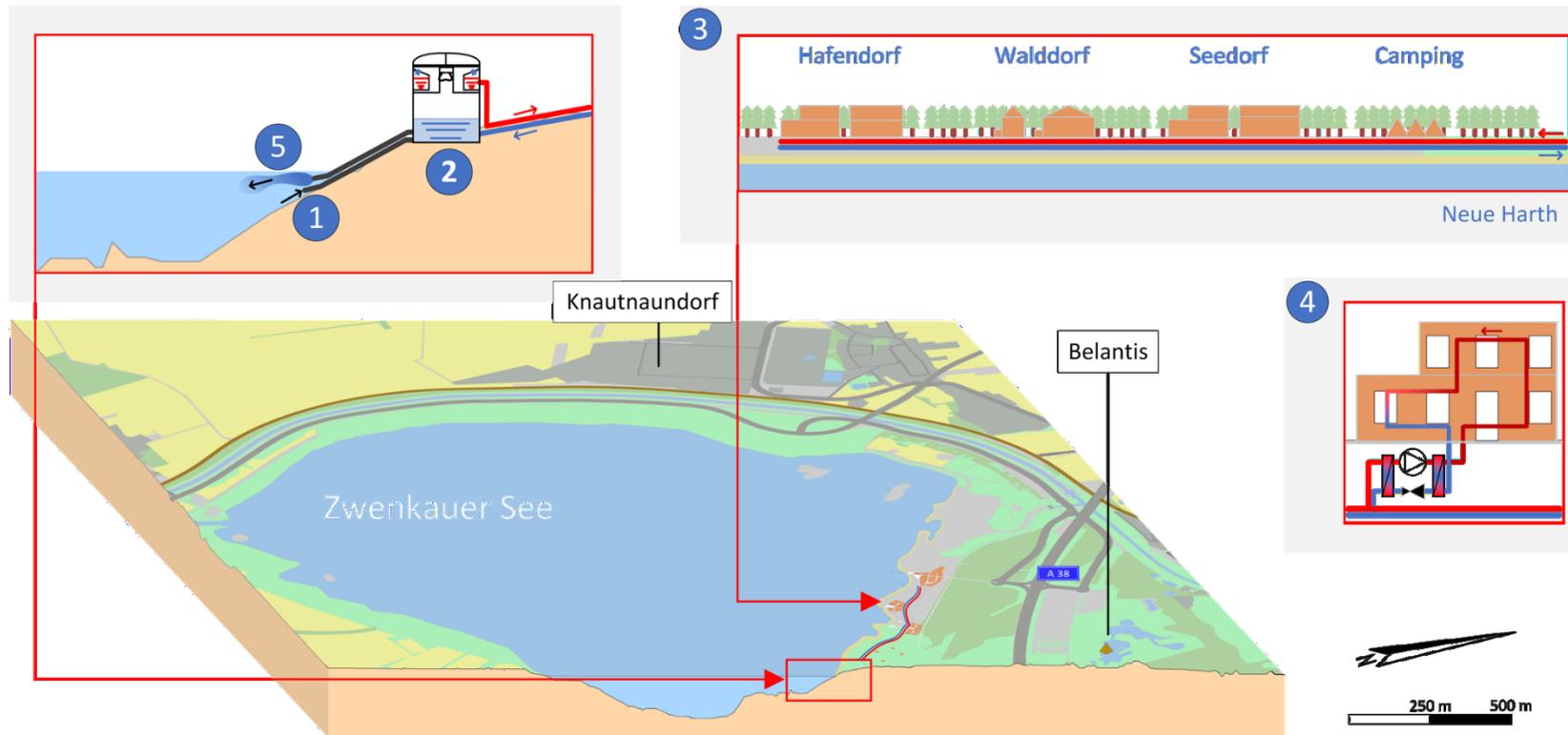


### Wahl der Entnahme- und Einleitstelle

- ▶ anhand größter Wassertiefe in Ufernähe
- ▶ Nähe zum Wärmebedarf
- ▶ Ergebnis: Standort Walddorf
- ▶ Hafendorf wegen geringer Wassertiefen in Ufernähe vorerst ausgeschlossen



# Technisches Konzept



- 1 Oberflächennahe und ufernahe Wasserfassung
- 2 Zentrale Vakuum-Flüssigeiszanlage
- 3 Wärmeverteilung mittels Nahwärmenetz im Temperaturbereich zwischen 6 und 12°C

- 4 Hausanschlüsse:  
Jede Hausanschlussstation ist mit einer eigenen Wärmepumpe ausgestattet, die das benötigte Temperaturniveau von 35°C für Raumwärme oder 60 -70°C für Trinkwarmwasser bereitstellt. Die Hausanschlussstation kann auch zur sommerlichen Kühlung eingesetzt werden.
- 5 Oberflächennahe und ufernahe Wasserrückführung

# Ergebnisse

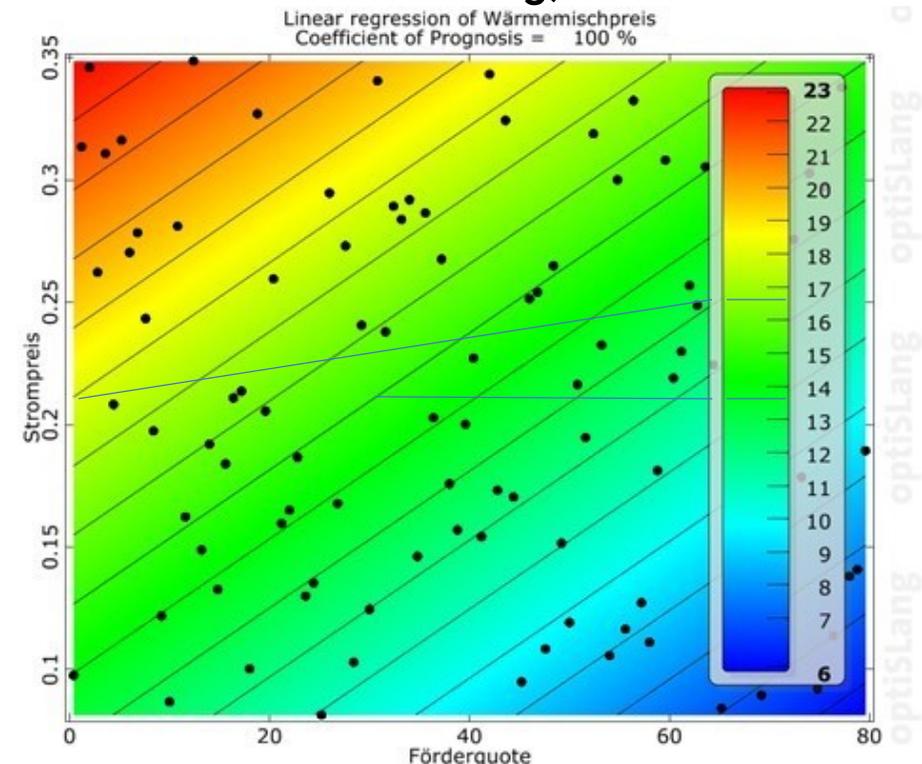


Wesentliche Parameter für die Versorgung von rund 150 Gebäuden sind:

- ▶ Entnahmemenge:  $\varnothing$  ca. 288 m<sup>3</sup>/d (bzw. 12 m<sup>3</sup>/h)
- ▶ Entnahmetemperatur: 3 – 23°C (je nach jahreszeitlicher Schwankung)
- ▶ Einleittemperatur: 0 – 20°C
- ▶  $\Delta T$  Entnahme / Einleitung: 0 – 3°K

Wärmemischpreis:

- ▶ ohne Förderung: 16,75 €ct/kWh
- ▶ mit 30 %  
Investitionsförderung: 13,69 €ct/kWh



Wirtschaftlichkeit: Sensitivitätsanalyse mit OptiSlang

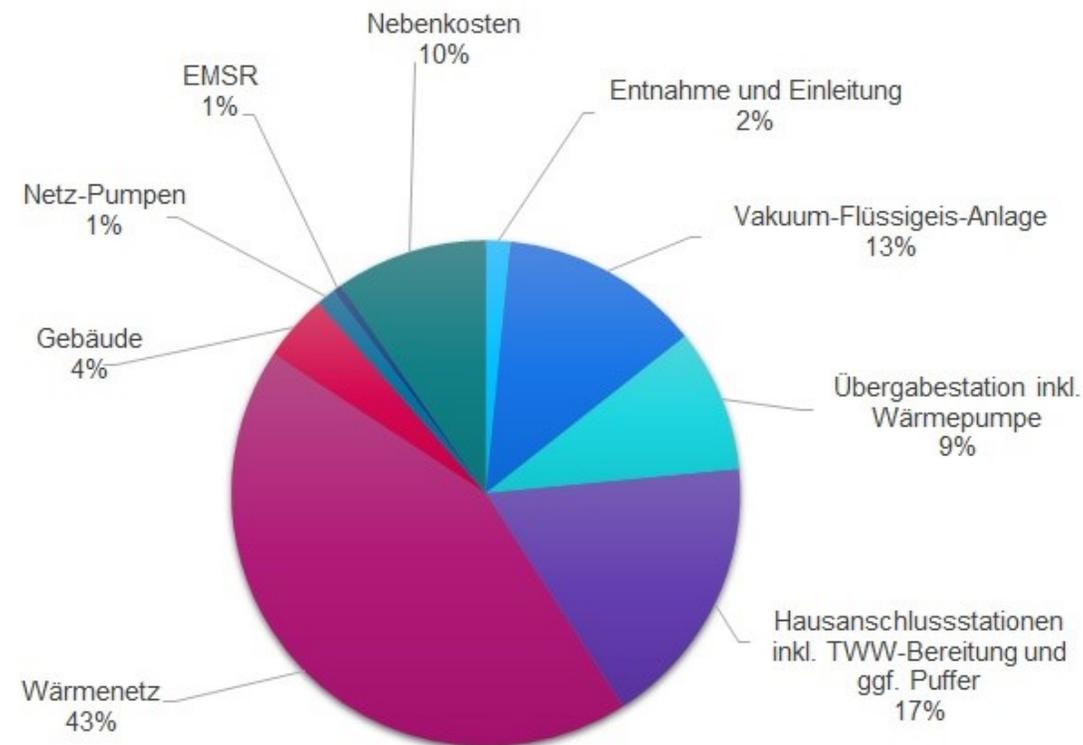
# Ergebnisse: Wirtschaftlichkeit



## Investitionskosten [€]:

No.		Gesamtkosten €
100	Entnahme und Einleitung	44.000
200	Vakuum-Flüssigeis-Anlage	358.300
300	Übergabestation inkl. Wärmepumpe	256.900
400	Hausanschlussstationen inkl. TWW-Be	489.600
500	Wärmenetz	1.218.000
600	Gebäude	120.000
700	Netz-Pumpen	34.500
800	EMSR	15.000
900	Nebenkosten	271.205
1000	Förderung	842.252
	<b>Summe</b>	<b>1.965.254</b>

## Investitionskosten [%]:

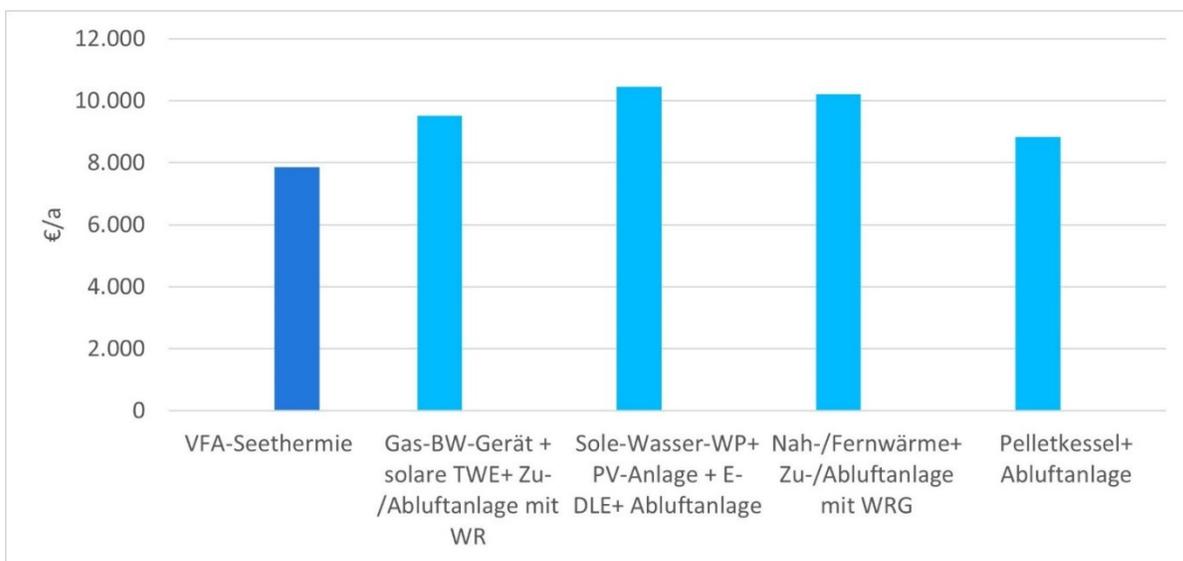


# Ergebnisse: Wirtschaftlichkeit

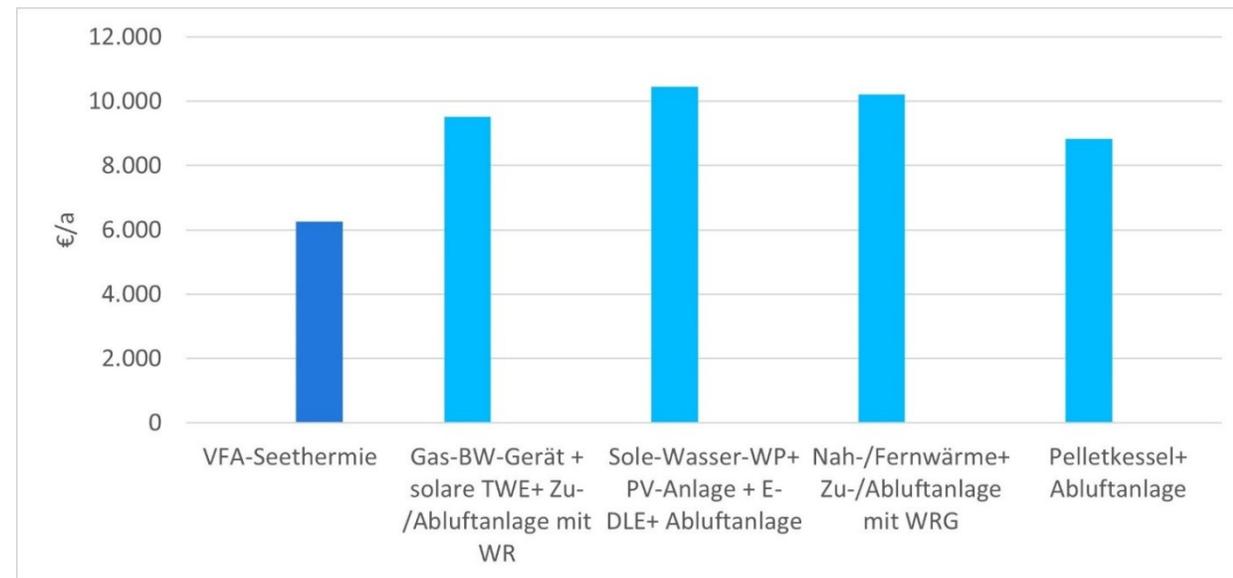


## Heizkostenvergleich – Neubau 6-Familienhaus Mindeststandard GEG (nach BDEW-Heizkostenvergleich 2021)

ohne Förderung



mit 30% Förderung auf Investkosten

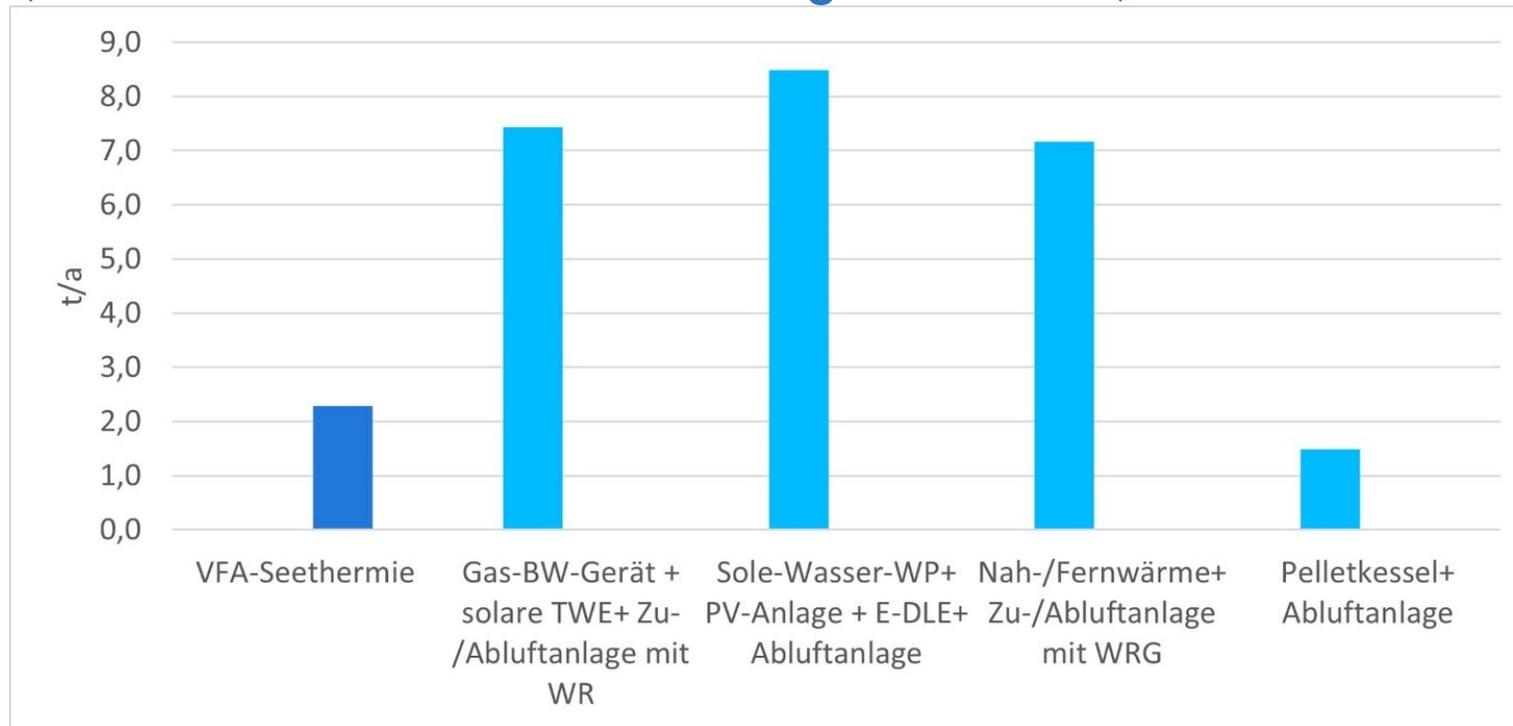


- ▶ Mit 30 % Förderquote (wie z.B. im Bundesprogramm Wärmenetze 4.0) kann das System mit etablierten Versorgungsvarianten wirtschaftlich mithalten!

# Ergebnisse: CO<sub>2</sub>-Emissionen



... anhand Neubau 6-Familienhaus Mindeststandard GEG  
(nach BDEW-Heizkostenvergleich 2021)



- ▶ Gesamtsystem zeigt vergleichsweise geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen. Einschränkung: nur grobe Bilanzierung auf Basis von Netzstrom mit aktuell 401 g/kWh und grober Systemauslegung.

# Ergebnisse: Genehmigungsfähigkeit



- ▶ Entnahme und Wiedereinleitung von Seewasser stellt eine Gewässerbenutzung dar, die einer wasserrechtlichen Erlaubnis bedarf. Die Zuständigkeit liegt bei den Unteren Wasserbehörden.
- ▶ Die seethermische Nutzung ist nach aktuellem Kenntnisstand und Einschätzung der Autoren der Studie grundsätzlich genehmigungsfähig. Im Fallbeispiel Zwenkauer See wurde die ökologische Unbedenklichkeit durch Modellrechnungen zur Limnologie festgestellt.
- ▶ Bisher gibt es keine Bestimmungen / Vorlagen und Erfahrungen zur Genehmigung der thermischen Nutzung von Oberflächengewässern.
- ▶ Orientierung einer Temperaturänderung um maximal 1 K in einem gewissen Radius um die Einleitstelle (analog Bodenseerichtlinie) wird von Behörden als sinnvolle Vorgabe erachtet.
- ▶ Umfrage bei Behörden in Sachsen, Brandenburg und Thüringen:  
Zustimmung zunehmend in der Hierarchie Unt. Behörde ▶ Ob. Behörde ▶ Präsident ▶ Minister
- ▶ Eigene Vorschläge zur Genehmigungsfähigkeit

# Ergebnisse: Genehmigungsfähigkeit



## Stellungnahme der Behörde nach Abschluss der Studie

„...“

Der vorliegende Schlussbericht der Projektgruppe Seethermie legt die ökologische Unbedenklichkeit der seethermischen Nutzung für das Fallbeispiel Zwenkauer See durch umfassende Gewässeruntersuchungen und limnophysikalische Modellierung nachvollziehbar und plausibel dar. **Somit ist die seethermische Nutzung nach aktuellem Kenntnisstand grundsätzlich genehmigung-/erlaubnisfähig.** Weitere vorhabensspezifische Untersuchungen und Bewertungen zu den Auswirkungen von Temperatur-/Sauerstoffveränderungen und veränderten Schichtungsverhältnissen auf Organismen im See werden als Teil des Genehmigungs-/Erlaubnis-antrages folgen. Eine Abstimmung vorab bezüglich der fachlichen Tiefe ist sinnvoll.

**Die Entwicklung einer standardisierten Genehmigung-/Erlaubnispraxis bezüglich seethermischer Nutzung wird sehr begrüßt und seitens des FB Gewässergüte ausdrücklich unterstützt.** Aufgrund des hohen Potenzials im Leipziger Umfeld durch die zahlreichen Tagebaurestseen und die damit verbundene hohe Wahrscheinlichkeit weiterer Seethermieprojekte ist eine einheitliche Vorgehensweise anzustreben.

...“

LANDRATSAMT LANDKREIS LEIPZIG - Umweltamt  
Sachgebiet Wasser/Abwasser



Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass SEETHERMIE in Kombination mit der Vakuum-Flüssigeis-Technologie einen wichtigen Beitrag zum Versorgungs-Mix einer grünen Wärmewende leisten kann.

Unter den Bedingungen des exemplarischen Standortes kann die Technologie

- ▶ sinnvoll konfiguriert und eingesetzt,
- ▶ wirtschaftlich betrieben,
- ▶ umweltverträglich gestaltet und
- ▶ von den zuständigen Behörden genehmigt werden.





# Vielen Dank!

komplette Studie, Kurzfassung  
und Abschlusspräsentation auf:

[www.jena-geos.de/fachbeitraege/](http://www.jena-geos.de/fachbeitraege/)

Jörg Schmidt, JENA-GEOS<sup>®</sup>-Ingenieurbüro GmbH  
[schmidt@jena-geos.de](mailto:schmidt@jena-geos.de)



INNOVATIONSREGION  
MITTELDEUTSCHLAND



METROPOLREGION  
MITTELDEUTSCHLAND