INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

NEUE WEGE FÜR
INNOVATION UND WERTSCHÖPFUNG

Strukturwandel in der Innovationsregion Mitteldeutschland

Innovative Wärmeversorgung aus Tagebauseen

Abschlusspräsentation

Ein Projekt der

METROPOLREGION
MITTELDEUTSCHLAND

23.07.2021

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Autoren:

Stefan Böttger, Bernd Felgentreff, Martin-Joseph Hloucal, Dr. Dieter Leßmann, Sebastian Mix, Dr. Kersten Roselt, Dr. Mathias Safarik, Jörg Schmidt, Christoph Steffan, Dr. Wilfried Uhlmann

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

Inhalt

SEETHERMIE

- Begrüßung • Johannes Gansler, Innovationsregion Mitteldeutschland
- Einleitung und Motivation • Dr. Kersten Roselt, JENA-GEOS®
- State of the Art • Bernd Felgentreff, Systemberatung Leipzig
- SWOT-Analyse • Dr. Kersten Roselt, JENA-GEOS®
- Quartiersansatz • Martin-Joseph Hloucal, TILIA & Dr. Kersten Roselt, JENA-GEOS®
- Datengewinnung • Jörg Schmidt, JENA-GEOS®
- Limnologie • Dr. Wilfried Uhlmann, IWB
- Technisches Konzept & Wirtschaftlichkeit • Martin-Joseph Hloucal, TILIA
- Genehmigungsfähigkeit • Stefan Böttger, TILIA
- Ergebnisse & Übertragbarkeit • alle (Moderation K. Roselt)
- Öffentlichkeitsarbeit • Dr. Kersten Roselt, JENA-GEOS®
- Ausblick • Dr. Kersten Roselt, JENA-GEOS® , Johannes Gansler, IRMD

SEETHERMIE

Einleitung und Motivation

Dr. Kersten Roselt

Quelle: GoogleEarth

3 besondere regionale Potenziale in der Strukturwandelregion

- Bestandsschutz von Flächen bisheriger fossiler Energieerzeugung
- Potenzielle Aquiferspeicher (‚Weißelsterbecken‘)
- Tagebauseen

Einleitung und Motivation

Zielstellung

- **technisches und umsetzbares Konzept zur Wärme- (und ggf. Kälte-) Versorgung** der Gebäude am Nordufer des Zwenkauer Sees unter Nutzung der Vakuum-Flüssigeis-Technologie
- **Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen** unter Berücksichtigung verschiedener Eingangsparameter (ggf. in Varianten) sowie Gestehungskostenrechnung (Basis Sensitivitätsanalyse
- aus Praxiserfahrungen (State of Art), Daten zur Limnologie und Diskussionen mit den Behörden formuliert das Team Anforderungen an die **Umweltverträglichkeit und Genehmigungsfähigkeit**
- Prognosen zur **Übertragbarkeit, Verallgemeinerbarkeit**

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

State of the Art SEETHERMIE

Bernd Felgentreff

State of the Art

Aktuelle Situation:

- Die ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen haben in Deutschland mit politischen Mehrheiten zum Ausstieg aus atomarer und auf Kohle basierter Energieversorgung geführt.
- Auf der Suche nach dem benötigten Ersatz sind Energieeffizienz, Energieeffektivität und die Nutzung bisher brachliegender Potentiale ermittelt.

Hemmnisse:

- Die größten ungenutzten Potentiale sind für einzelne Gebäude technisch / ökonomisch nicht anwendbar u. in vielen Fällen zeitlich (Sommer/Winter) und räumlich vom benötigen Bedarf getrennt.
- Umwelt- und umfeldgerechte, sowie nachhaltige Energieversorgung bedingt tiefgreifende Prüfung.
- In Deutschland kann kaum eine Behörde auf Erfahrung zur thermischen Seewassernutzung zurück greifen (Kammer H. 2018).

State of the Art

Lösungsansatz:

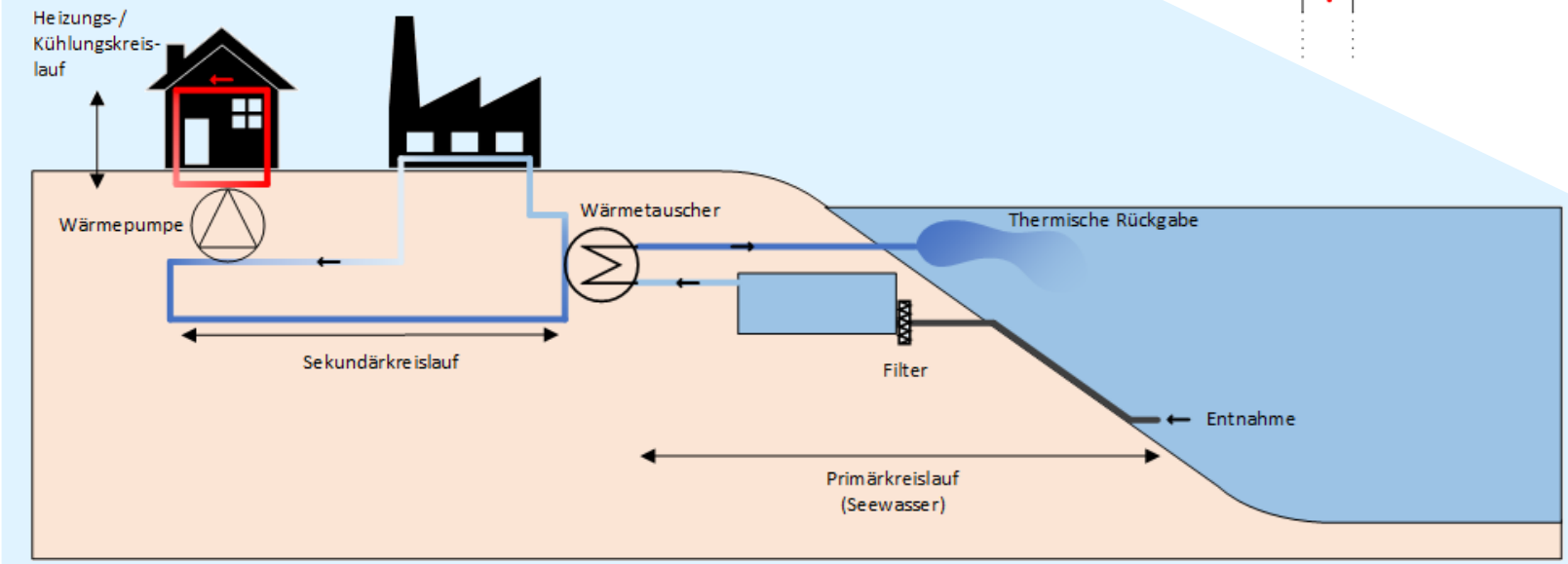
- Der mit Abstand größte Handlungsbedarf und die größten Potentiale bestehen im Sektor Wärme.
- Neue Entwicklungen der Wärmeversorgung (Wärmepumpen; Kalte, intelligente Wärmenetze) ermöglichen die thermische Nutzung von Oberflächengewässern, hier Seethermie genannt.
- Das Vakuum-Flüssigeis-Verfahren kann ohne chemische Substanzen auch 0-grädiges Wasser unbedenklich und transportfähig entwärmen, was diese Studie beweist.
- Die Entwärmung ohne chemische Substanzen werden nachhaltiger Energieversorgung gerecht.

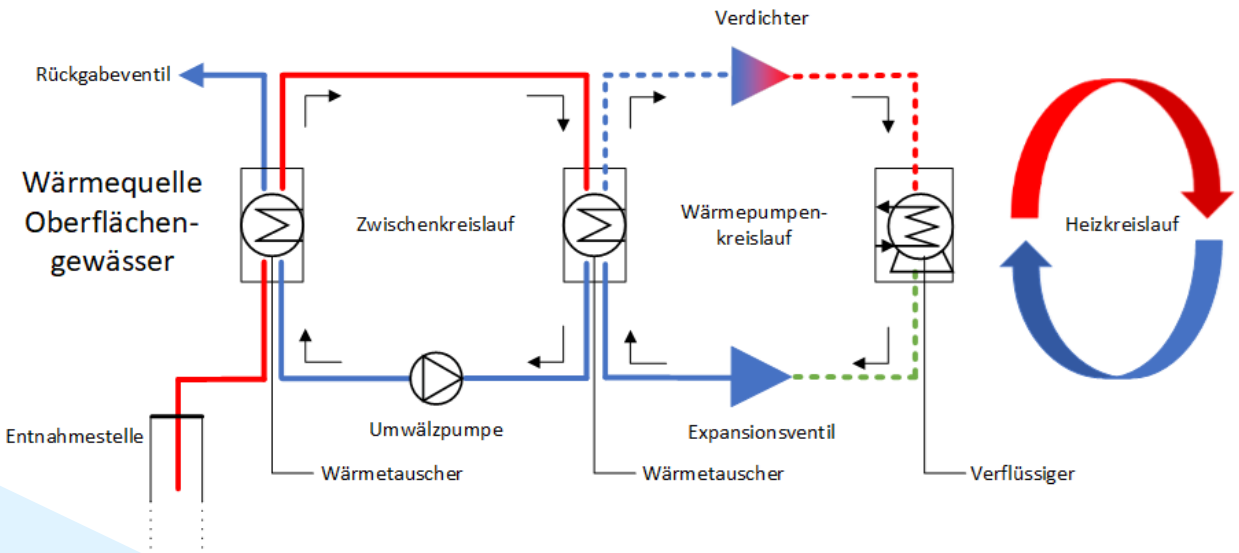
INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

State of the Art

SEETHERMIE

Bisher:





Quelle: Schwinghammer (2012):
Thermische Nutzung von Oberflächengewässern

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

9

State of the Art

Hintergründe (1)

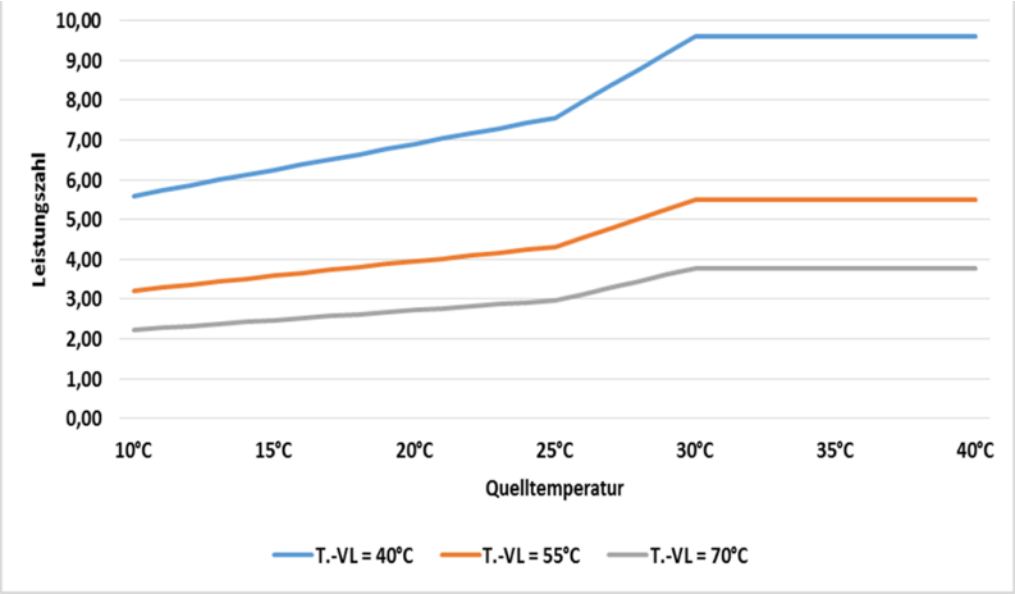
- neuartige Energieversorgung muss sich an konventionellen Versorgungssystemen messen lassen
- Wärmepumpen erreichen das in der Regel nur im Einfamilienhaus-Neubau
- zukünftig wird elektrische Energie vor allem im Winter wertvoll
- im Winter frei verfügbare Energiequellen werden zur Existenzgrundlage
- effizient und effektiv und nachhaltig mit Energie umzugehen, zeichnet sich im Wärmesektor aus, durch:
  - kleinere Verluste (geringere Temperaturen)
  - optimierte Versorgung (nicht 24 Stunden, sondern nur wenn benötigt Grad-, Liter- und Wattgenau)
  - kostenarme Energiequellen (niedertemperaturige Abwärme, Sommersonne)
  - nicht monopolisierbare Energiequellen
    (Sonne, Wasser, Erde, Luft)

State of the Art

Hintergründe (2)

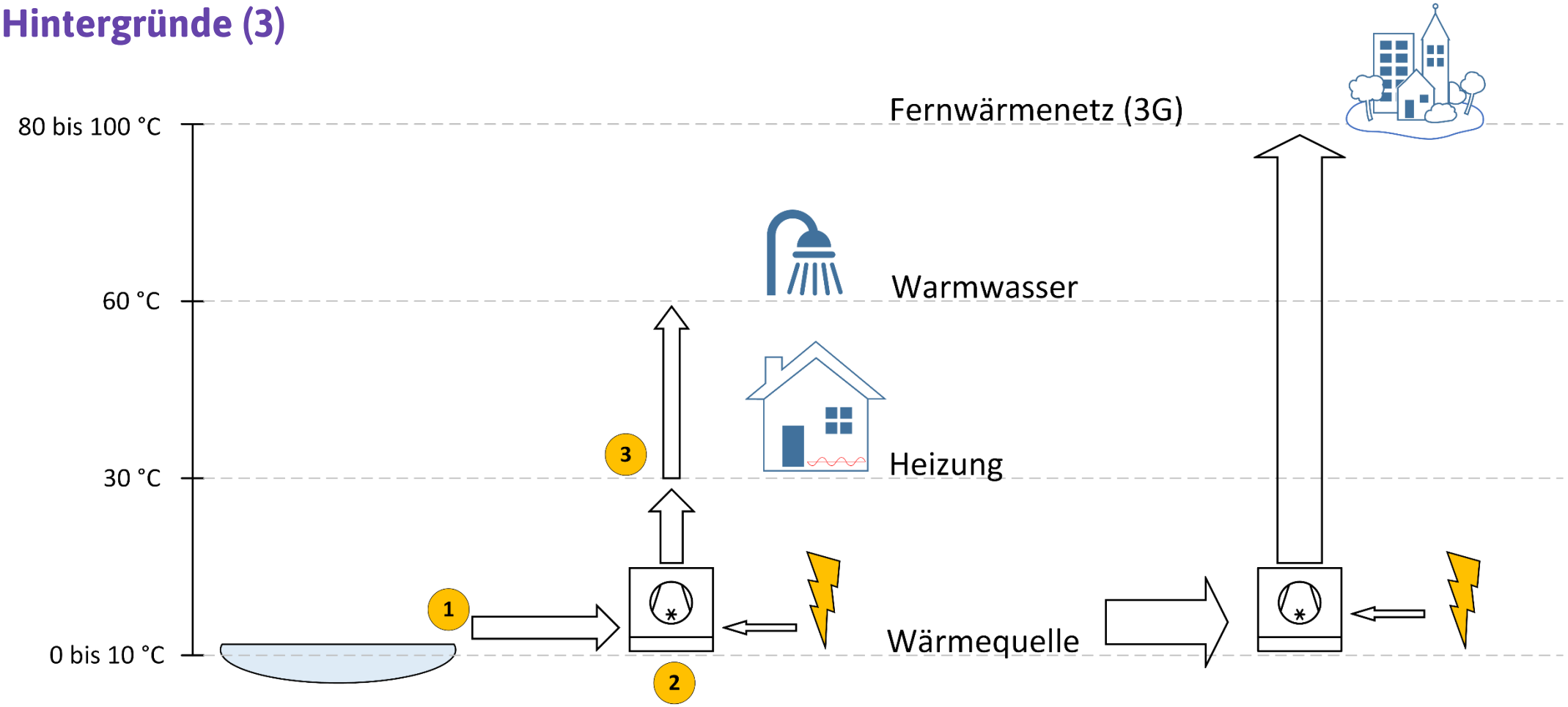
- Keine andere Technologie zur Wärmeversorgung hat so viele
  Synergieeffekte sich zu optimieren wie die Wärmepumpe:
  - Je 1°C höhere Quelltemperatur (Beispiel +10°K) entspricht ca. 2,5% weniger Bedarf an elektrischer Energie (am Beispiel 25%)
  - Kann aus Anergie (nicht nutzbare Energie) (Beispiel 40°C Abwärme aus Kühlprozessen) Exergie (Beispiel 50°C Heizenergie) herstellen
  - Beispiel Seethermie (0 – 25°C) Versorgung zur Heizung und Warmwasserbereitung

Leistungszahl in Abhängigkeit der Quelltemperatur



State of the Art

Hintergründe (3)



INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

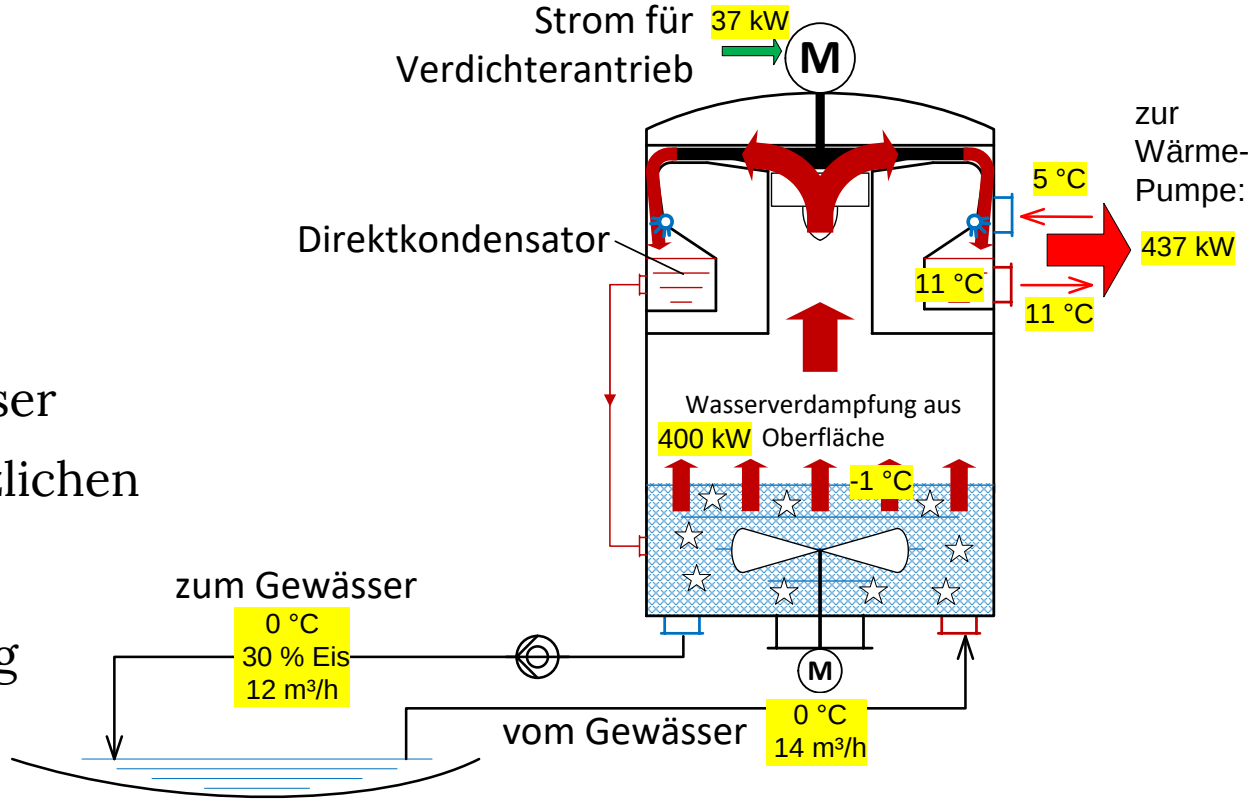
ILK Dresden

SEETHERMIE

Die innovative Vakuum-Flüssigeis-Technologie

eku innovativ PREISTRÄGER 2020

- …“ist ein Wärmeübertrager mit integrierter Temperaturerhöhung“
- Wärmeentzug aus dem Wasser durch Teilvereisung → pumpfähiges Flüssigeis
- Nutzt die Gefrierwärme!
- Funktioniert auch bei nullgrädigem Wasser also ganzjährig → spart Kosten für zusätzlichen Wärmeerzeuger
- Hohe Effizienz durch Direktverdampfung



INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

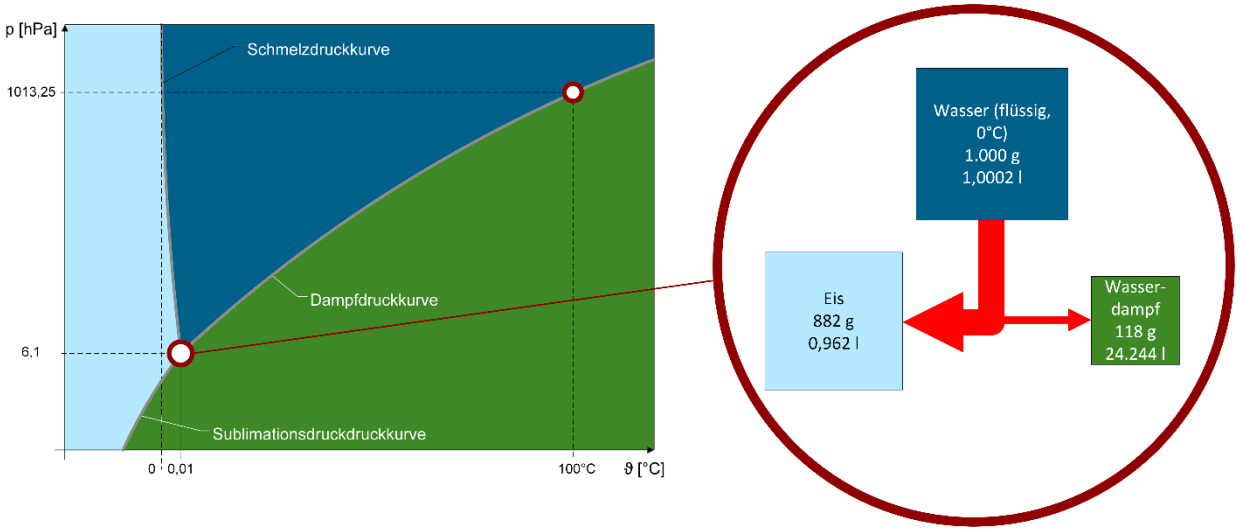
ILK Dresden

SEETHERMIE

Die innovative Vakuum-Flüssigeis-Technologie

eku innovativ PREISTRÄGER 2020

- nur Wasser als Arbeitsstoff/Kältemittel, d.h. keine Gewässergefährdung
- ohne „Wärmeübertrager“, d.h. keine Verschmutzungsprobleme
- bei höheren Wassertemperaturen „nicht vereisender“ Betrieb möglich
- kombinierte Anlagen mit Eisspeicher und Gewässer als Wärmequellen
- Infos: www.ilkdresden.de/vakuumeis
- eku-Preisträgervideo



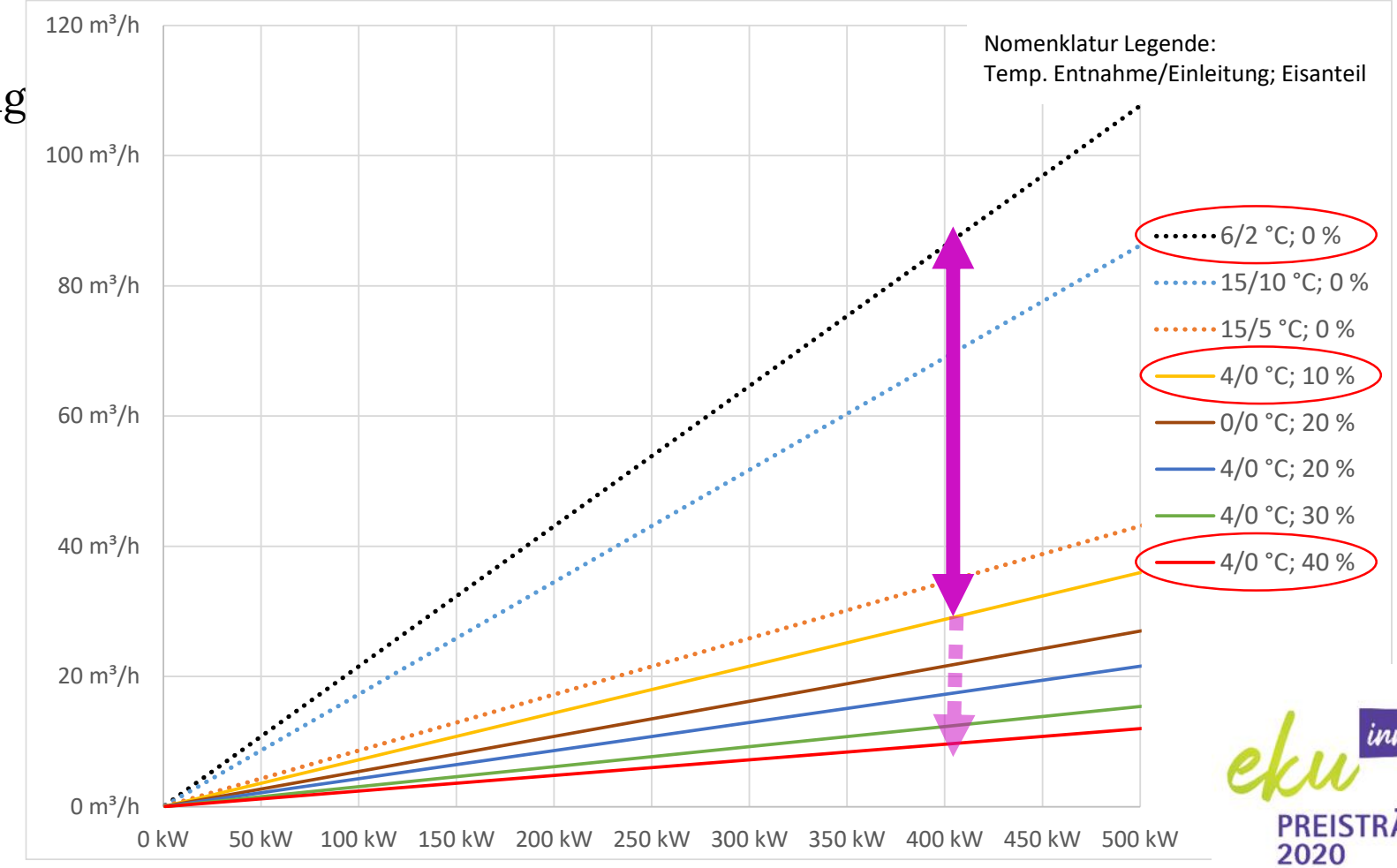
INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

ILK Dresden

SEETHERMIE

Die innovative Vakuum-Flüssigeis-Technologie

- Vergleich Wassermeng



eku innovativ PREISTRÄGER 2020

State of the Art

Zusatznutzen:

- Das entnommene und entwärmte Wasser kann (mit behördlicher Genehmigung) für Kühlprozesse genutzt werden. Am Beispiel UNO-Gebäude am Genfer See (Schweiz) wird das dadurch erwärmte Wasser zur Parkbewässerung genutzt (nicht wieder eingeleitet).
- Es können auch kontaminierte Wässer zur Wärmeversorgung heran gezogen werden (Beispiel Grubenwässer).
- Im Bedarfsfall ist das flüssige Eis saisonal lagerfähig.
- Durch die damit verbundene Modulationsfähigkeit kann die Antriebsenergie aus Sonne (oder Wind) verstärkt erfolgen und bis zu 100% CO^2-frei betrieben werden.
- Die Seethermie als alleinige Energiequelle ist im besonderen zur Versorgung von touristischen (eher sommerlich genutzten) Objekten geeignet.
- Die Kombination mit anderen Energieträgern und Verbrauchern ist über ein Kaltes, intelligentes Wärmenetz jederzeit und unbegrenzt möglich (Beispiel: Der Hotelkomplex am Nordufer des Zwenkauer See wird später mit der Energieversorgung des Freizeitparkes Belantis gekoppelt) (siehe Anlage im Schlussbericht: Übersicht Wärmenetze).
- Durch den Einsatz von Wasser als Kältemittel, kennt das System keine Betriebszeitgrenze durch Umweltauflagen / Umweltgesetzgebung.

SWOT-Analyse

Dr. Kersten Roselt

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

SWOT zur Nutzung von SEETHERMIE aus den Tagebauseen im Raum Leipzig

Interne Analyse (Akteure in der Region)

	Stärken (Strenghts)	**Schwächen** (Weaknesses)
Externe Analyse (Umfeld) **Chancen** (Opportunities)		
Risiken (Threats)		

1. Genereller Umsetzungsdruck: Grüne Wärmewende, Entwicklung alternative Wärmeversorgungslösungen
2. Leipzig: absehbares Ende der Versorgung durch KW Lippendorf, Klimanotstand
3. Enorme Potenziale im Umfeld von Leipzig durch zahlreiche Tagebauseen
4. Verbesserung von Technologien in den letzten Jahren (kalte Netze, Wärmepumpen, Flüssigeistechnologien)
5. Zunehmende Hinwendung zu systemischer Lösungen, Sektorenkopplung
6. Senkung von Gestehungskosten
7. zu erwartende bessere öffentliche Akzeptanz als andere erneuerbare Energien
8. Impulsgebung für andere Regionen (Übertragbarkeit)
9. Förderung des Strukturwandels

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

SWOT zur Nutzung von SEETHERMIE aus den Tagebauseen im Raum Leipzig

	Interne Analyse (Akteure in der Region)	
	Stärken (Strenghts)	**Schwächen** (Weaknesses)
Externe Analyse (Umfeld)	**Chancen** (Opportunities)	
	Risiken (Threats)	

1. sensibler chemischer und biologischer Zustand künstlicher Seen, deren Naturierung nicht abgeschlossen ist
2. kein erreichter Endzustand der Seen (Spiegelhöhe, Fließdynamik)
3. Jahresgang der Temperaturverläufe in verschiedenen Tiefen
4. ggf. zu starker Einfluss einer SEETHERMIE-Anlage auf Wassertemperatur des Sees
5. Genehmigungsfähigkeit, Unsicherheit von Behörden im Rahmen von Genehmigungen, keine speziellen Richtlinien
6. Wirtschaftlichkeit seethermischer Nutzung, daraus erwachsende Unsicherheit von Investoren und Stakeholdern
7. keine exakte Bedarfsdimensionierung eines künftigen oder fiktiven Quartiers

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

SWOT zur Nutzung von SEETHERMIE aus den Tagebauseen im Raum Leipzig

Interne Analyse (Akteure in der Region)

Stärken (Strenghts)

Schwächen (Weaknesses)

Externe Analyse (Umfeld)

Chancen (Opportunities)

Risiken (Threats)

1. Große fachliche Expertise von Wissenschaft und Ingenieuren in der Region aus allen umsetzungsrelevanten Disziplinen für SEETHERMIE
2. Motivation zum interdisziplinären Zusammenarbeiten
3. Innovationskraft in der Region
4. Engagement von Institutionen, Unternehmen, Vereinen und Einzelpersonen
5. Zunahme / Bewusstsein nachhaltigkeitsorientierten Handelns
6. Umdenken zum Strukturwandel als Chance

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

SWOT zur Nutzung von SEETHERMIE aus den Tagebauseen im Raum Leipzig

	Interne Analyse (Akteure in der Region)	
	Stärken (Strenghts)	**Schwächen** (Weaknesses)
Externe Analyse (Umfeld)	**Chancen** (Opportunities)	
	Risiken (Threats)	

1. bisher keine Erfahrungen herkömmlicher SEETHERMIE in den Tagebauseen
2. keine Praxisanwendung mit Flüssigeistechnologie für SEETHERMIE
3. Unsicherheit hinsichtlich künftiger Genehmigungsauflagen
4. ggf. eingeschränkte Repräsentanz bei zu kurzen Messzyklen (Seewasser-Monitoring)
5. (gefühlte) Unsicherheit durch Strukturwandel

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

SWOT zur Nutzung von SEETHERMIE aus den Tagebauseen im Raum Leipzig

Externe Analyse (Umfeld)	Interne Analyse (Akteure in der Region)	
	Stärken (Strenghts)	**Schwächen** (Weaknesses)
Chancen (Opportunities)	**mit fachlicher und innovativer Stärke die Chancen nutzen** ▶ Zusammenführung der fachlichen Expertise verschiedener Disziplinen ▶ Innovationsbereitschaft: Einbindung neuartiger Technologien	**mit prototypischer Anwendung Schwächen abbauen** ▶ Erfahrungen sammeln mit prototyp. Seethermie-Projekten ▶ andere Praxisanwendungen mit Flüssigeistechnologie adaptieren
Risiken (Threats)	**Kenntniszuwachs durch Messen, Modellieren / Simulieren** ▶ Umsetzung eines Messprogrammes, Wirtschaftlichkeit optimieren ▶ Bedarfsdimensionierung in Varianten ▶ potenzielle Investoren einbeziehen	**Schließung von Kenntnislücken: Adaption, Antizipierung, Datenakquise** ▶ Auswertung von SEETHERMIE-Projekten national / international ▶ Datenakquise bei Dritten (LMBV...) ▶ Diskussion mit Genehmigungsbehörden, Antizipierung des Behördenermessens

AP 1 Quartiersansatz

Martin-Joseph Hloucal, TILIA & Dr. Kersten Roselt, JENA-GEOS®

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

AP 1 Quartiersansatz

SEETHERMIE

Projekt:

Masterplan Neue Harth 2015

Auftraggeber:

Zweckverband Planung und Erschließung "Neue Harth"
Martin-Luther-Ring 4-6
04109 Leipzig

Neue Harth

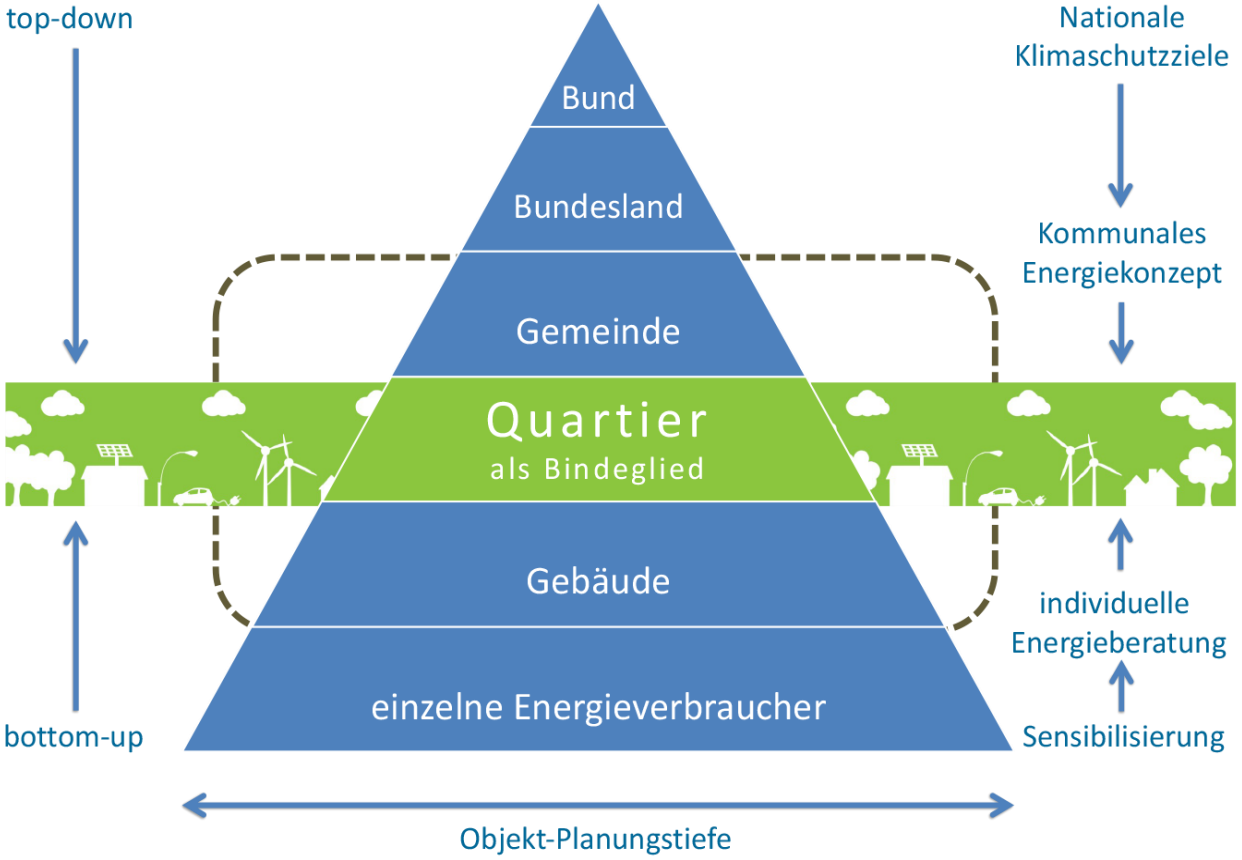
Planer:

labor4+
Adolph I Alles I Hamann I Schieferdecker GbR
Marienstr. 20
01067 Dresden

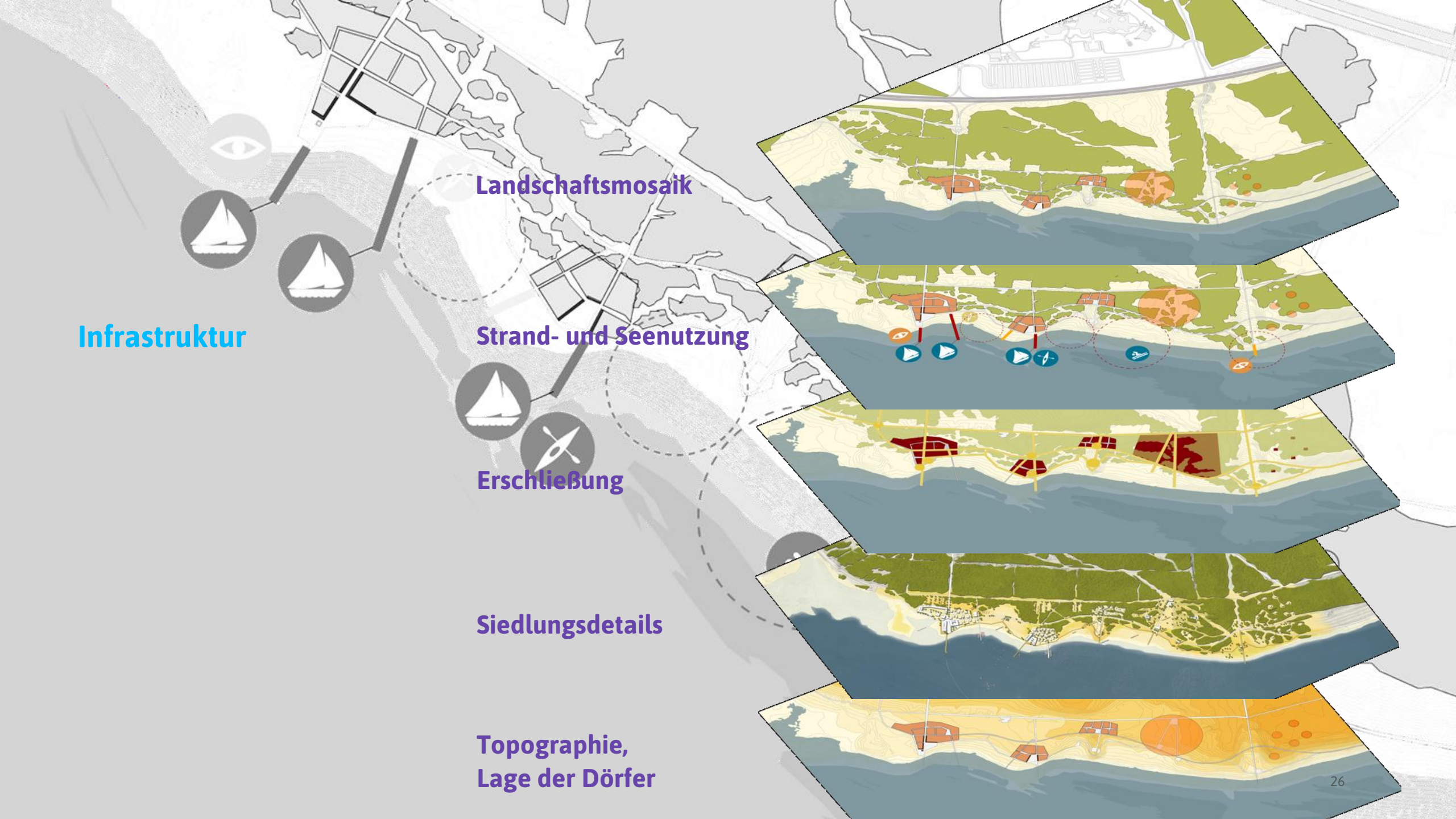
Gestattungsvertrag mit JENA-GEOS® zur internen Nutzung

Das Quartier als optimale energetische Versorgungseinheit

- Innerhalb des System-zusammenhanges zwischen Gebäude und Stadt liegt das wesentliche energetische Optimierungspotenzial im Maßstab des Quartiers.
- Der erwartete Effekt einer hohen Effizienzsteigerung wird daher aus der Rolle des Quartiers als die entscheidende räumliche Einheit einer dezentral geführten energetischen Versorgung abgeleitet.



Roselt et al (2015)


Landschaftsmosaik
Infrastruktur
Strand- und Seenutzung
Erschließung
Siedlungsdetails
Topographie,
Lage der Dörfer

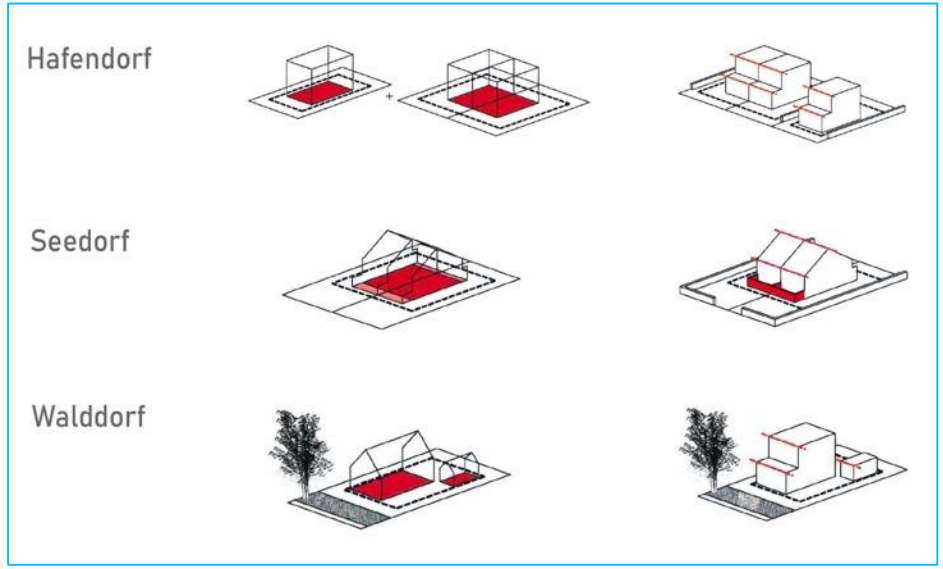
INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Annahmen

- Anzahl Nutzungseinheiten je Nutzungsform aus dem Masterplan (beheizte Einheiten)
- Nutzung Zeitreihe Außentemperatur beispielhaftes Jahr (Wetterstation Leipzig/Halle, Repräsent. 2020)
- Annahmen zu beheizten Fläche je Nutzungseinheit (auf Grundlage eigener Einschätzung)
- Annahmen zu spezifischen Heizleistung (auf Basis von Planungswerten aus vergleichbaren Projekten / Mindestenergiestandards)

Gebäudetypologien



- Zuordnung Nutzungseinheiten zu SPL-Profilen Gas (auf Basis eigener Einschätzung)
- Annahmen zu Vollbenutzungsstunden (überwieg. ganz-jährige Nutzung der Gebäude + längere Unterbrechungen)
- Zuordnung Nutzungseinheiten zu räuml. Clustern

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Berechnung

Bestimmung der Heizlast

- Beheizte Fläche x spez. Heizlast = Heizlast

Berechnung der Zeitreihen auf Basis SLP-Gas

- Nutzung des weiterentwickelten Standardlastprofilverfahrens Gas des BDEW zur Berechnung der stündlichen Heizlast je nach Nutzungsart
- Berücksichtigt werden Außentemperaturen, Nutzungsverhalten über den Tag und die Woche (inkl. Feiertage) sowie saisonale Effekte

Kategorie	Anzahl	Annahme spez. Beheizte Fläche je Stück	Annahme spez. Heizlast [W/m2]	Heizlast [kW]
Appartements in Einzelhäusern	84	120	50	**504**
Appartements in Doppelhäusern	60	100	50	**300**
Appartements in komplexen Anlagen	38	100	50	**190**
Kreativ-/ Aktivunterkünfte	25	50	60	**75**
Hotelzimmer	100	25	60	**150**
Versorgungseinheiten	4	200	60	**48**
Gastronomie überdurchschnittlich	2	200	60	**24**
Gastronomie Standard	1	150	60	**9**
Sportzentrum	1	200	60	**12**
Summe				**1.312**

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Ergebnisse

- Bestimmung Gesamtwärmebedarf
- Bestimmung Heizlast Quartier

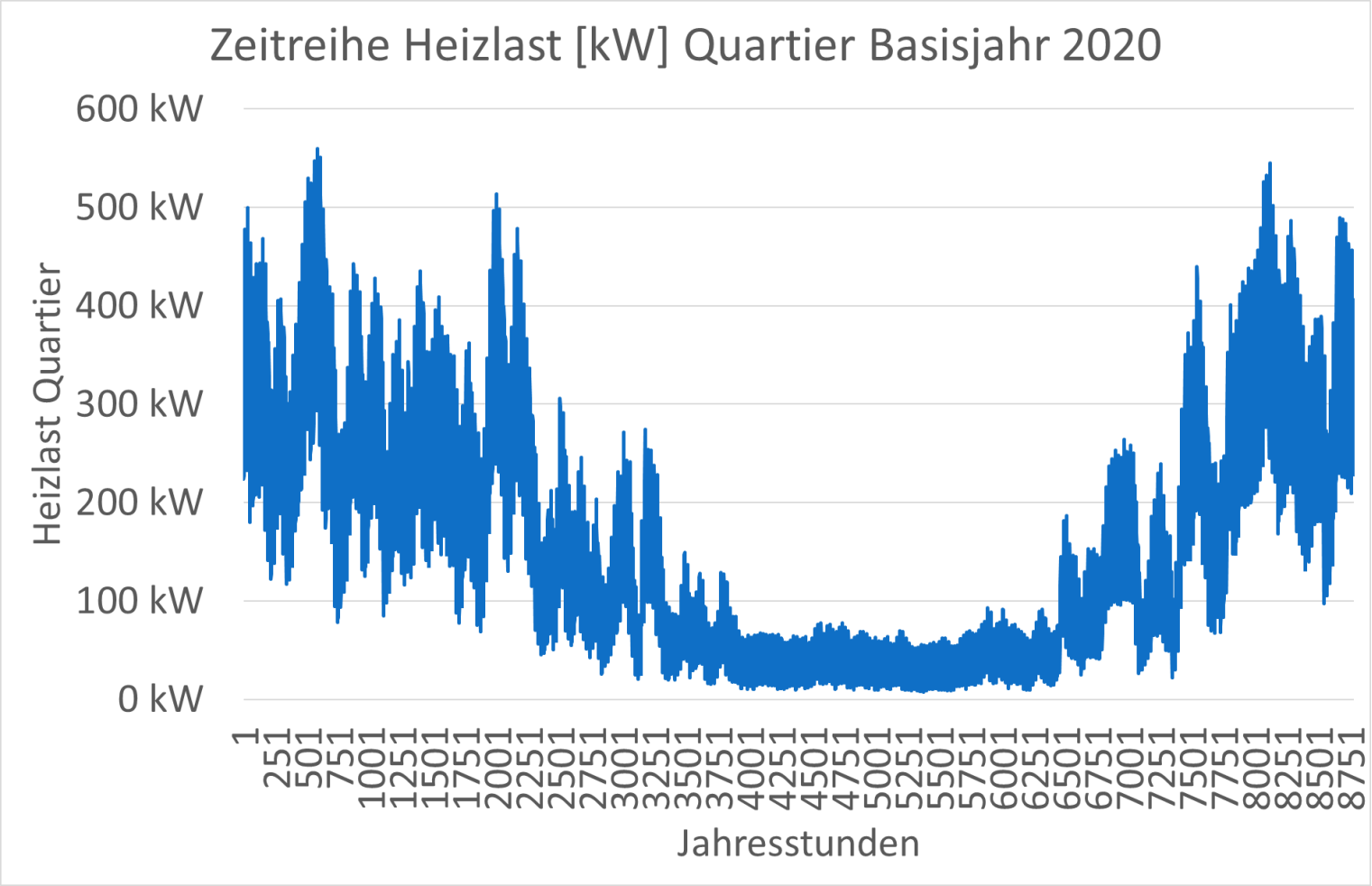
Kategorie	Anzahl	Heizlast [kW]	Nutzenergiebedarf Wärme [kWh/a]
Appartements in Einzelhäusern	84	**504**	**554.400**
Appartements in Doppelhäusern	60	**300**	**330.000**
Appartements in komplexen Anlagen	38	**190**	**209.000**
Kreativ-/ Aktivunterkünfte	25	**75**	**82.500**
Hotelzimmer	100	**150**	**165.000**
Versorgungseinheiten	4	**48**	**52.800**
Gastronomie überdurchschnittlich	2	**24**	**26.400**
Gastronomie Standard	1	**9**	**9.900**
Sportzentrum	1	**12**	**13.200**
Summe		**1.312**	**1.443.200**

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Ergebnisse

- Zeitreihen Heizlast für das Beispieljahr 2020



INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Ergebnisse

Räumliche Verteilung der Wärmebedarfe

Nutzenergie Wärme gesamt je Nutzunseinheit [kWh/a]		Hafendorf	Seedorf	Walddorf	Camping	Aktivhäuser
		[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Appartements in Einzelhäusern	**554.400**	158.400	330.000	66.000	0	0
Appartements in Doppelhäusern	**330.000**	165.000	165.000	0	0	0
Appartements in komplexen Anlagen	**209.000**	209.000	0	0	0	0
Kreativ-/ Aktivunterkünfte	**82.500**	0	0	0	0	82.500
Hotelzimmer	**165.000**	123.750	41.250	0	0	0
Versorgungseinheiten	**52.800**	13.200	13.200	13.200	13.200	0
Gastronomie überdurchschnittlich	**26.400**	13.200	13.200	0	0	0
Gastronomie Standard	**9.900**	0	0	9.900	0	0
Sportzentrum	**13.200**	13.200	0	0	0	0
Summe	**1.443.200**	**695.750**	**562.650**	**89.100**	**13.200**	**82.500**

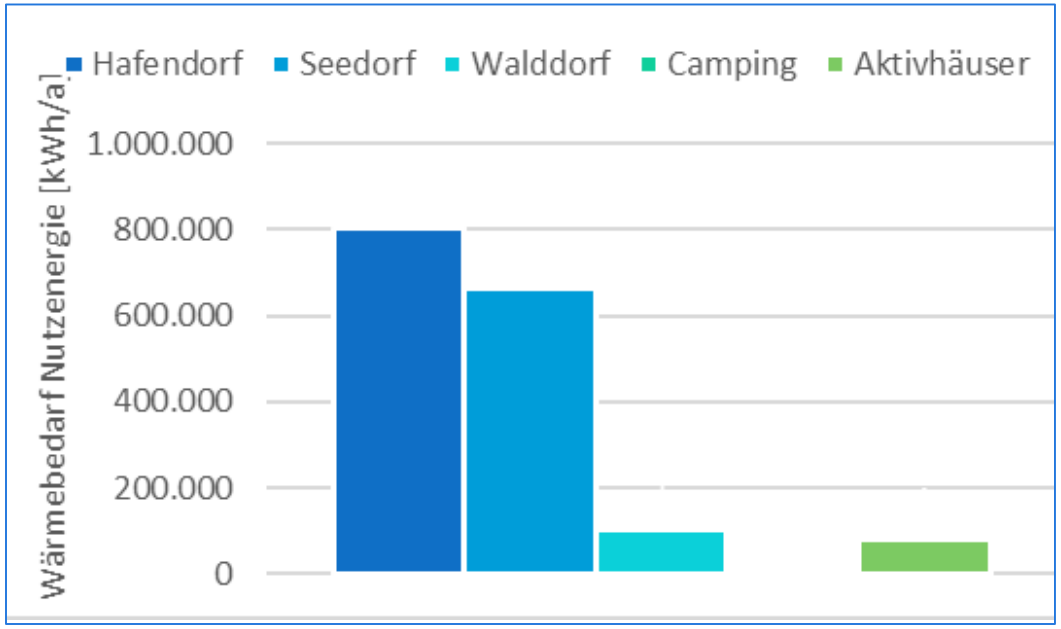
Netzvarianten die bereits diskutiert wurden:

- V1) zentrale Wärmepumpe (Grundlast)
- V2) dezentrale WP auf Abnehmerseite

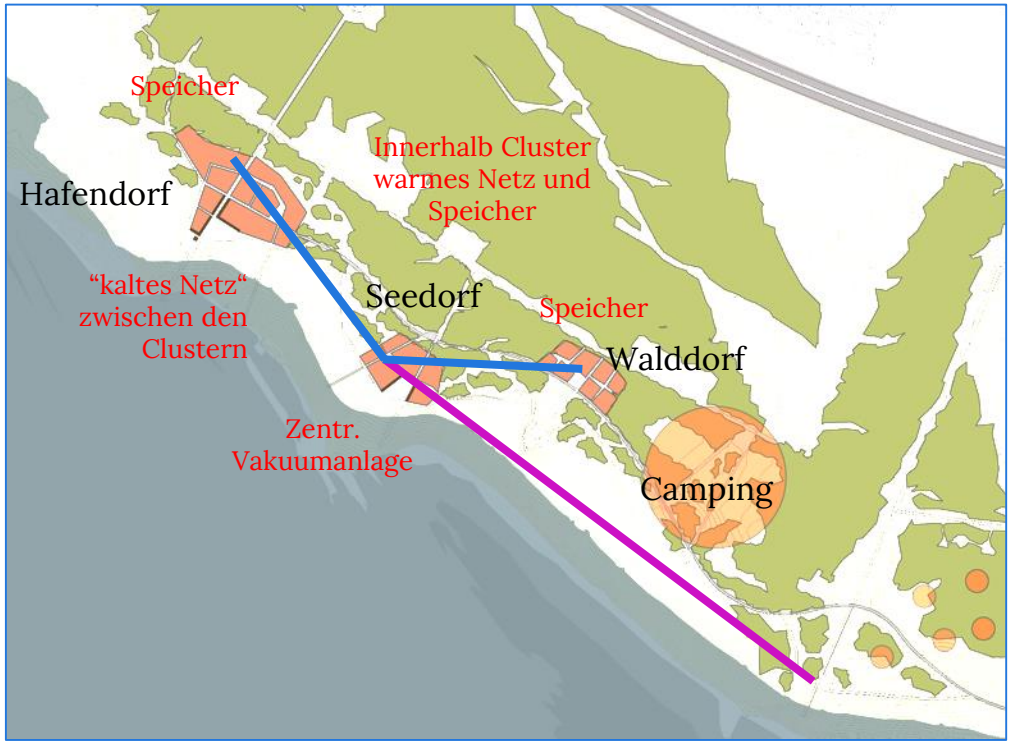
INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

Ergebnisse

Wärmebedarf nach Cluster



Ableitung optimaler Basisvariante der Wärmeversorgungsstruktur



SEETHERMIE

AP 2 Datengewinnung

Jörg Schmidt, JENA-GEOS®

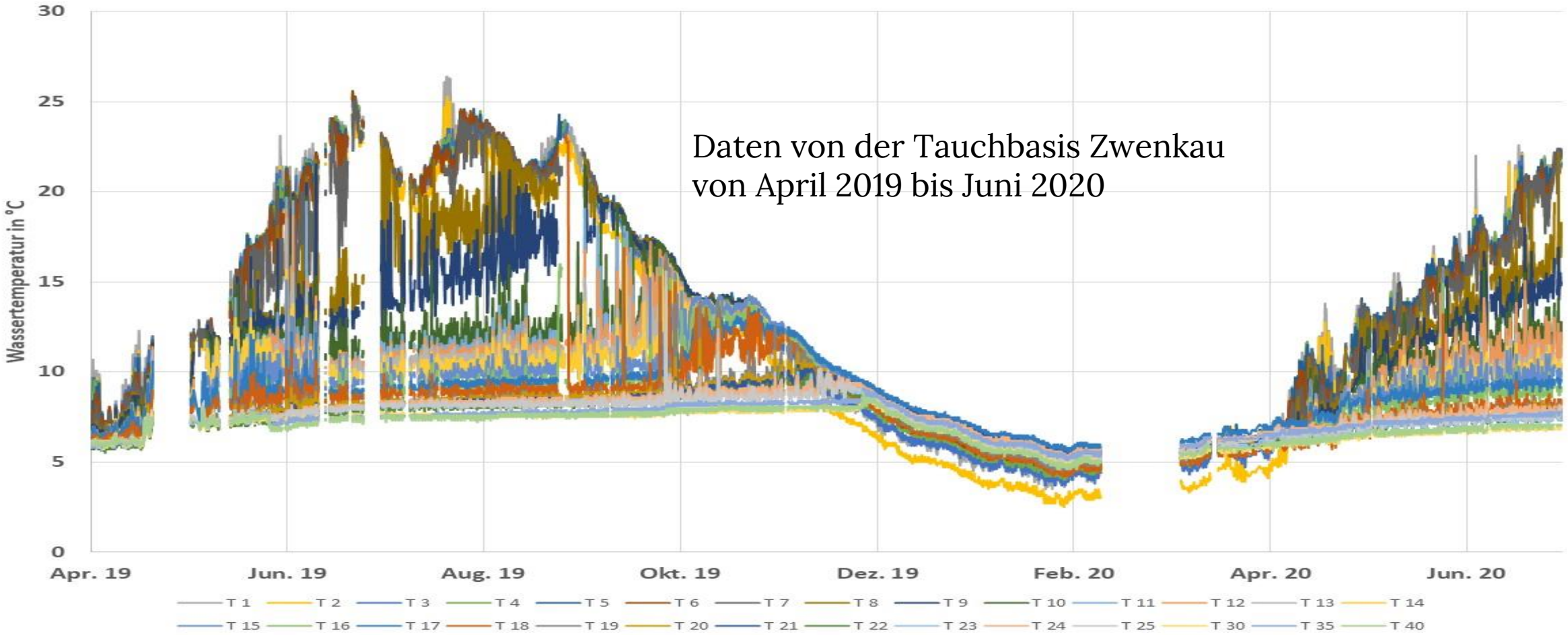
Untersuchungsinhalte

- Recherche und Auswertung vorliegender Daten zur Gewässermorphologie, Wasserwirtschaft und Gewässerchemie
- Konzeption eines Messprogramms, Planung und Genehmigungsverfahren für Gewässermessstellen
- Errichtung und Betrieb von Messbojen mit Temperaturmessketten (Sensoren im m-Abstand, Messtakt: 1h)
- Monatliche manuelle Temperaturprofilmessungen und Auslesung der Datenlogger
- Plausibilitätsprüfung, Datenaufbereitung und -auswertung

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

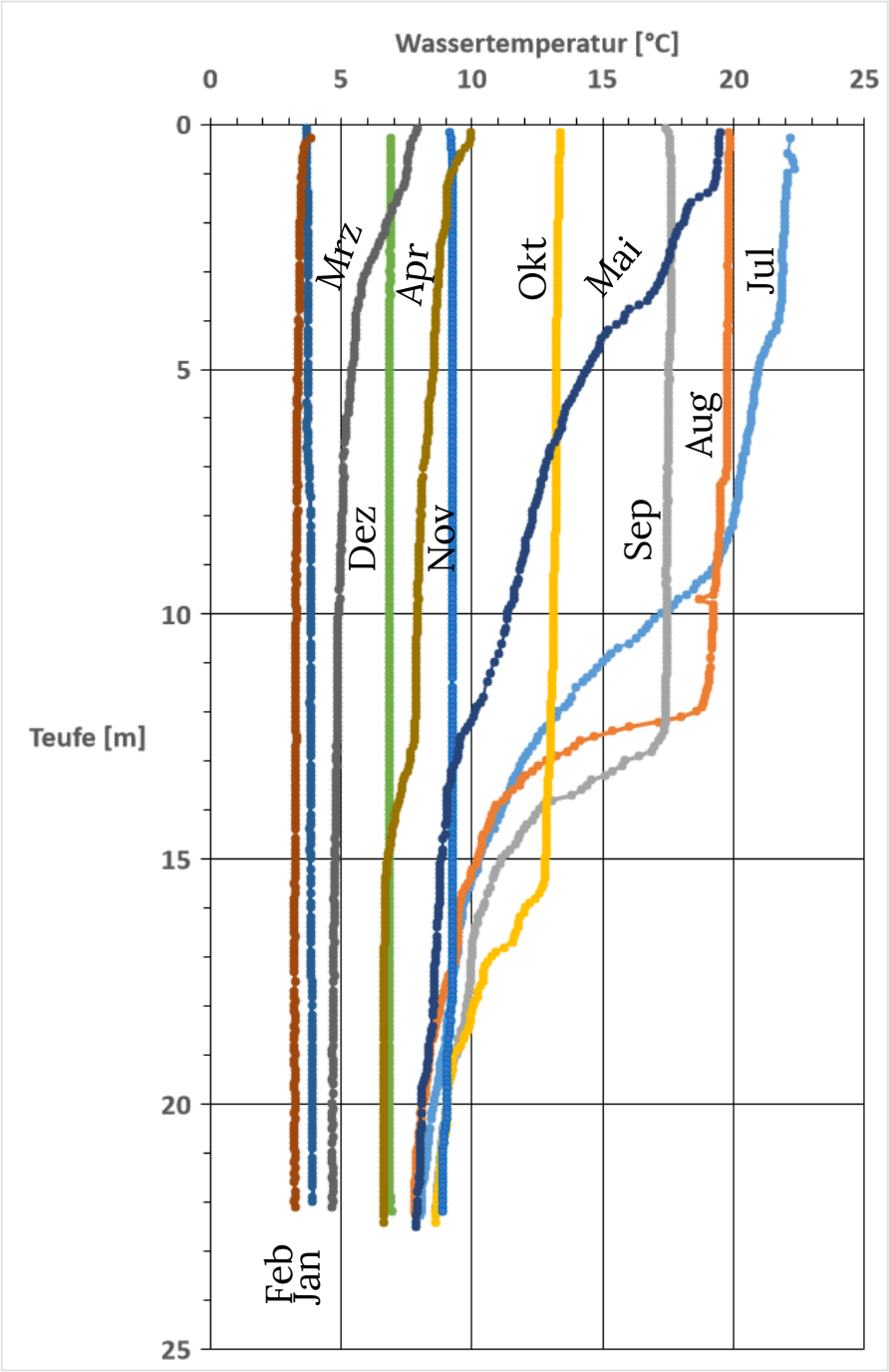
SEETHERMIE

Recherche von Daten Dritter



INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

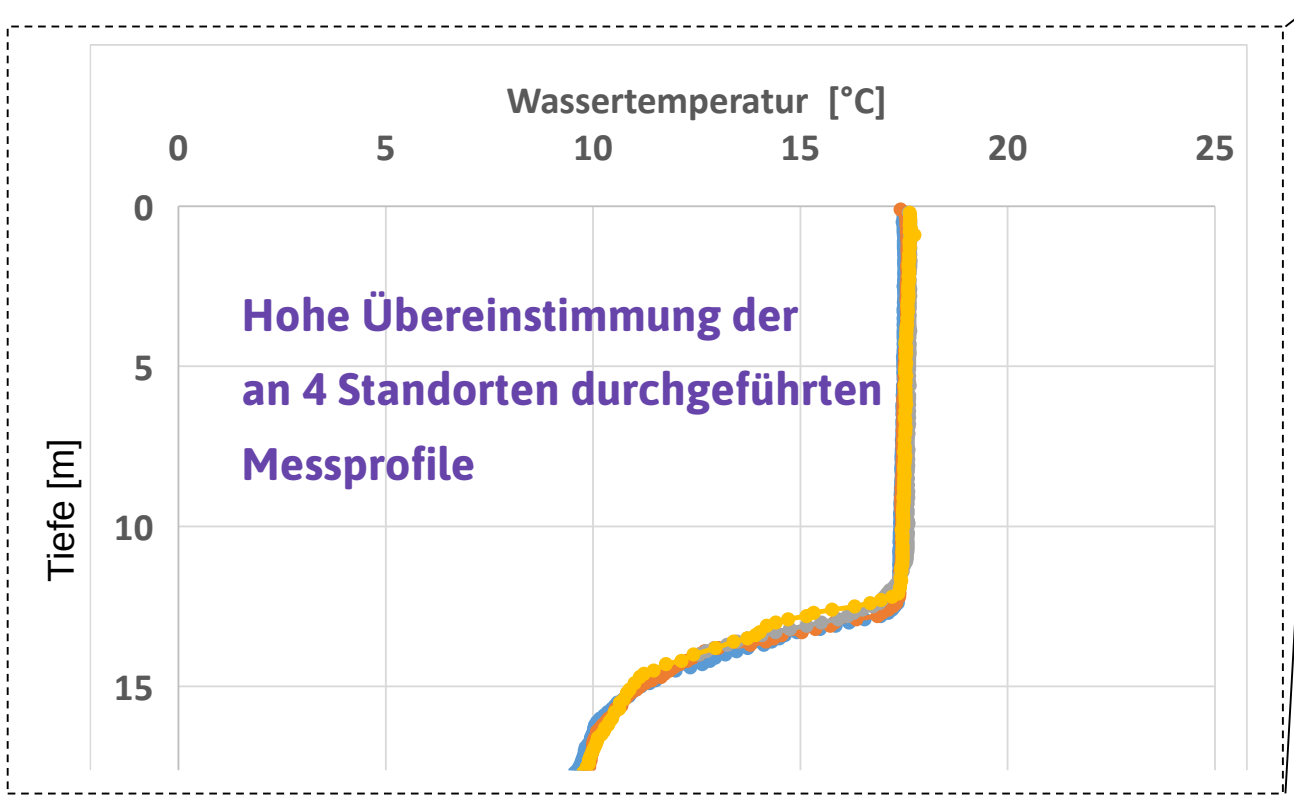
monatliche manuelle Tiefenprofilmessungen



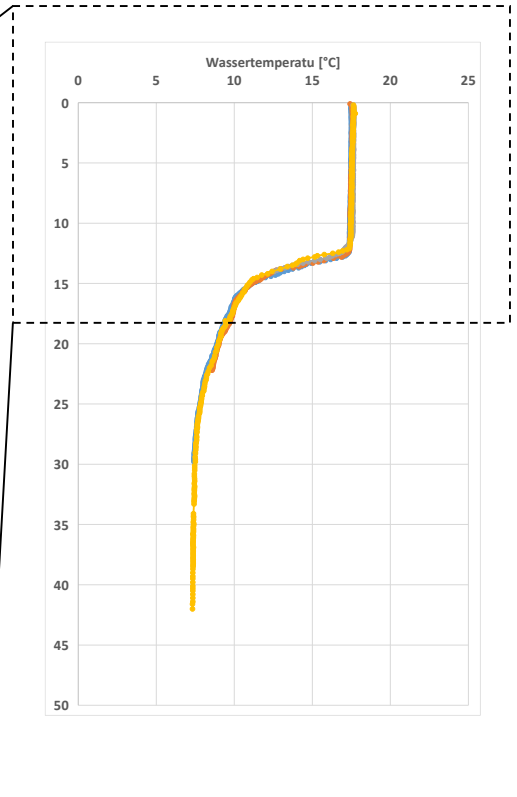
INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

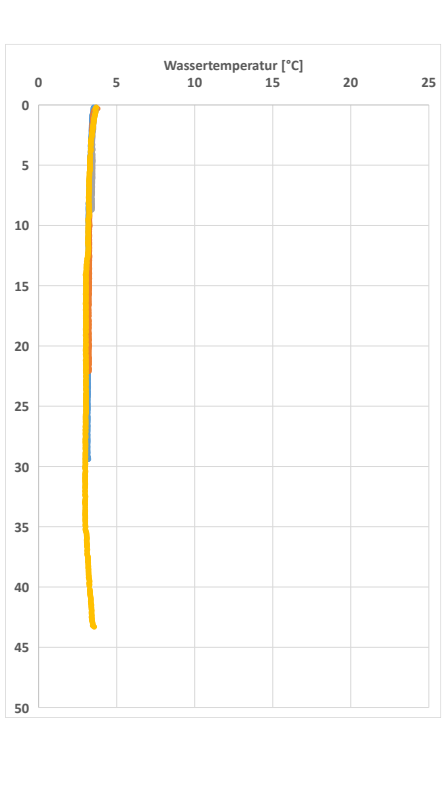
monatliche manuelle Tiefenprofilmessungen



September 2020



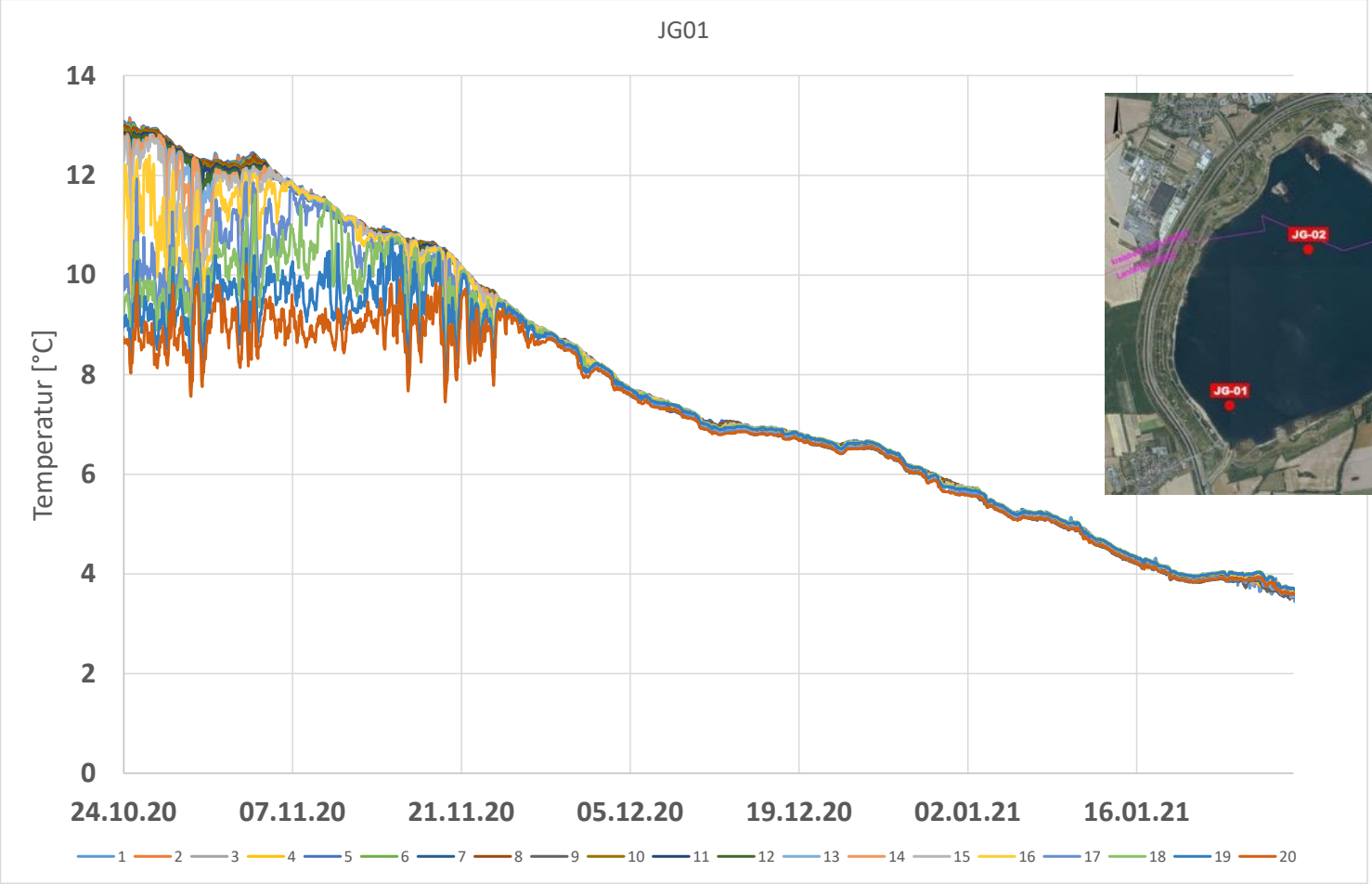
Februar 2021



INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

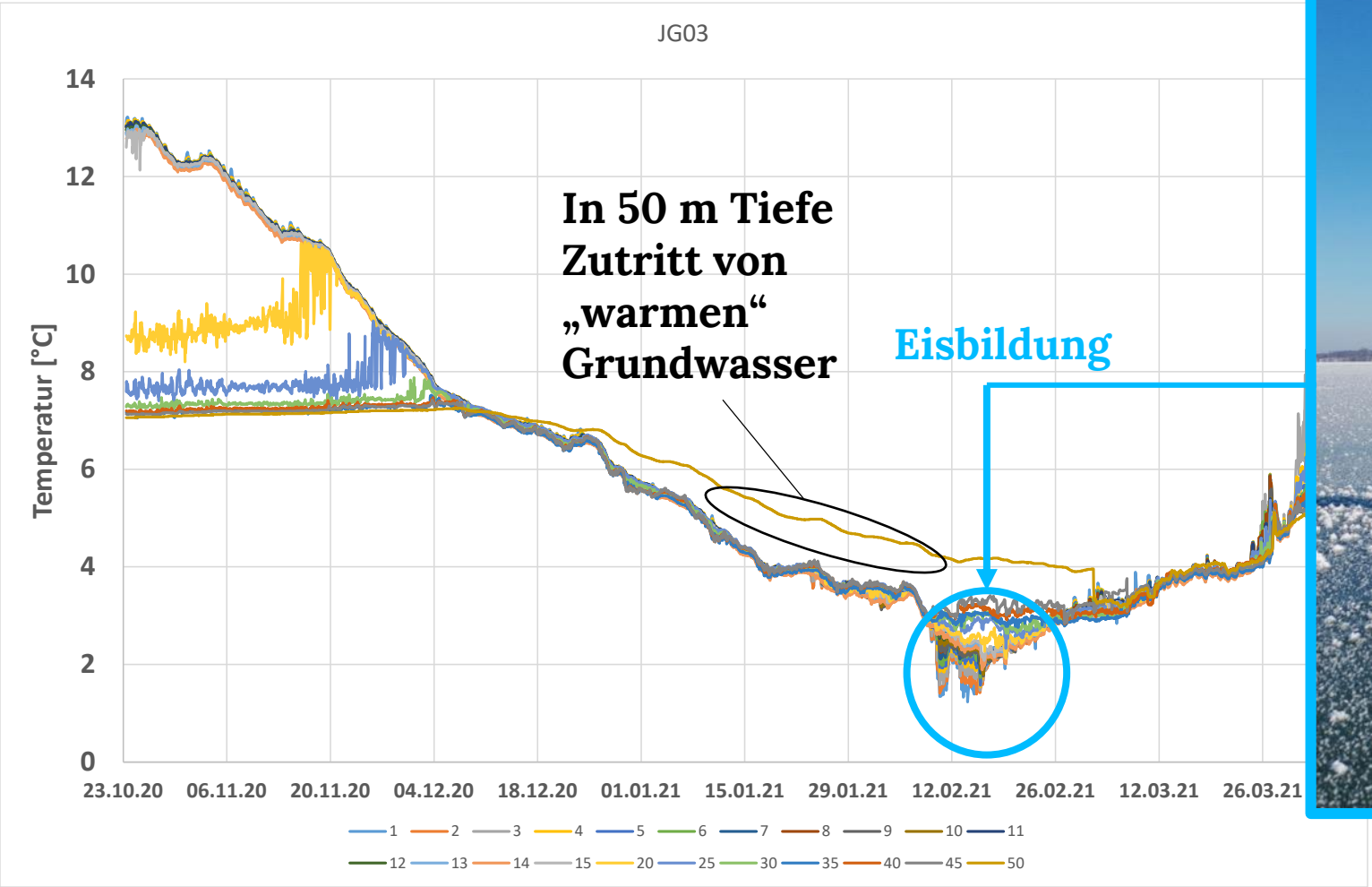
automatische Datenerfassung mit Datenlogger



INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Besonderheiten

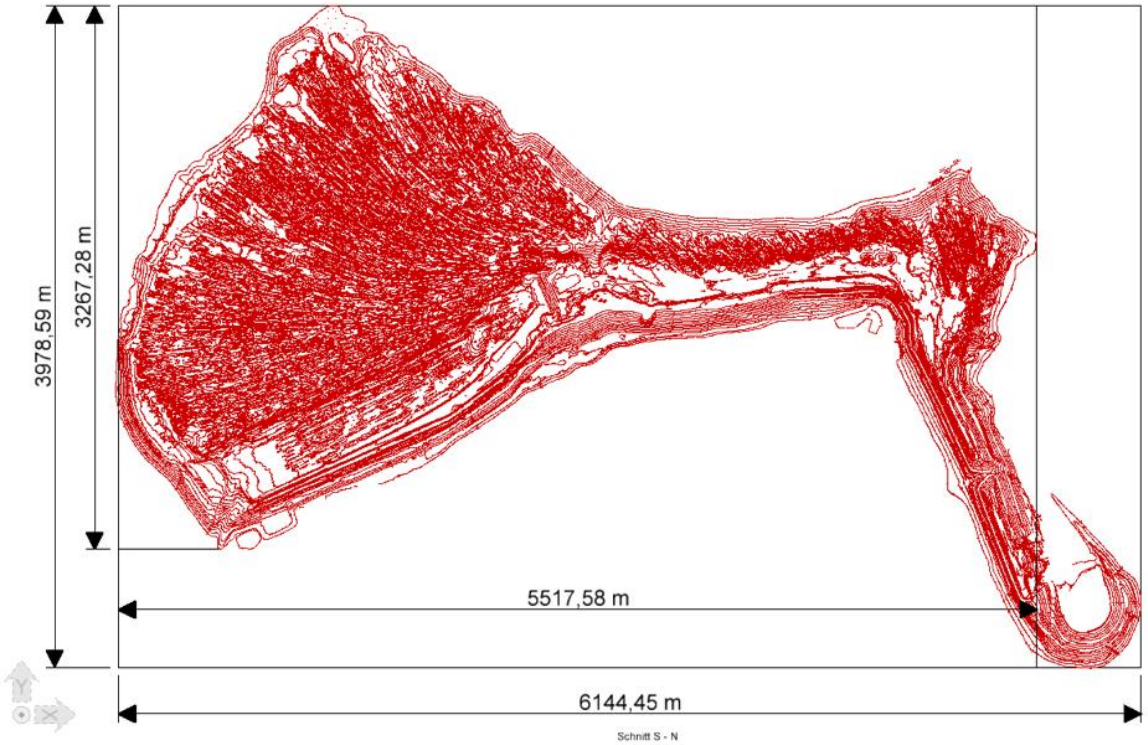


INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Beschreibung

- Zwenkauer See ist mit 9,7 km² das größte Gewässer im südlichen Leipziger Neuseenland
- längste Erstreckungen: von Ost nach West > 6,1 km, von Nord nach Süd knapp 4 km
- maximale Tiefe: 48 m, das Volumen des Wasserkörpers 176 Mio. Kubikmeter.
- geringe Dynamik,
  geringer Zu- und Abfluss
  (jährlicher Zufluss Weiße Elster 6%/a,
  nach Endzustand kein Zufluss mehr
  (nur Niederschlag und Grundwasser)
- Sanierung der Bergbaufolge ist noch nicht abgeschlossen; der See untersteht noch dem Bergrecht



Ergebnisse

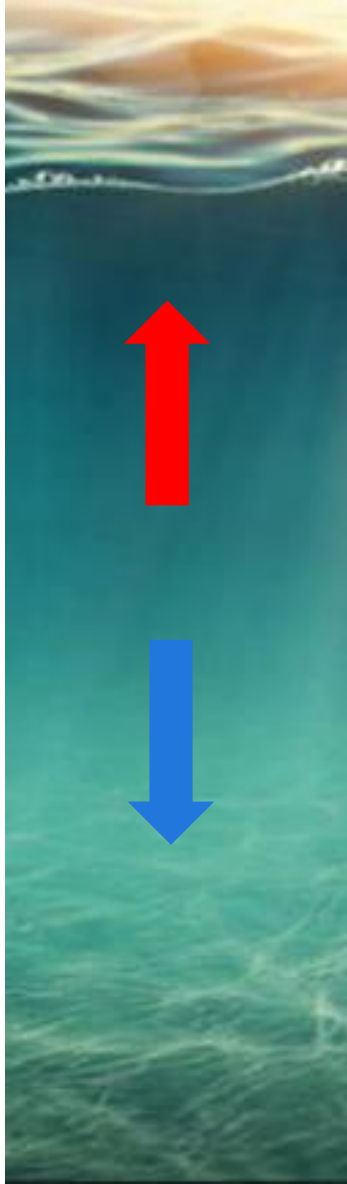
- zeitlich und räumlich hochauflösenden Temperaturmessungen haben jahreszeitliche Gang der Gewässertemperatur als auch kurzzeitige Temperaturänderungen sehr gut erfasst
- manuell aufgenommenen Temperaturprofile bestätigen die Messungen der automatischen Messbojen
- wesentlicher Einflussfaktor für kurzzeitige Änderungen der vertikalen Temperaturverteilung ist die Windstärke. Sturmereignisse können innerhalb weniger Stunden durch Wellengang und Strömung zur vollständigen Durchmischung und damit zum Temperaturausgleich bis in Tiefen von 20 m führen.
- Unterhalb von 20m Wassertiefe liegt die Wassertemperatur ganzjährig zwischen 2°C und 9°C . im oberflächennahen Bereich werden im Sommer bis 27° C erreicht.
- seltenes Phänomen: Aufzeichnung der Auswirkung eines vollständig zugefrorenen Sees auf die Temperaturschichtung (Februar 2021)
- auf der Gewässersohle in 45 m Tiefe ist für das Winterhalbjahr eine Wärmezufuhr belegt, entstammt wahrscheinlich dem Zutritt von wärmerem Grundwasser

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Schlussfolgerungen

- Da die laterale Temperaturverteilung im See sehr homogen ist, ergeben sich keine Einschränkungen bzw. Vorzugsbereiche für die Lage der Entnahme und Einleitstelle
- Die Höhe der Entnahmestelle in Bezug auf die Wasseroberfläche ist wesentlich von der gewünschten Entnahmetemperatur abhängig. Sollen kurzfristige Schwankungen der Rohwassertemperatur vermieden werden bietet sich die Entnahme unterhalb einer Wassertiefe von 20 m an. Der Bereich oberhalb von 20 m Wassertiefe hat dagegen den Vorteil eines höheren Temperaturniveaus.
- Die Tiefe der Einleitstelle ist von der Temperatur des einzuleitenden Wassers und von der beabsichtigten Wirkung auf die Gewässerschichtung abhängig. Durch Einleitung in die der Temperatur des Einleitwassers entsprechende Gewässerschicht können dichtebedingte Zirkulationen vermieden werden. Ist zur Verbesserung der Gewässerqualität eine verstärkte Vertikalströmung gewünscht, ist eine möglichst hohe Differenz zwischen der Temperatur des Einleitwassers und der Gewässertemperatur an der Einleitstelle zu wählen.



SEETHERMIE

Ziele

Ermittlung und Bewertung der gewässerökologisch relevanten Auswirkungen des Wärmepumpenbetriebs auf Wassertemperaturen und Sauerstoffkonzentrationen mit Hilfe limnophysikalischer Modellierungen mit Vergleich zwischen unbeeinflussten Referenzbedingungen und Bedingungen mit Wärmepumpenbetrieb.

Bewertungskriterien in Anlehnung an OGewV (2016): $\Delta T \leq 1$ K, $O_2 > 6$ mg/L

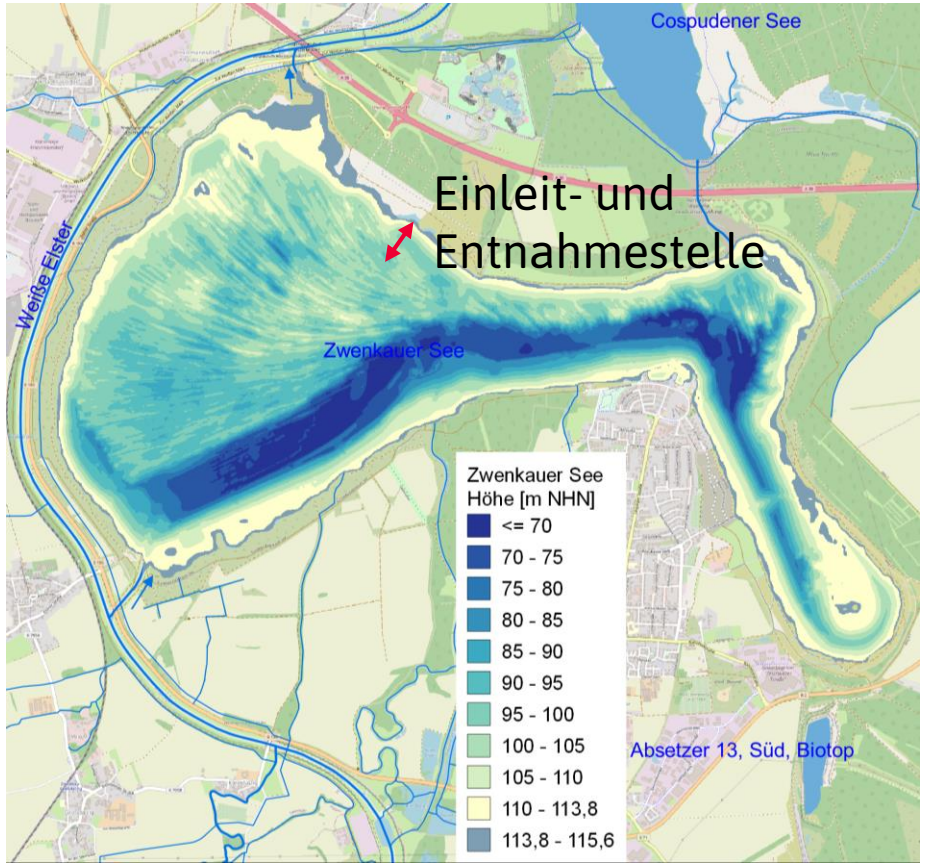
AP 3 Limnologie

(Sebastian Mix, Dr. Uhlmann, IWB & Dr. Leßmann, BTU)

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

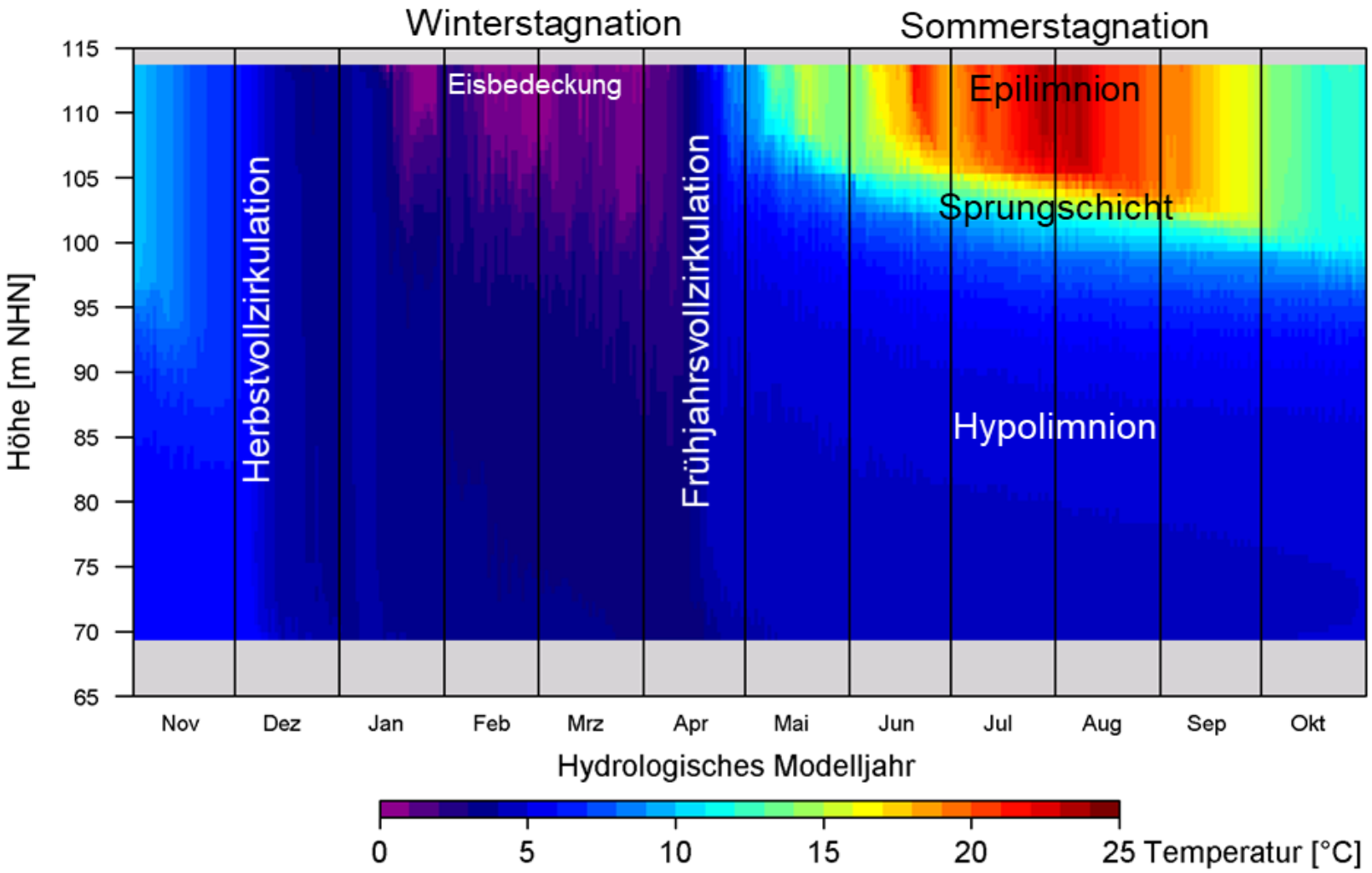
SEETHERMIE

Morphometrie des Zwenkauer Sees



Kennwert	Kürzel bzw. Formel	Einheit	Zwenkauer See
Wasserstand	W	m NHN	+113,1 – +113,8
Seevolumen	V	Mio. m³	172 – 178
Seefläche	A	ha	952 – 981
Maximale Tiefe	z_{max}	m	49,4 – 50,1
Mittlere Tiefe	$z_m = \frac{V}{A}$	m	18,1
Effektive Länge	L_{eff}	km	5,3
Effektive Breite	B_{eff}	km	2,6
Effektive Achsenlänge	$D_a = 0{,}5 \cdot (L_{eff} + B_{eff})$	km	4,0
Theoretische maximale Epilimniontiefe	$z_{epi} = 5{,}81 \cdot D_a^{0,28}$	m	8,5
Tiefengradient nach [LAWA 1999]	$F = \frac{z_{max}}{4{,}785 \cdot (L_{eff}+B_{eff})^{0,28}}$	-	5,7 stabil (F > 1,5)
Theoretische Wasser-aufenthaltszeit ohne Speicherbewirtschaftung	$\tau = \frac{V}{Abfluss}$	a	ca. 26

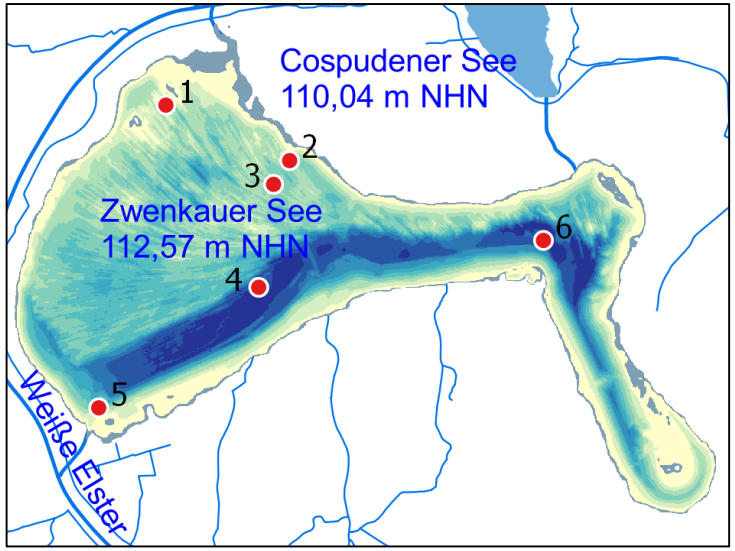
Typischer Jahresgang der Temperatur im Zwenkauer See

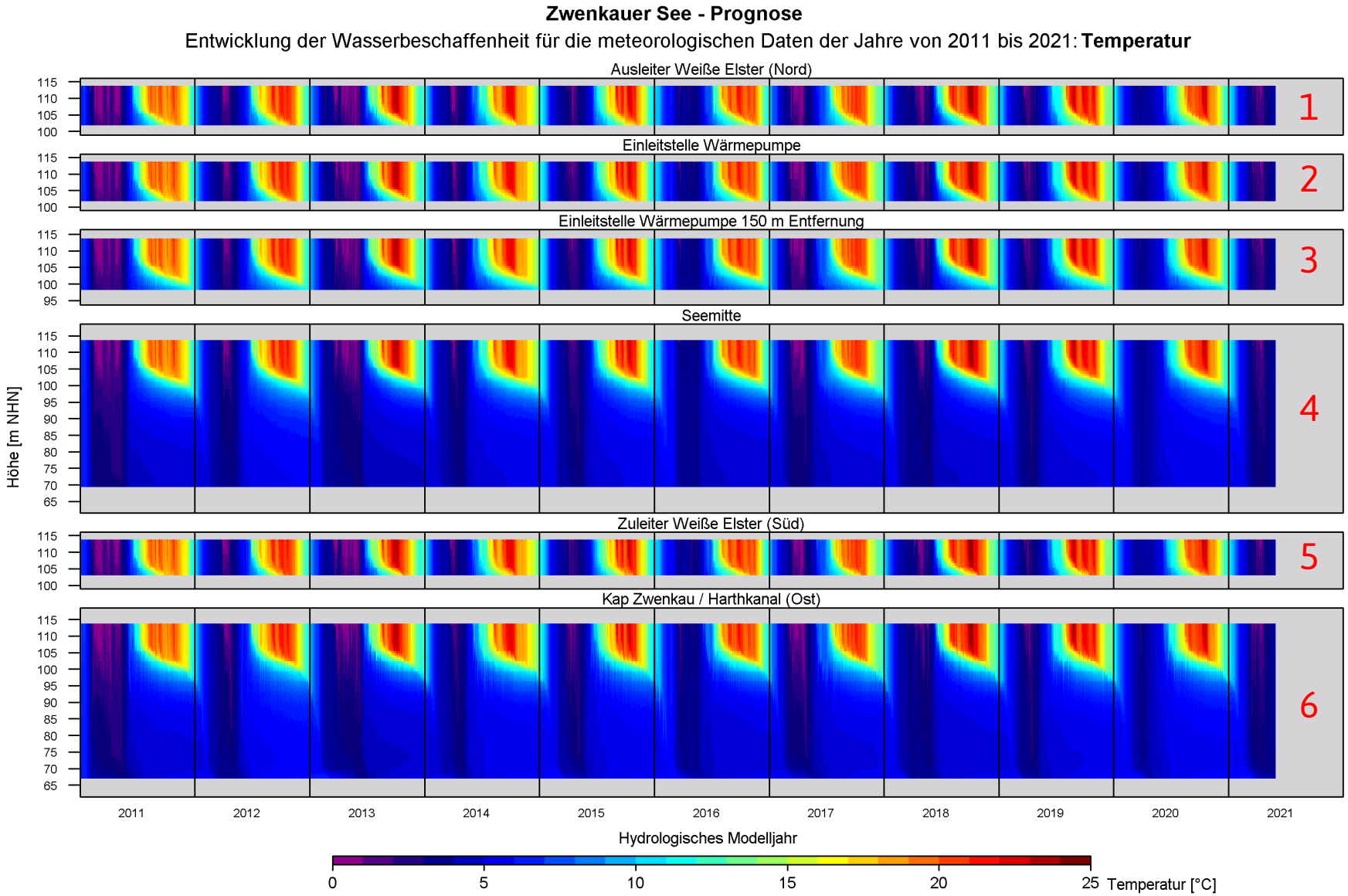


INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Modellierter 10-jähriger Jahresgang der Temperatur im Zwenkauer See in der Referenzvariante ohne thermische Nutzung für sechs Seebereiche

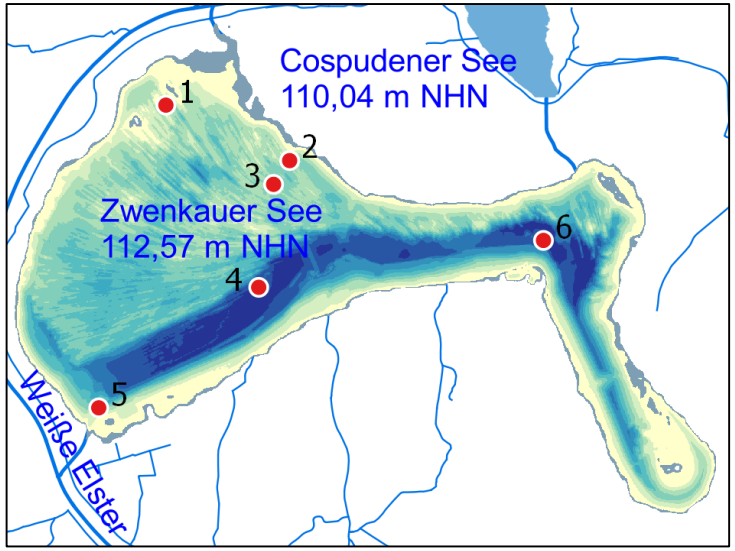


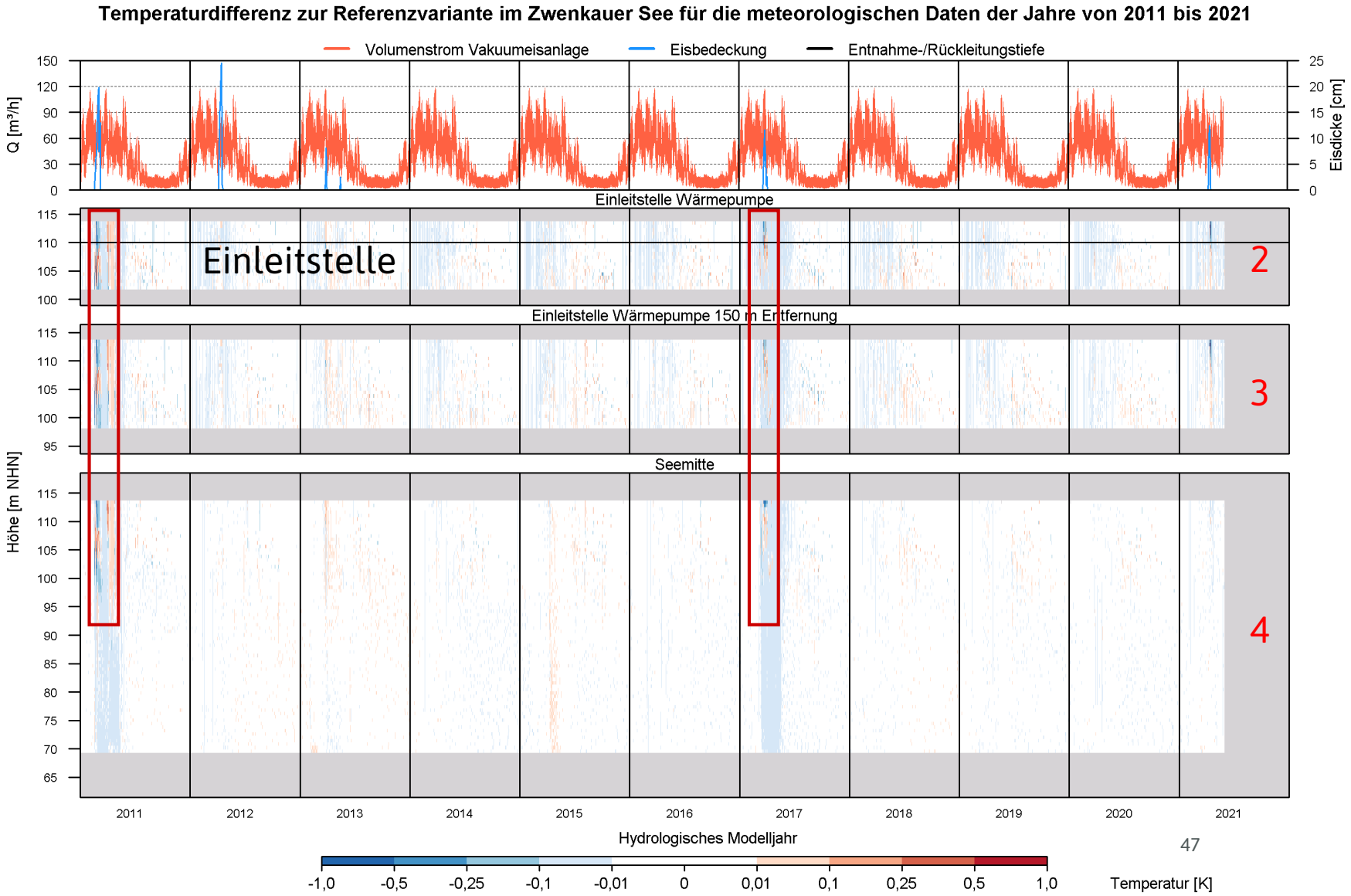


INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Auswirkungen der Wärmepumpe auf die Temperaturen im See im Bereich der Einleitstelle und in der Seemitte

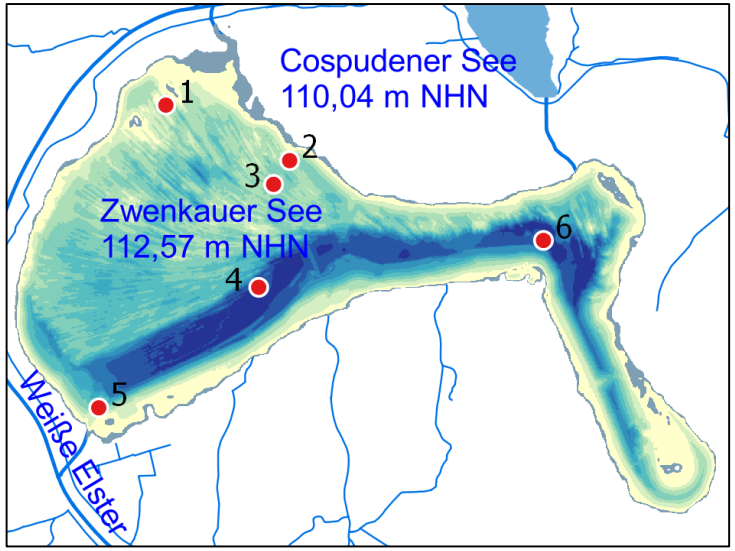


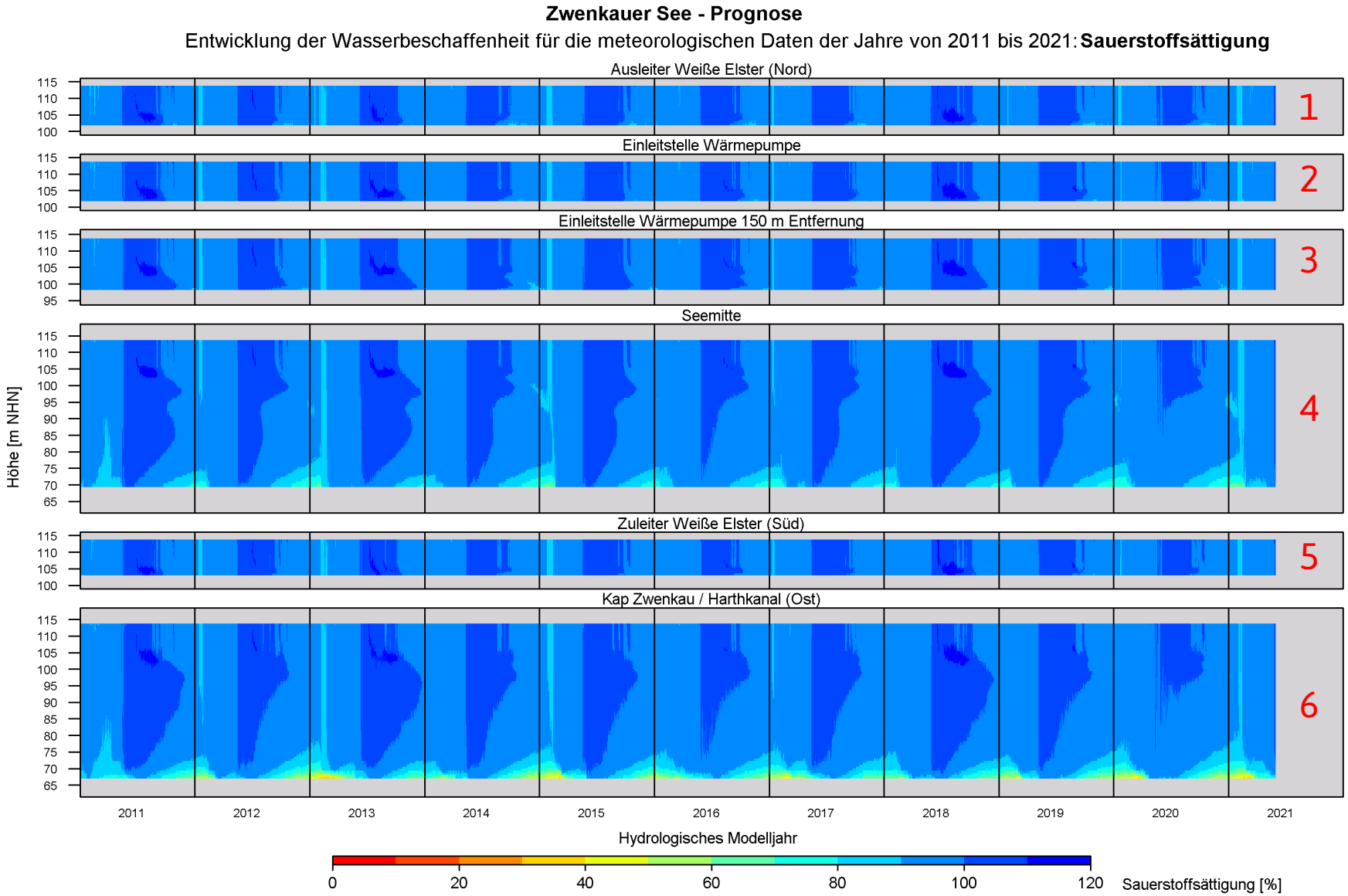


INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Modellierter 10-jähriger Jahresgang der Sauerstoff-sättigung im Zwenkauer See in der Referenzvariante ohne thermische Nutzung für sechs Seebereiche

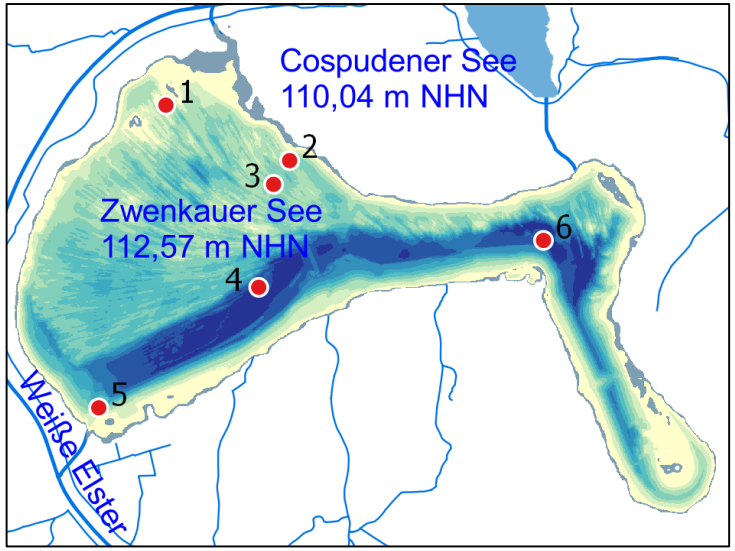


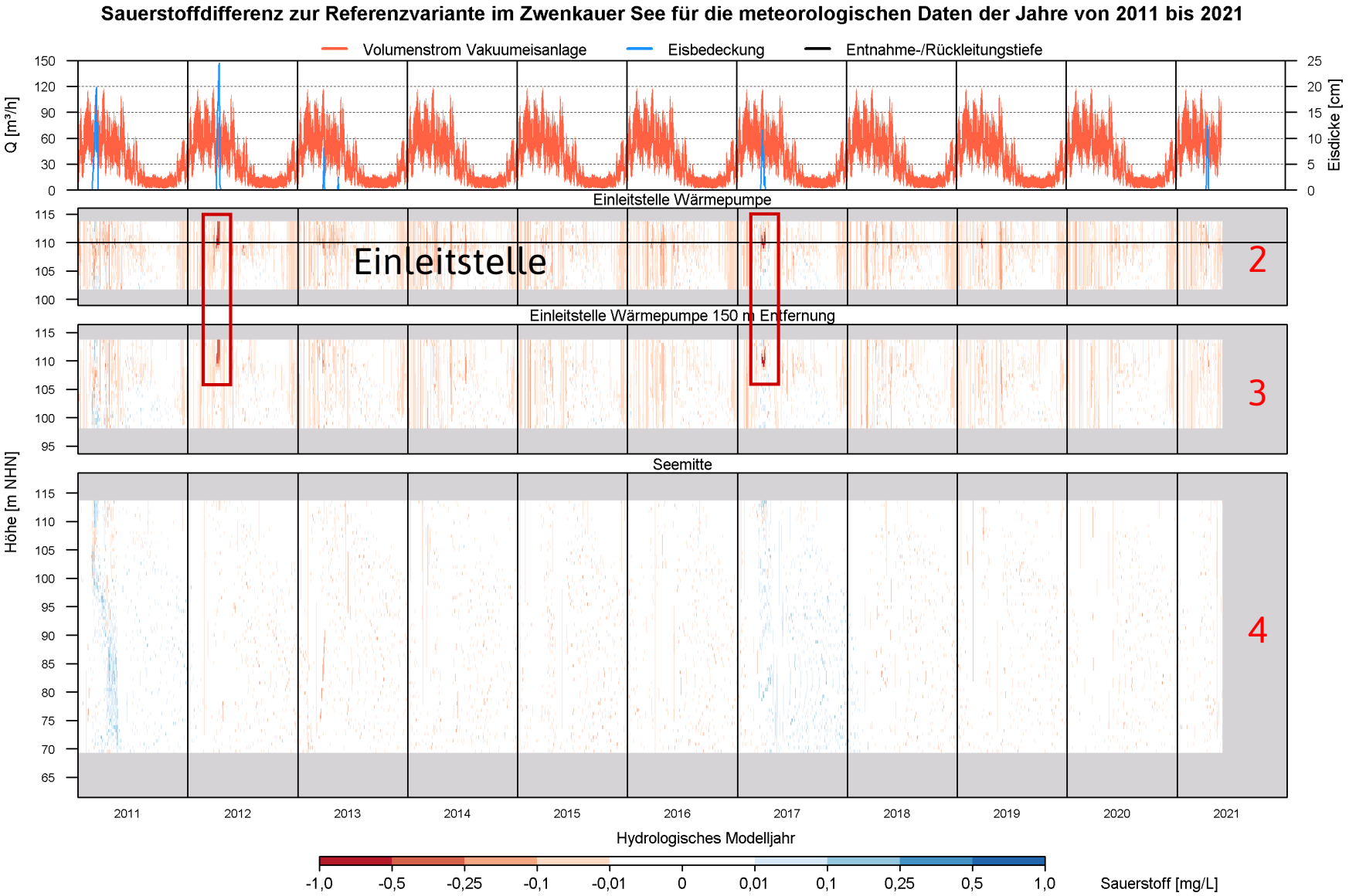


INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Auswirkungen der Wärmepumpe auf die Sauerstoff-Konzentrationen im See im Bereich der Einleitstelle und in der Seemitte





Limnologie: Fazit (Sebastian Mix, Dr. Uhlmann, IWB & Dr. Leßmann, BTU)

Der Zwenkauer See ist ein tiefer See mit dimiktischem Schichtungsverhalten und ganzjährig guter Sauerstoffversorgung in allen Tiefenbereichen.

Durch den Wärmepumpenbetrieb

- kommt es im Seewasserkörper in keinem der betrachteten Seebereiche zu keiner Zeit zu einer Temperaturveränderung von 1 K oder darüber,
- treten in deren Wirkungsbereich Verminderungen der Sauerstoffkonzentrationen um maximal 0,6 mg/L auf, ohne kritische Werte zu unterschreiten.

Aus dem Wärmepumpenbetrieb lassen sich keine negativen Veränderungen auf die Gewässerökologie hinsichtlich des natürlichen Schichtungsverhaltens und des Sauerstoffhaushalts ableiten.
Die Veränderungen der Lebensbedingungen für die Organismen im See sind minimal und als ökologisch nicht relevant anzusehen.

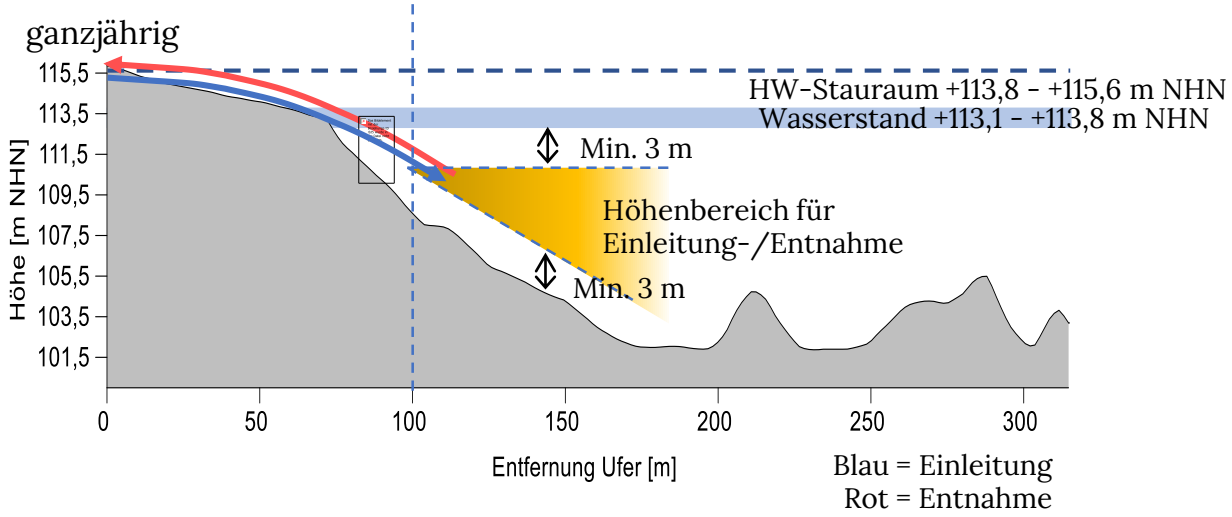
AP 4 Technisches Konzept & Wirtschaftlichkeit

(Martin-Joseph Hloucal, TILIA)

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

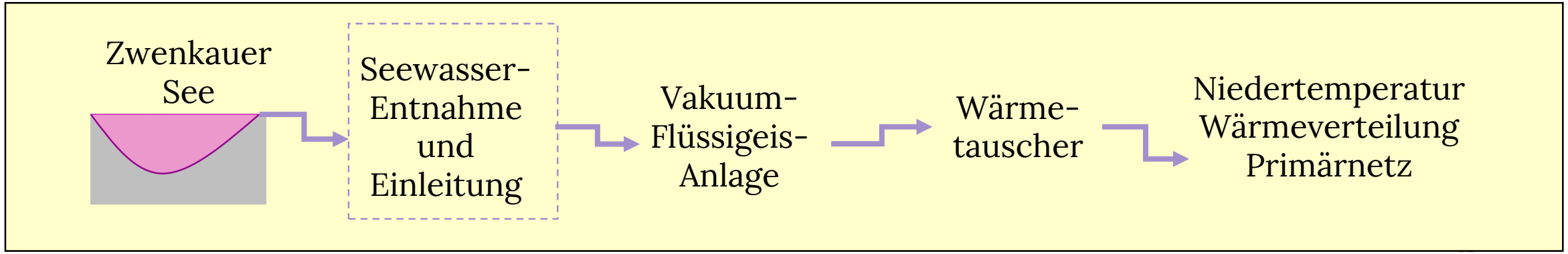
SEETHERMIE

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



INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Grobdimensionierung Netze

Cluster	$P_{wärmepumpe\ [kW]}$	Netzlänge [m]	DN	Pumpen [kW]
Entnahmeleitung		100	150	
Einleitleitung		100	150	
Primärnetz		1.400	125	
Sekundärnetz		1.300		
Hafendorf	320	500	65	2,42
Seedorf	260	350	65	0,60
Walddorf	40	350	32	0,15
Camping	10	100	32	
Summe	**630**			**3,2**

Wahl der Entnahme- und Einleitstelle

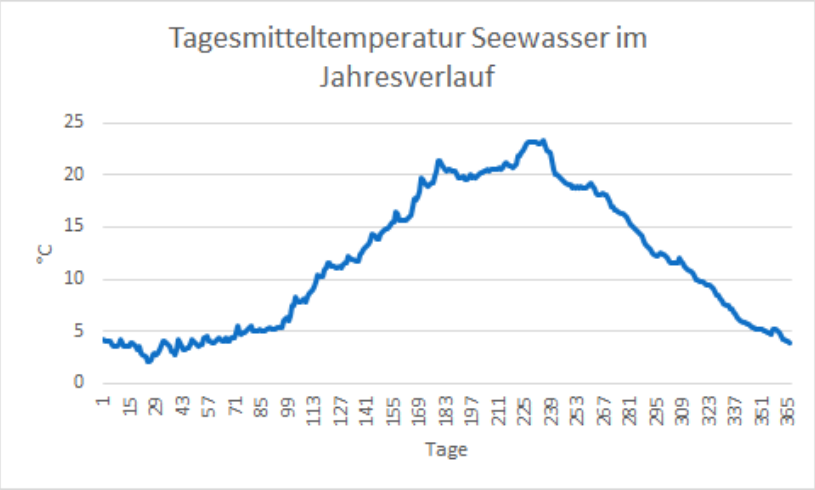
- Dimensionierung Entnahmeleitung auf Basis der max. zulässigen Geschwindigkeit am Ansaugpunkt1 = 0,5 m/s
- Netzdimensionierung Wärmenetze und Netzpumpen
- Nähe zum Wärmebedarf
- Ergebnis: Standort Walddorf

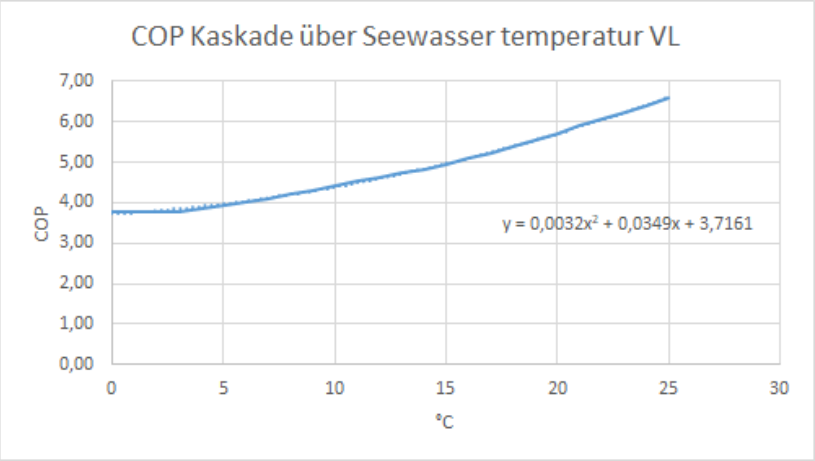
[1]auf Basis Landesgesetze NRW u.a.; für Sachsen keine konkreten Vorgaben

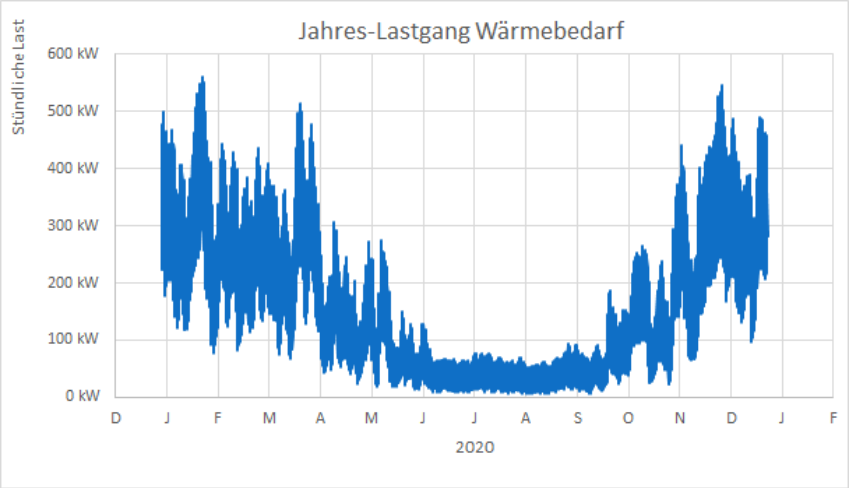
INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Eingangsgrößen Erzeugungsmodell







Ergebnisse aus technischer Modellrechnung:

Ermittlung Strombedarf für das Wärmeerzeugungs-system (Wärmepumpe und Netzpumpen) abhängig vom Wärmebedarf und der Seewassertemperatur

--> 395 MWh/a

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

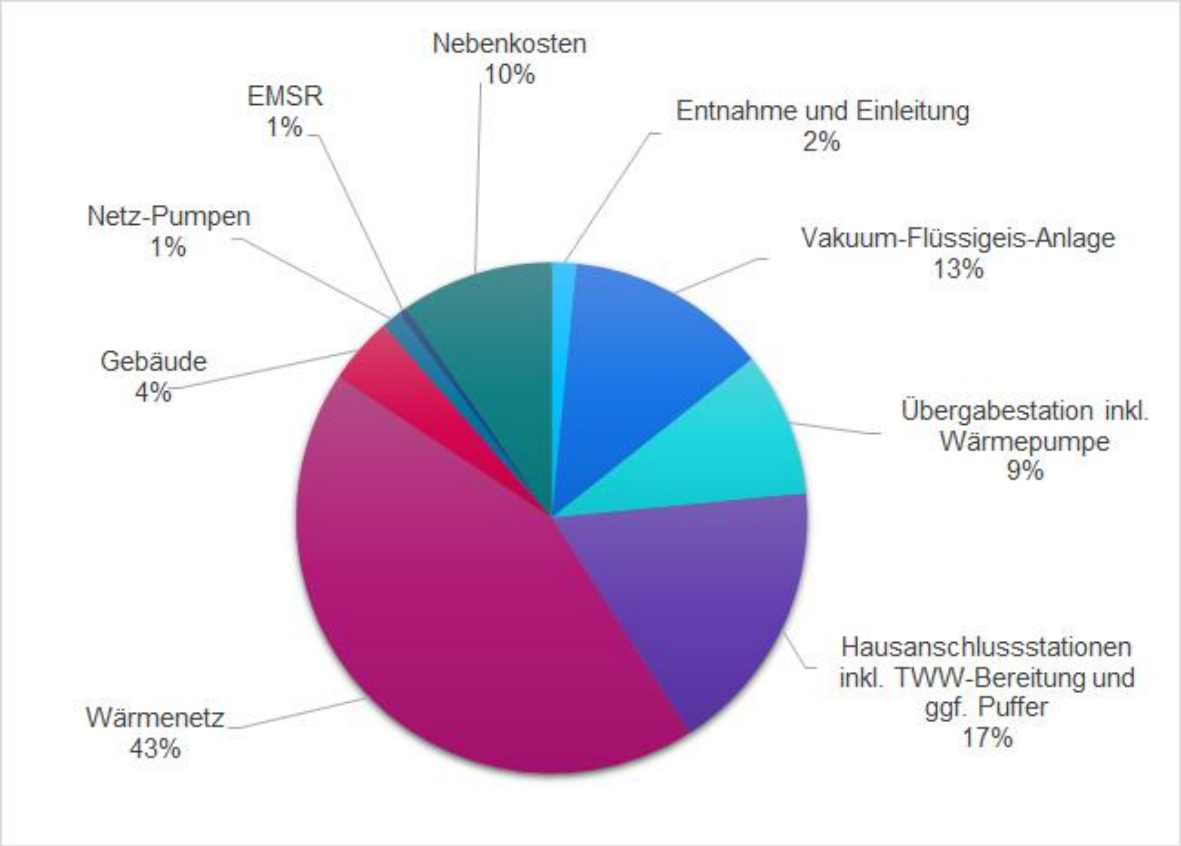
SEETHERMIE

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-Ber	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
	Summe	1.965.254

Investitionskosten:



INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Wirtschaftlichkeit

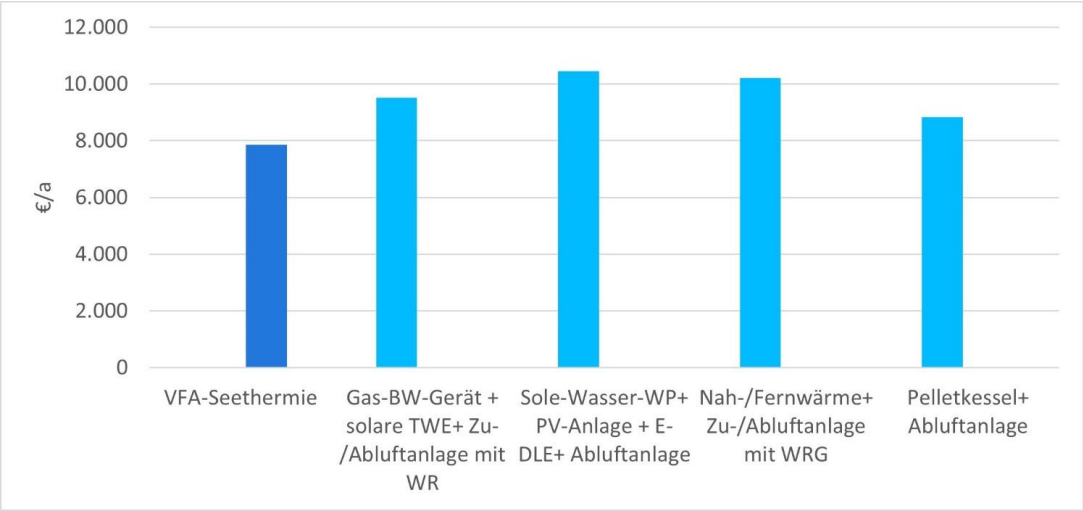
jährliche Gesamtkosten

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

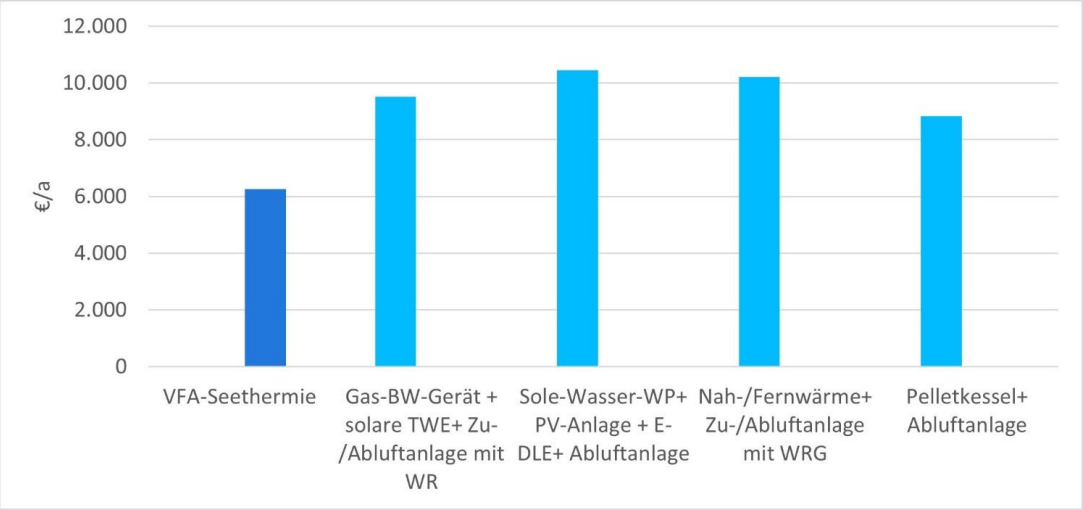
SEETHERMIE

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

ohne Förderung



mit 30 % Förderung auf Investitionskosten



Fazit:

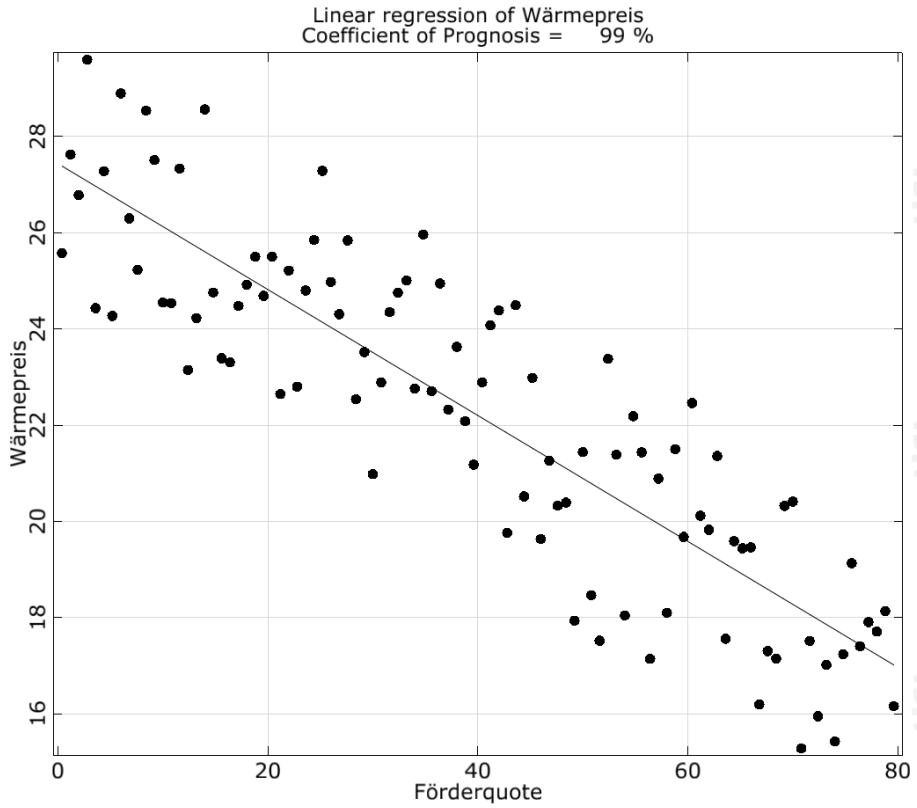
- mit 30 % Förderquote (wie z.B. im Bundesprogramm Wärmenetze 4.0) kann das System mit etablierten Versorgungsvarianten wirtschaftlich mithalten!

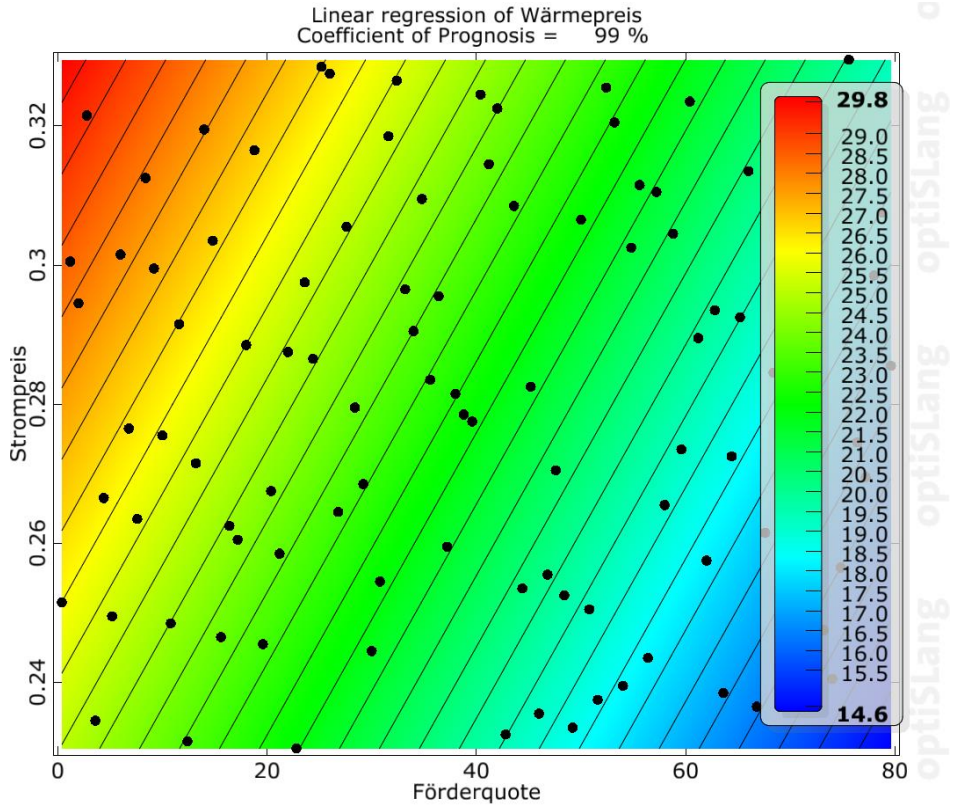
https://www.bdew.de/energie/bdew-heizkostenvergleich-neubau-2021/

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Sensitivitäten





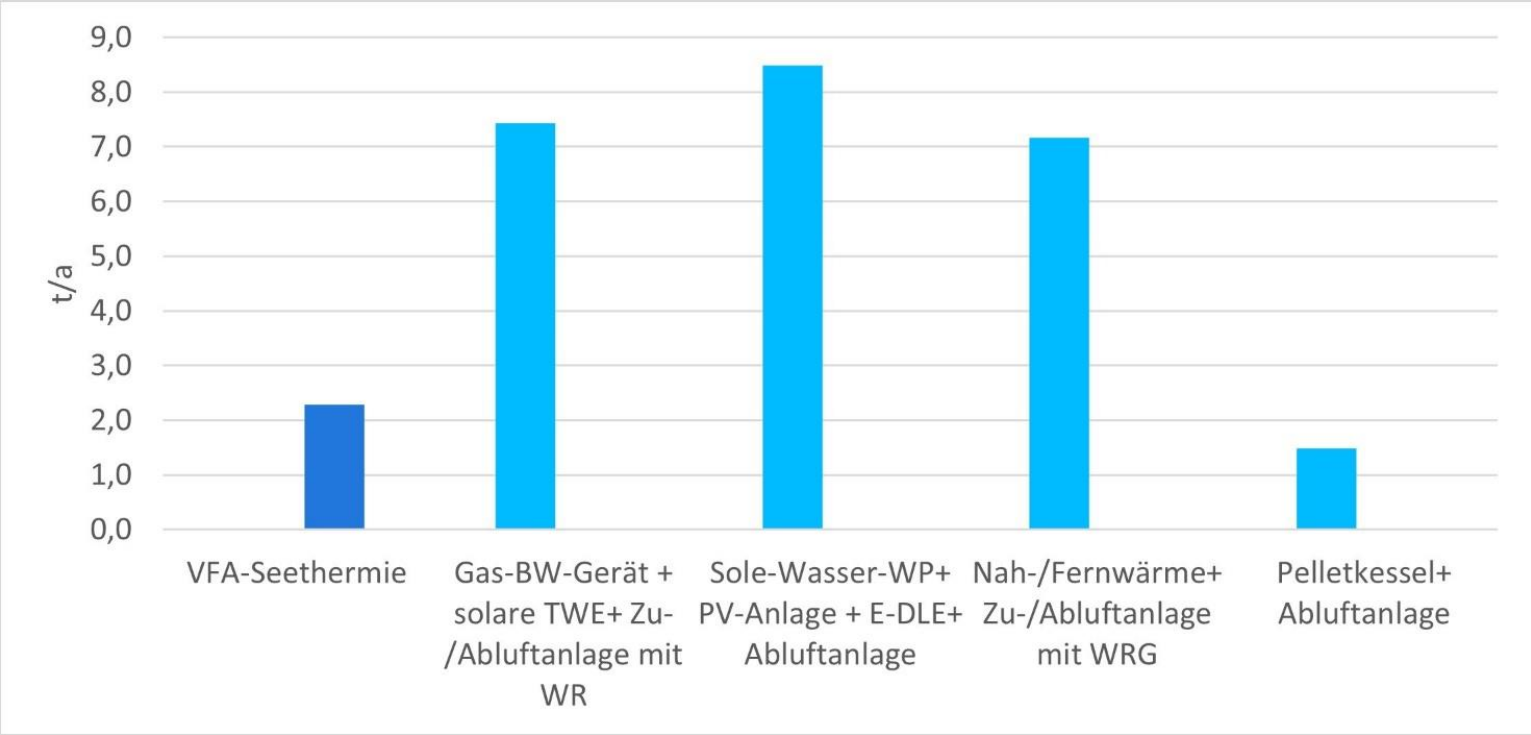
Fazit:

- Der Einfluss der Förderquote auf Wärmepreis ist höher als der Einfluss des Strompreises

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

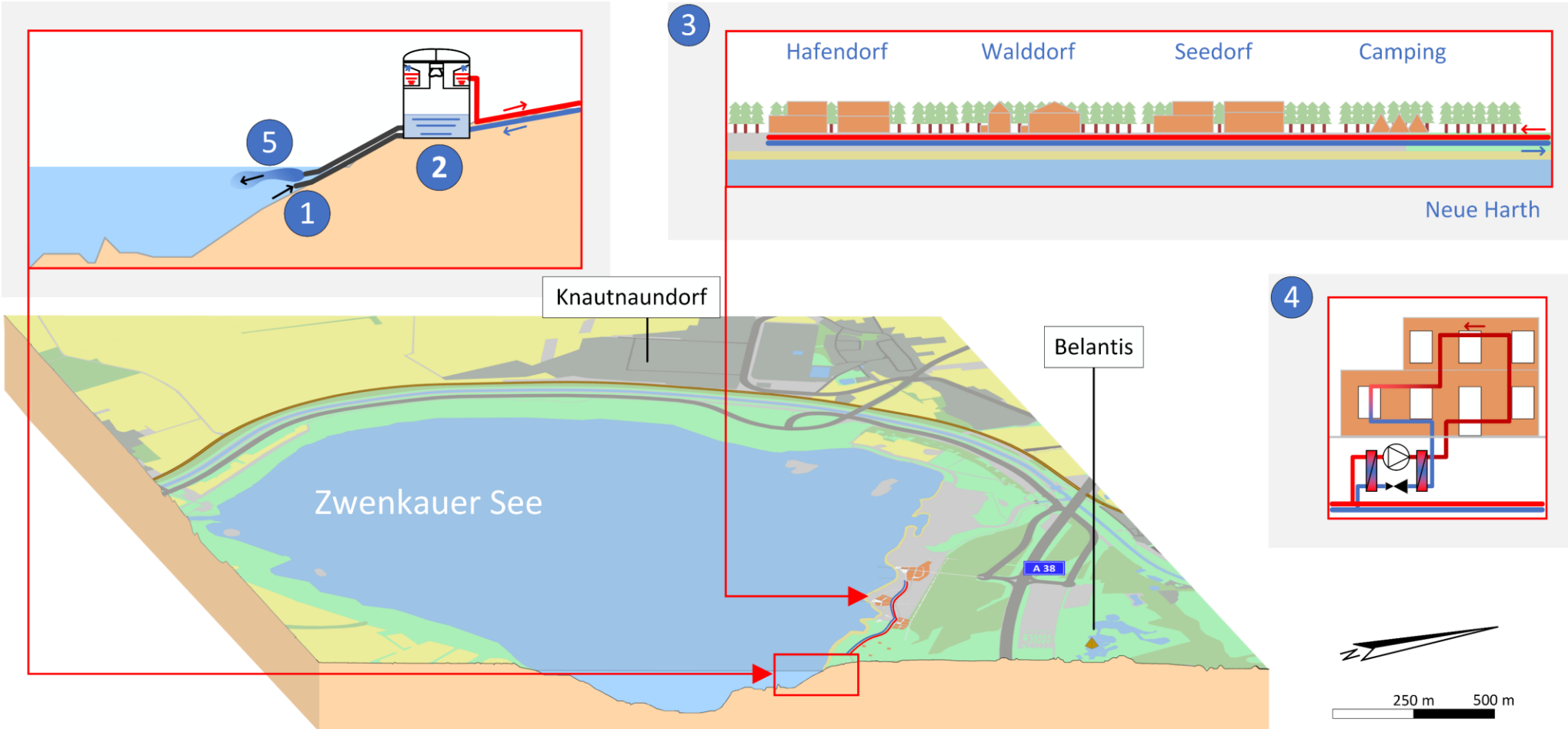
CO_2-Emissionen anhand Neubau 6-Familienhaus Mindeststandard GEG (nach BDEW-Heizkostenvergleich 2021)



Fazit:

- Gesamtsystem zeigt vergleichsweise geringe CO_2-Emissionen. Einschränkung: nur grobe Bilanzierung auf Basis von Netzstrom mit aktuell 401 g/kWh und grober Systemauslegung

https://www.bdew.de/energie/bdew-heizkostenvergleich-neubau-2021/



1 Oberflächennahe und ufernahe Wasserfassung

2 Zentrale Vakuum-Flüssigeisanlage

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 (Hloucal, Tilia)

- techn. Lösung für Seewasserentnahme umsetzbar
  (inkl. Schutzeinrichtungen gegen Ansaugen)
- Vorschläge für technisches Konzept liegt vor inkl. Grobdimensionierung
  (Kaskadierung des Wärmesystems)
- wirtschaftliche Bewertung in Anlehnung VDI 2067
  (Invest.Kosten; Betriebskosten; verbrauchsgebundene Kosten):

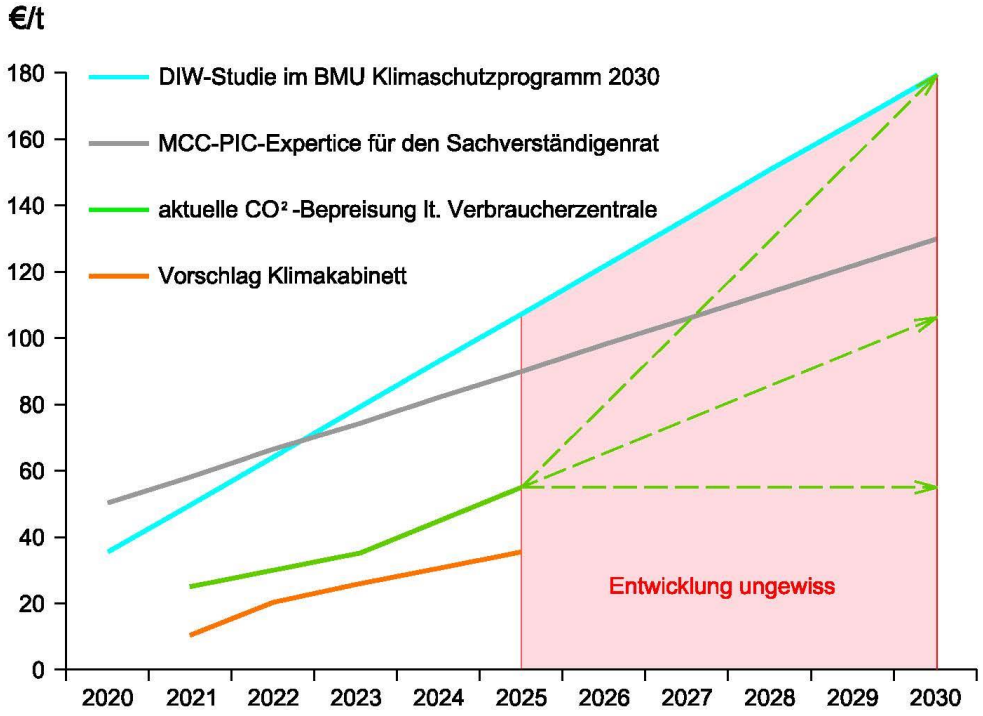
Fazit:

- **Seethermie Ansatz als wirtschaftlich vergleichbare Lösung umsetzbar unter Berücksichtigung von Förderung für technische Innovation**

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

Ergebnisse (Hloucal, Tilia & Felgentreff)

- CO_2 - Emissionen der Seethermie vergleichsweise gering
- geringer Einfluss CO_2 - Bepreisung durch P2H-Ansatz („Strom“), langfristige Verbesserung der Wirtschaftlichkeit bei steigenden CO_2 - Preisen
- Ergebnisse sind vorläufig: belastbare Wirtschaftlichkeitsbewertung erst auf Basis detaillierter Wärmebedarfsprognose möglich



AP 5 Genehmigungsfähigkeit

(Stefan Böttger, TILIA)

SEETHERMIE

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

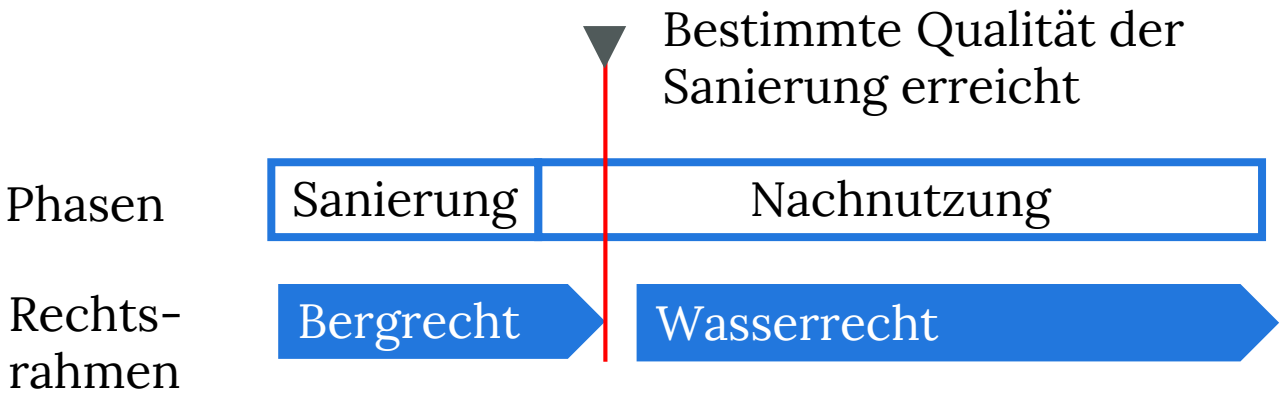
SEETHERMIE

Rechtlicher Rahmen

Rechtliche Grundlagen:

- Bergrecht - BbergG (steht über Wasserrecht)
- EU-WRRL (2000) → „Verschlechterungsverbot“
- Offen: Zwenkauer See als Berichtsgewässer WRRL
- WHG (2009)
- OGewV (2016)
- SächsWG (2013)

Rechtsrahmen Nachnutzung Tagebaurestseen



Hauptkriterium für Unbedenklichkeit nach WRRL:

Kein Auftreten ökologischer Veränderungen in Form von Änderungen biozönotischer Strukturen (Artenzusammensetzung, Biomasse, Dominanzstrukturen) bei den biologischen Qualitätskomponenten gemäß EU-WRRL

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

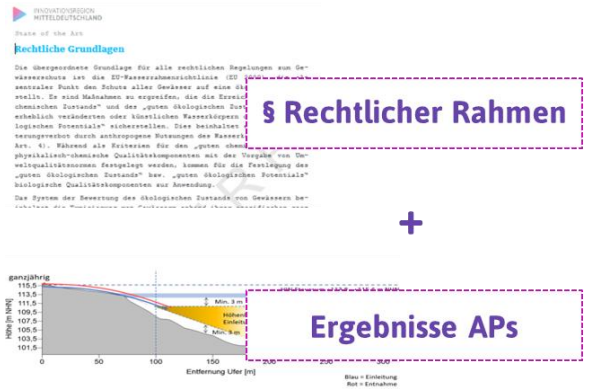
SEETHERMIE

Rechtlicher Rahmen

Genehmigungsweg:

- Wasserrechtliche Erlaubnis nach § 9 WHG zur Entnahme von Wasser: Gutachten zu Parametern OGewV + ggf. EU-WRRL (Bei Mindermengen vereinfachtes Verfahrung)
- Wasserrechtliche Genehmigung nach § 26 Abs 1 SächsWG für Bauwerke in und am Gewässer
- Zustimmung durch weitere Instanzen: LMBV, Sachgebiet Natur- und Landschaftsschutz des Landratsamtes Landkreis Leipzig, Sachgebiet Immissionsschutz des Landratsamtes Landkreis Leipzig, Stadt Zwenkau

Scoping mit Behörden



§ Rechtlicher Rahmen

+

Ergebnisse APs

+

Hinweise Behörden

Projektbeschreibung

Vorbereitung und Durchführung von **Scoping-Gesprächen** mit Genehmigungs-behörden

- Insgesamt wurden 10 Behörden zum Thema Seethermie angefragt. 2 davon offiziell: UWB Leipzig & UWB Landkreis Leipzig; 8 davon eher informell bzw. allgemeiner zum Thema Seethermie (Sachsen; Thüringen; Brandenburg)

Ergebnisse des Scoping

- offizielle Stellungnahmen der UWB Leipzig & UWB Landkreis Leipzig für 07/2021 erwartet; Übermittlung Ergebnisse limnologischer Untersuchungen an UWB noch ausstehend
- Umfrage bei anderen Behörden in Sachsen, Brandenburg und Thüringen: Zustimmung zunehmend in der Hierarchie Unt. Behörde ▶ Ob. Behörde ▶ Präsident ▶ Minister
- Erkenntnis zum Status Quo: Es gibt keine Bestimmung / Vorlage zur Genehmigung der thermischen Nutzung von Oberflächengewässern in Sachsen
- Aber: ‚Bodensee-Richtlinie' der Anrainerstaaten des Sees verfügen über Genehmigungspraxis: max. Temperaturerhöhung innerhalb eines geometrisch definierten Wasservolumen möglich
- ‚Bodensee-Richtlinie' unter befragten Institutionen bisher nicht bekannt
- Genehmigungspraxis muss anhand eines konkreten Projekts mit den Behörden entwickelt werden
- Für Studie können zum jetzigen Zeitpunkt bisher nur bedingt allgemeingültige Aussagen zu Genehmigungsfähigkeit getroffen werden

Vorschläge

- Besonderheit unseres Projektes: Wiedereinleitung geringer temperierten Wassers
  Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigt, dass die Wärmeentnahme das Gewässer nicht nachhaltig abkühlen kann, weil die Regeneration deutlich größer als die Entnahme ist. Auch wenn nur geringfügig, wirkt die thermische Nutzung des Sees sogar einer klimabedingten Erwärmung des Wasserkörpers entgegen.
- **Eigene Vorschläge zur Genehmigungsfähigkeit** (nicht abschließend):
  - Ansatz des Verhältnis von Größe des Gewässerkörpers zu thermischer Nutzung
  - Erarbeitung und Anwendung eines separaten Rechenmodells (Planungstool) welches die Spezifika von Tagebau Seen berücksichtigt

Stellungnahme der Behörde nach Abschluss der Studie (13.09.2021)

„…

Fazit

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-/Erlaubnisantrages 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.

Die Anmerkungen unter 3. der Stellungnahme vom 05. Juli 2021 behalten weiterhin ihre Gültigkeit.

…“

LANDRATSAMT LANDKREIS LEIPZIG - Umweltamt
Sachgebiet Wasser/Abwasser

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Ergebnisse, Verallgemeinerbarkeit, Übertragbarkeit

(Moderation: Dr. Kersten Roselt, JENA-GEOS®)

Ergebnisse (alle Projektpartner)

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,
- (vergleichsweise) wirtschaftlich betrieben,
- umweltverträglich gestaltet und
- von den zuständigen Behörden genehmigt werden.

Verallgemeinerbarkeit (alle Projektpartner)

- es gibt keine signifikanten Hinweise, dass in anderen Tagebauseen die Situation grundsätzlich anders wäre, dennoch ist jedes Gewässer ein ‚Individuum'
- keine Handlungsanleitung bzw. Bewertungsmaßstäbe für zuständige Behörden vorhanden
- vorläufig entwickelter Ansatz dieses Projekts: $\frac{\text{thermische Leistung bzw. Arbeit Wärmepumpe}}{\text{thermische Leistung bzw. Arbeit Gewässer}}$
- für Zwenkauer See entspricht das einem Verhältnis von 1,5 zu 9.500 GWh/a, damit hat die Wärmepumpe einen Anteil von < 0,02 % am gesamten Wärmeeintrag des Zwenkauer Sees
- Verhältnis ermöglicht jedoch noch keine abschließende Aussage zu den gewässerökologischen Auswirkungen

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Verallgemeinerbarkeit (alle Projektpartner)

- für jeden See muss individuell ein Schwellenwert heraus gearbeitet werden. Studie liefert Grundlagen für die zu betrachtenden Parameter und Erfahrungswerte, die nicht bei jedem neuen See komplett neu erhoben werden müssen
- die jeweils individuellen Parameter hinsichtlich Morphometrie, Schichtungsverhalten, Stoffhaushalt und Biozönosen bilden das Grundgerüst für die Planung von SEETHERMIE-Anlagen

Ausblick

Dr. Kersten Roselt, JENA-GEOS®, Projektteam

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Ausblick I: das Vakuum-Flüssigeis-Verfahren

eku innovativ
PREISTRÄGER 2020

- hat sämtliche Lern- und Skaleneffekte noch vor sich
- eine Kleinserie durch einen professionellen Anlagen-bauer bewirkt bereits 20 – 40 % günstigeren Preis
- doppelt so große Anlage ist höchstens 30% teurer
- kompaktere Entfernungen wirken sich sofort auf das Preis-Leistungs-Verhältnis aus
- Roll-out bewirkt enorme Senkung der Herstellungskosten

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Ausblick

- Ergebnisse der Studie äußerst vielversprechend!
- es besteht die gute Chance eines Roll-out für geeignete Standorte an den Tagebauseen Mitteldeutschlands und der Lausitz, und
- eines Kompetenzzentrums für SEETHERMIE in Mitteldeutschland
- Zeit drängt, da Dekarbonisierung nicht auf die Schließung aller Wissenslücken bis ins letzte Detail warten kann
- Zeiträume für FuE-Anträge, Bewilligung, Projektdurchführung, Verwertung bis zur Marktreife viel zu lang, in diesem Fall größer 5 Jahre
- daher:

INNOVATIONSREGION MITTELDEUTSCHLAND

SEETHERMIE

Empfehlung: dreigleisig fahren!

positiv kommunizieren!	Pilot installieren!	FuE gezielt einsetzen!
▶ natürliches regionales Potenzial nicht durch Bedenken in Misskredit bringen lassen ▶ Kommunikationsstrategie erarbeiten ▶ Gezielte Öffentlichkeitsarbeit	▶ geeigneten Standort finden, wo eine Umsetzung zeitiger möglich ist als bei ‚Neuer Harth' ▶ Förderung, Investor, Sponsor akquirieren ▶ Vorplanung mit frühzeitiger behördlicher Einbeziehung	▶ Detektion von Forschungsfragen ▶ Einbindung in WIR!-Projekt RegioZukunft:Wärme ▶ wenn keine Bewilligung, neue Möglichkeit suchen, z.B. in ZIM-Netzwerk URMIT

- **regionale Geopotenziale Tagebauseen für SEETHERMIE und Aquifere des Weißelsterbeckens sind Inhalt und Anlass zur Etablierung eines Kompetenzzentrums in der Region**

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

NEUE WEGE FÜR
INNOVATION UND WERTSCHÖPFUNG
Strukturwandel in der Innovationsregion Mitteldeutschland

INNOVATIVE WÄRMEVERSORGUNG AUS TAGEBAUSEEN

Gefördert aus Mitteln der Bundesrepublik Deutschland, des Freistaates Sachsen, des Landes Sachsen-Anhalt und des Freistaates Thüringen im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der regionalen Wirtschaftsinfrastruktur“.

Gefördert durch:
Die Bundesregierung
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT ARBEIT UND VERKEHR | Freistaat SACHSEN

Freistaat Thüringen
Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft

SACHSEN-ANHALT
Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitalisierung

INNOVATIONSREGION
MITTELDEUTSCHLAND

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Metropolregion Mitteldeutschland Management GmbH
Schillerstraße 5 ▸ 04109 Leipzig
Tel.: 0341/600 16-0 ▸ Fax: 0341/600 16-13
innovationsregion@mitteldeutschland.com

www.innovationsregion-mitteldeutschland.com

Ein Projekt der

METROPOLREGION
MITTELDEUTSCHLAND