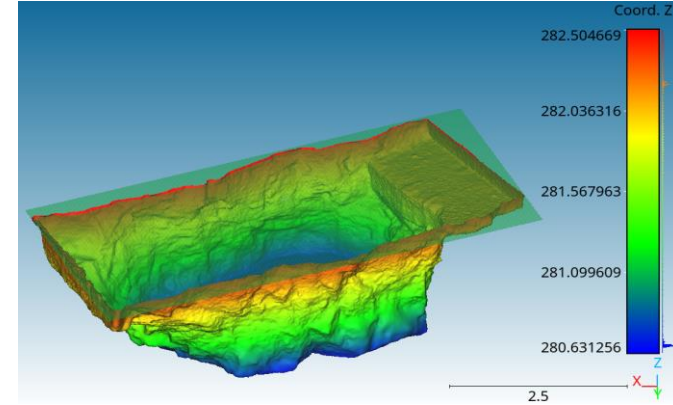
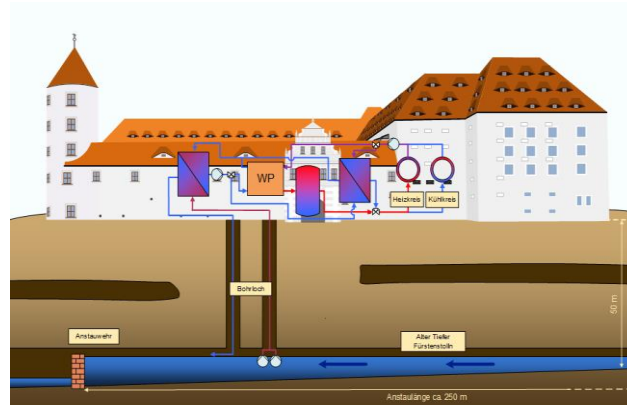


Transformation der kommunalen Energieversorgung



TU Bergakademie Freiberg & DBI Gruppe

Online-Workshopreihe „Nachhaltige Wärme- und Kälteversorgung: kommunal und regional“ 06.05.2025

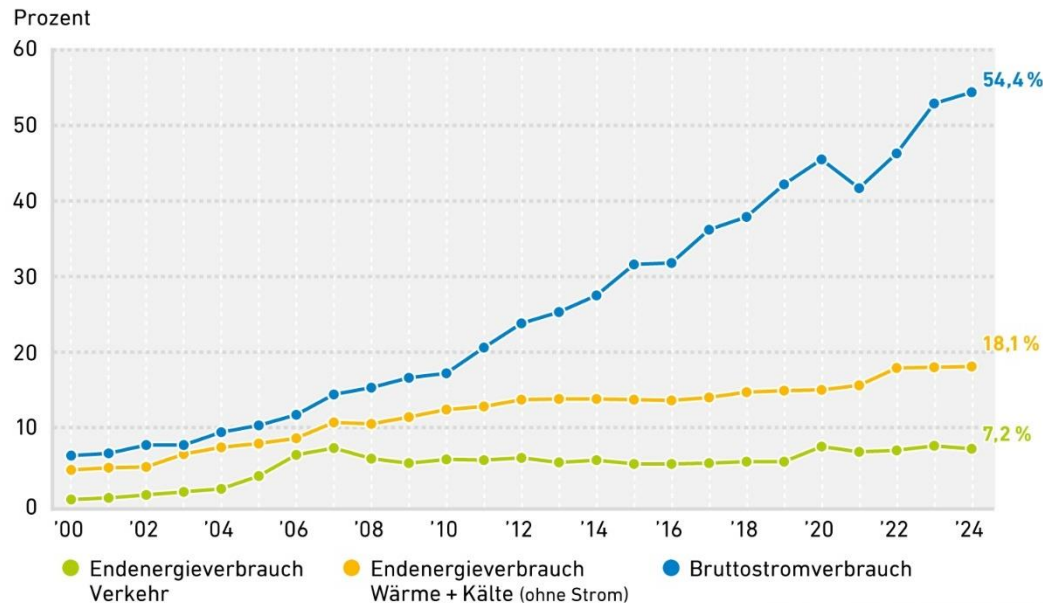
Diese Unterlagen sind ausschließlich für den persönlichen Gebrauch durch die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Workshops „Nachhaltige Wärme- und Kälteversorgung: kommunal und regional“ vom 06.05.2025 bestimmt.

In diesen Unterlagen ist z. T. geistiges Eigentum Dritter in zitierender Weise wiedergegeben, weshalb eine unrechtmäßige Weiterverbreitung dieser Unterlagen neben ideellen auch finanzielle Schäden nach sich ziehen kann, für die der Verursacher haftbar gemacht wird.

Eine Weitergabe an außenstehende Dritte in irgendeiner Form ist deshalb grundsätzlich nicht gestattet. Für die Teile dieses Dokuments, an denen die Verfasser selbst die Urheberrechte halten, werden auf Anfrage gerne weitergehende Nutzungsrechte (für Zwecke der Lehre und Forschung kostenlos) gewährt.

	Inhalt	Vortragender
10:00–10:10 Uhr	Begrüßung und Motivation	Dr. Thomas Grab (TUBAF)
10:10–10:40 Uhr	Erfahrungen und Praxisbeispiele aus der Kommunalen Wärmeplanung (KWP)	Robert Manig (DBI)
10:40–11:00 Uhr	Entwicklung von Kältelastprofilen im neuen Forschungsprojekt „CoolSaxony“	Lukas Oppelt (TUBAF)
11:00–11:30 Uhr	Update zu den Untersuchungen an Grubenwasserwärmespeichern	Timm Wunderlich, Lukas Oppelt (TUBAF)
11:30–12:00 Uhr	Diskussion	Alle

Anteile der Erneuerbaren Energien in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr in Deutschland 2000–2024



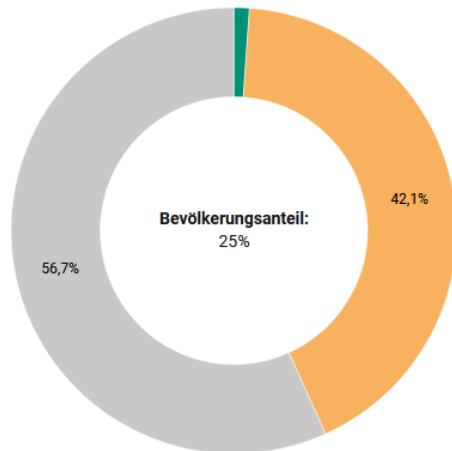
Quelle: Umweltbundesamt; Stand: 2/2025

© 2025 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

AGENTUR FÜR
ERNEUERBARE
ENERGIEN

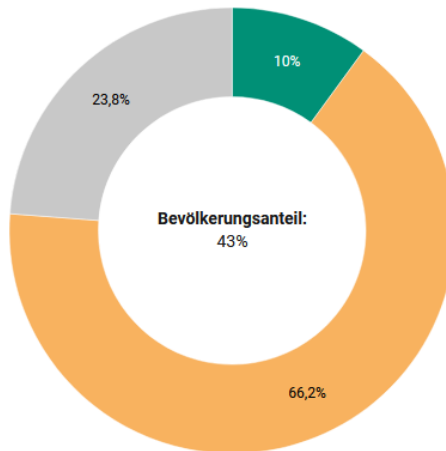
[1]

■ abgeschlossen ■ im Prozess ■ Stand unbekannt



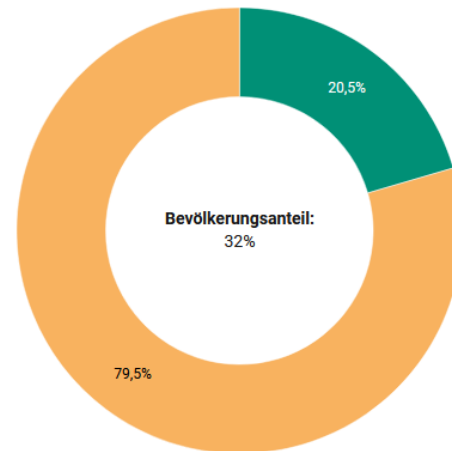
kleine Kommunen
(unter 10.000 EW)

9.149 Kommunen



mittelgroße Kommunen
(10.000 bis 100.000 EW)

1.543 Kommunen



große Kommunen
(über 100.000 EW)

83 Kommunen

Insgesamt 10.755 Kommunen. Gebietsstand am 31.12.2023 nach Gemeindeverzeichnis des Statistischen Bundesamtes. Unbewohnte Gebiete ausgeschlossen.
Stand März 2025.

Grafik: dena/KWW • Quelle: KWW (2025) • PDF herunterladen

[2]

Bundesland ▲	Gesamtanzahl Kommunen*	Abge- schlossen	Abge- schlossen	Im Prozess	Im Prozess	Stand unbekannt	Stand unbekannt	Mitglied eines Konvois	Anzahl Konvois
Baden- Württemberg	1.101	235	21%	440	40%	426	39%	430	94
Bayern	2.056	18	1%	707	34%	1331	65%	202	48
Berlin	1	0	0%	1	100%	0	0%	0	0
Brandenburg	413	3	1%	120	29%	290	70%	40	9
Bremen	2	0	0%	2	100%	0	0%	0	0
Hamburg	1	0	0%	1	100%	0	0%	0	0
Hessen	421	3	1%	162	38%	256	61%	27	4
Mecklenburg- Vorpommern	726	1	0%	337	46%	388	53%	287	31
Niedersachsen	941	1	0%	582	62%	358	38%	497	90
Nordrhein- Westfalen	396	6	2%	286	72%	104	26%	24	9
Rheinland- Pfalz	2.301	0	0%	1605	70%	696	30%	1.568	85
Saarland	52	0	0%	38	73%	14	27%	10	2
Sachsen	418	2	0%	113	27%	303	72%	42	13
Sachsen- Anhalt	218	0	0%	124	57%	94	43%	65	11
Schleswig- Holstein	1.104	7	1%	345	31%	752	68%	227	24
Thüringen	624	0	0%	79	13%	545	87%	516	84
Deutschland	10.775	276	3%	4942	46%	5557	52%	3.935	504

* Gebietsstand am 31.12.2023 nach Gemeindeverzeichnis des Statistischen Bundesamtes. Unbewohnte Gebiete ausgeschlossen.
Stand März 2025.

[2]

Agenda des ersten Themenblockes

- 1 Kurze Unternehmensvorstellung DBI-Gruppe
- 2 Kommunale Wärmeplanung aus einer Hand
Warum Wärmewende?
- 3 Methodik & Ablauf der Teilschritte einer kommunalen
Wärmeplanung
- 4 Berücksichtigung von Kältebedarfen in der KWP?



Dipl.-Ing. (FH) Robert Manig
Abteilungsleiter bei der DBI-Gruppe
Robert.Manig@dbi-gruppe.de
+49 3731 4195-336



TUBAF
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.



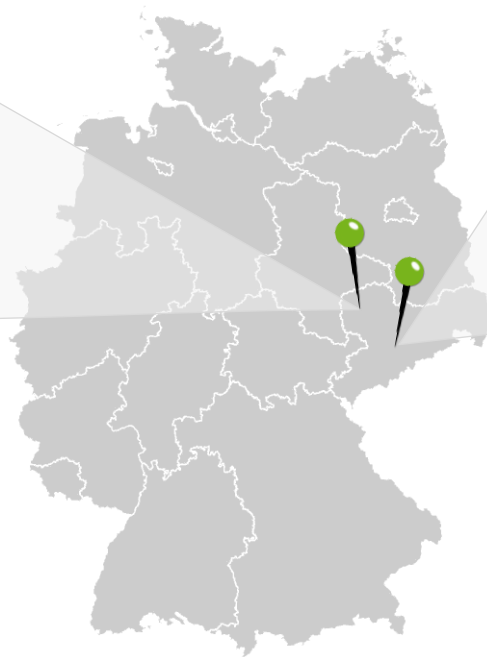
1. Kurze Unternehmensvorstellung DBI-Gruppe

Kurze Unternehmensvorstellung DBI-Gruppe



Leipzig

DBI Gas- und
Umwelttechnik
GmbH



Freiberg

DBI -
Gastechnologisches
Institut gGmbH
Freiberg

Kurze Unternehmensvorstellung DBI-Gruppe



Gasförderung
Gasspeicherung



Gasnetze
Gasanlagen



Gasanwendung -
Thermoprozesstechnik



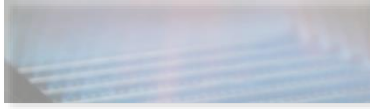
Gasverfahrenstechnik



Gaschemie
Gasaufbereitung



**Energieversorgungs-
systeme**



DVGW-Prüflaboratorium
Energie



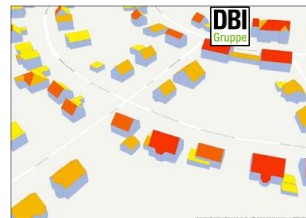
Freiberger DVGW-
Trainingszentrum Erdgas

➔ Kommunale Wärmeplanung im Fachgebiet **Energieversorgungssysteme**

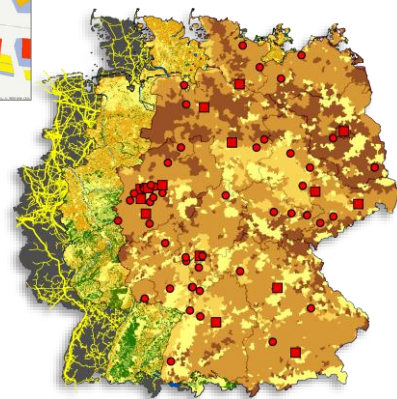
Kurze Unternehmensvorstellung DBI-Gruppe



Energieversorgungs-
systeme



© DBI-Gruppe



© DBI-Gruppe

- (1) **Potenzial- und Standortanalysen** mit Geoinformationssystemen:
 - Erneuerbare Energien (Wind, Solar, Biogas / Biomasse, Wasserstoff, ...)
 - GIS-basierte Energiebedarfsermittlung von Gebäuden (Wärme, Kälte, Strom)
 - Analyse zu Quartiers- und Versorgungskonzepten mit Sektorenkopplung
 - Strukturanalysen zu Gebäude-, Versorgungs- und Landnutzungsstrukturen
 - Erstellung von Potenzialatlanten und interaktivem Kartenmaterial
 - Basic-Engineering & Consulting im Bereich Energie- & Klimaschutzkonzepte
 ➔ insb. **kommunale Wärmeplanung** und Wärmenetzkonzepte (BEW)
- (2) Durchführung von **Reparatur-** und weiteren **gesetzlich vorgeschriebenen Wartungsarbeiten** an Biogasanlagen nach DVGW-Standards
- (3) **Methanemissionsmessungen** nach EU-Methanemissionsverordnung
- (4) Forschung und Entwicklung im Bereich **Biogasproduktion** und **biogene Wasserstoffherzeugung** im labor- und kleintechnischen Maßstab



© DBI-Gruppe



2. Kommunale Wärmeplanung aus einer Hand

Warum Wärmewende?



iE2S



Warum Wärmewende?

Wärmeversorgung in Deutschland

> 50 % des Energieverbrauchs

ca. 41 Millionen Haushalte in Deutschland:

- ca. 50 % Erdgas
- ca. 25 % Heizöl

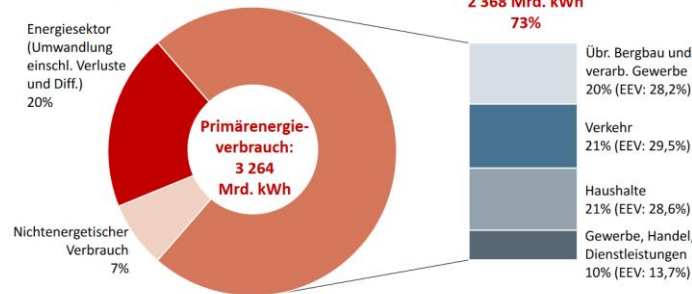
Fernwärme: ca. 14 %, aber
überwiegend fossile Brennstoffe inkl. Kohle!

22.12.2023 Folie 1 SP-V, FS

bdeu
Energie, Wasser, Löhne

Energieverbrauch in Deutschland 2022*

Struktur des Energieverbrauchs nach Sektoren



Quelle: AGEb; Stand 11/2023

* vorläufig

ca. 80 % der Wärme wird mit fossilen Brennstoffen erzeugt → erhebliches CO₂-Einsparpotenzial

Warum Wärmewende?

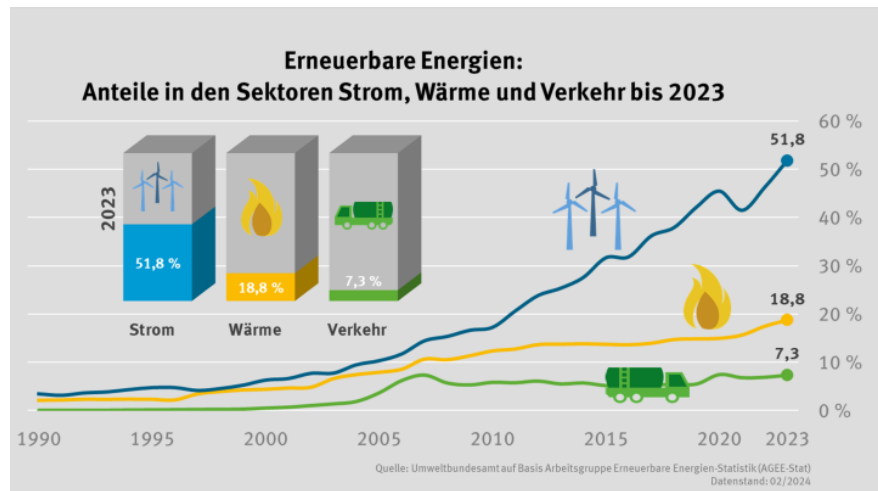
2023: 513 Mrd. kWh „Erneuerbare“

- 52 % Strom
- 19 % Wärme
- 7 % Verkehr

Trend: Anteil der Erneuerbaren Energien nimmt zu

➔ **Aber:** deutliche Unterschiede in den Sektoren:

- Strom: Verdoppelung der EE-Anteile in den letzten 10 Jahren
- Wärme & Verkehr: deutlich geringerer Anstieg



Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>

„Ziel der Wärmeplanung ist es, den vor Ort besten und kosteneffizientesten Weg zu einer klimafreundlichen und fortschrittlichen Wärmeversorgung zu ermitteln.“

(<https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/stadt-wohnen/WPG/WPG-node.html>)

Wärmeplanung: zentrales Thema der nächsten drei Jahre

Am 1.1.2024 ist das Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (**Wärmeplanungsgesetz – WPG**) in Kraft getreten. Es verpflichtet Kommunen zur Erstellung einer kommunalen Wärmeplanung.



Gemeinden mit einer
Bevölkerungszahl

bis 100.000 müssen

einen Wärmeplan erstellen bis

2028



Gemeinden mit einer
Bevölkerungszahl

über 100.000 müssen

einen Wärmeplan erstellen bis

2026

Gesetzlicher Rahmen: WPG vs. Gebäudeenergiegesetz

Wärmeplanungsgesetz → Adressat ist die planungsverantwortliche Stelle (Kommune)

- Umstellung des Wärmesektors auf erneuerbare Energien und Abwärme
- „Werkzeug“ der kommunalen Wärmeplanung:
 - Strategie für die Transformation der Wärmeversorgung: THG –Neutralität bis 2045
 - Potenzielle Gebiete für Wärme- oder Wasserstoffnetz oder dezentrale Wärmeversorgung

Gebäudeenergiegesetz → Adressat ist der Eigentümer der Immobilie

- Enthält Regelungen zum Austausch alter Heizungen
 - 65 % Anteil Erneuerbare Energien bei neuen Heizungen sowie Förderung

Überblick über bereits laufende KWP bei DBI / KWP4

Verwaltungsgemeinschaft Rochlitz (Sachsen)

Oelsnitz/Erzgeb. (Sachsen)

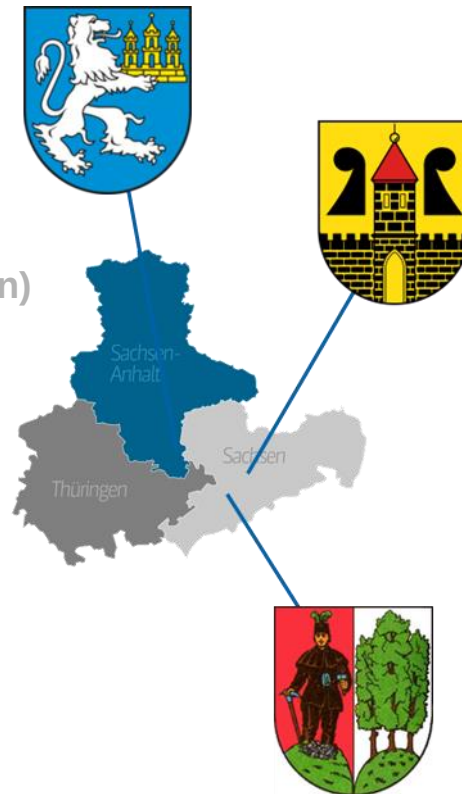
Goethestadt Bad Lauchstädt (Sachsen-Anhalt)

Verwaltungsgemeinschaft Lugau-Niederwürschnitz (Sachsen)

Oberlungwitz (Sachsen)

Zerbst/Anhalt (Sachsen-Anhalt)

Verbandsgemeinde Egelter Mulde (Sachsen-Anhalt)



Überblick über bereits laufende KWP bei DBI / KWP4

Verwaltungsgemeinschaft Rochlitz (Sachsen)

Oelsnitz/Erzgeb. (Sachsen)

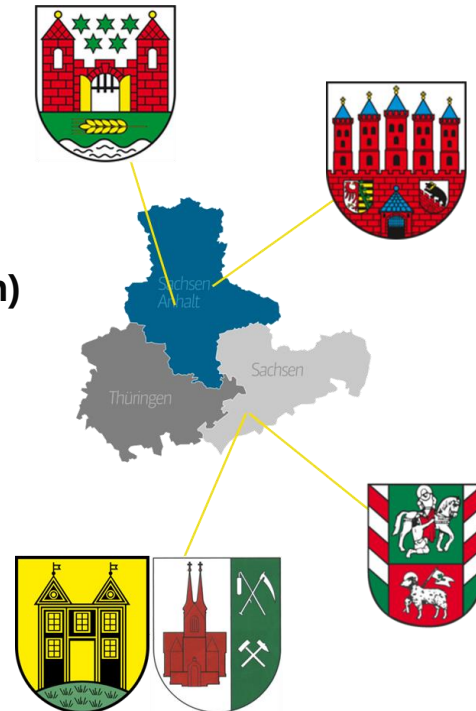
Goethestadt Bad Lauchstädt (Sachsen-Anhalt)

Verwaltungsgemeinschaft Lugau-Niederwürschnitz (Sachsen)

Oberlungwitz (Sachsen)

Zerbst/Anhalt (Sachsen-Anhalt)

Verbandsgemeinde Egelter Mulde (Sachsen-Anhalt)



Zeitplanung und typischer Projektablauf

PROJEKTMANAGEMENT (0) SOWIE AKTEURS- UND ÖFFENTLICHKEITSBETEILIGUNG (ÖB)





TUBAF
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.



3. Methodik & Ablauf der Teilschritte einer kommunalen Wärmeplanung

Bestandsanalyse (Phase 1)

PROJEKTMANAGEMENT (0) SOWIE AKTEURS- UND ÖFFENTLICHKEITSBETEILIGUNG (ÖB)



Bestandsanalyse (Phase 1)

Ziele

- Durchführung der **Eignungsprüfung**
- Beschreibung der Gemeindestruktur
- Analyse des Gebäudebestandes zum Status quo und **gebäudescharfer Realdatenabgleich (Versorgerdaten)**
- Lokalisierung und Kartierung von Wärmeabnehmern mit **Ausweisung der Wärmebedarfe**
- **Erstellung einer Treibhausgasbilanz**
- Kartierung vorhandener / geplanter Gas- und Wärmeinfrastruktur in Rücksprache mit Netzbetreibern



Analyse der
Gebäudetypen in
einem kommunalen
Untersuchungsgebiet

Gebäudetyp

- Wohngebäude
- Industriegebäude
- GHD und Kommune
- Sonstiges Gebäude

Bestandsanalyse (Phase 1)

Methodik und Datenbasis

Eignungsprüfung: GIS-basierte Analyse von kommunalen (Teil-) Gebieten, die sich nicht für die Versorgung durch leitungsgebundene Infrastrukturen eignen
 ➔ KWP⁴ hat eine Bewertungsmatrix (s. Abb. rechts) entwickelt

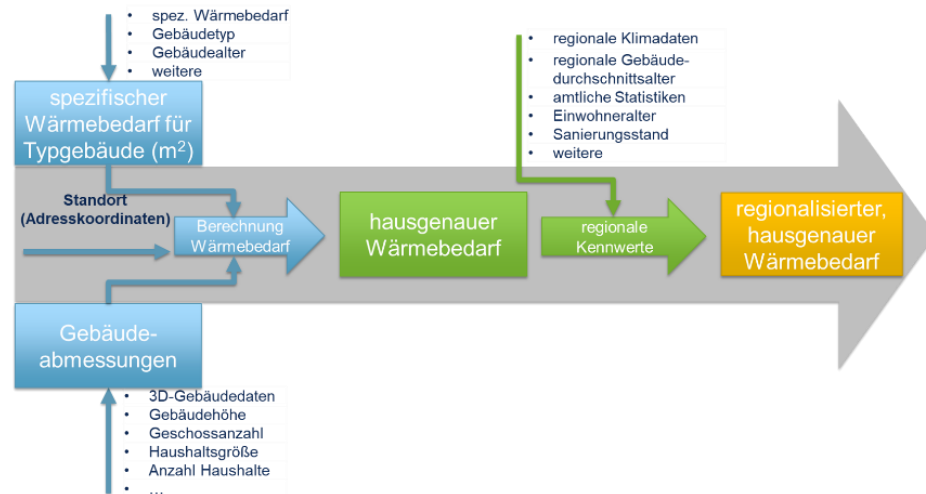
	Teilgebiet	Teilgebiet X
leitungsgebundene Infrastrukturen (Bestand)	Erdgasnetze vorh.? Wärmenetz vorh.?	
leitungsgebundene Infrastrukturen (Zukunft)	H ₂ Netz geplant? H ₂ - Versorgung durch übergeordnete Netzebenen mgl.? H ₂ -Versorgung durch dezentrale Erzeugung (Elektrolyse)	
Siedlungsstruktur	Fläche in qm Hauptflächennutzung Anteil Wohn- an Gesamtl. Bevölkerungszahl Einwohner je km ²	
Industrie	Industriegebiet(e) Ankerkunden	
Potenziale erneuerbarer Energien/Abwärme	Plangebiete für Wind/PV vorhanden? sonstige relevante EE-Wärmequellen (Biogas, Kläranlage, Geothermie) hebbare Abwärmequellen (z.B. Industrie) vorhanden? bestehende Wärmeversorgung bereits überw. (>75%) EE?	
Gebäude u. Wohnbebauung	Anzahl Gebäude bzw. Adresspunkte Wohngebäude/private Haushalte Anteil 1 Wohnung Anteil 2 Wohnungen Anteil mehr als 2 Wohnungen Prägung / räumliche Verteilung Altersstruktur Gebäude / Sanierungszustand	
Wärmedichte (modelliert, Status quo)	Wärmebedarfsdichte (mittleres Wetterjahr) in MWh/ha*a Wärmenetzseignung anhand Wärmedichte	
Fazit verkürzte Wärmeplanung		ja / nein

Bestandsanalyse (Phase 1)

Methodik und Datenbasis

Wärmebedarfsabschätzung:

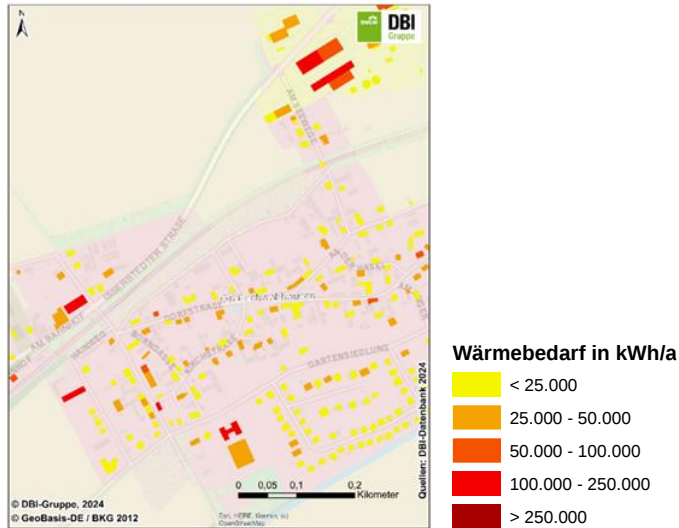
Standortscharfe Verortung von Gebäuden bzw. Wärmeabnehmern anhand **Gebäudedatenbank** mit 23 Mio. Datenpunkten inkl. Kennwerten
→ Berechnung der Wärmebedarfe mittels „Bottom-Up“ Algorithmus



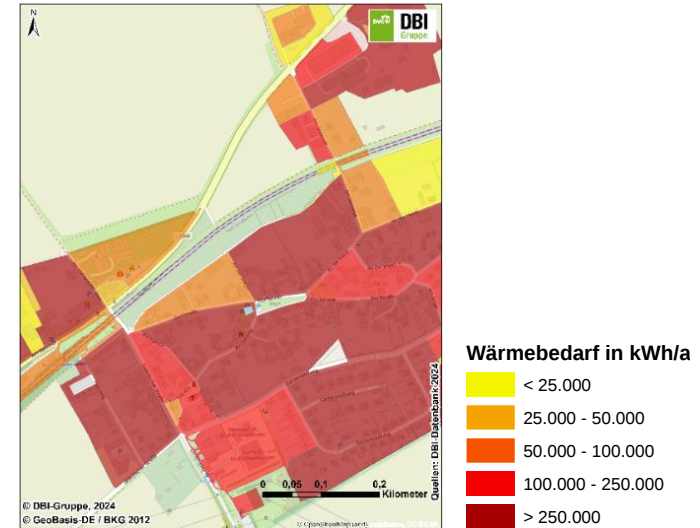
Beschreibung: Schematische Darstellung des Algorithmus zur Wärmebedarfsberechnung

Bestandsanalyse (Phase 1)

Ergebnis – Diagramme und WPG-konforme Kartendarstellungen



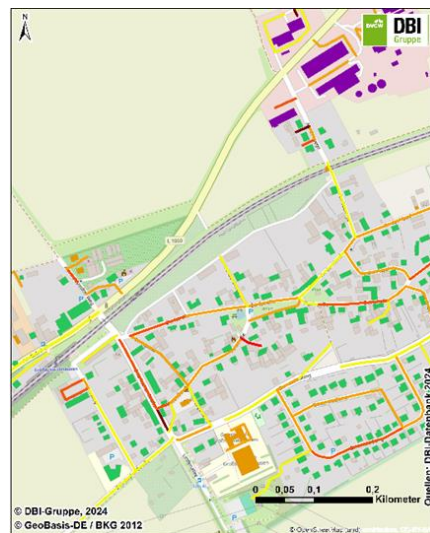
Gebäudescharfe Wärmebedarfsdarstellung



Wärmebedarfsdarstellungen je Baublock

Bestandsanalyse (Phase 1)

Ergebnis – Diagramme und WPG-konforme Kartendarstellungen



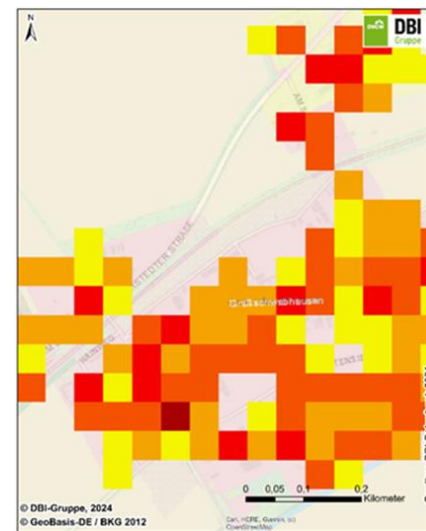
Gebäudetyp

- private Haushalte
- Kommune
- Industrie und produzierendes Gewerbe
- Gewerbe (Einzelhandel und Dienstleistungen)

Wärmeliniedichte in kWh/(m*a)

- < 700
- 700 - 1.500
- 1.500 - 2.000
- 2.000 - 3.000
- > 3.000

Wärmeliniedichtendarstellung



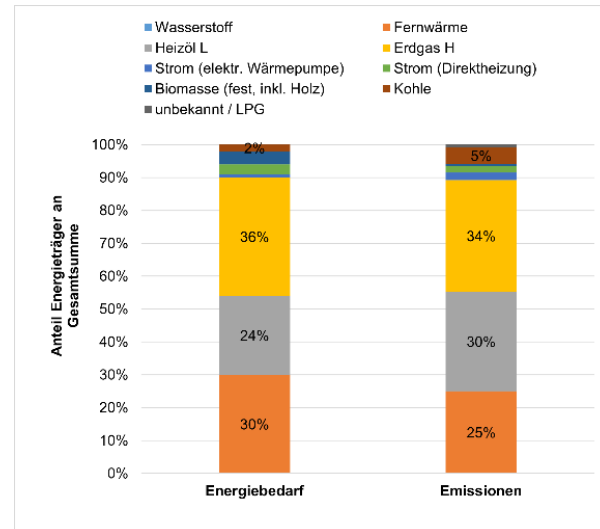
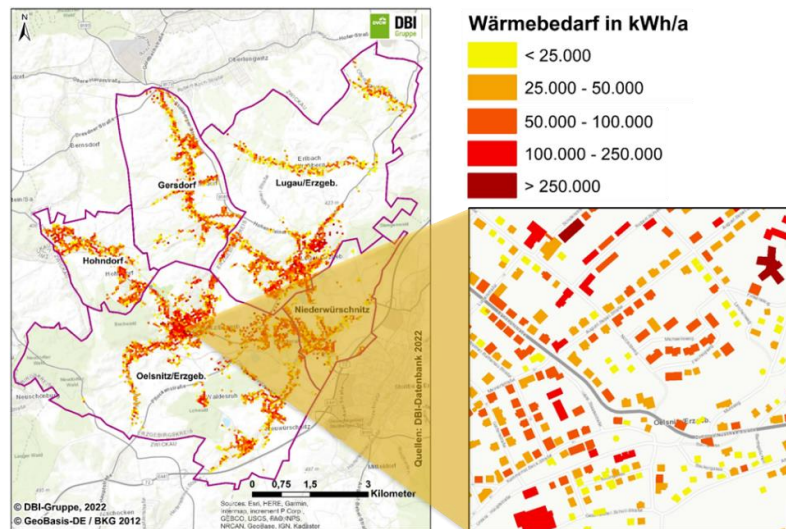
Wärmebedarf in kWh/a

- < 25.000
- 25.000 - 50.000
- 50.000 - 100.000
- 100.000 - 250.000
- > 250.000

Wärmebedarfsdarstellungen je 100 x 100 m Raster

Bestandsanalyse (Phase 1)

Ergebnis – Diagramme und WPG-konforme Kartendarstellungen



Wärmebedarfsdarstellungen je Gebäude für einen Wärmeverbund aus mehreren Kommunen

Anteil der Emissionen je Energieträger

Potenzialanalyse (Phase 2)

PROJEKTMANAGEMENT (0) SOWIE AKTEURS- UND ÖFFENTLICHKEITSBETEILIGUNG (ÖB)



Potenzialanalyse (Phase 2)

Ziele

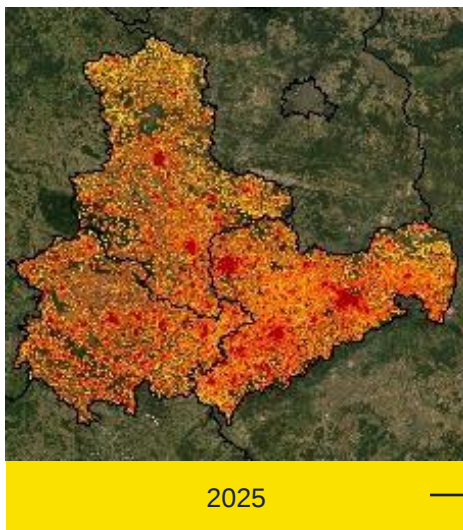
- Szenarien und Prognosen des Energiebedarfs von Einzelgebäuden je Kommune
- Potenziale zur Senkung des Wärmebedarfs
- Räumliche Verortung und Quantifizierung der Potenziale erneuerbarer Energien
- Berechnung von Potenzialen aus Abwärme, Kraft-Wärme-Kopplung, Solarthermie, tiefe und oberflächennahe Geothermie, Biomasse, Wasserstoff

Methodik und Datenbasis

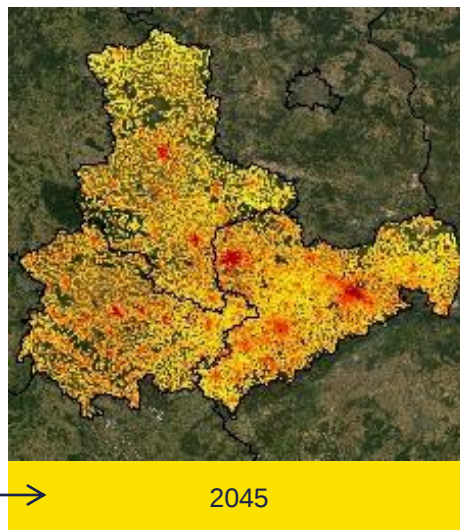
- Nutzung öffentlicher Datenbanken (z.B. Markstammdatenregister) und eigener Daten
- GIS-Modelle zur Berechnung von EE-Kapazitäten (thermische/elektrische Leistung) anhand verfügbarer Flächenpotenziale (z.B. für Windkraftanlagen)
- GIS-Modellbasierte Fortschreibung der Wärmebedarfe unter Berücksichtigung von Sanierungsraten, klimatischen Veränderungen

Potenzialanalyse (Phase 2)

Ergebnis – Diagramme und WPG-konforme Kartendarstellungen



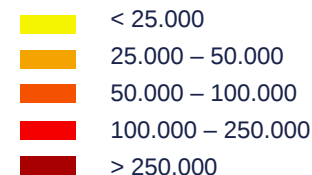
2025



2045

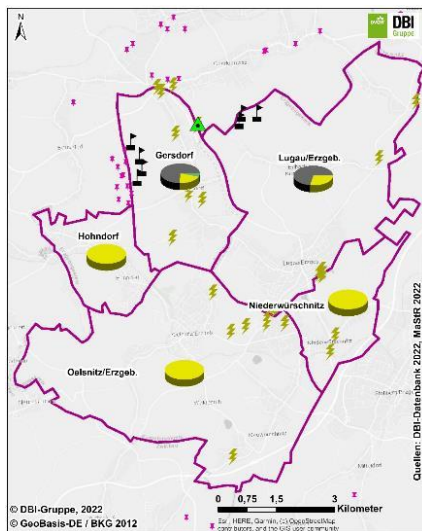
Mögliche Ergebnisse der
Wärmebedarfsfortschreibung bis 2045

Legende: Wärmebedarf in kWh/a

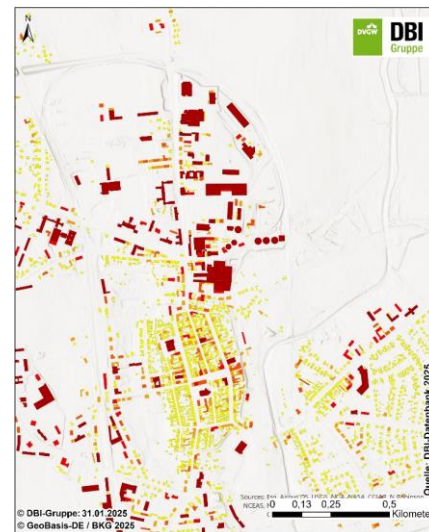


Potenzialanalyse (Phase 2)

Ergebnis – Diagramme und WPG-konforme Kartendarstellungen



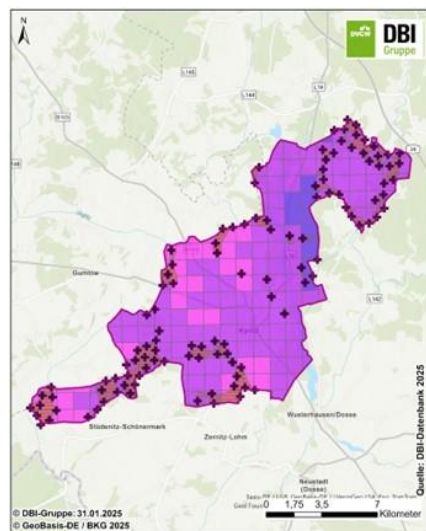
Erneuerbare Energien im kommunalen Umfeld (Auswahl)



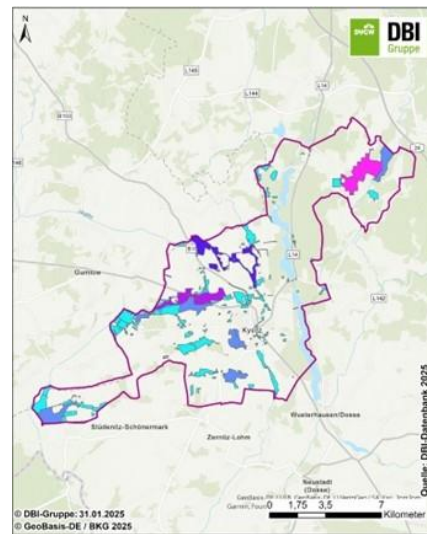
Darstellung von Solarpotenzialen für verschiedene Dachflächen

Potenzialanalyse (Phase 2)

Ergebnis – Diagramme und WPG-konforme Kartendarstellungen



Potenziale für mögliche Windkraftanlagenstandorte in einer Beispielkommune



Darstellung von Solarpotenzialen für verschiedene Freiflächen

Szenarioanalyse (Phase 3)

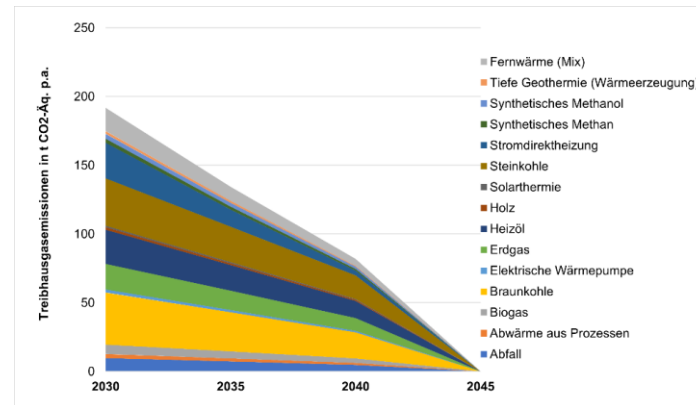
PROJEKTMANAGEMENT (0) SOWIE AKTEURS- UND ÖFFENTLICHKEITSBETEILIGUNG (ÖB)



Szenarioanalyse (Phase 3)

Inhalte

1. Zielszenarien und Transformationspfade
→ Erstellung von unterschiedlichen Zielszenarien
2. Treibhausgasemissionen
→ Ermittlung der Treibhausgasemissionen je Zielszenario
3. Wirtschaftlichkeitsanalyse
→ Vergleich der relevanten Kosten je Zielszenario
4. technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit
→ Abschätzung von Risiken und Chancen jedes Zielszenarios



Exemplarische Entwicklung der Emissionen bis 2045

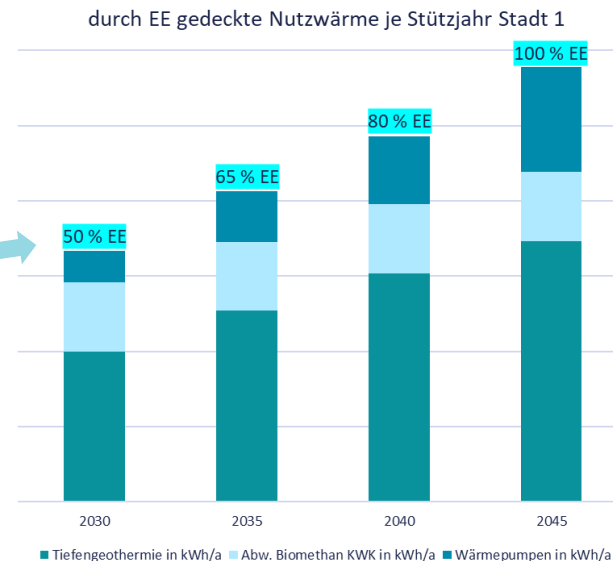
Szenarioanalyse (Phase 3)

Zielszenarien und Transformationspfade

- Deckung der Nutzwärmebedarfe 2030, 2035, 2040, 2045
- **Fokussierung auf lokale Bestandstechnologien und Potenziale**
- Berücksichtigung der **EE-Quoten**
- Strommix zur Deckung der wärmeseitigen Strombedarfe

Ergebnisse:

- Qualitative und Quantitative Darstellung der Nutz- und Endenergiebedarfe je Technologie und Zielszenario



Exemplarische Entwicklung des Wärmemixes im Zielszenario bis 2045

Szenarioanalyse (Phase 3)

Wirtschaftlichkeitsbewertung der Szenarien

- Wirtschaftliche Bewertung der Zielszenarien
→ Investitionskosten, Wärmegestehungskosten etc.
- Ermittlung auf Basis aktueller und prognostizierter Kosten bis 2045

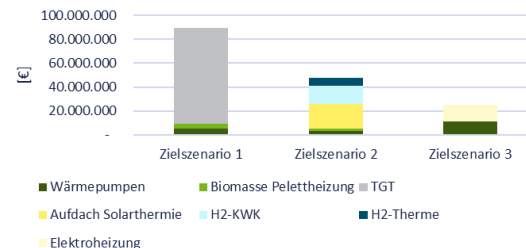
Ergebnisse:

- Quantitative Darstellung der Wirtschaftlichkeit je Technologie und Zielszenario

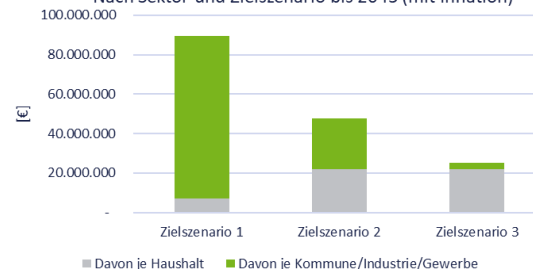
Finales Ergebnis Szenarioanalyse:

Kategorisierung und Einordnung der Zielszenarien hinsichtlich Risiken und Chancen (inkl. Ranking)

Investitionskosten für Wärme
Nach Technologie und Zielszenario bis 2045 (mit Inflation)



Investitionskosten für Wärme
Nach Sektor und Zielszenario bis 2045 (mit Inflation)



Exemplarische Darstellung von Wirtschaftlichkeitsanalysen der Zielszenarien

Umsetzungsstrategie (Phase 4)

PROJEKTMANAGEMENT (0) SOWIE AKTEURS- UND ÖFFENTLICHKEITSBETEILIGUNG (ÖB)



Umsetzungsstrategie (Phase 4)



Fachgutachten

- Beschreibung der Datenquellen und Methodik
- Ausführliche Diskussion der Ergebnisse



Kartografische Darstellungen

- Digital Twin – Digitales Abbild der Kommune im Geodatenformat
- Statische und interaktive Karten (Bilddateien, PDF, webbasierte Version etc.)

Umsetzungsstrategie (Phase 4)

Inhalte & Ergebnisse

- Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Energieeffizienz, Reduzierung des Wärmeenergiebedarfs & Defossilisierung
- Steckbriefe von Maßnahmen & Priorisierung
- Transformationspfad zur Umsetzung der Wärmeplanung, inkl.
 - Umsetzungsprioritäten, Zeitplan
 - **Formate zur Bürgerbeteiligung**
 - Integration und Management von Akteuren

Ergebnisverstetigung & Controlling

- Erstellung von klaren Organisationsstrukturen und Verantwortlichkeiten für die Umsetzungsphase in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber und den relevanten Akteuren
- Hebung von Finanzierungs- & Fördermöglichkeiten
- Vorschläge für effiziente Strukturen und Prozesse innerhalb der Verwaltung zur Umsetzung
- Kontrolle der Einhaltung des gesetzlichen Rahmens

Akteurs- und Öffentlichkeitsbeteiligung

PROJEKTMANAGEMENT (0) SOWIE AKTEURS- UND ÖFFENTLICHKEITSBETEILIGUNG (ÖB)



Akteurs- und Öffentlichkeitsbeteiligung

Methode

- Workshop zum Thema Akteurs- und Öffentlichkeitsbeteiligung
- Digitaler Austausch zu Zielen und Erwartungen
- Durchführung vor Ort (in Kommune)
- Ausführliche Aufbereitung der Workshopergebnisse



- Nach dem Workshop verfügt die Kommune über:
 - Wissen zum Thema Akteurs- und Öffentlichkeitsbeteiligung im Kontext der KWP
 - Kommunikationsstrategie mit Zeit- / Maßnahmenplan
 - Kenntnisse zu den gesetzlich vorgeschriebenen Veröffentlichungspflichten
 - Vorlagen zu FAQ und Webseitentexten
 - Leitlinie zur Durchführung von Bürgerinformationsveranstaltungen bzgl. Umgang mit kritischen Stimmen

Beispielhafter Auftritt einer von KWP4 betreuten Kommune:

<https://www.rochlitz.de/bauen-und-wohnen/stadtplanung/kommunale-waermeplanung>

Akteurs- und Öffentlichkeitsbeteiligung

Ziele der Bürgerdialoge

- Wünsche und Bedenken wahrnehmen
- Verständnis für eigene Argumente steigern
- Akzeptanz für Konzept erhöhen
- Reibungslose Umsetzung ebnen



4. Berücksichtigung von Kältebedarfen in der KWP?

Pilotprojekt in Sachsen mit Beteiligung der DBI-Gruppe

Kühlbedarf in künftigen kommunalen Wärmeplanungen?

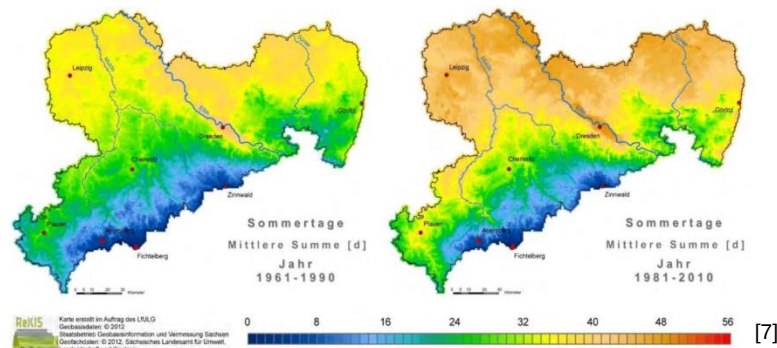
Herausforderungen der Energieversorgung durch den Klimawandel

→ Steigende Temperaturen in Sachsen 🌡️

- Zunahme heißer Tage und Tropennächte
→ Gesundheitsrisiken
- Prognose: submediterranes Klima bis 2040
- Kühlbedarf in Gebäuden steigt

Problem → Erhöhter Kühlbedarf & fehlende gesamtheitliche Konzepte ❄️

- Keine umfassenden Daten zu Kältebedarf und Kühltechnologien in Sachsen



→ Bisher Kälte in KWP nicht flächendeckend berücksichtigbar

Kühlbedarf in künftigen kommunalen Wärmeplanungen?

Projekt „CoolSaxony“: Erstellung eines sachsenweiten Kühlbedarfskatasters
 → näheres dazu seitens der TU Freiberg



Angestrebtes Kernergebnis des Projektes:

Kältebedarfskataster analog Wärmekataster

→ d.h. gebäudescharfe Kältebedarfe zur Raumkühlung für ganz Sachsen, öffentlich via Web-GIS zur Verfügung gestellt zur Nutzung, ggf. noch für KWP's aber insb. zur Verwendung bei **KWP-Fortschreibungen!**

Als „**optionale Leistung**“ ist Darstellung von Kälteinfrastruktur bereits heute im Muster-Leistungsverzeichnis der kommunalen Wärmeplanung enthalten → könnte ggf. bedeutsamer werden

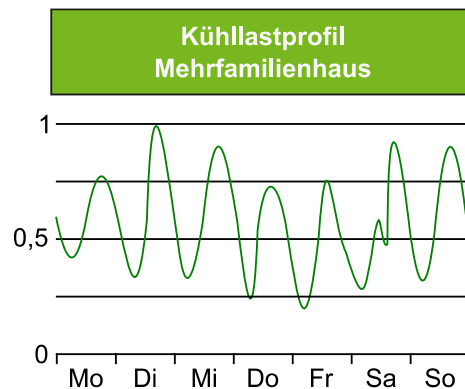
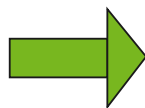
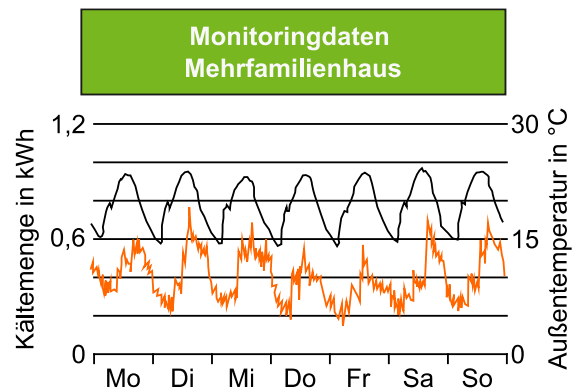
Optionale Leistungen

Aus unserer Erfahrung und auf Empfehlung der von uns eingebundenen Expertinnen und Experten sollten folgende optionale Leistungen in das Leistungsverzeichnis einbezogen werden. Ihre Positionsnummer ermöglicht eine schnelle Einordnung in das Gerüst des Leistungsverzeichnisses.

B Bestandsanalyse		
B.2 Analyse der Energieinfrastruktur		
B.2.2.7	Darstellung des bestehenden Glasfasernetzes und der Ausbaupläne 	Kap. 3.2.2 MLV KEA BW
	I. Kartografische Darstellung des bestehenden Glasfasernetzes und der Ausbaupläne	
B.2.2.8	Analyse der Stromnetze, unter anderem 	Anlage 1 (zu § 15) Nummer 7 und 8 WPG (zu allen Punkten)
	I. Informationen zu bestehenden, genehmigten oder geplanten Stromnetzen	
	II. Umspannstationen	
	III. Optimierungs-, Verstärkungs-, Erneuerungs- und Ausbaumaßnahmen im Niederspannungsnetz	
		Kap. 2.1.2 LF (zu allen Punkten)
B.2.2.9	Darstellung der Kälteinfrastruktur 	
	I. Kartografische Darstellung zentraler Kälteinfrastruktur	

Siehe: https://api.kww-halle.de/fileadmin/PDFs/KWW-MusterLeistungsverzeichnis-WPG_Handreichung_18-07-2024.pdf

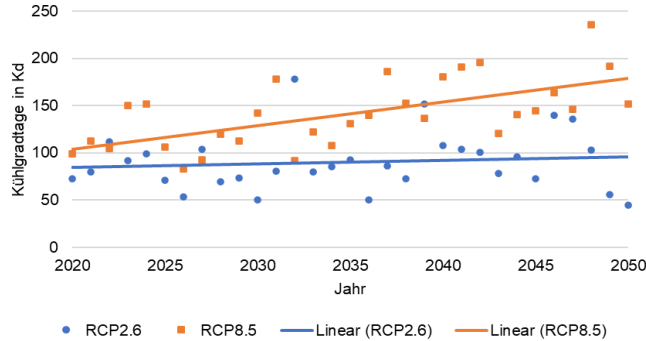
Entwicklung von Kältelastprofilen im neuen Forschungsprojekt „CoolSaxony“



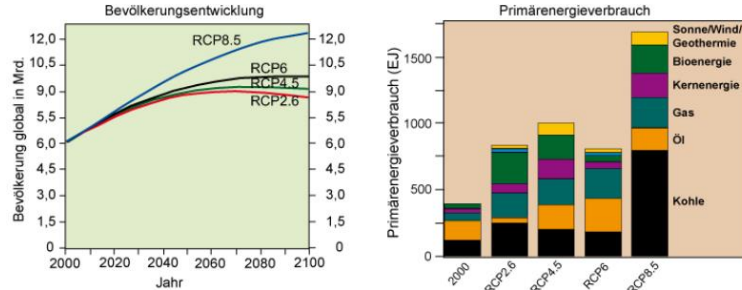
Lukas Oppelt, Fritz Raithel, Thomas Grab, Tobias Fieback

Motivation – Projektziele– Aktueller Stand – Sonstiges

Klimaentwicklung

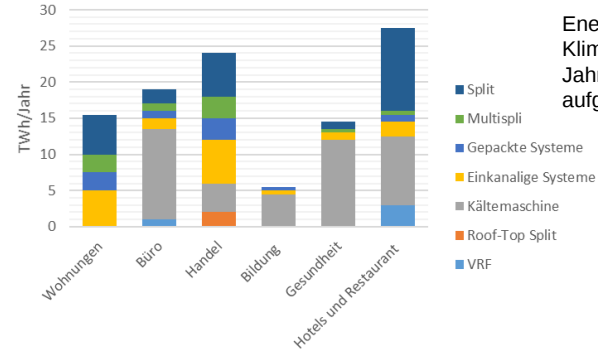


Entwicklung der Kühlgradtage in verschiedenen Klimaszenarien von 2020 und 2050 (eigene Darstellung nach [3])

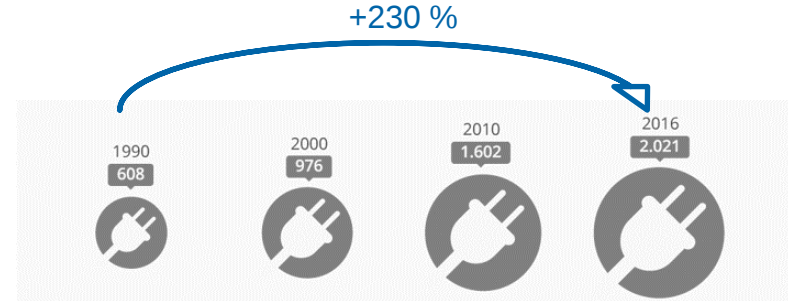


Bevölkerungsentwicklung und Primärenergieverbrauch bis 2100 nach den neuen Repräsentativen Konzentrationspfaden [4]

Kälteversorgung



Energieverbrauch von Klimaanlage in TWh im Jahr nach Typ und Sektor aufgeteilt EU28 [5]

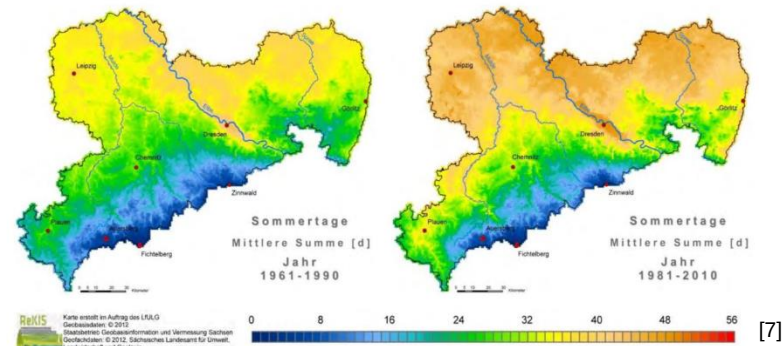


Energieverbrauch für Kühlgeräte in TWh für Wohn- und Bürogebäude [6]

Schlussfolgerungen aus dem aktuellen Status quo

- Starker Anstieg beim Kühlbedarf zu erwarten
→ Muss in Gebäude- und Quarterisplanung integriert werden
 - **Wie kann Kühlen einfach und effektiv in Energieplanung integriert werden?**
- ABER: Bisher wird häufig mit strombasierten Technologien gekühlt
 - **Identifikation passender individueller und regenerativer Quellen für Gebäudekühlung**

Wie sieht es spezifisch in Sachsen aus?



- ⇒ Hitzetage nehmen zu
- ⇒ Durchschnittliches Jahrestemperatur im Vergleich zu 1961-1990 um 0,8 K gestiegen
- ⇒ Aktuell nur geringe reg. Anteile: 2 % (Strom) und 5 % (Heizen)

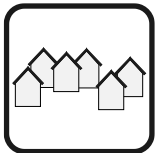


- Entwicklung von **Zukunftsszenarien** zur Abschätzung von Kältebedarfen

- Entwicklung von **Kältelastprofilen** für Wohnen, Gewerbe und Industrie und Validierung anhand von Realdaten



- Modellierung von **Kühlbedarfen** aktuell und 2050, Berechnen einer **Durchdringung** von Kühlgeräten



- Erarbeitung eines **techno-ökonomischen Vergleichs** für Kühltechnologien und ableiten von Handlungsempfehlungen

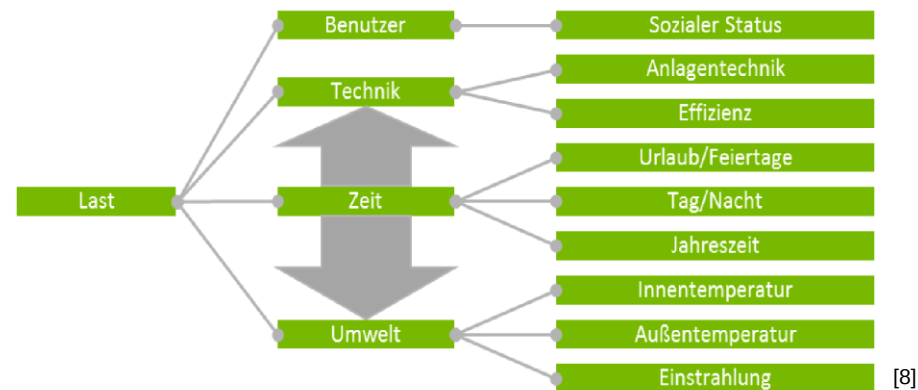


- **Integration** der entwickelten Profile und Handlungsempfehlungen in eine **Weboberfläche**

Entwicklung von Kühllastprofilen

- Entwicklung von Kühllastprofilen für die Quartierssimulation und Konzeptionierung von Energieversorgungssystemen
- Bestehende Profile:
 - Standardlastprofile für Gasversorgung
 - Lastprofilgenerator der HTW Berlin
 - Lastprofilgenerator nach Pflugradt
 - ➔ Alle nur für Gas/Strom/Wärme
 - SynPRO des Fraunhofer ISE
 - ➔ Auch Kühlkurven als Summenkurve ausgebbar

Einflüsse auf Lastprofile:

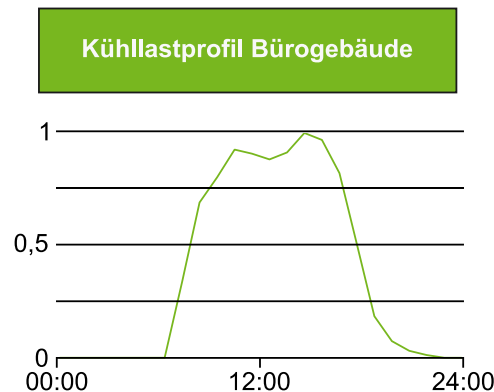
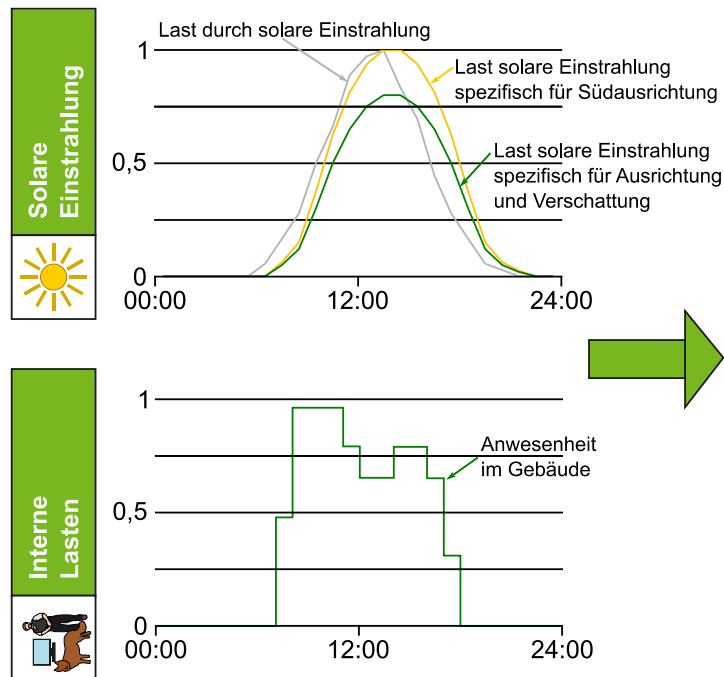


[8]

Einblick in Profilentwicklung

- Variante A:
- Zusammensetzen aus verschiedenen Rechen-, Simulations- und Tabellenwerten (z.B. DIN V 18599-10)
- Mitteln der berechneten Lastkurven

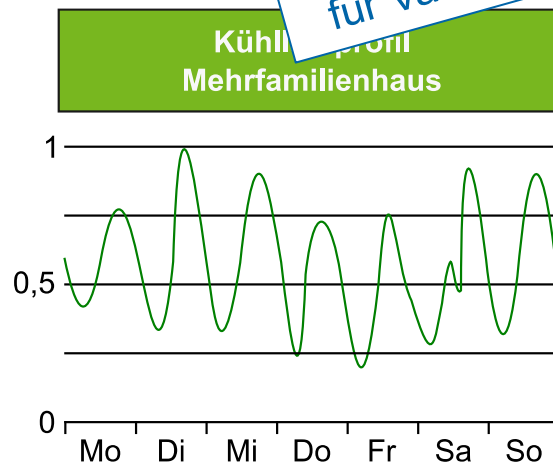
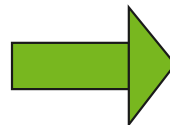
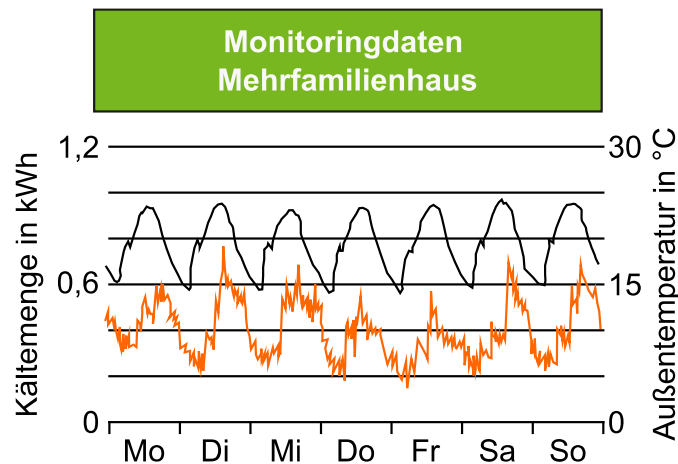
Präferierte Variante für CoolSaxony



Einblick in Profilentwicklung

- Variante B: Nutzen von Realdaten um ein mittleres Profil zu erstellen

Alternative Variante für CoolSaxony, Realdaten für Validierung geplant



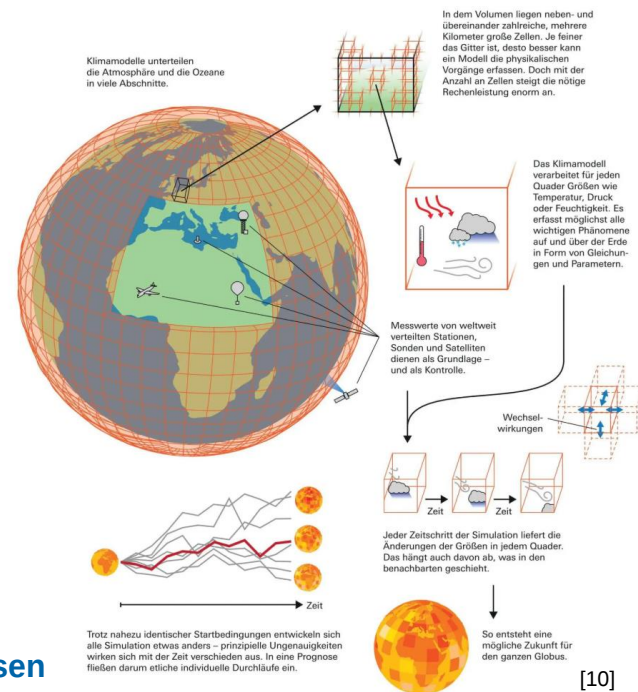
Entwicklung von Klimapfaden für das Projekt

[9] **Table 2** Overview of representative concentration pathways (RCPs)

	Description ^a	Publication—IA Model
RCP8.5	Rising radiative forcing pathway leading to 8.5 W/m ² (~1370 ppm CO ₂ eq) by 2100.	(Riahi et al. 2007)—MESSAGE
RCP6	Stabilization without overshoot pathway to 6 W/m ² (~850 ppm CO ₂ eq) at stabilization after 2100	(Fujino et al. 2006; Hijioka et al. 2008)—AIM
RCP4.5	Stabilization without overshoot pathway to 4.5 W/m ² (~650 ppm CO ₂ eq) at stabilization after 2100	(Clarke et al. 2007; Smith and Wigley 2006; Wise et al. 2009)—GCAM
RCP2.6	Peak in radiative forcing at ~3 W/m ² (~490 ppm CO ₂ eq) before 2100 and then decline (the selected pathway declines to 2.6 W/m ² by 2100).	(Van Vuuren et al., 2007a; van Vuuren et al. 2006)—IMAGE

^a Approximate radiative forcing levels were defined as $\pm 5\%$ of the stated level in W/m^2 relative to pre-industrial levels. Radiative forcing values include the net effect of all anthropogenic GHGs and other forcing agents

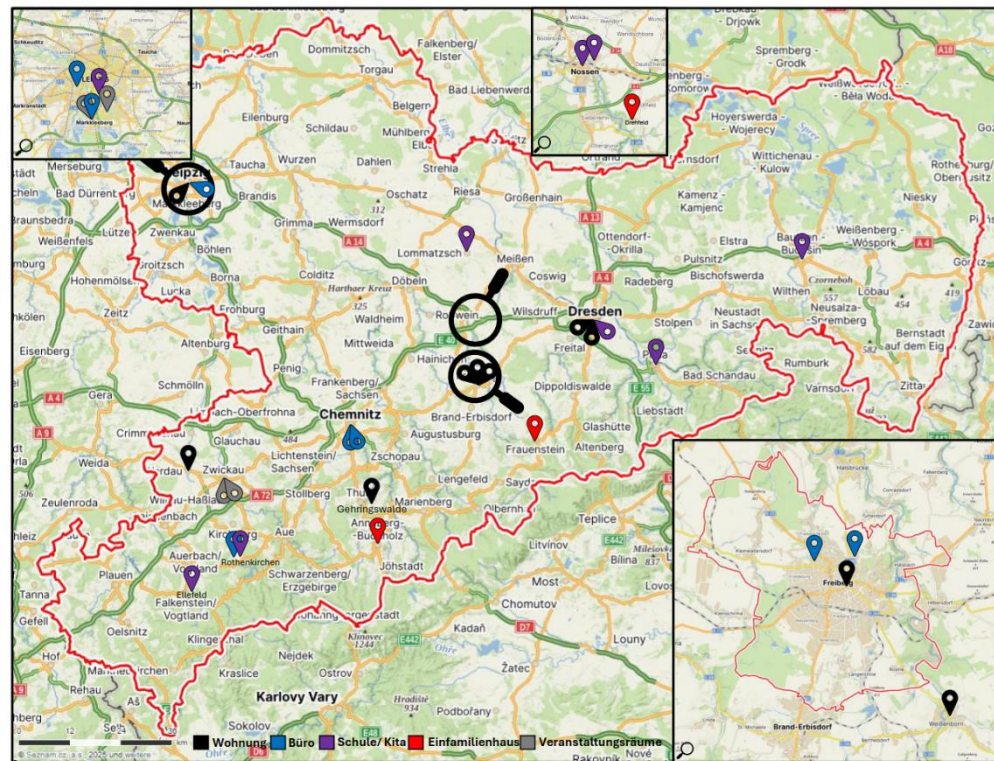
➔ RCP-Pfade als Basis für die klimatischen Entwicklungen in Sachsen



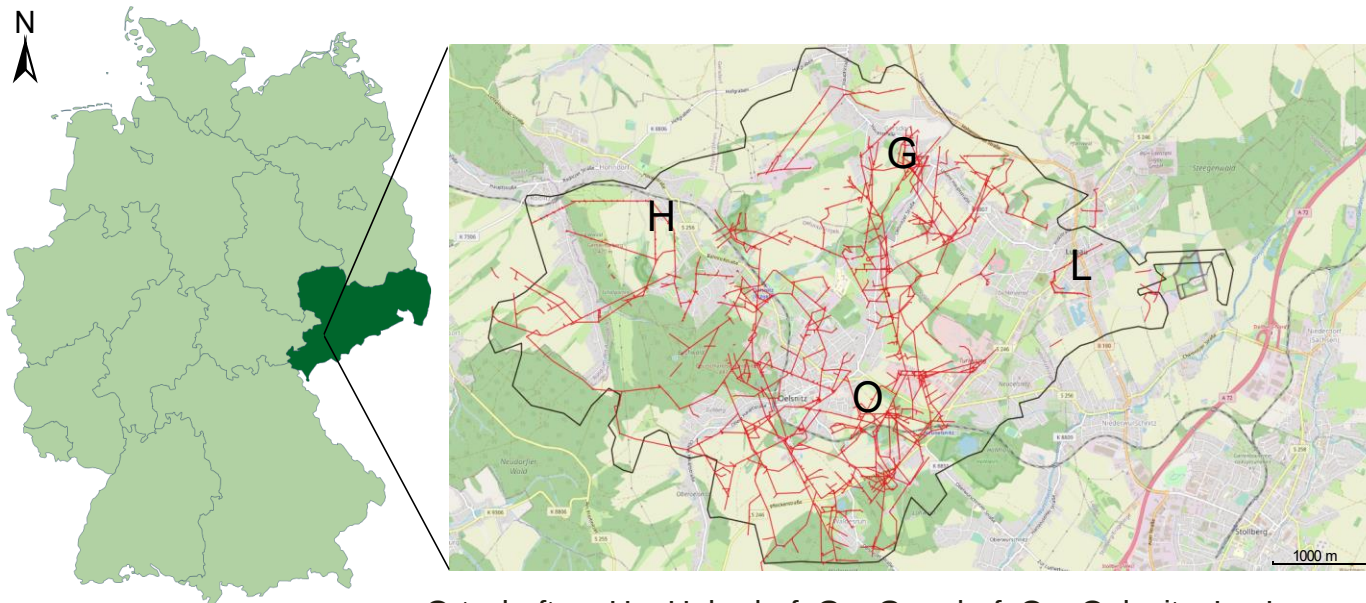
Erfassung von Validierungsdaten

- Erfassung von Raumtemperatur und CO₂-Emissionen an 35 Standorten in Sachsen
- Nutzung der Daten zur Validierung der gewählten Lastprofile:

- ⇒ Wie hoch ist der Kühlbedarf in sächsischen Gebäuden?
- ⇒ Wird der Kühlbedarf prognostiziert, der anhand der Messwerte berechnet wird?



Beispielanwendung: Grubenwasserquartier Gersdorf



Ortschaften: H – Hohndorf; G – Gersdorf; O – Oelsnitz; L – Lugau
Rot – Streckensystem

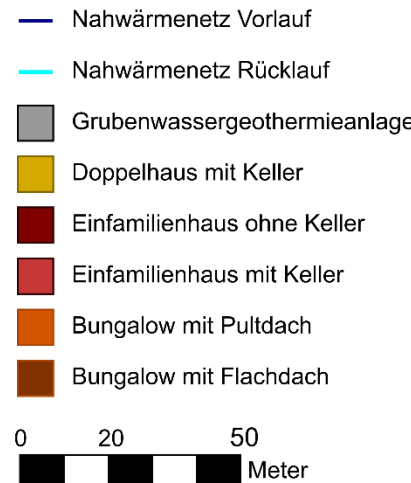
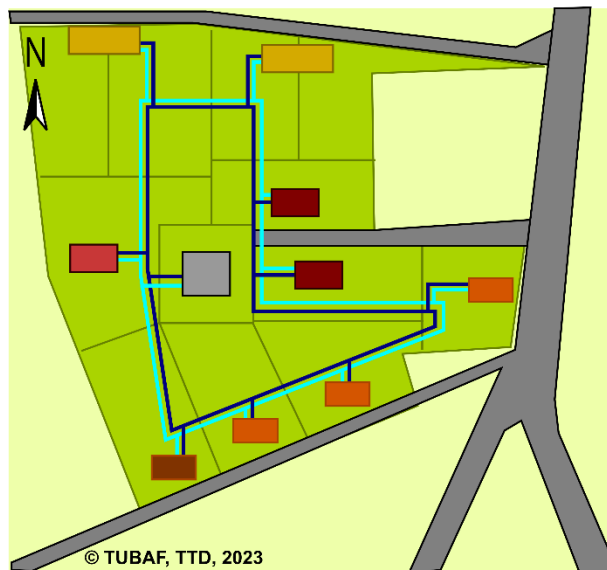
Beispielanwendung: Grubenwasserquartier Gersdorf



- Entwicklung eines möglichen Neubauquartiers auf dem ehemaligen Schachtgelände
 - Warmes Grubenwasser aus Schacht verfügbar: mind. 95 kW
 - Grubenwasser erreicht höchsten Punkt (320 m N.N.) gegen 2033
 - Standort der Grubenwassermessstelle
 - Bau des Quartiers kann 2030 beginnen

Beispielanwendung: Grubenwasserquartier Gersdorf

- 11-12 Grundstücke können verkauft werden
- Aktueller Plan (Simuliert):
 - 11 Grundstücke und Technikzentrale für Grubenwassergeothermie
 - Nutzung der Dachflächen für PV
 - Passivhausstandard

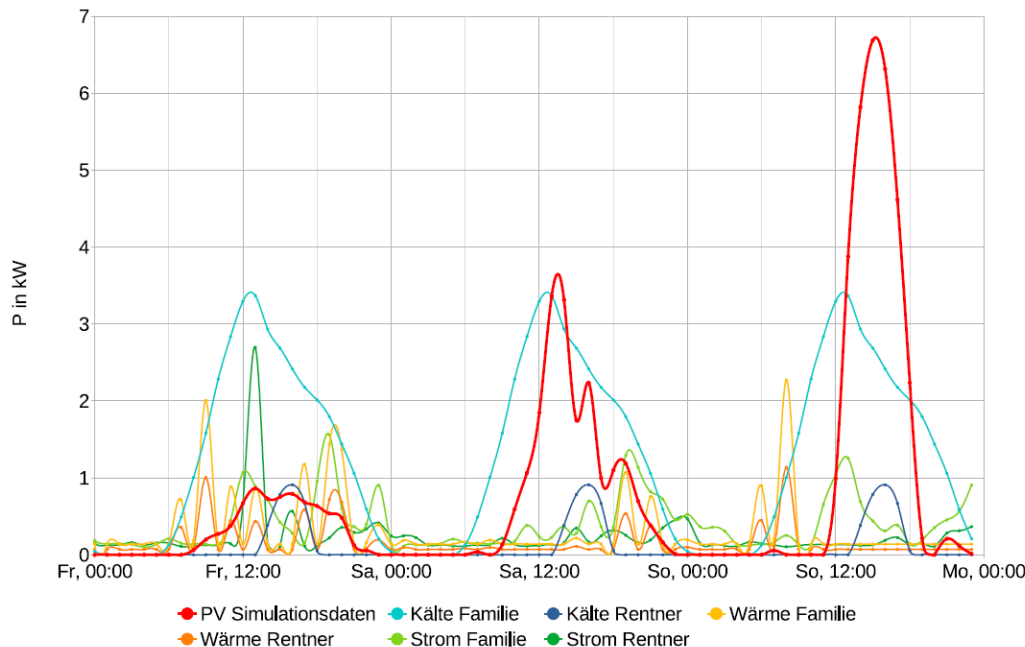


Beispielanwendung: Grubenwasserquartier Gersdorf

	Demand	Max. available energy
Heizen	51. 200 kWh	380.000 kWh (Grubenwasser)
Warmwasser		
Kühlen	41.900 kWh	1.380.000 kWh (Grubenwasser)
Elektrische Energie	24.000 kWh	88.000 kWh (Photovoltaik)

➔ Simulation des Kältebedarfs anhand von Lastprofilen

Beispielanwendung: Grubenwasserquartier Gersdorf



Ergebnisse:

- Simulationsergebnisse zeigen hohen Kühlbedarf bei Passivhäusern
- Grubenwassergeothermie kann Kühlbedarf komplett decken
- Kühlbedarf stark von Bewohnerstruktur abhängig
→ Vielzahl verschiedener Profile erforderlich

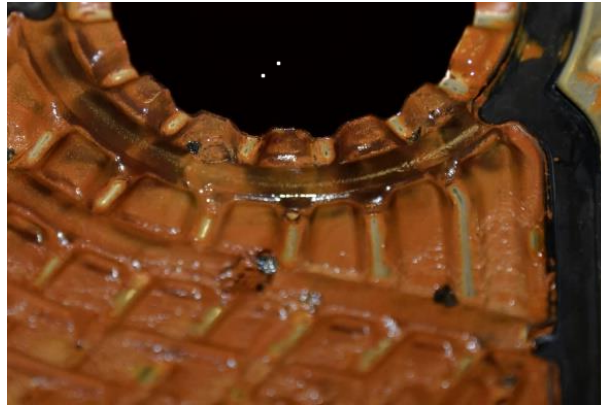
Was benötigen wir für das Projekt

- Realdaten zur Validierung der Kühllastprofile
 - Beispielsweise bestehende Messreihen zu Kühlleistung, wenn Kühlung verbaut wurde
 - Standorte für Erfassung von Realdaten: mit und ohne bestehende Kühlsysteme



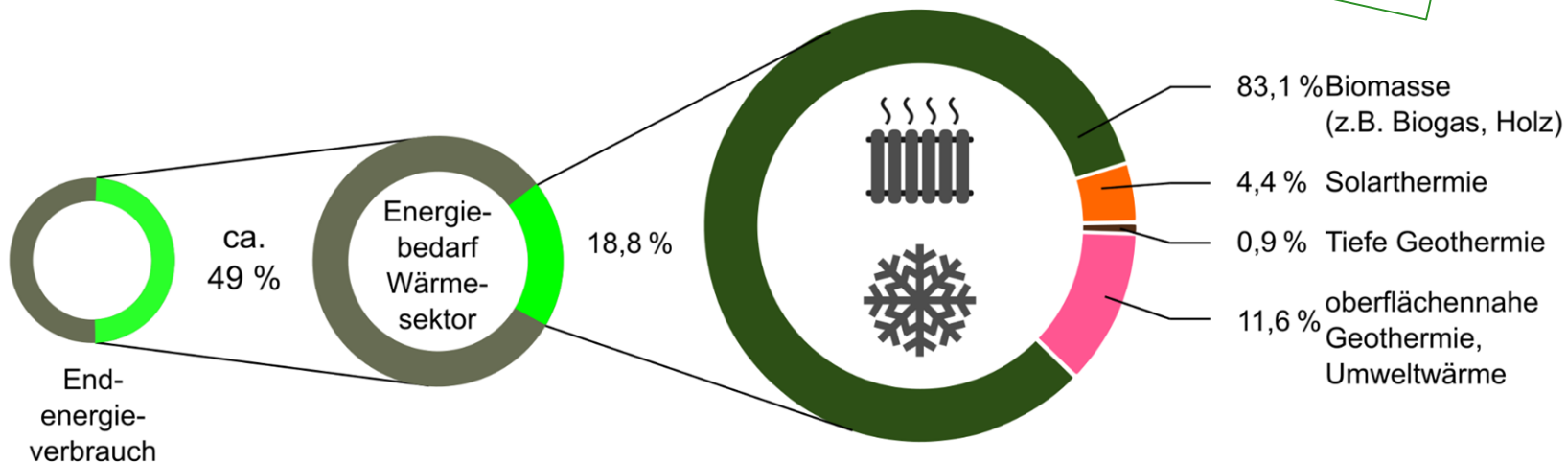
Aufruf für Beispielobjekte Messperiode 2026:
Gesucht werden Gebäude in ganz Sachsen

Update zu den Untersuchungen an Grubenwasserwärmespeichern

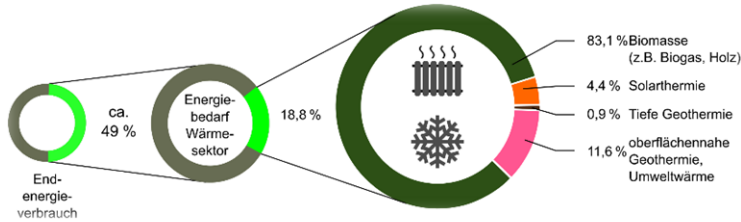


Lukas Oppelt, Timm Wunderlich, Thomas Grab, Tobias Fieback

Energieverbrauch in Deutschland 2023

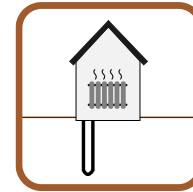


Energieverbrauch in Deutschland 2023



Rückblick 2024

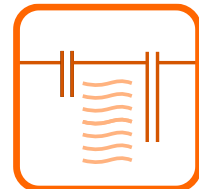
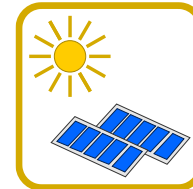
Geothermie



Wasser



Solarthermie + Speicher





- Wo liegen die Quellen
- Gibt es weitere Potenziale?
- Solarthermie, Abwärme, Überschussproduktion

Rückblick 2024

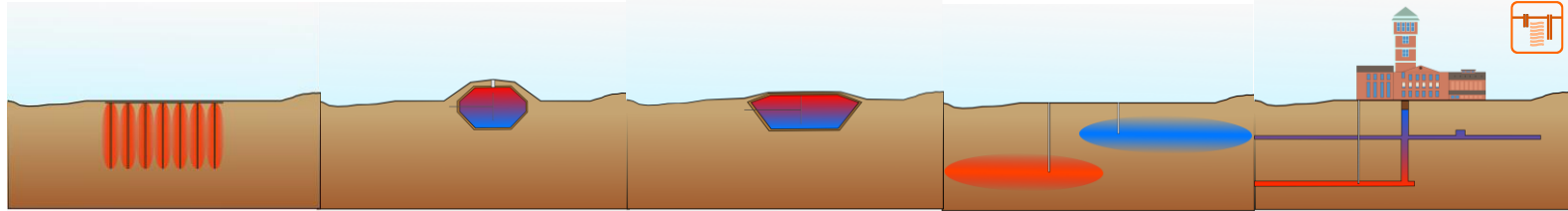
Sonden

Behälter

Erdbecken

Aquifer

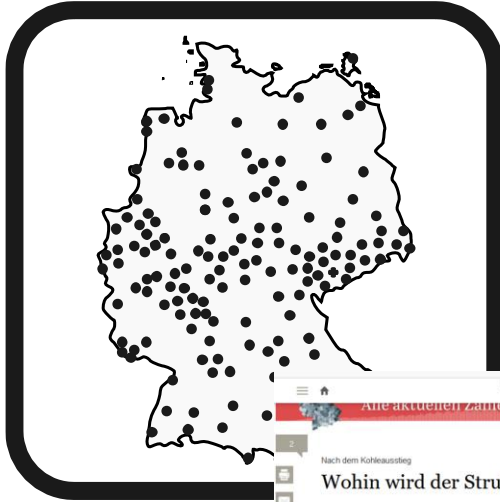
Grubenwasser



- Kombinationsmöglichkeiten
- Einbindung in Netze



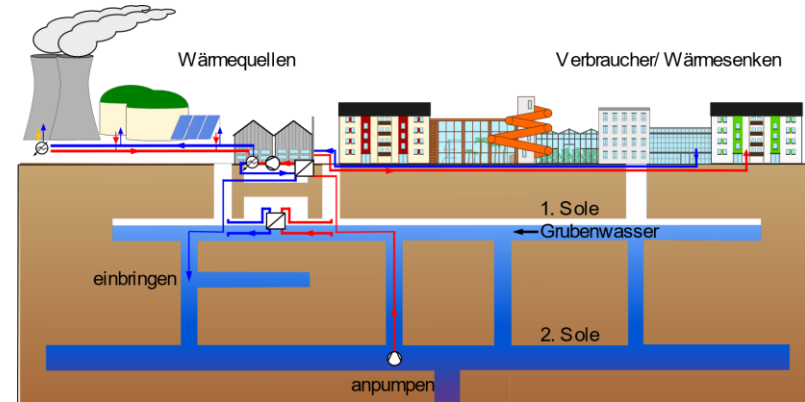
Bergwerke machen nur Probleme?



<https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/nach-dem-kohleausstieg-wohin-wird-der-strukturwandel-im-osten-fuehren/28392460.html>, 01.06.2022

Bergbaufolgelandschaften

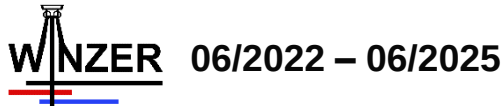
- Hohe Kosten für Sanierung
- teilweise Ewigkeitsaufgaben
- Akzeptanz, Arbeitsplatzverlust
- Umwelteinflüsse



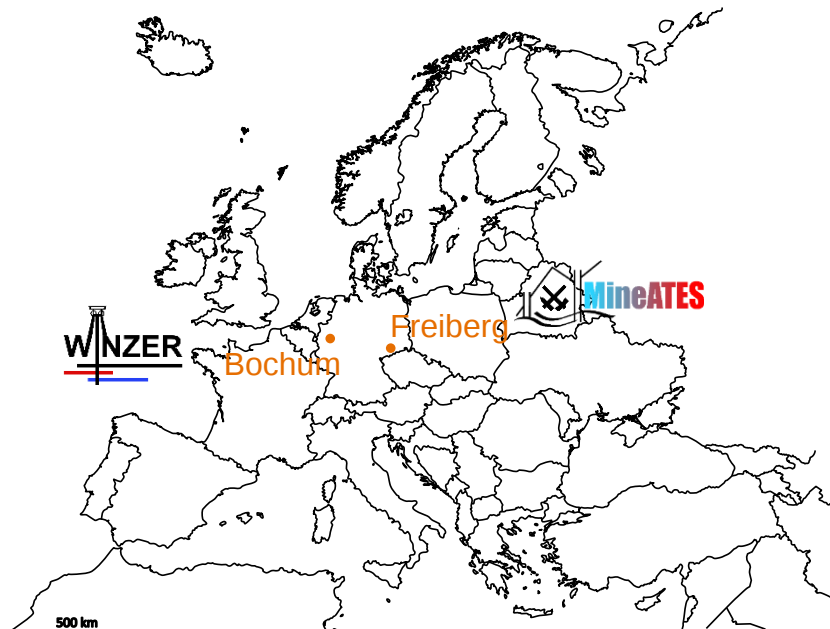
Schema energetische Grubenwassernutzung / Speicherung

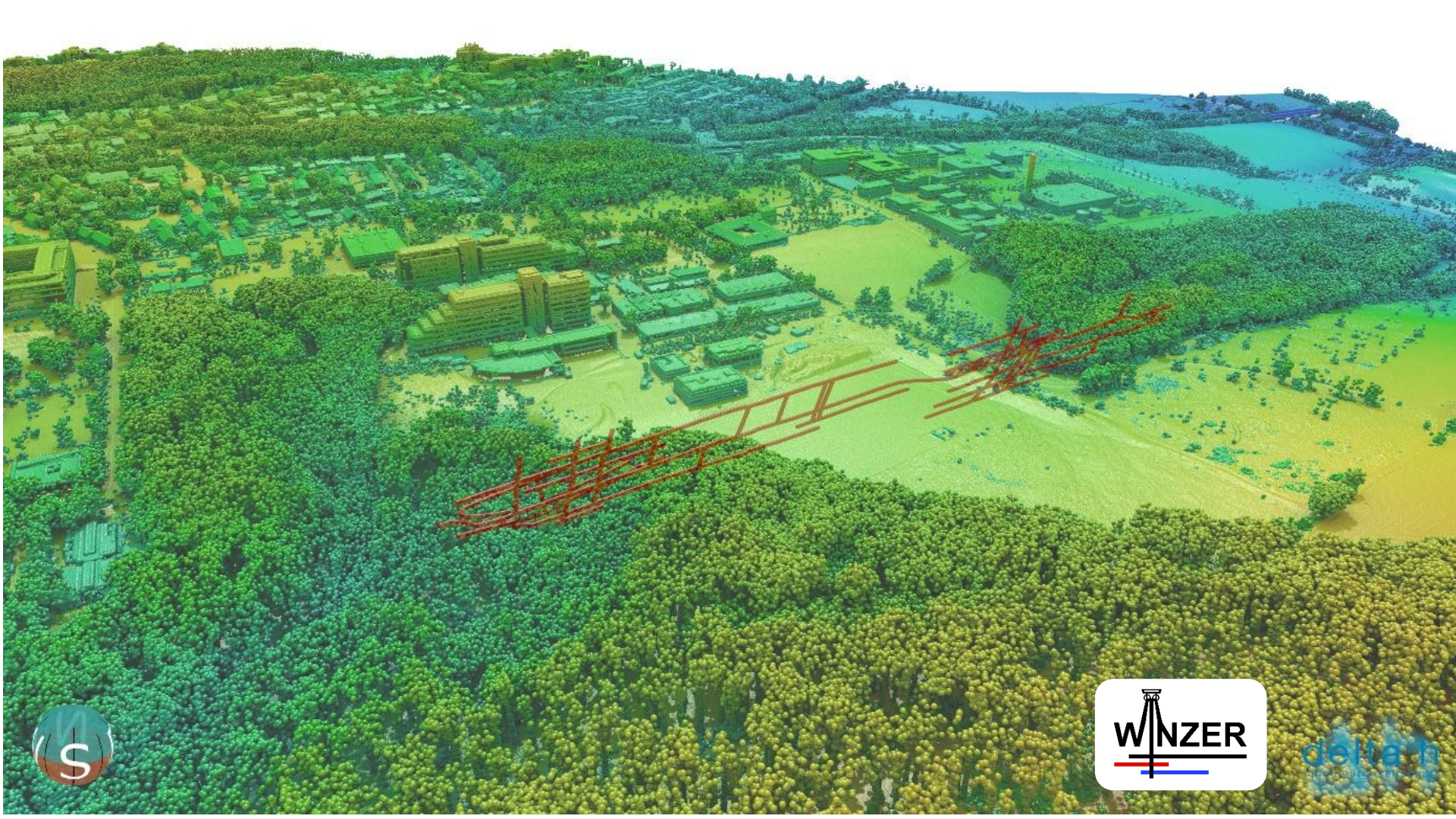


Erarbeiten eines Leitfadens unter welchen Voraussetzungen ein Bergwerk als Wärmespeicher geeignet ist



Optimierung des Betriebs von Wärmespeichern in Bergwerken





■ Entwicklung eines Versuchsstandes zur Entwicklung eines Wärmeübergabesystems für das Reallabor IEG Kleinzeche

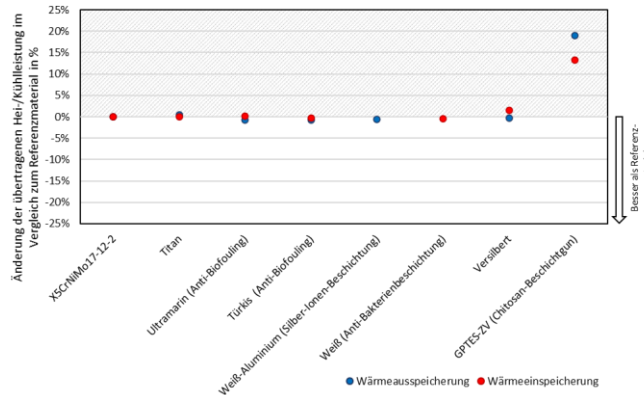
Anlagenfahrweise

- 2 Versuchsreihen in Bochum
- Entwicklung von Monitoringkennzahlen



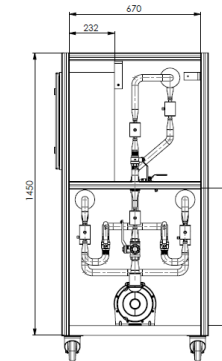
Wärmeübertrager

- Erprobung verschiedener Oberflächen und Feststoffprobe



Vorbehandlungsverfahren

- Bau eines Vorbehandlungsmoduls
 - UV-Filter
 - U.a. Sediment, Eisen, Aktivkohle

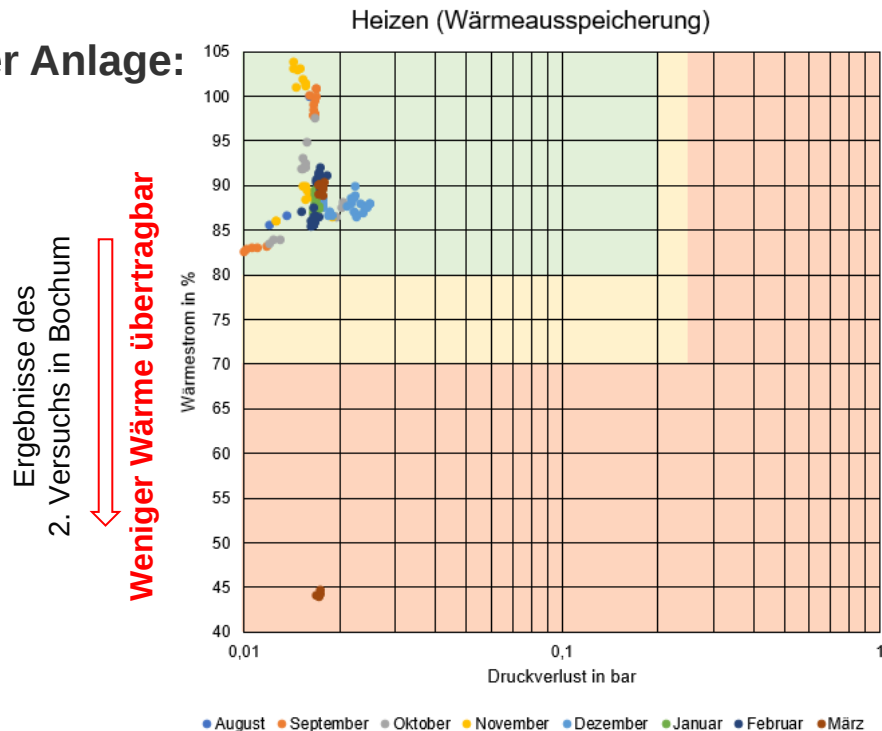


• Ziel: Aussage über aktuellen Zustand der Anlage:

- Wird noch ausreichend Wärme entzogen?
- Muss der Wärmeübertrager gereinigt werden?

• Bewertungsskala:

- Betrieb effektiv
→ Nutzung uneingeschränkt möglich
- Betrieb leicht ineffektiv
→ Reinigung/Warten planen
- Betrieb ineffektiv
→ Reinigung/Warten dringend ausführen



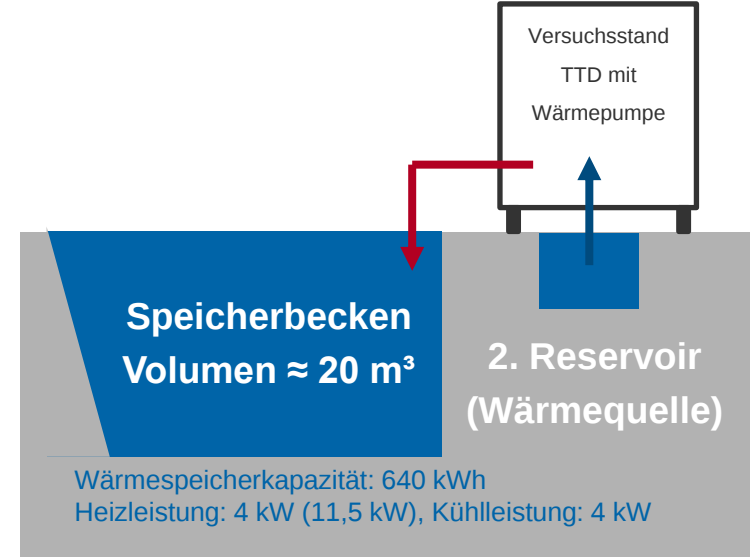
Mehr Druckverlust



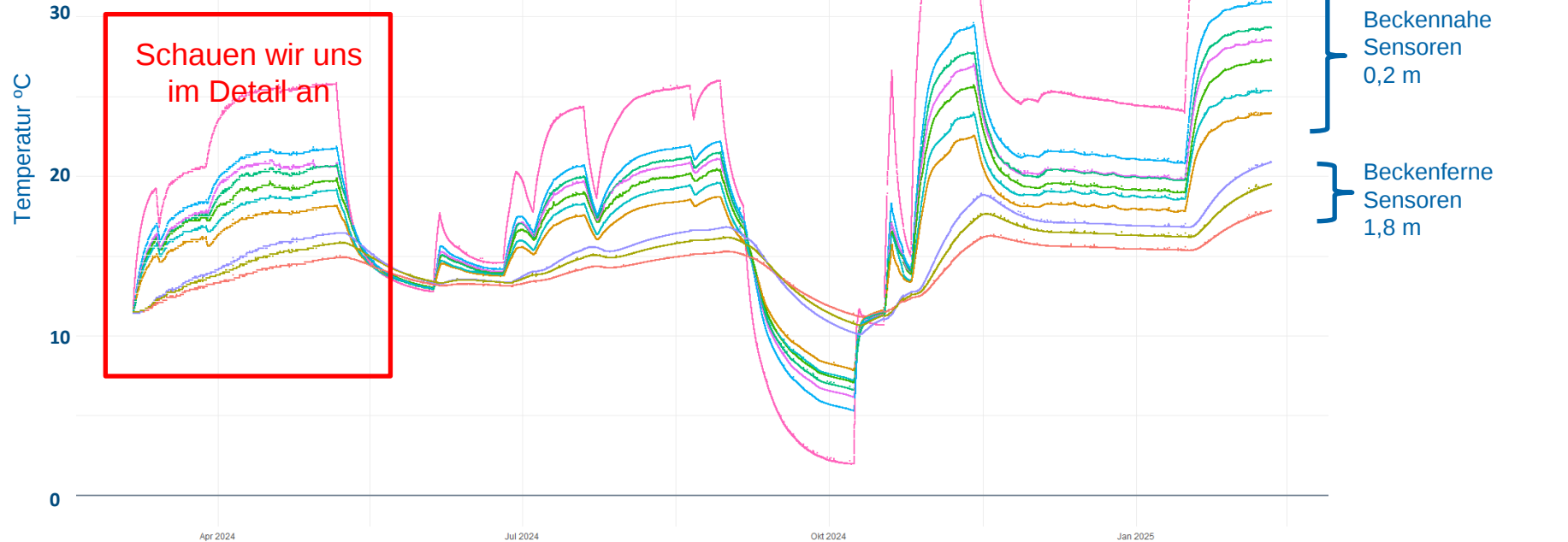
Einrichtung des Reallabors „Grubenwasserwärmespeicher“ in der Reichen Zeche Freiberg

Forschungsfragen:

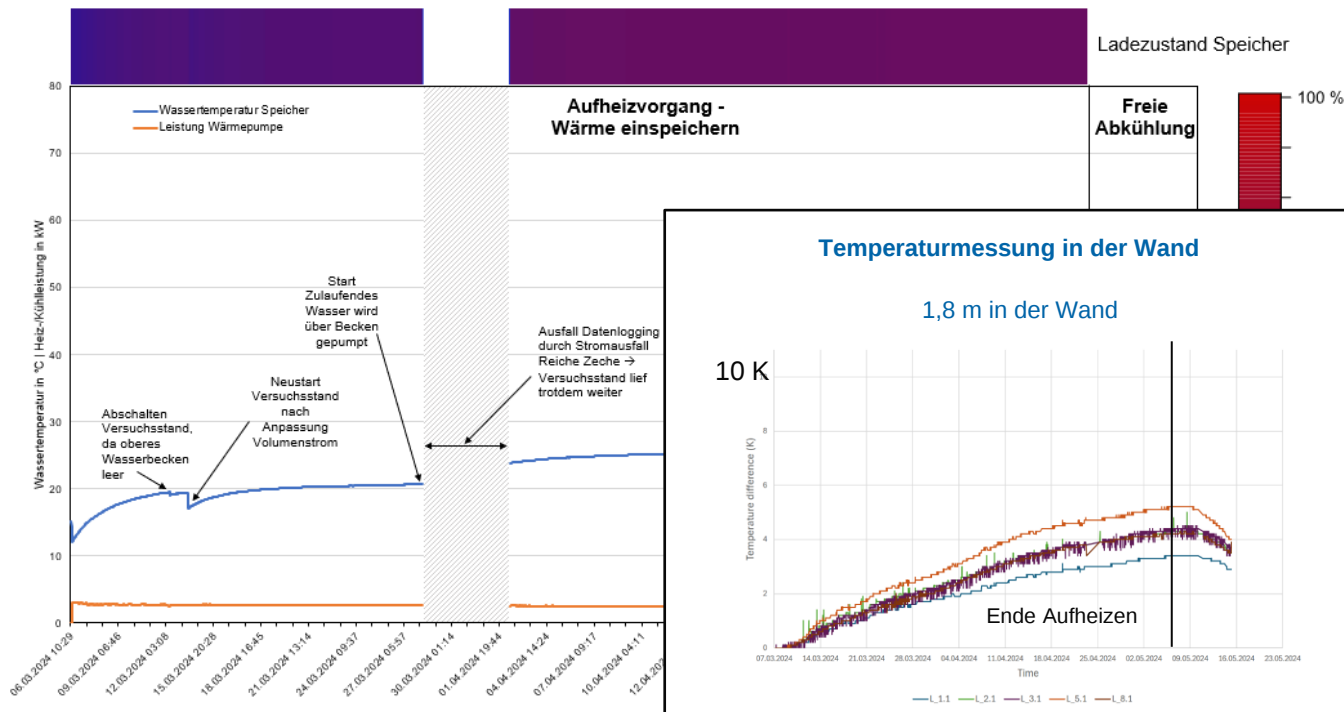
- Wie effizient funktioniert Wärme- und Kältespeicherung in stillgelegten und gefluteten Bergwerken?
- Welche Ablagerungen entwickeln sich im Wärmeübertrager, können diese prognostiziert werden?
- Welche Anforderungen ergeben sich an die verbaute Technik?



Bisher 3 Heiz- (Wärmeeinspeicherung) und 2 Kühlzyklen (Wärmeausspeicherung)



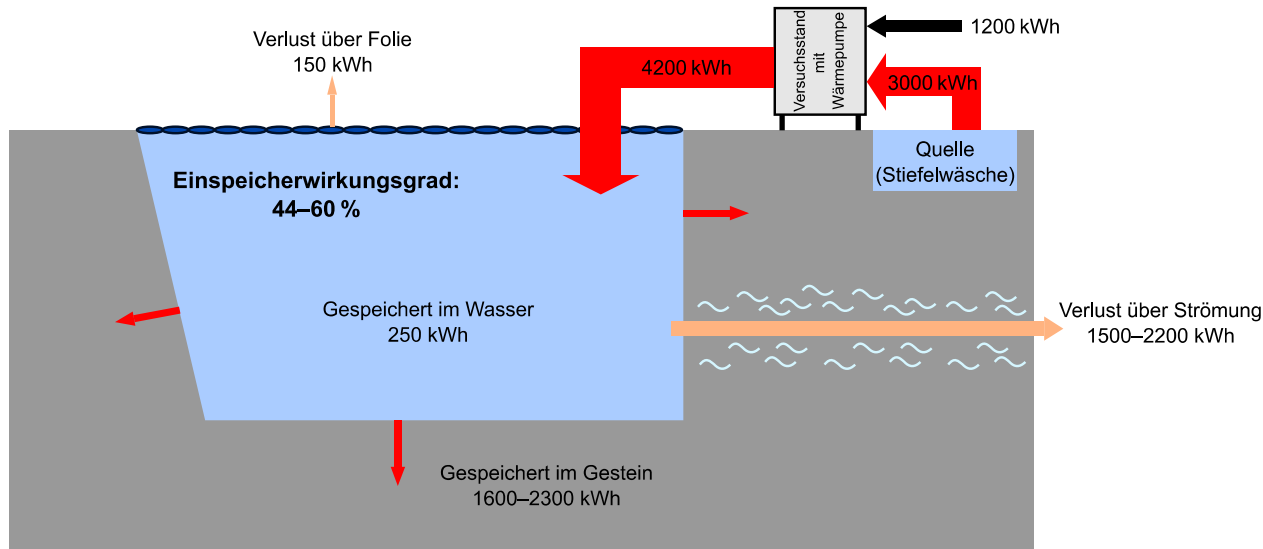
1. Versuchsreihe (März–Juni 2024)



Ergebnisse

- Wärmespeicherung möglich → aber ab 26 °C kann Temperatur nur noch gehalten werden
- Verluste über Folie und durch Strömung durch Becken

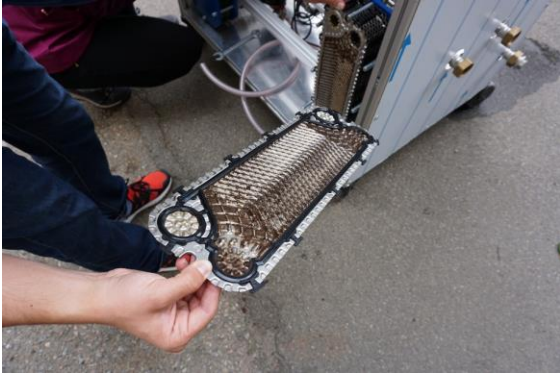
1. Versuchsreihe (März–Juni 2024)



Schlussfolgerung für weitere Versuche

- 2. Versuchsreihe bereits abgeschlossen mit aktiver Kühlung
- 3. Versuchsreihe mit Installation einer Zusatzheizung mit 8 KW → Aktiv seit Anfang Oktober bis Ende April

Problemstellung Fouling



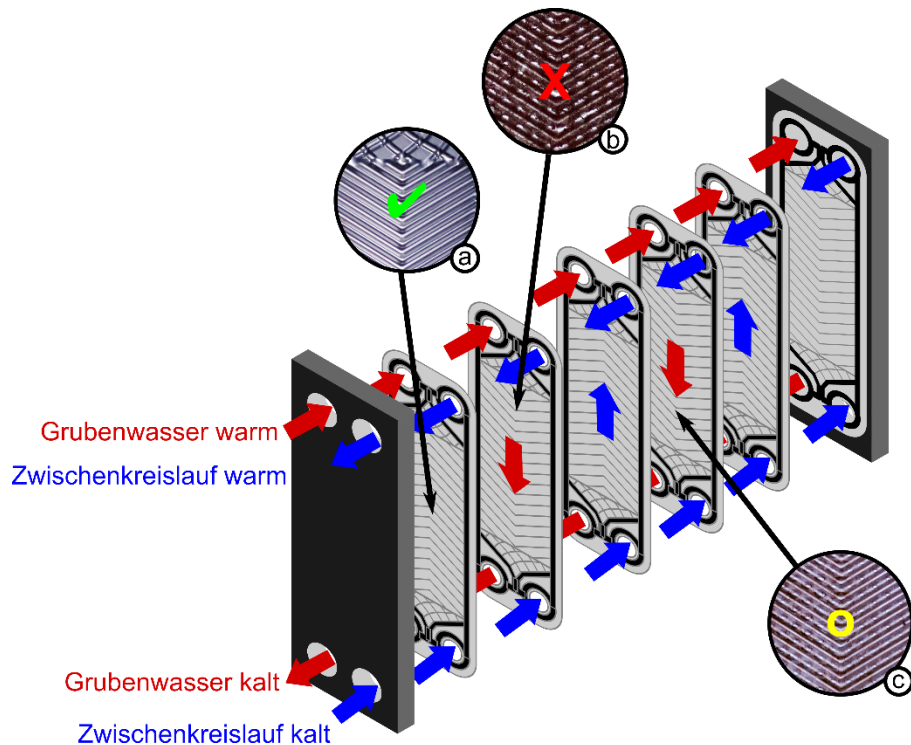
- Grubenwässer enthalten organische/ anorganische teilweise gelöst/ ungelöst Stoffe
- Chemismus ist jeweils vom Standort abhängig
- Anlage bewirkt Ausbildung von oftmals stabilen

Schichten (Fouling)

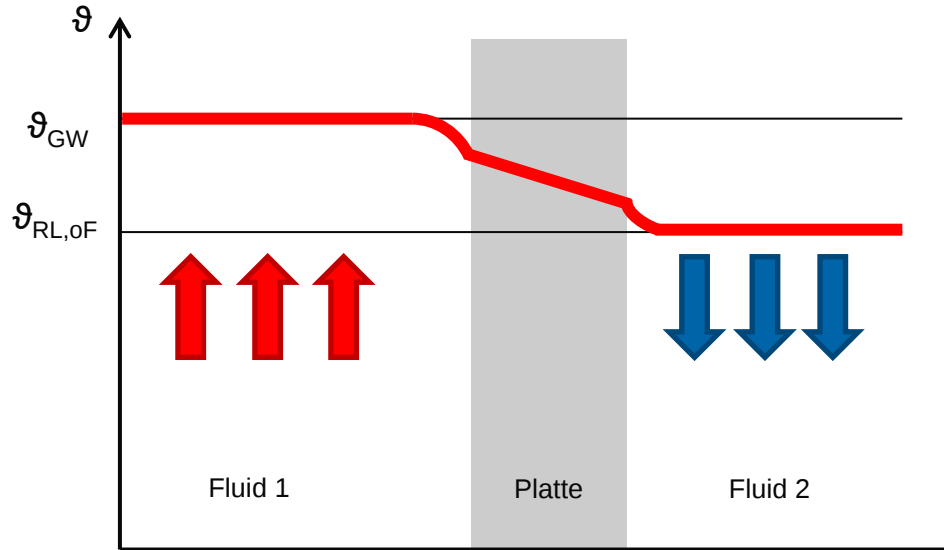
- Kristallisationsfouling
- Partikelfouling
- Reaktionsfouling
- Korrosionsfouling
- Biofouling



Einfluss der Wasserchemie auf den Anlagenbetrieb

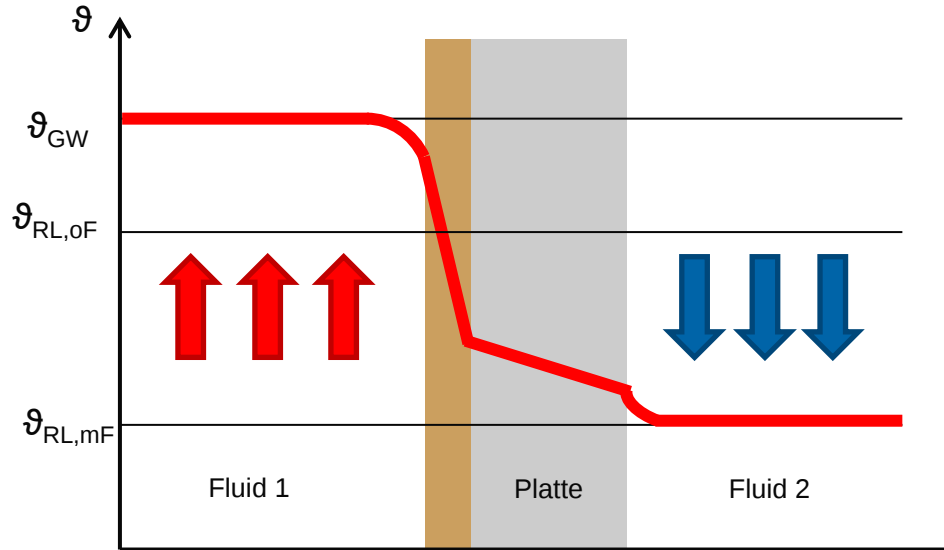


Fouling – Einfluss auf den Wärmedurchgang



Stoff	WLF in $\frac{W}{mK}$
Stahl	~ 50
Edelstahl	~ 15

Fouling – Einfluss auf den Wärmedurchgang



Stoff	WLF in $\frac{W}{mK}$
Stahl	~ 50
Edelstahl	~ 15
$CaCO_3$	~ 0,35
FeS	~ 1,2
Fe_2O_3	~ 0,6
Biofilm	~ 0,5-0,7

Quo vadis Wärmeübertrager für Grubenwasser?

Charakteristik Grubenwasser



Fouling wird relevanten
Einfluss haben?



Was hat Einfluss?

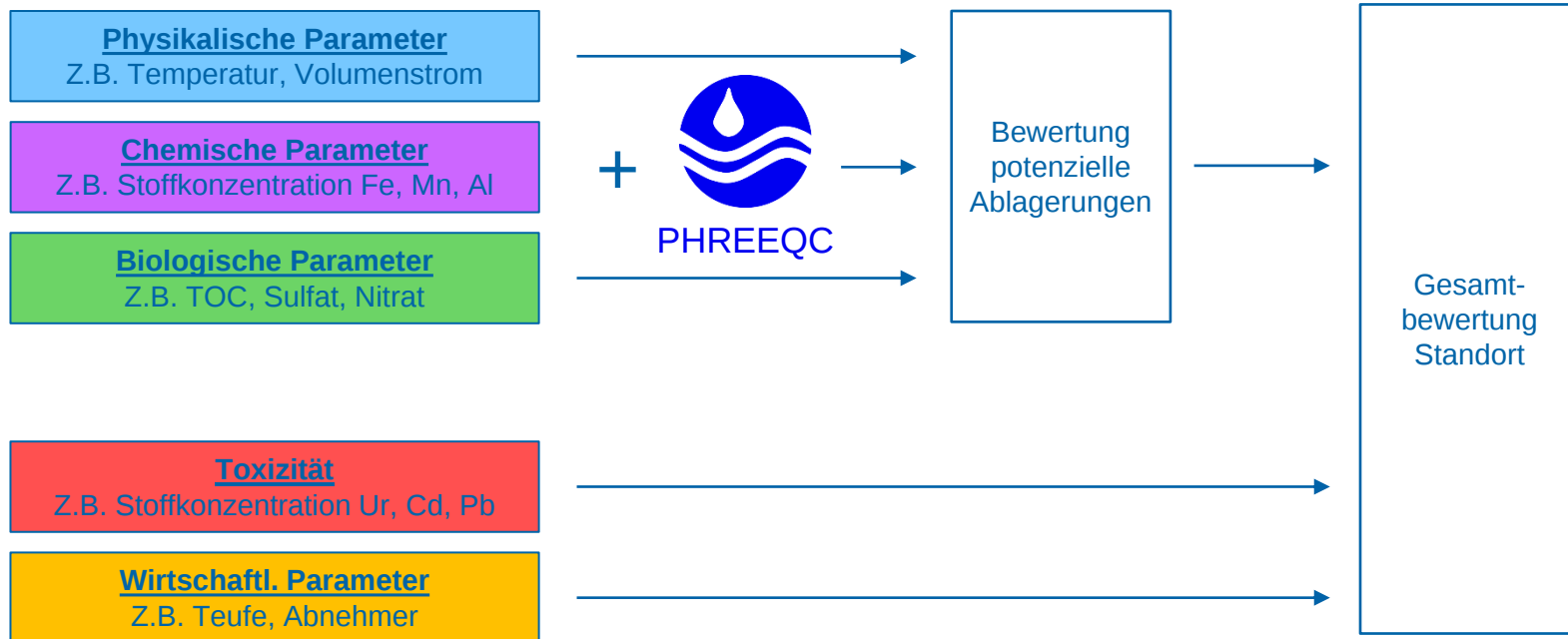


Wie kann dem
entgegengewirkt werden?

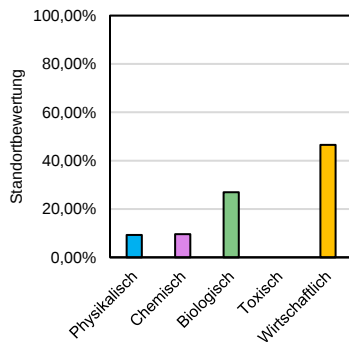


Wärmeübertrager-
design

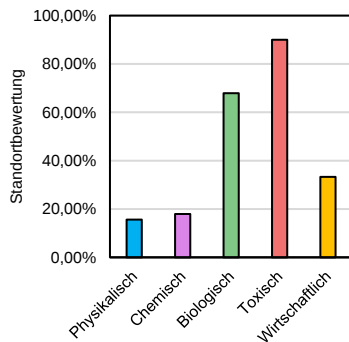




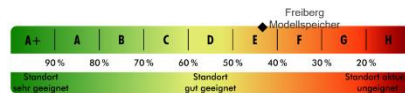
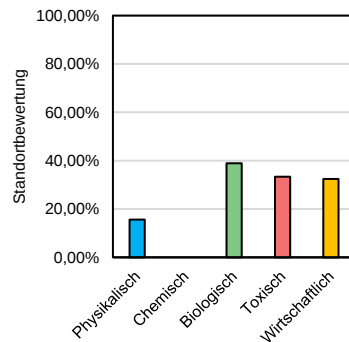
Mariánské Radčice Braunkohle



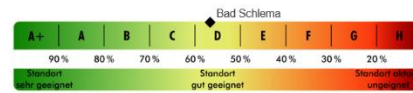
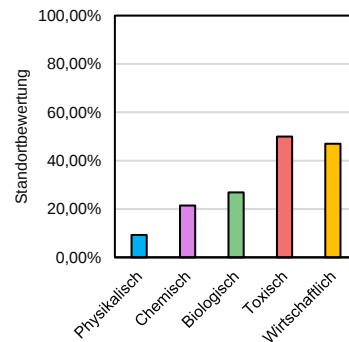
Bochum Steinkohle



Freiberg Silber



Bad Schlema Uran

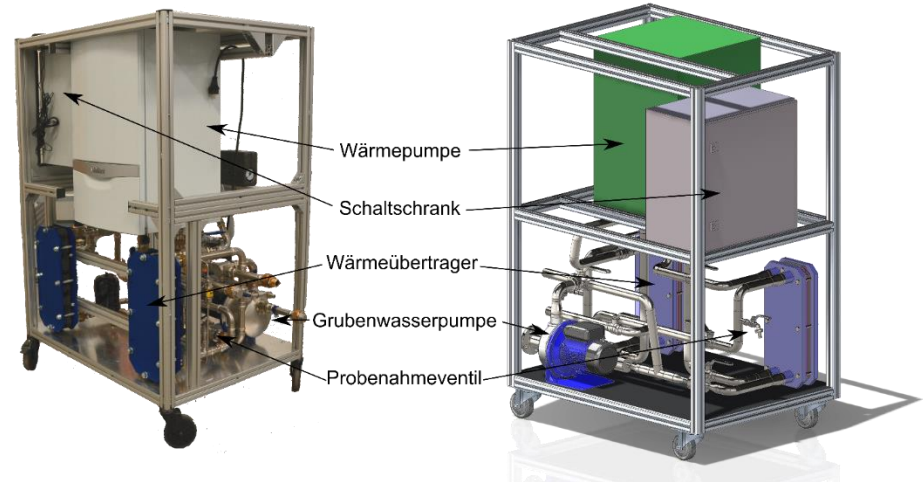
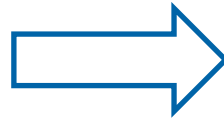


Was ist eigentlich eine „gute“ Bewertung?



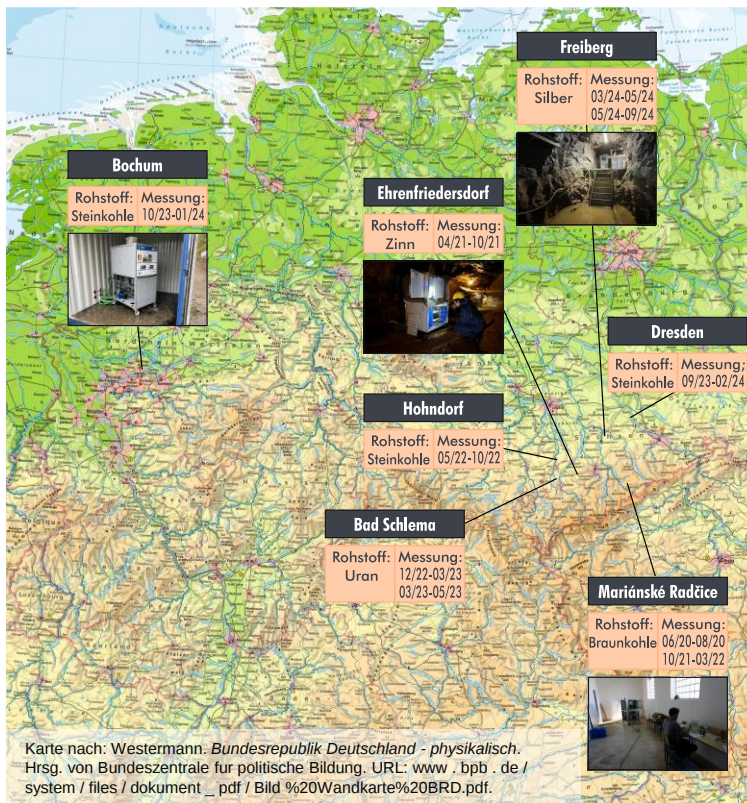
Verknüpfung Ergebnisse der Bewertung
mit Versuchsergebnissen 1. Generation

Validierung mit dem Wärmepumpenversuchsstand



- Wärmepumpe VWS 36/4.1 • 230 V
 - bis 4 kW Heizleistung Versorgungsspannung
 - 0 – 30 °C
 - Kompakte Ausführung
- Quellentemperatur 80x100x150 cm

Wärmepumpenversuchsstand - Standorte



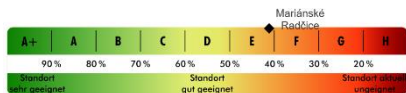
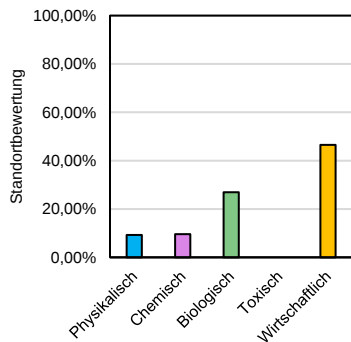
Bisher:

- 13 Versuchsreihen an 8 Standorten
- Bergwerke: Steinkohle, Braunkohle, Silbererz, Zinnerz, Uranerz

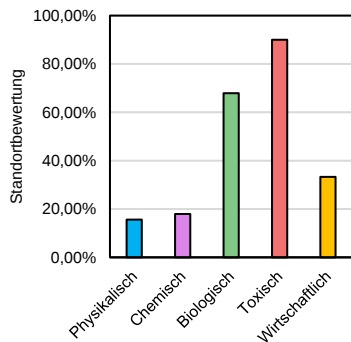
Aktuell/Geplant:

- Weitere Versuchsreihe in Freiberg

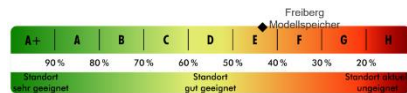
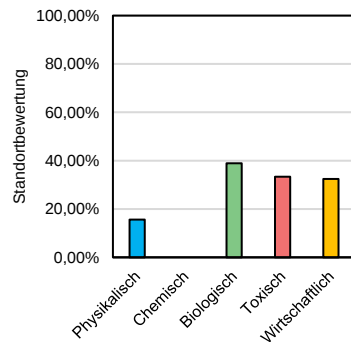
Mariánské Radčice Braunkohle



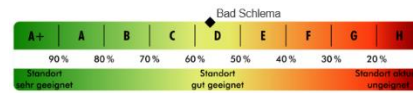
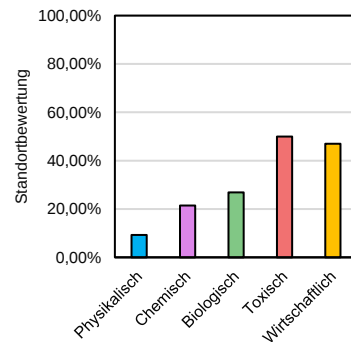
Bochum Steinkohle



Freiberg Silber



Bad Schlema Uran

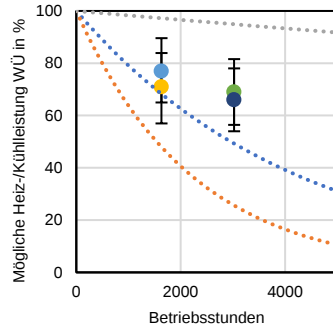


Was ist eigentlich eine „gute“ Bewertung?



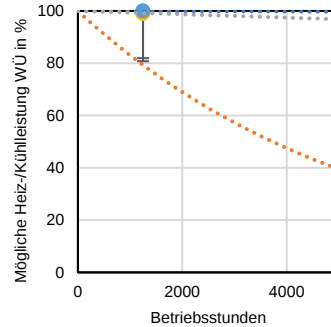
Verknüpfung Ergebnisse Bewertung mit Versuchsergebnissen 1. Generation

Mariánské Radčice Braunkohle



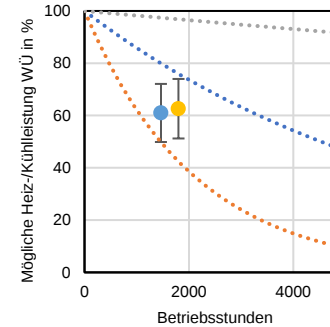
Foulingbewertung: 16,21 %

Bochum Steinkohle



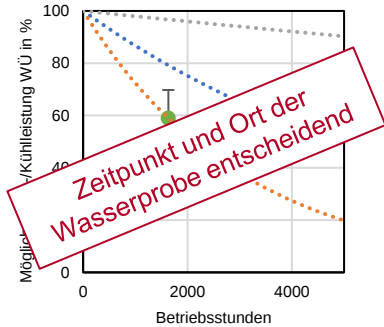
Foulingbewertung: 42,62 %

Freiberg Silber



Foulingbewertung: 21,40 %

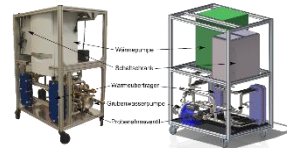
Bad Schlema Uran



Foulingbewertung: 23,13 %



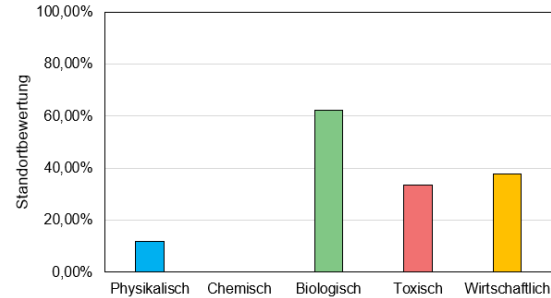
Passen die Messergebnisse dazu?





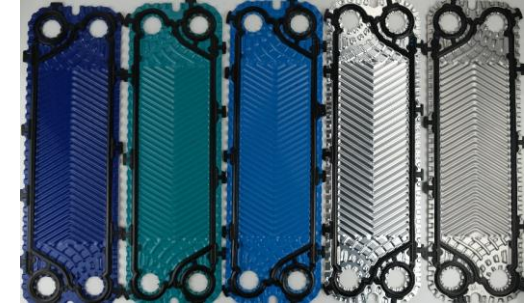
Speicherversuche

- Wärmespeicherung erfolgreich
- Speicherwirkungsgrad im Bereich 45 bis 60 %



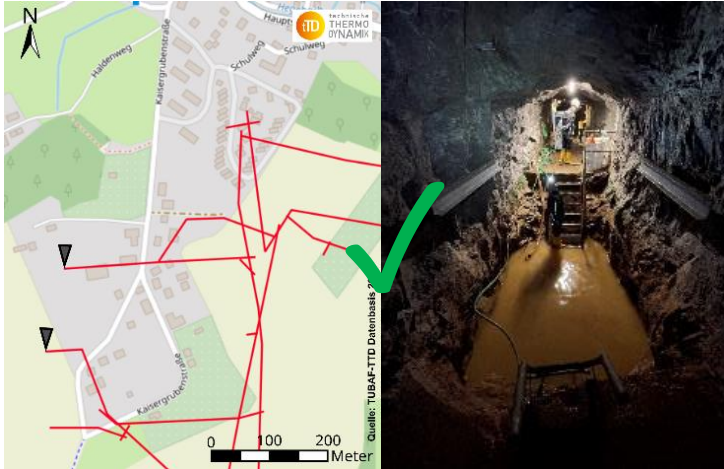
Standortbewertung

- Vorbewertung aussagekräftig
- Validierung erfolgt, bestätigte Prognose in > 80 %



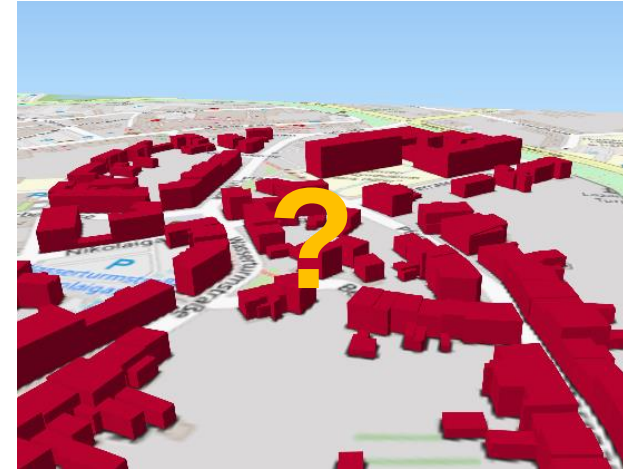
Wärmeübertragerdesign

- Ableiten einer Verknüpfung zwischen Literaturdaten und Standortbewertung
- Auch Prognose des besten Materials möglich



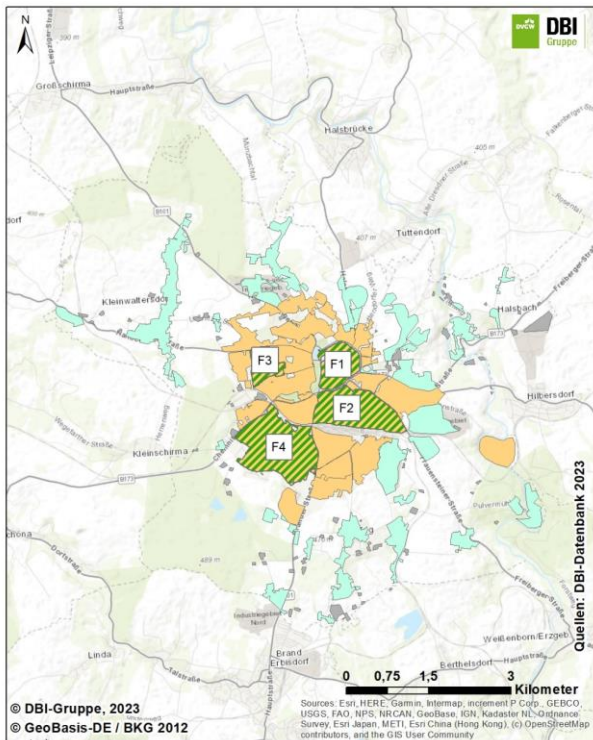
Untertage

- Speicherwirkungsgrad $\approx 50 \%$
- Effektiver Wärmeübertrager



Übertage

- Sind Abnehmer verfügbar?
- Kann Wärme eingespeichert werden?



Welche Quartiere sollten betrachtet werden?

- Definierte Auswahlkriterien:
 - Anzahl der Wärmeabnehmer ≥ 5
 - Wärmebedarfsdichte $> 30 \text{ KWh}/(\text{m}^2\text{a})$
 - Wärmebedarf $> 10 \text{ GWh/a}$

Simulierter Wärmebedarf der Quartiere

	Wärmebedarf [GWh/a]
F1 (Innenstadt)	44,25
F2 (Bahnhofsvorstadt)	46,92
F3 (Friedeburg)	15,38
F4 (Wasserberg)	62,21

Energiesituation Übertage → Beispiel Freiberg (F1 Innenstadt)

möglicher solarthermischer Ertrag der Dachflächen [kWh / a]

Gebäude ohne Potential	50.000 - 75.000	150.000 - 200.000
<25.000	75.000 - 100.000	200.000 - 250.000
25.000 - 50.000	100.000 - 150.000	>250.000



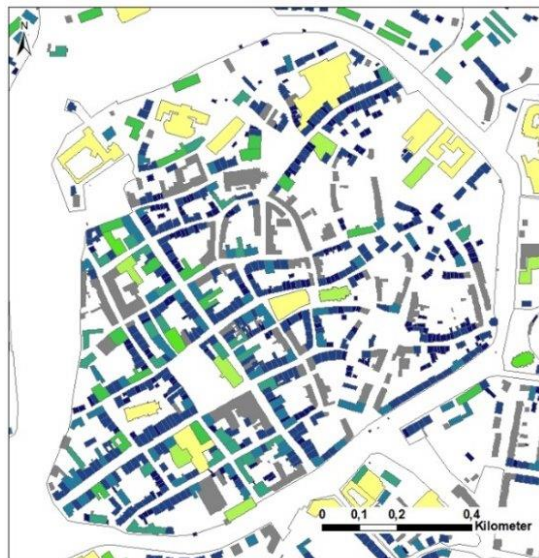
Welche Wärme steht zum Einspeichern zur Verfügung?

- Betrachtete Wärmequellen:
 - Solarthermische Potenziale im Untersuchungsgebiet, insbesondere solarthermische Dachpotenziale
 - Kühlbedarf pro Gebäude für Wohngebäude und Nichtwohngebäude,
 - Abwärmepotenziale aus Industriebetrieben, insbesondere aus den Branchen der Metall-, Lebensmittel-, Glas- und Papierindustrie, sowie
 - Überschüsse und abgeregelte erneuerbare Strommengen, insbesondere aus Photovoltaik und Wind

Energiesituation Übertage → Beispiel Freiberg (F1 Innenstadt)

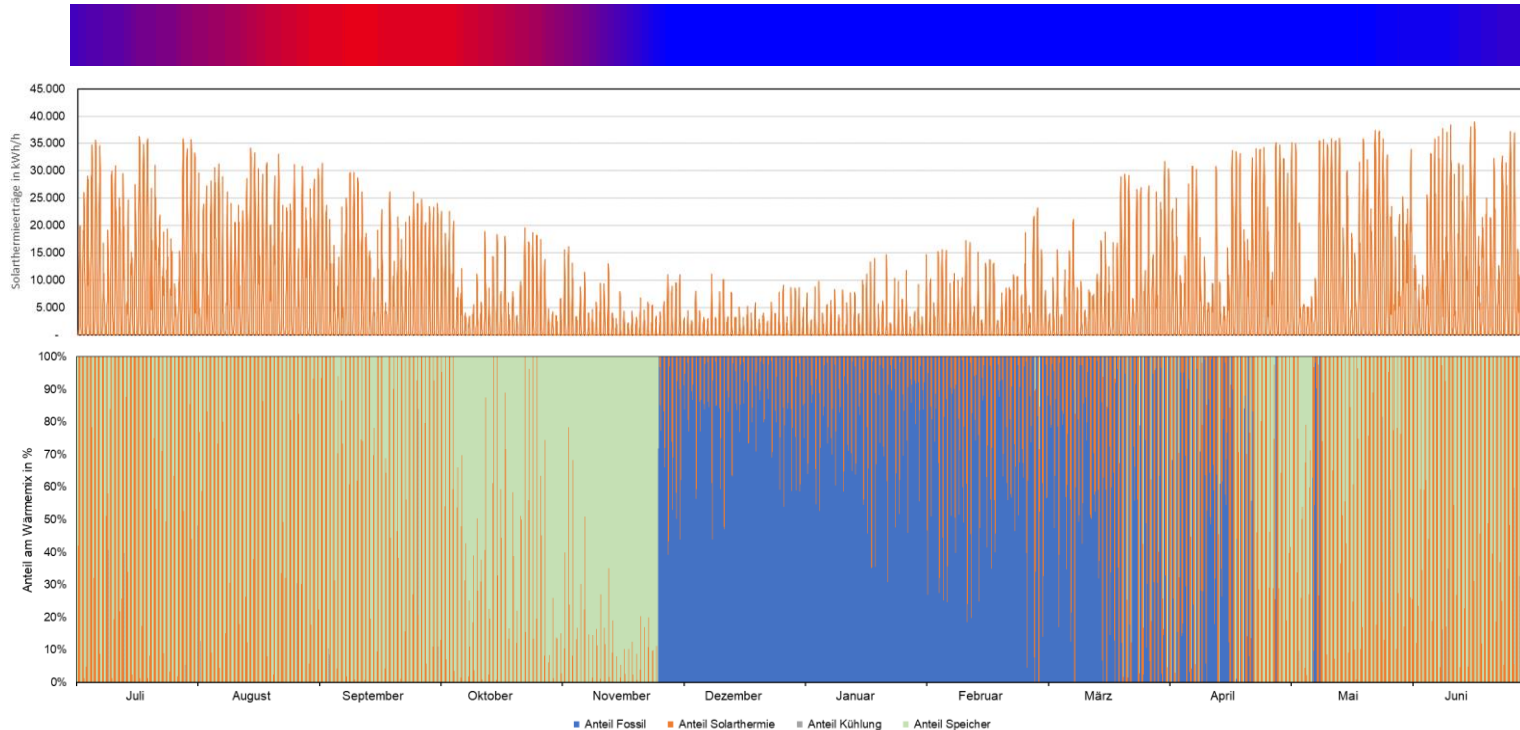
möglicher solarthermischer Ertrag der Dachflächen [kWh / a]

Gebäude ohne Potential	50.000 - 75.000	150.000 - 200.000
<25.000	75.000 - 100.000	200.000 - 250.000
25.000 - 50.000	100.000 - 150.000	>250.000

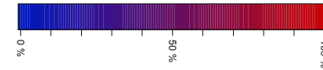


Welche Wärme steht zum einspeichern zur Verfügung?

- Beispielrechnung für F1 Innenstadt
- Annahmen Wärmequellen:
 - 25 % solarthermische Potenziale + Kühlbedarf
 - 50 % Wirkungsgrad Grubenwärmespeicher
- Regenerativer Anteil Quartierswärme:
 - Ohne Speicher: 40 %
 - Mit Speicher: 58 %
- Integration weiterer Wärmequellen, z.B. industrielle Abwärme möglich



Ladezustand
Speicher



Beispielspeicher:

$V_{\text{grubenwasser}}$:
130.000 m³

Wasser

T_{max} : 50 °C

T_{min} : 2 °C

1. Unter welchen Voraussetzungen ist ein geflutetes Bergwerk als Speicher geeignet? Wie funktionierte es im Betrieb?
 - Erste Versuche im kleinen Maßstab erfolgreich
 - Validierung eines Simulationsmodells zur Wärmespeicherung (Paper bereits veröffentlicht)
2. Wie kann ich den Speicher effektiv nutzen und monitoren?
 - Grubenwassercharakteristik und Strömungen haben großen Einfluss auf Effizienz
 - Aktuell weitere Versuche mit aktiver Kühlung und höheren Speichertemperaturen
 - Ablagerungen im Wärmeübertrager können prognostiziert werden
 - Am besten geeignetste Material kann anhand der entwickelten Bewertung abgeleitet werden
3. Welche Wärmequellen stehen übertage zum Speichern zur Verfügung?
 - Integration der Speicher aus technischer Sicht sinnvoll
 → aktuell ökologische und ökonomische Betrachtung
 - Erschließung weiterer Wärmequellen erforderlich
 → Speichern der Kühlenergie aus dem Sommer für den Winter nicht ausreichend

- Anzeige -

Simulationen:

QR-Code zum
Paper: Chen et al.



Grubenwasser.:

QR-Code zum
Paper: Oppelt et al.



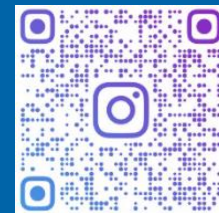


Vielen Dank für
Ihr Interesse!

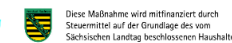
Mehr Informationen:
[tu-freiberg.de/
fakult4/iwtt/ttd](https://tu-freiberg.de/fakult4/iwtt/ttd)



tubaf_ttd



TU BERGAKADEMIE FREIBERG
Gustav-Zeuner-Straße 7
09599 Freiberg



Lukas Oppelt
+49(0)3731 39-3277
lukas.oppelt@ttd.tu-freiberg.de

Timm Wunderlich
+49(0)3731 39-3276
tim.wunderlich@ttd.tu-freiberg.de

Dr. Thomas Grab
+49(0)3731 39-3004
thomas.grab@ttd.tu-freiberg.de

- [1] Agentur für erneuerbare Energien, 2025, Web-Adresse: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/anteile-erneuerbarer-energien-in-den-bereichen-strom-waerme-und-verkehr-in-deutschland-2000-bis-2024>, zuletzt abgerufen am 22.04.2025
- [2] Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW), 2025, Web-Adresse: <https://www.kww-halle.de/praxis-kommunale-waermewende/status-quo-der-kwp>, zuletzt abgerufen am 22.04.2025
- [3] ReKIS, „rekisviewer.hydro.tu-dresden.de,“ [Online]. Available: <https://rekisviewer.hydro.tu-dresden.de/fdm/ReKISExpert.jsp>. [Zugriff am 25 November 2020].
- [4] Darstellung des Hamburger Bildungsservers nach Van Vuuren, D.P., et al. (2011): The representative concentration pathways: an overview, Climatic Change 109, 5-31: <https://bildungsserver.hamburg.de/themenschwerpunkte/klimawandel-und-klimafolgen/klimawandel/rcp-szenarien-745656>. [Zugriff am 10 März 2025]
- [5] S. Pezzutto, S. Zambotti und S. e. a. Croce, „HoT MAPS – D2.3 WP2 Report - Open Data Set for the EU28.,“ Wien, 2020.
- [6] M. Janson, „Kühle Luft,“ 2019. [Online]. Available: <https://de.statista.com/infografik/18722/energieverbrauch-von-klimaanlagen/>.
- [7] ReKIS, „rekisviewer.hydro.tu-dresden.de,“ [Online]. Available: <https://rekisviewer.hydro.tu-dresden.de/fdm/ReKISExpert.jsp>. [Zugriff am 25 November 2020].
- [8] Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW), „Praxisinformation P 2007/13 Gastransport/Betriebswirtschaft: Abwicklung von Standardlastprofilen,“ BGW, Berlin, 2007.
- [9] van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M. et al. The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change 109, 5 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
F. Neumann: Klimaforschung: Aktuelle Modelle und ihre Vorhersagen, DAS WISSEN, 2024, Web-Adresse: <https://das-wissen.de/klimaforschung-aktuelle-modelle-und-ihre-vorhersagen/>, zuletzt abgerufen am 23.04.2025