

# Wärmekonzept Neuruppin

EW-K2 Beiratstreffen

Dr. Jan Steinbach, Eftim Popovski

Karlsruhe, 07. Dezember 2022

# Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien

## FORSCHUNGSINSTITUT

Nachhaltigen Energie- und  
Ressourcennutzung



## ENERGIEPOLITIK UND ENERGIETECHNOLOGIEN

Bewertung und Design von Politikinstrumenten im  
Gebäude- und Industriebereich  
Szenarienanalysen Gebäudesektor

## SEIT 2006

Gründung als Spin-off vom  
Fraunhofer ISI in Karlsruhe  
20 Mitarbeiter



## SOZIALWISSENSCHAFTLICHE EVALUATION

Evaluation von Forschungs- und Förderprogrammen  
Akzeptanz Energietechnologien  
Akteursbeteiligungen

## KUNDEN

Bundes- und Landesministerien,  
Städte, Industrieunternehmen /  
Versorger, EU Kommission,  
Internationale Organisationen



## ENERGIEMANAGEMENT UND ENERGIESYSTEMMODELLE

Dekarbonisierung  
Wärmeversorgungsinfrastrukturen  
Energieeffizienz-/Klimaneutralitätsstrategien  
Industrieunternehmen

# Quantitative Analyse und Modellierung im Wärmebereich

## Systemanalyse und Modellierung

- Wissenschaftliche Methoden und Modelle im Bereich Energiebedarfsmodellierung und Wärmenetze
- Zentrale Studien zur Transformation der Wärmeversorgung und Wärmeinfrastrukturen in Deutschland

## Transformation und Wärmeplanung für Städte / Energieversorger

- Kommunale Wärmeplanung und Sanierungsstrategien
- Räumliche Potentialanalyse und Modellierung
- Ganzheitliche Sicht auf Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Akzeptanz

Auswahl  
Projekte

### Wege zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestandes IREES



#Energieszenarien  
#Modellierung #Gebäudesektor  
#Maßnahmen

### CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential Bremen

IREES  
research for future.

Bewertung des CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzials ausgewählter Maßnahmen im Bereich Gebäude & Wohnen für das Land Bremen

Endbericht

**Auftraggeber**  
Die Freie Hansestadt Bremen - Vertreten durch die Bremische Bürgerschaft

**Forschungsmethode/ Auftraggeber**  
IREES Institut für Ressourcenwirtschaft und Energiestrategien GmbH

**Projektpartner**  
Autoren:  
Dr. Jan Stankach, IREES  
Jana Deurer, IREES

**Bearbeitungszeitraum**  
Dr. Jan Stankach  
Tel.: +49 721 92326-15  
E-Mail: jstankach@ires.de

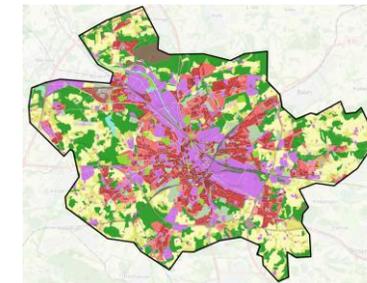
#Potentialanalyse  
#Wärmekatastar #Modellierung  
#Maßnahmen #Kommunale  
Transformation

### Politiksznarien IX/ X Projektionsbericht der Bundesregierung



#Energieszenarien  
#Modellierung #Gebäudesektor  
#Maßnahmen

### Masterplan Wärme Osnabrück



#Räumliche Wärmebedarfe  
#Modellierung  
#Potentialanalyse  
#Kommunale Transformation

### Sektorkopplung Lausitz



#Räumliche Wärmebedarfe  
#Modellierung  
#Potentialanalyse  
#Kommunale Transformation

# Agenda

1.

Modellierung und Bewertung  
Wärmenetzausbau

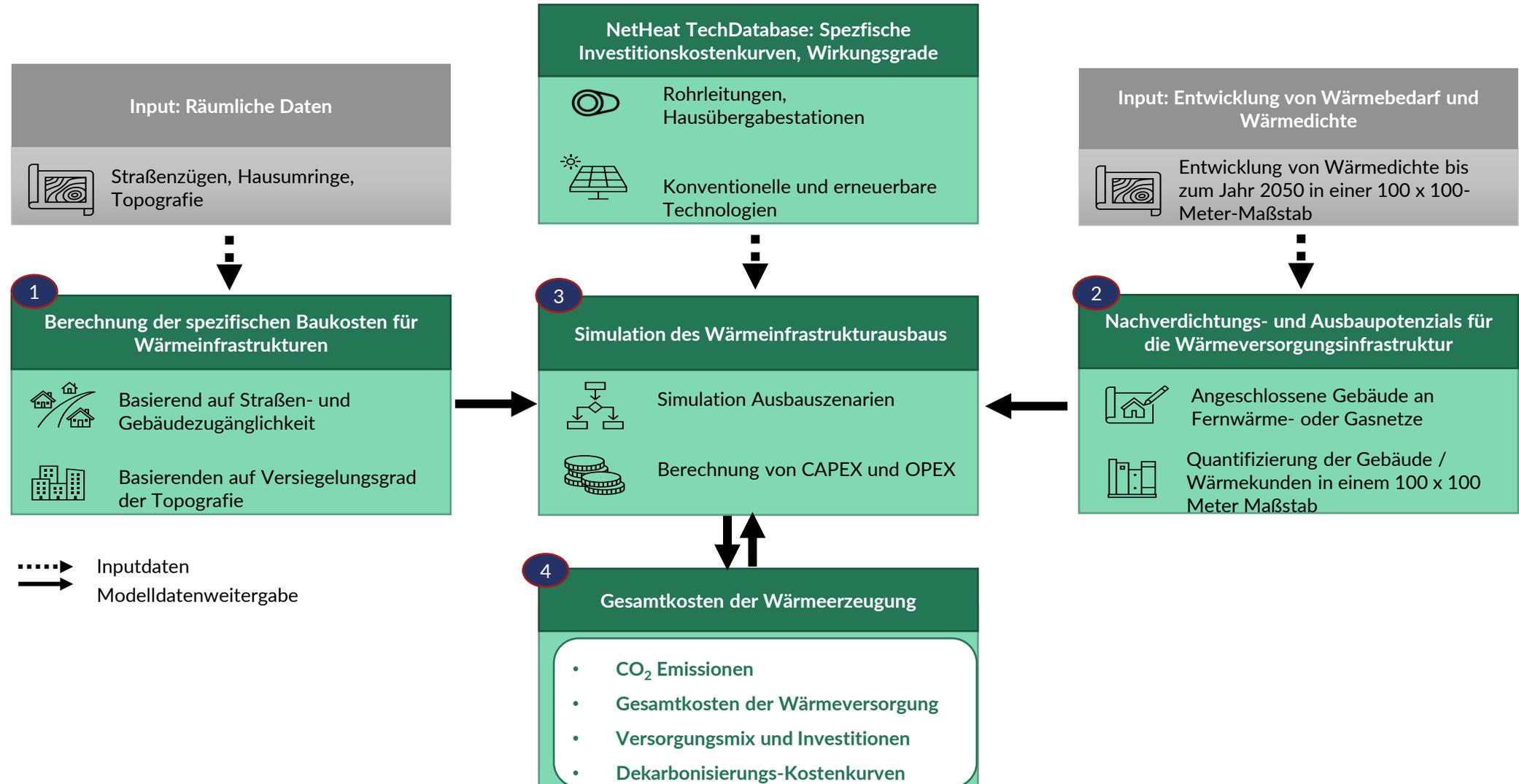
2.

Potential und Wirtschaftlichkeit  
lokaler EE-Wärme

3.

Zusammenfassung

# NetHEAT Modelstruktur



# NetHEAT Vorgehensweise

1

## Input: Entwicklung von Wärmebedarf und Wärmedichte

- Entwicklung von Wärmedichte bis zum Jahr 2050 in einer 100 x 100 Meter Maßstab

2

## Input: Hausumringe

- Quantifizierung der Gebäude / Wärmekunden in einem 100 x 100 Meter Maßstab

3

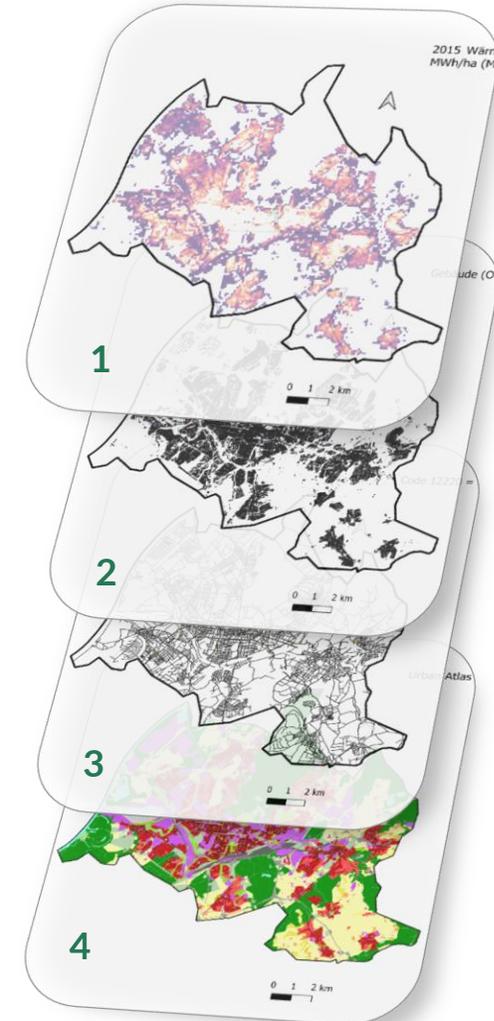
## Input: Straßenzüge

- Basierend auf Straßen- und Gebäudezugänglichkeit

4

## Input: Topografie

- Berücksichtigung der spezifischen Versiegelungsgrad im 100 x 100-Meter-Maßstab



# Überblick Neuruppin Fernwärmeverranggebiete

## NetHEAT Eingabedaten

### Wärmebedarf

- Gasnetz: 121,4 GWh/a
- Wärmenetz: 115,2 GWh/a
- **Gesamt: 236,6 GWh/a**

### Gebäude

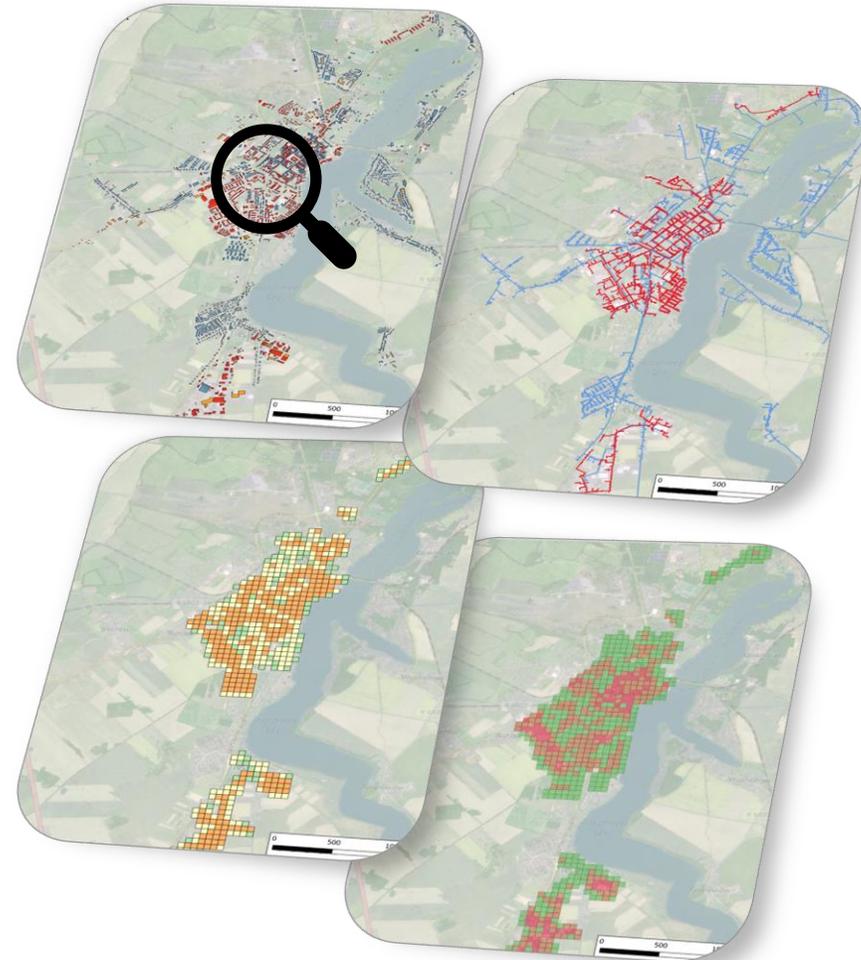
- Gasnetz: 931
- Wärmenetz: 1.013
- **Gesamt: 2,369**

### Netze

- Gasnetz: 56,14 km
- Wärmenetz: 80,45 km
- **Gesamt: 136,6 km**

### Versiegelungsgrad

- Area 1: 72 ha
- Area 2: 252 ha
- Area 3: 341 ha
- **Gesamt: 665 ha**



# Untersuchte Szenarien zur Bewertung des Wärmenetzausbaus

1

2

Entwicklung  
Wärmedichten

Konstante Wärmedichten  
in Wärmenetzgebieten

Sinkende Wärmedichten in  
Wärmenetzgebieten durch  
Effizienzmaßnahmen

Entwicklung  
Anschlussgrad /  
Nachverdichtung

Basis: Derzeitiger  
Wärmenetzausbau

Nachverdichtung mit  
70 % Anschlussgrad  
in Netzgebieten

Nachverdichtung mit  
90 % Anschlussgrad  
in Netzgebieten



- Verwendung der Wärmebedarfsdichten aus den bereits vorliegenden Analysen in Neuruppin
- Keine eigene detaillierte gebäudescharfe Modellierung für die Entwicklung der Wärmebedarfsentwicklung → pauschaler Ansatz zum Rückgang des Wärmebedarfs über alle Gebäude

# Teil I: Ergebnisse Wärmenetzausbau

Konstante Wärmedichten

# Szenarien Überblick – Konstante Wärmedichten

## Ergebnisse Wärmenetzausbau

### Fernwärmeausbau und Nachverdichtung bei konstanten Wärmedichten

Indikatoren	Basis	70% FWA	90% FWA
Endenergiebedarf [GWh/a]	236,6	236,6	236,6
- davon Fernwärme [GWh/a]	115,2	164,2	213,1
Fernwärmeanteil [%]	52%	70%	90%
Gebäudeanzahl [-]	2.369	2.369	2.369
Angeschlossene Gebäude [-]	1.013	1.600	2.284
Fernwärmelänge [km]	80,4	110,3	130,5
- davon Hausanschlussleitung [km]	12,2	19,2	27,4
Wärmebelegungsichte (MWh/m*a)	1,43	1,49	1,63
Netzverluste [%]	15,6%	13,9%	13,3%
Netzverluste [GWh/a]	21,0	27,1	33,5

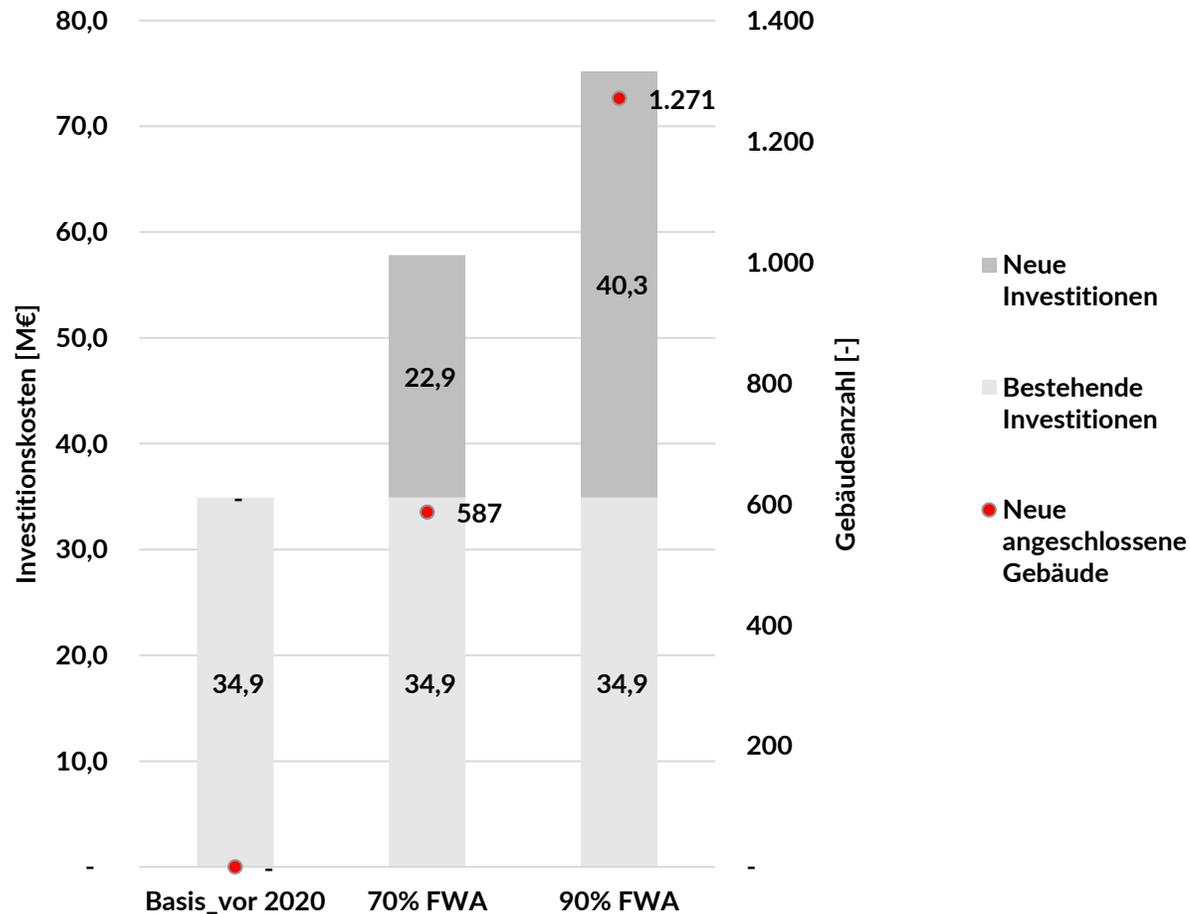
- Fernwärmeanteil (FWA) von der gesamt Endenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser innerhalb die Fernwärmevorranggebiete
- Steigende Wärmebelegungsichten führen zu sinkende Wärmeverluste
- Durchschnittliche neue Wärmenetzleitung pro Gebäude
  - 70% FWA 19,6 m/Gebäude
  - 90% FWA 25,4 m/Gebäude

FWA-Fernwärmeanteil

# Szenarien Ergebnisse – Konstante Wärmedichten

## Ergebnisse Wärmenetzausbau

Notwendige Investitionen und neue angeschlossene Gebäude



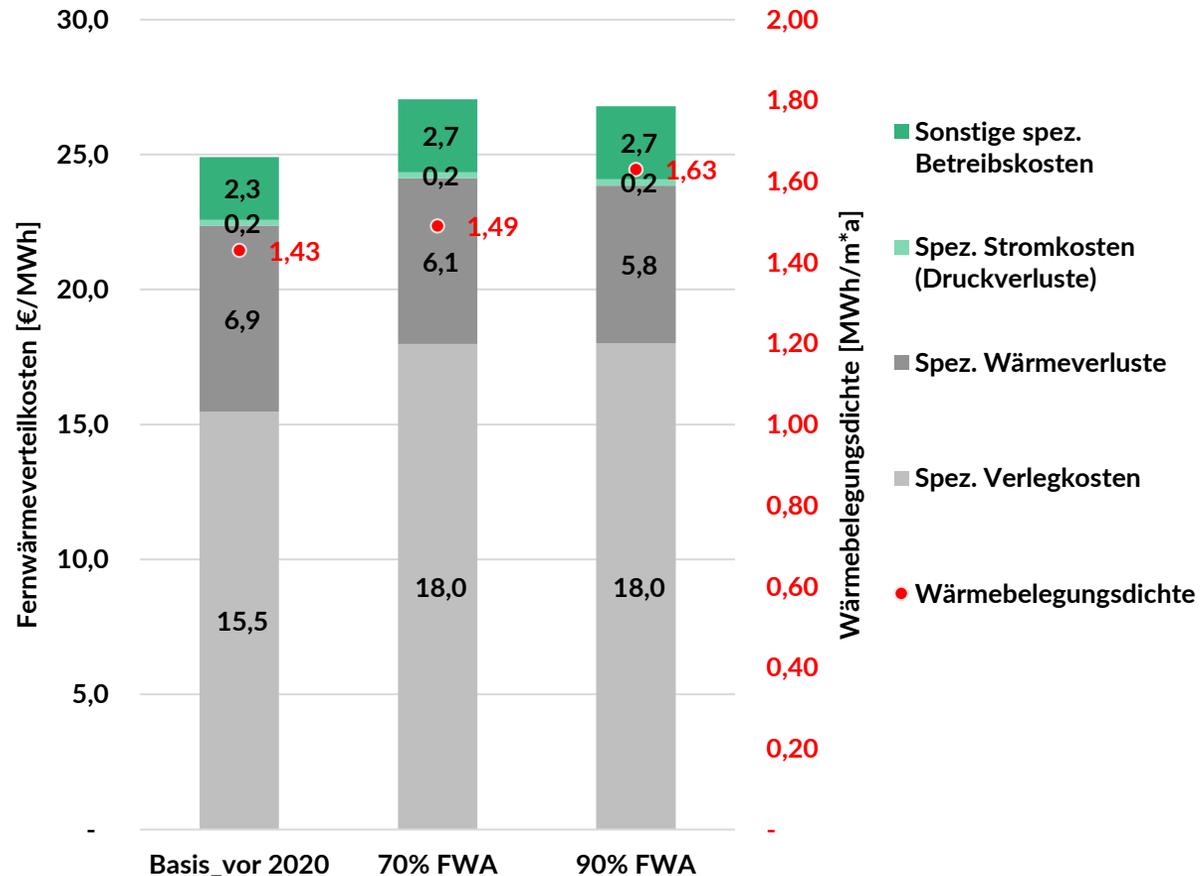
- **Ø 39.036 €/Gebäude in 70% FWA Ausbaupfad**
  - 587 neue angeschlossene Gebäude
  - 22,9 M€ Investitionen
  - Ø 763,8 €/m Verlegkosten\*
- **Ø 31.707 €/Gebäude in 90% FWA Ausbaupfad**
  - 1.271 neue angeschlossene Gebäude
  - 40,3 €M Investitionen
  - Ø 790,2 €/m Verlegkosten\*

\*(befestigten und unbefestigten Oberflächen nach Versiegelungsgrad)

# Szenarien Ergebnisse – Konstante Wärmedichten

## Ergebnisse Wärmenetzausbau

Fernwärmeverteilkosten (€/MWh) und Wärmebelegungsichte (MWh/m\*a)



### Rahmendaten

- Kalkulatorischer Zinssatz: 3%
- Betrachtungszeitraum: 30 Jahren
- Wärmegestehungskosten (2021): 37,2 €/MWh
- Stromkosten: 180 €/MWh
- Spezifische Druckverluste: 150 Pa/m
- Durchschn. Vorlauftemperaturen: 80°C
- Durchschn. Rücklauftemperaturen: 60 °C

### Berechnete Verteilkosten zwischen

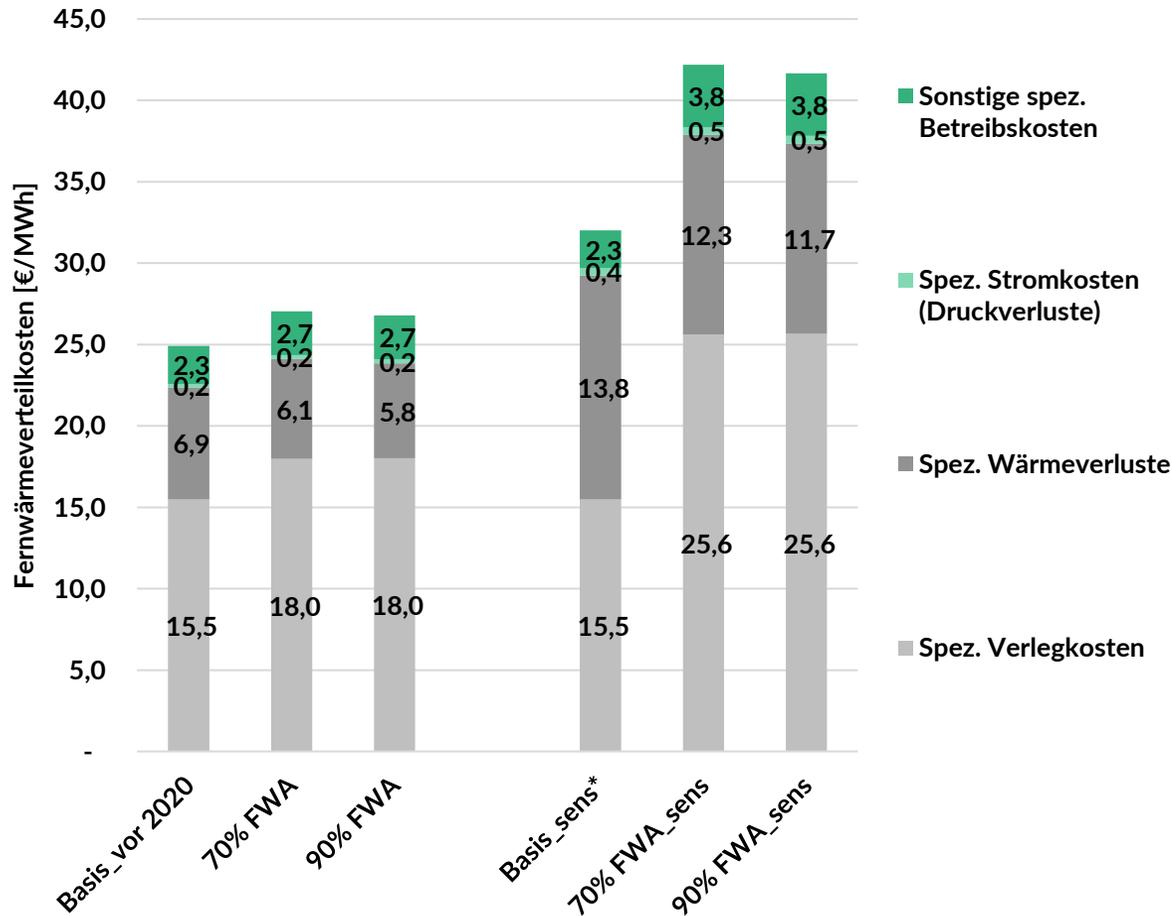
- 24,9 €/MWh (Basis)
- 27,1 €/MWh (70% FWA)

- Fast kein Verteilkosten unterschied zwischen 70% und 90% FWA-Ausbaupfad

# Szenarien Ergebnisse – Konstante Wärmedichten

## Sensitivitäten

Fernwärmeverteilkosten (€/MWh) und Wärmebelegungsichte (MWh/m\*a)



\*Annahme: weiterhin mit 3% Kalkulatorischer Zinssatz

### Rahmendaten

- Kalkulatorischer Zinssatz: 6%
- Betrachtungszeitraum: 30 Jahren
- Wärmegestehungskosten: 74,4 €/MWh
- Stromkosten: 360 €/MWh
- Spezifische Druckverluste: 150 Pa/m
- Durchschn. Vorlauftemperaturen: 80°C
- Durchschn. Rücklauftemperaturen: 60 °C

### Berechnete Verteilkosten zwischen

- 32,0 €/MWh (Basis\_sens) und
- 42,2 €/MWh (70% FWA\_sens)

- Kalkulatorischer Zinssatzverdopplung führt zu ca. 42% höhere Spezifische Investitionen
- Kalkulatorischer Zinssatz, Wärmegestehungs- und Stromkostenverdopplung führt zu ca. 55% höhere Fernwärmeverteilkosten

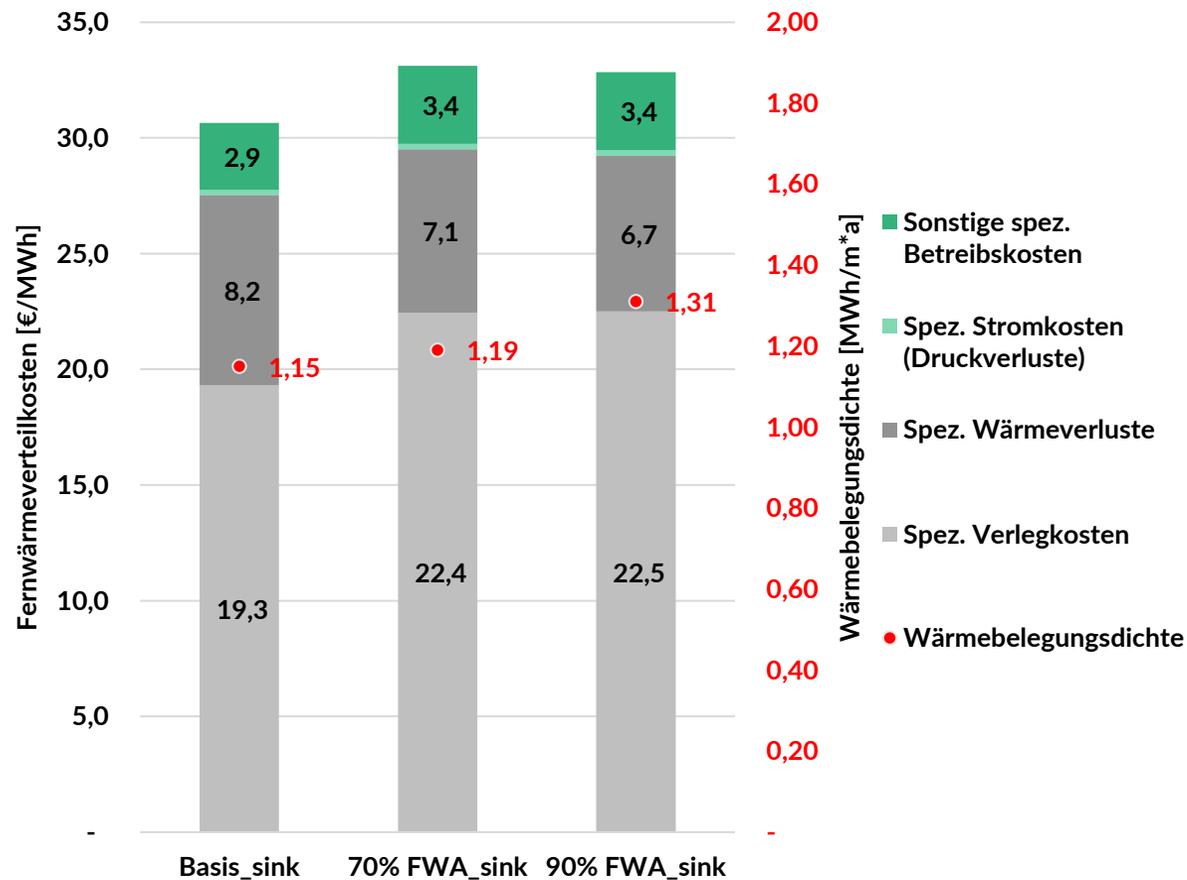
# Teil I: Ergebnisse Wärmenetzausbau

Sinkenden Wärmedichten (-20% bis 2040)

# Szenarien Ergebnisse – Sinkenden Wärmedichten (-20% bis 2040)

## Ergebnisse Wärmenetzausbau

Fernwärmeverteilkosten (€/MWh) und Wärmebelegungsichte (MWh/m\*a)



### Rahmendaten

- Kalkulatorischer Zinssatz: 3%
- Betrachtungszeitraum: 30 Jahren
- Wärmegestehungskosten (2021): 37,2 €/MWh
- Stromkosten: 180 €/MWh
- Spezifische Druckverluste: 150 Pa/m
- Durchschn. Vorlauftemperaturen: 80°C
- Durchschn. Rücklauftemperaturen: 60 °C

### Berechnete Verteilkosten zwischen

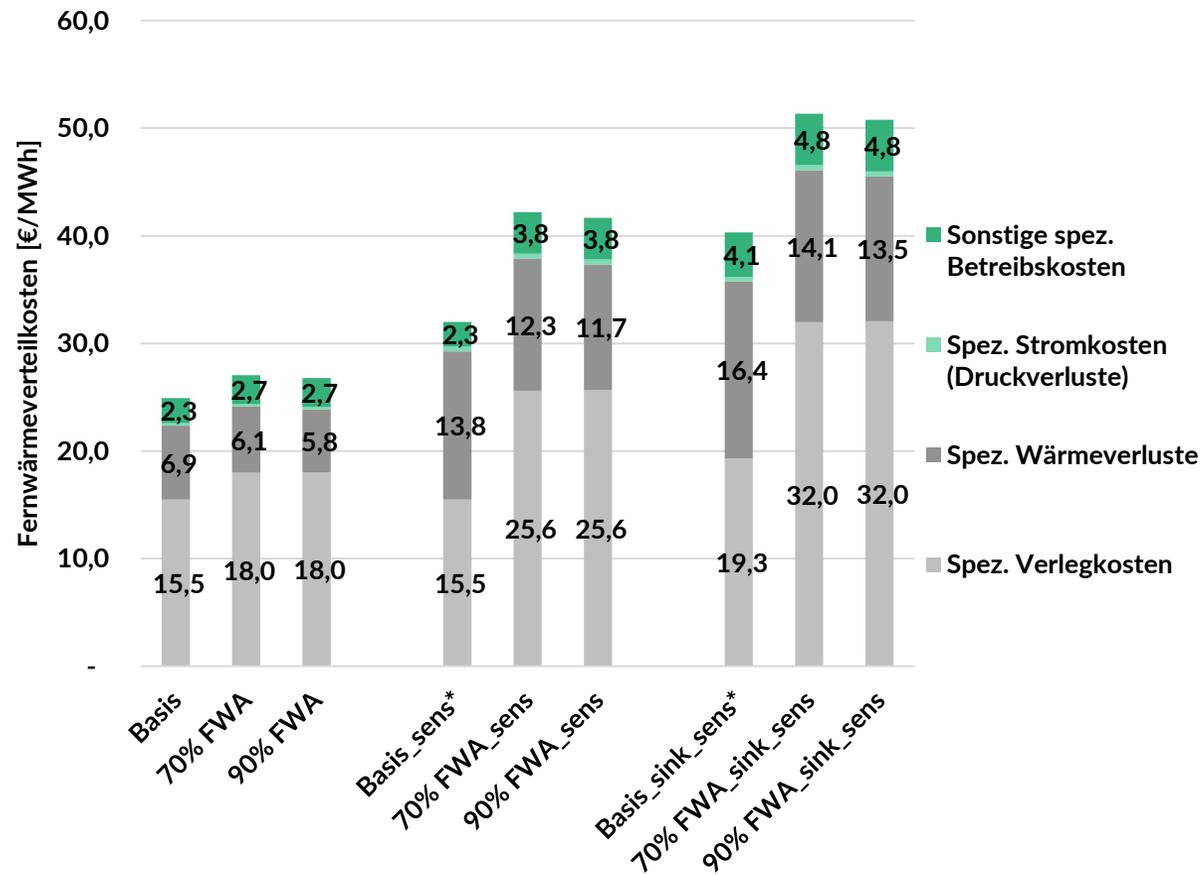
- 30,6 €/MWh (Basis\_sink)
- 33,1 €/MWh (70% FWA\_sink)

- Sinkenden Wärmedichten führen zu ca. 23% höhere Fernwärmeverteilkosten

# Szenarien Ergebnisse – Sinkenden Wärmedichten (-20% bis 2040)

## Sensitivitäten

Fernwärmeverteilkosten (€/MWh) und Wärmebelegungsichte (MWh/m\*a)



\*Annahme: weiterhin mit 3% Kalkulatorischer Zinssatz

### Rahmendaten

- **Kalkulatorischer Zinssatz:** 6%
- **Betrachtungszeitraum:** 30 Jahren
- **Wärmegestehungskosten:** 74,4 €/MWh
- **Stromkosten:** 360 €/MWh
- **Spezifische Druckverluste:** 150 Pa/m
- **Durchschn. Vorlauftemperaturen:** 80°C
- **Durchschn. Rücklauftemperaturen:** 60 °C

### Bei Sinkenden Wärmedichten und steigenden Rahmendaten, Verteilkosten zwischen

- 40,3 €/MWh (Basis\_sink\_sens) und
- 53,6 €/MWh (90% FWA\_sink\_sens)

### Verteilkosten bei alle Szenarien zwischen

- 24,9 €/MWh (Basis) und
- 51,4 €/MWh (70% FWA\_sink\_sens)

# Teil I: Zusammenfassung

Wärmenetzausbau

# Zusammenfassung

## Wärmenetzausbau

- Verteilkosten je nach Szenario zwischen **24,9 €/MWh** und **51,4 €/MWh**
- Notwendige Investitionen zwischen **22,9 M€** und **40,3 M€**
- Sinkenden Wärmedichten (um 20%) führen zu ca. 23% höhere Fernwärmeverteilkosten
- Kalkulatorischer Zinssatz, Wärmegestehungs- und Stromkostenverdopplung führt zu ca. 60% höhere Fernwärmeverteilkosten

*„Essentially, all models are wrong, ... but some are useful“ – George E.P. Box*

# Teil II: Zusammenfassung

Potentiale lokaler Wärmequellen

# Zusammenfassung

## Potentiale lokaler Wärmequellen

- Lokale **Wärmeerzeugungskapazitäten** zwischen **23 MW** und **65 MW**
- **Wärmegestehungskosten** (bei ca. 6.100 Vollaststunden) zwischen **50** und **72 €/MWh**
- **Geothermie** als passende **Wärmequelle** zur **Deckung der Grundlast**
- **Genauer Wärmegestehungskosten** Berechnung nach Definierung der **zukünftiger Wärmeerzeugungsmix**

Indikatoren	Erdwärmesonden	Abwasserabwärme	Oberflächen-gewässer	Tiefen-geothermie (Var 1)	Tiefen-geothermie (Var 2)
Technisches Potential (GWh/a)	105 – 360	9,0	20,7	76,4	76,2
Max. Heizleistung (MW)	17,3 – 59	2,2	3,39	12,6	12,4
Investitionen (M€)	42 – 127	3,63	5,04	25,3	21,3
Spez. Investitionen (M€/MW)	1,9 – 1,82	1,65	1,48	2,02	1,70
Wärmegestehungskosten* (€/MWh)	52 – 71**	69,8	65,5	49,5	52,1

**\* Annahmen:**

- 6.100 Vollaststunden
- ohne Verwaltungskosten (e.g. 8,5 €/MWh in GTN Studie)
- ohne Finanzielle Förderung
- Kalkulationszins 3%
- Betrachtungszeitraum 30 Jahren

**\*\* Anmerkung:** Ohne Rekuperation

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

**IREES**  
research for future.

**Eftim Popovski**

Tel.: + 49 721 9152636-30  
e.popovski@irees.de

**Jan Steinbach**

Tel.: + 49 721 9152636-45  
j.steinbach@irees.de

**IREES – Institute for Resource  
Efficiency and Energy  
Strategies**

Durlacher Alle 77,  
76131 Karlsruhe, Deutschland  
[www.irees.de](http://www.irees.de)

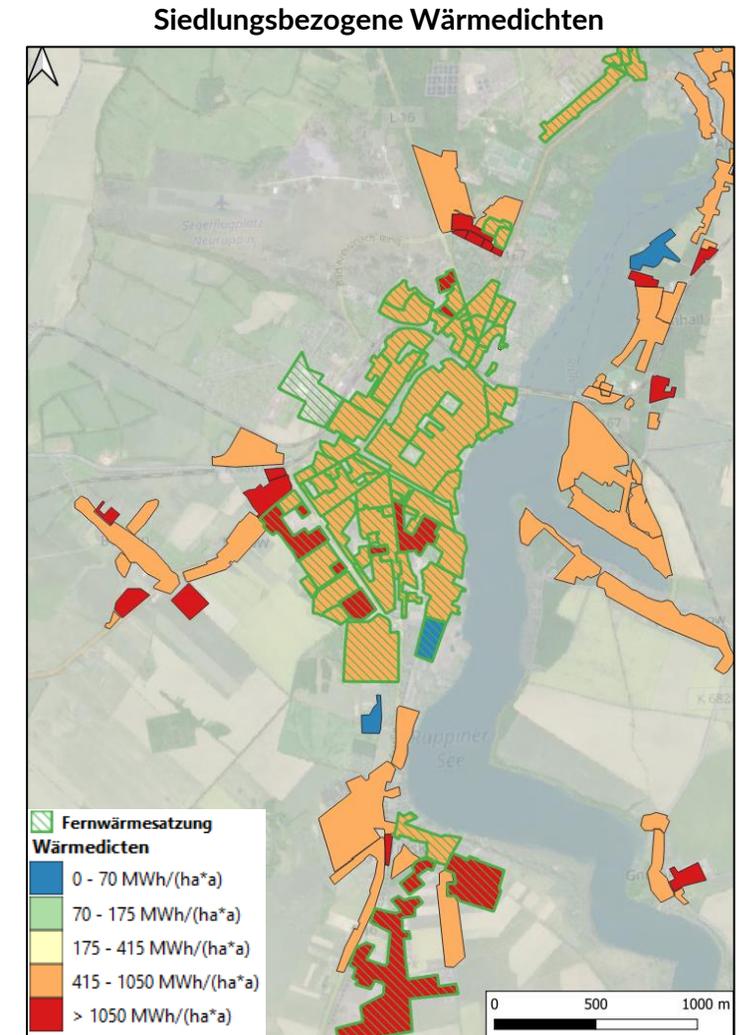


# Teil I: Neuruppin Eingabedaten

# Neuruppin Siedlungstypen und Fernwärmevorranggebiete

## NetHEAT Eingabedaten

- Wärmedichten basierend siedlungsspezifischen Kennwerten
    - Gesamt: 788,6 GWh
    - Gesamt (ohne Gewerbe): 557,6 GWh
    - Fernwärmevorranggebiete: 430,0 GWh
  - Endenergieverbrauch SWN Daten (2021)
    - Fern- und Nahwärme: 115,2 GWh
    - Erdgas (Kochen, Heizen): 168,6 GWh
    - Nicht-leitungsgebundene: 0,4 GWh
    - Gesamt: 284,2 GWh
- ▶
- Wärmedichten der aus siedlungsspezifischen Kennwerten ergeben doppelt so hohe Wärmedichten wie die SWN Daten!
  - Daher eigene Modellierung der Wärmedichten anhand der Gas- und Fernwärmeabnehmerlisten

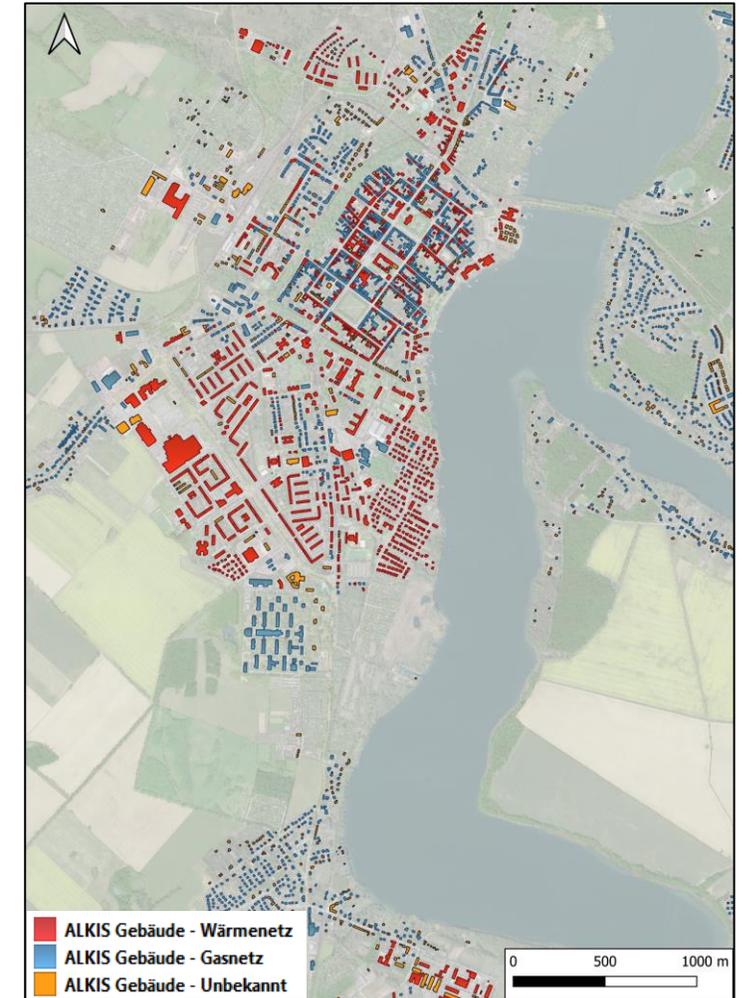


# Gebäudedaten

## NetHEAT Eingabedaten

- Gas und Fernwärmeabnehmerliste
  - Überwiegender Anteil der Daten konnte in NetHEAT integriert werden
  - Gasabnehmerliste: 3.191 von 3.616 (88%)
  - WN-abnehmerliste: 1.013 von 1.185 (85%)
- Liegenschaftskatasterdaten (ALKIS)
  - 6.098 Gebäuden, davon:
    - 5.609 Wohngebäuden
    - 382 Nichtwohngebäuden und 107 Gewerbe und Industrie
- Gebäude in Vorranggebieten
  - 2.369 Gebäuden
    - 1.013 Wärmenetz und 931 Gasnetz
    - 425 Keine Zuordnung möglich → Dezentral Wärmeerzeuger oder Import nicht erfolgreich

Gas- und Wärmenetzbestand im Jahr 2021

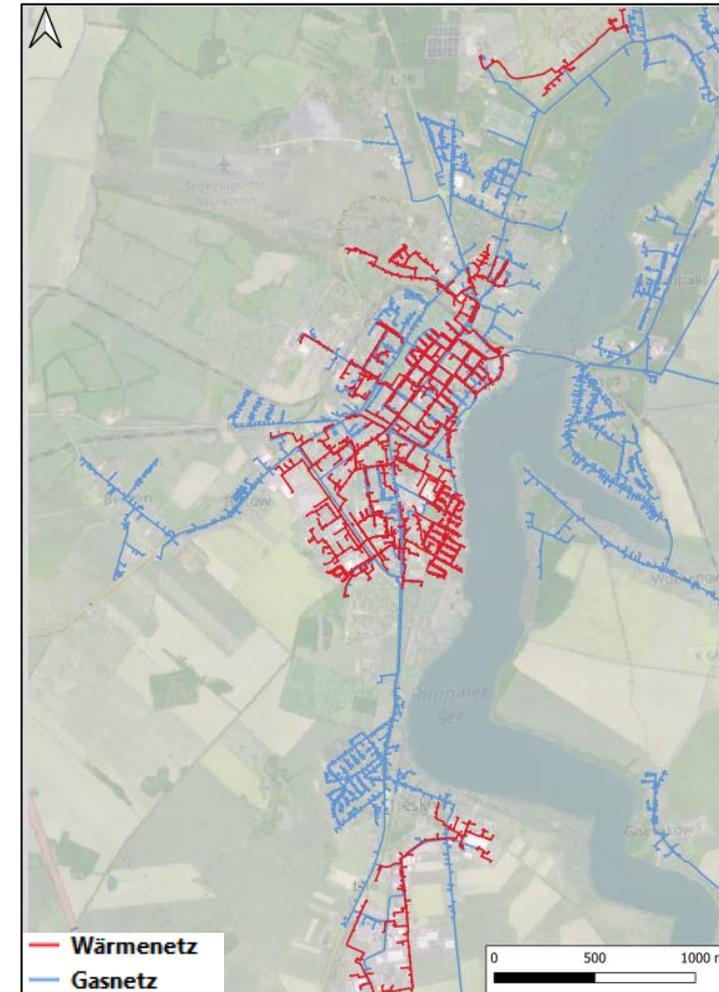


# Gas- und Fernwärmenetz

## NetHEAT Eingabedaten

- Gasnetz Gesamtlänge
  - 235,76 km
- Wärmenetz Gesamtlänge
  - 80,45 km
- Fernwärmevorranggebieten
  - 136,6 km Gesamtlänge, davon
    - 56,14 km Gasnetz
    - 80,45 km Wärmenetz

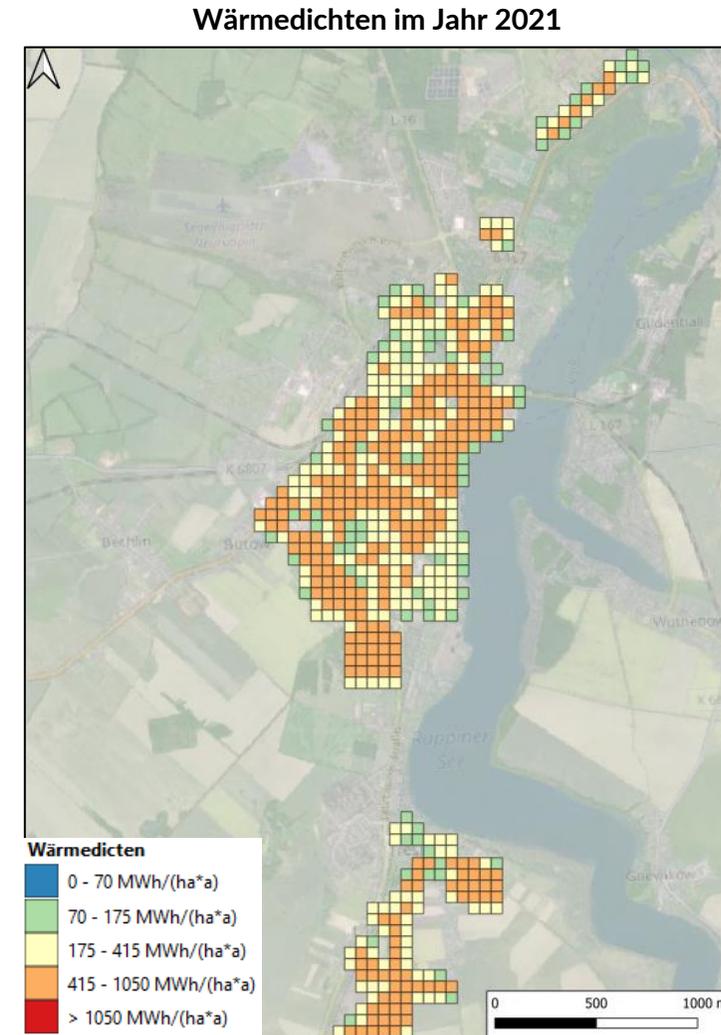
Gas- und Wärmenetzbestand im Jahr 2021



# Modellierte Wärmedichtekarte für Fernwärmeverrangsgebiete

## NetHEAT Eingabedaten

- Wärmedichtekarte auf Hektar ebene (100\*100 m) abgeleitet basierend auf die SWN Abnehmerliste, Vorhandene Netzinfrastruktur, und Siedlungsbezogene Wärmedichte
- Input: NetHEAT Wärmedichtekarten
  - Gasnetz: 121,4 GWh/a
  - Wärmenetz: 115,2 GWh/a
  - **Gesamt: 236,6 GWh/a**



# Berechnung der Verlegungskosten anhand der Topografie

## NetHEAT Eingabedaten

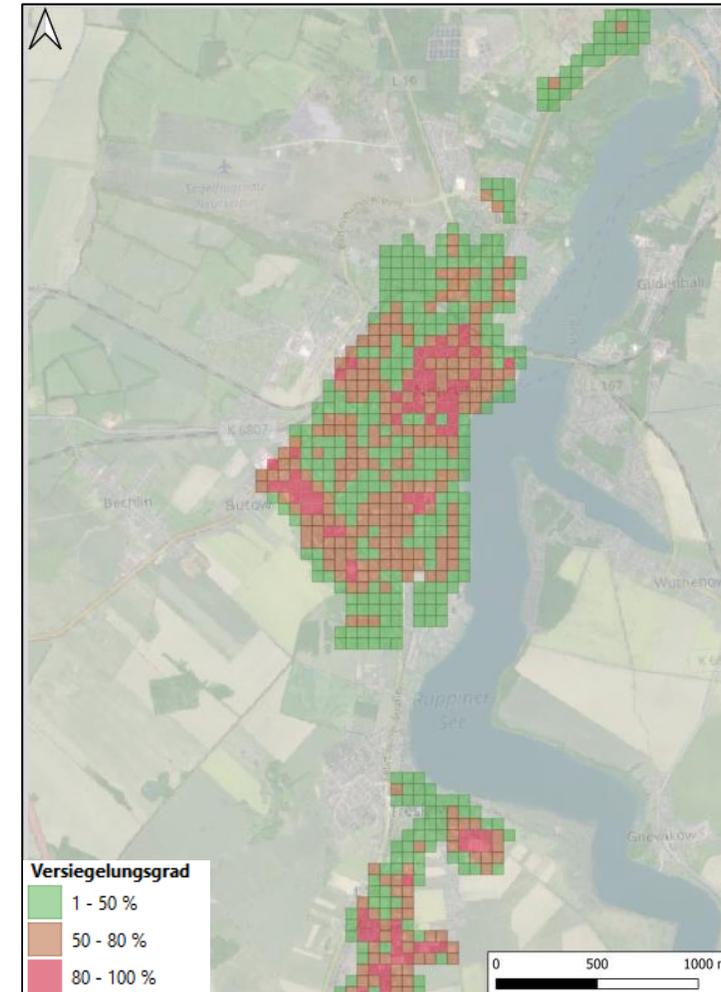
### Baukonstante (C1) und Baukostenkoeffizient (C2) nach Versiegelungsgrad

Baugebiet
Area 1 - Kontinuierliches Stadtgefüge 81 - 100%
Area 2 - Diskontinuierliches, dichtes Stadtgefüge 51 - 80%
Area 3 - Mittlere bis geringe Stadtgefüge 0 - 50%

### Durchschnittliche spezifische Investitionskosten nach Versiegelungsgrad (€/m)

DN (mm)	Area 1		Area 2		Area 3	
	Literatur (€ <sub>2019</sub> /m)	SWN (€ <sub>2022</sub> /m)	Literatur (€ <sub>2019</sub> /m)	SWN (€ <sub>2022</sub> /m)	Literatur (€ <sub>2019</sub> /m)	SWN (€ <sub>2022</sub> /m)
20	480	840	400	700	270	470
25	490	860	410	720	280	490
32	510	890	430	750	290	510
40	540	950	450	790	310	540
50	570	1000	470	820	330	580
65	600	1050	500	880	350	610
80	650	1140	530	930	370	650
100	690	1200	570	1000	400	690

Versiegelungsgrad im Jahr 2020



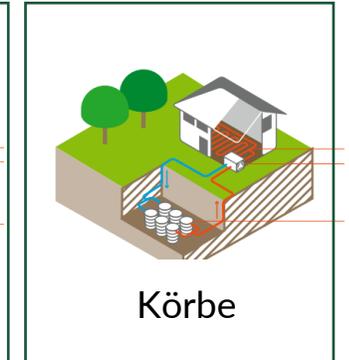
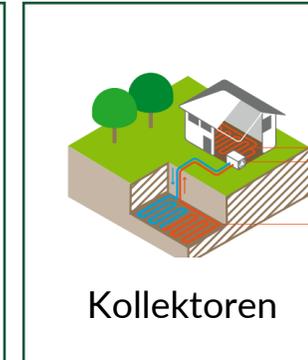
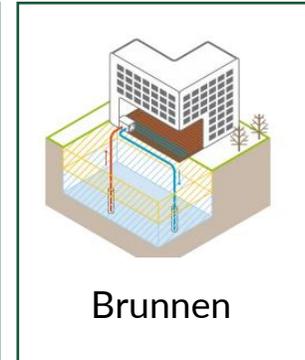
# Teil II: Potential lokaler Wärmequellen

Oberflächennahe bis mitteltiefe Geothermie

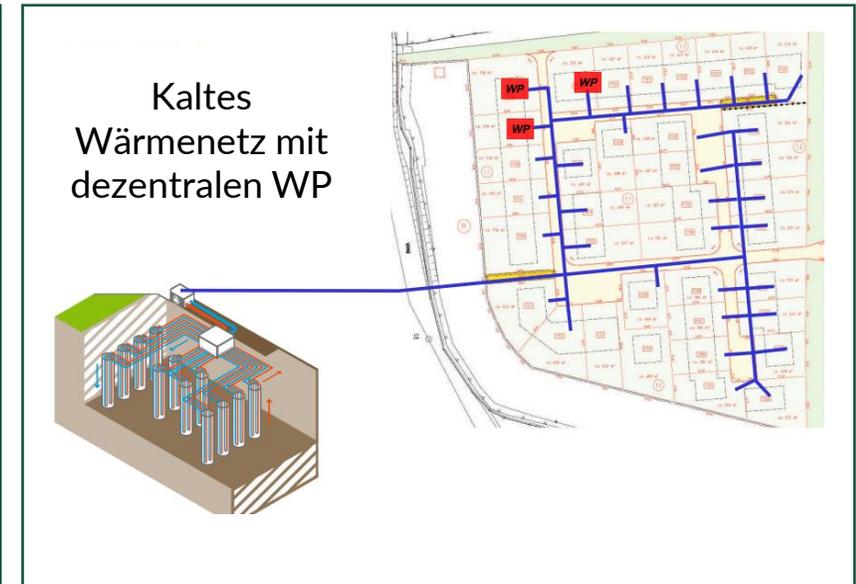
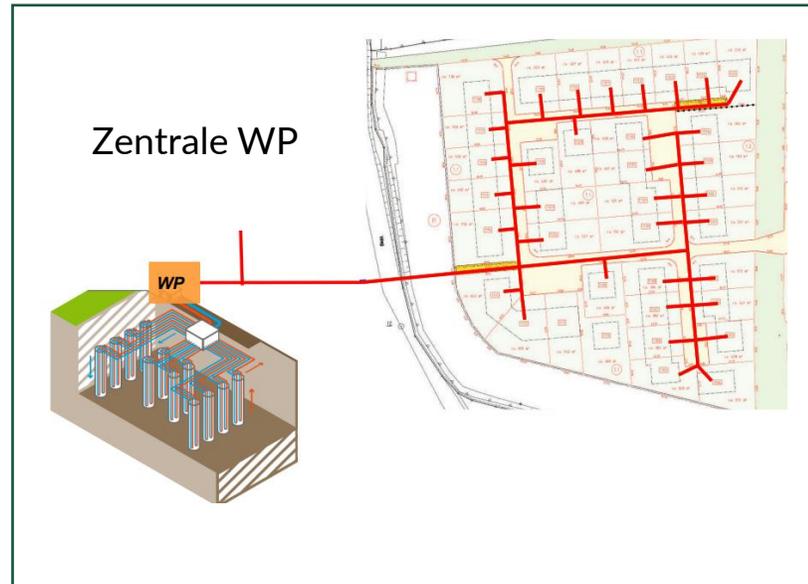
# Oberflächennahe bis mitteltiefe Geothermie

## Grundlagen

### ■ Erschließungsformen



### ■ Wärmenetz Einbindung



Quelle: Tewag (2021). Kalte Nahwärme – Die Vielseitigkeit geothermischer Wärmequellen. KEA Nahwärme Kompakt; Energie Schweiz (2017).

# Oberflächennahe bis mitteltiefe Geothermie

## Projektbeispiel Erdwärmesondenfeld

### ■ Geothermieprojekt Henninger Turm Frankfurt am Main

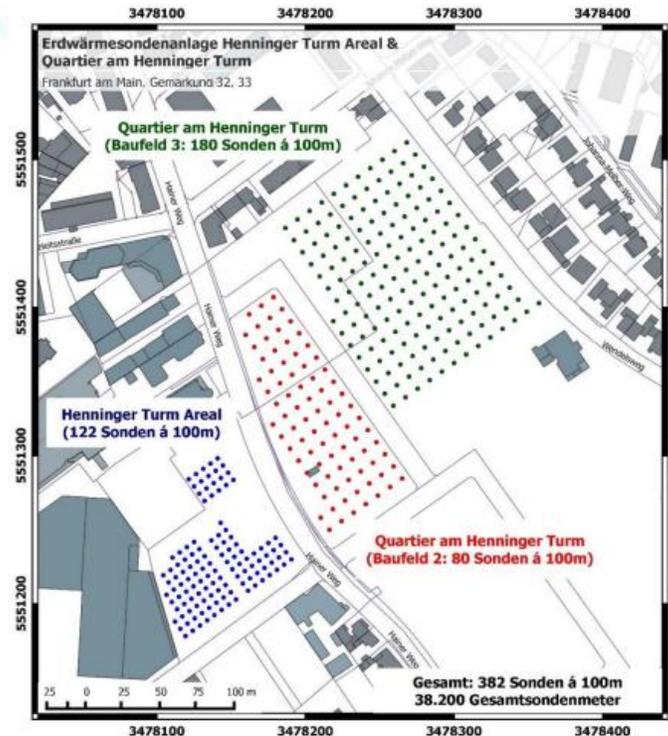


#### Henninger Turm Areal

- Henninger Turm mit Wohnungen
- Sockelbebauung mit Büro- und Geschäftsflächen

→ Heizanforderungen & Kühlanforderungen

→ 122 Erdwärmesondenbohrungen à 100 m

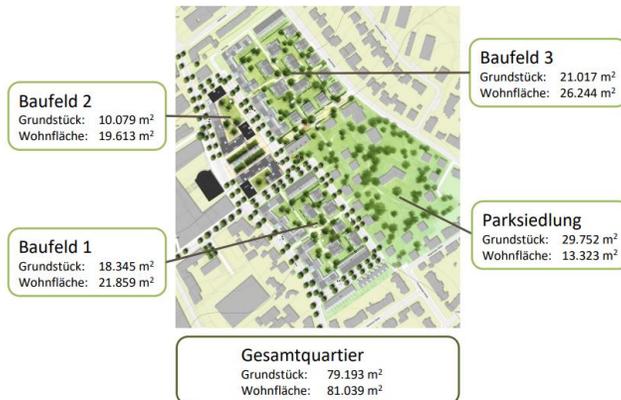


#### Quartier am Henninger Turm:

- Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 81.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche

→ vorwiegend Heizanforderungen, im geringeren Maße auch Kühlanforderungen

→ 260 Erdwärmesondenbohrungen à 100 m



Quelle: Tewag (2021). Kalte Nahwärme – Die Vielseitigkeit geothermischer Wärmequellen. KEA Nahwärme Kompakt

# Oberflächennahe bis mitteltiefe Geothermie (Erdsonden)

## Zusammenfassung

### Ergebnisse

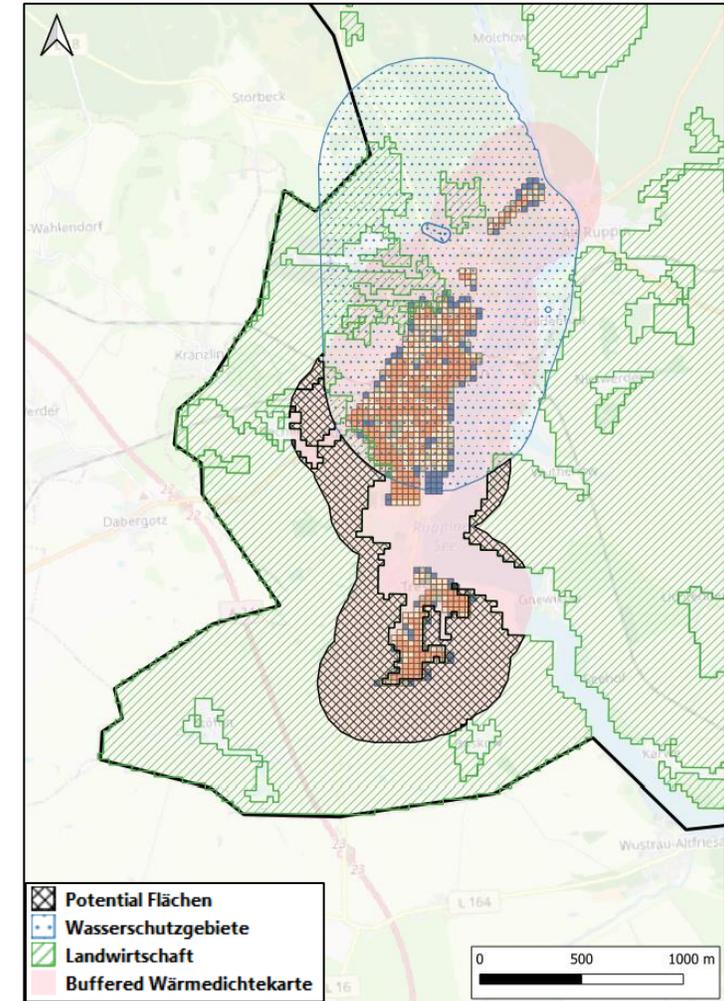
- Theoretisches Potential\*: 1.812 – 6.209 GWh/ a
- Zur Nutzung in Wärmenetzen\*\* : 105 - 360 GWh/a

### Vorgehen

- Berechnung anhand geologischer Daten des Untergrundes, der zur Verfügung stehenden Flächen, durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit und den Untergrundtemperaturen
- Untersuchung der Potentiale für Sondentiefen von 200 m und 800 m
- Geeignete Flächen durch Abstand zu potentiellen Wärmenetzausbauregionen weiter beschränkt

\* 100% Landnutzungsfaktor; Spanne je nach Sondentiefe

\*\* 2% Landnutzungsfaktor



# Oberflächennahe bis mitteltiefe Geothermie (Erdsonden)

## Datenquellen für die Analyse

### ■ Potentiale

- Geoportal LBGR Brandenburg-Wärmeleitfähigkeiten für Erdwärmesondenanlagen
- Geotis - 3D-Untergrundtemperatur
- BfG-Bundesanstalt für Gewässerkunde – Wasserschutzgebiete DE
- Flächennutzungsplan Copernicus Corine Landcover data (2018)
- BORIS-D – Bodenrichtwerte

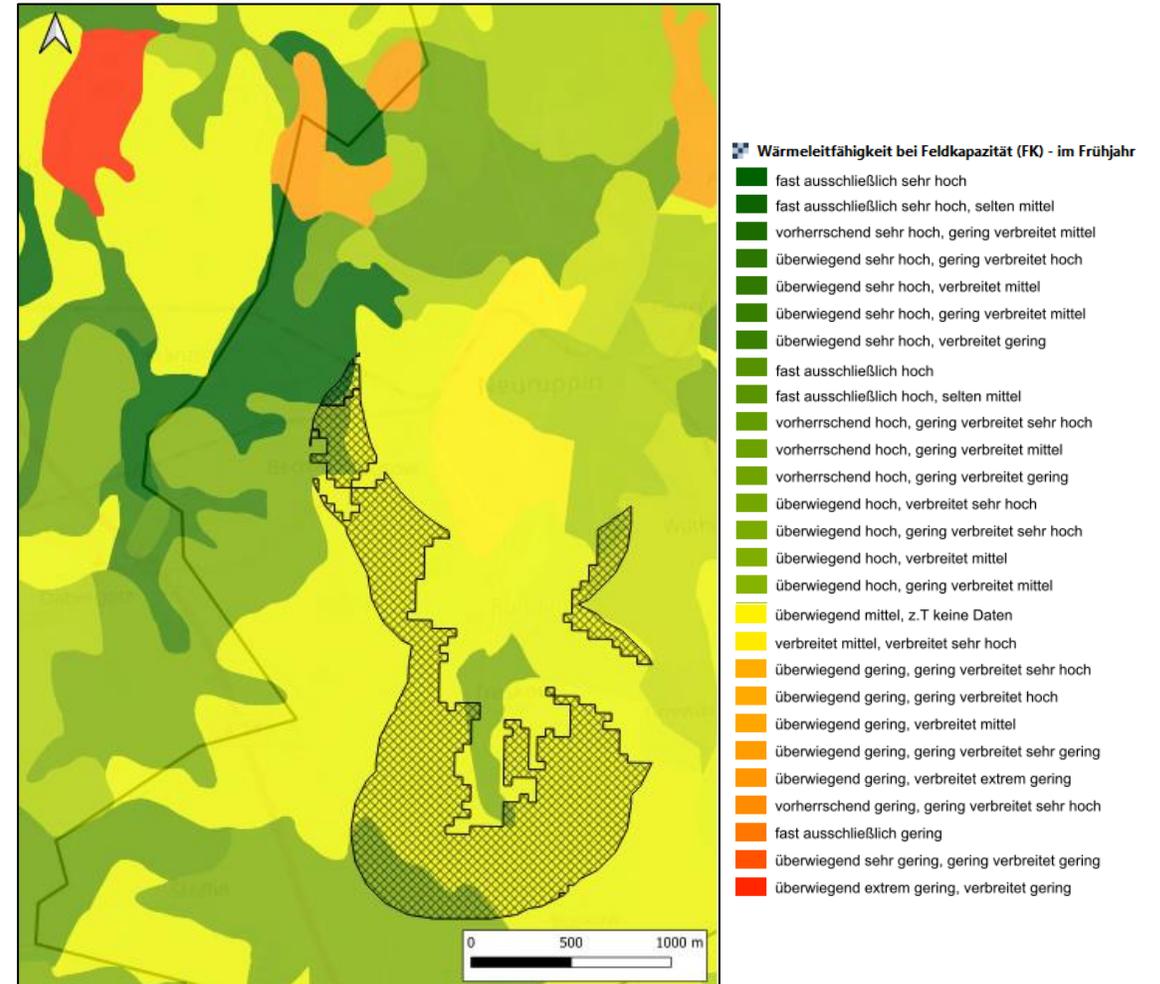
### ■ Berechnungsgrundlagen und Investitionen

- UBA (hrsg.) (2021). Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung
- KEA-BW (2022).Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung
- AGFW. Leitfaden Großwärmepumpen
- Jochum P., et al. (2017). Ableitung eines Korridors für den Ausbau der erneuerbaren Wärme im Gebäudebereich

# Oberflächennahe bis mitteltiefe Geothermie (Erdsonden)

## Ergebnisse: Potentielle Flächen für Anlagenstandorte

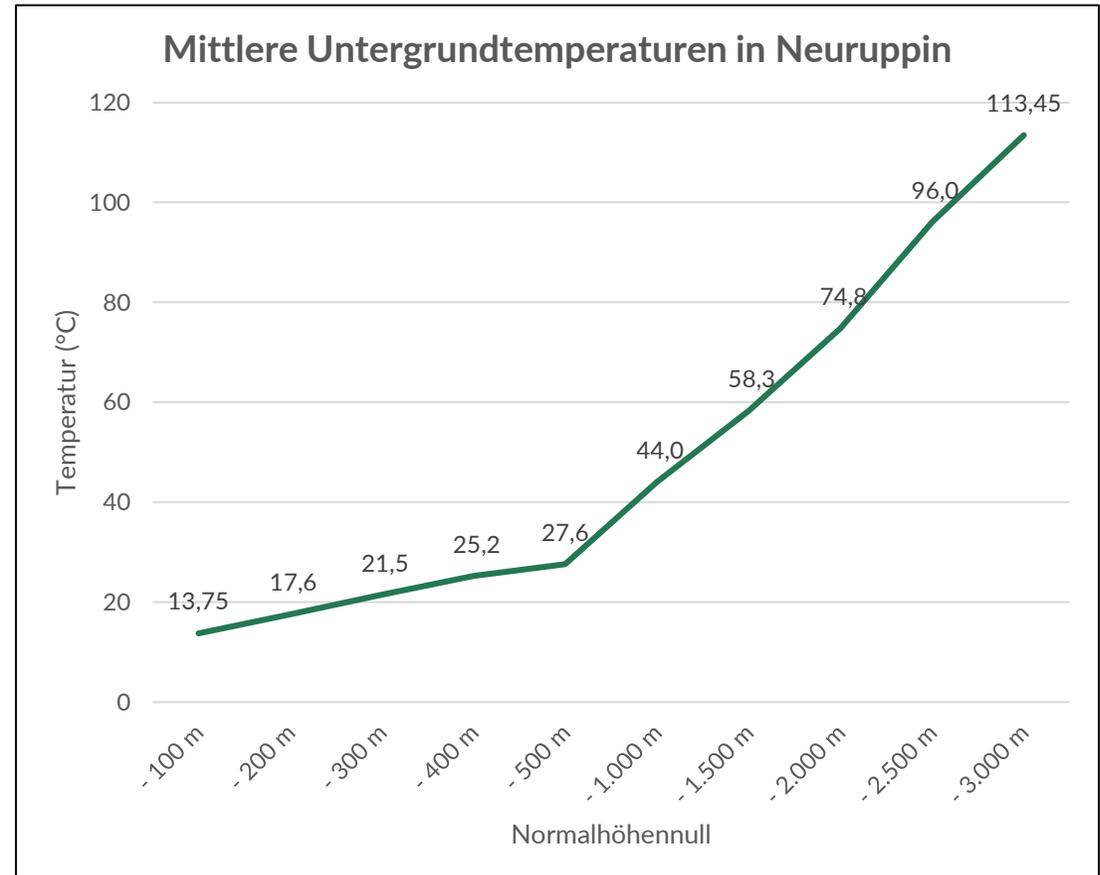
- Maximum 1 km Abstand zwischen Fernwärmeregionen und Landwirtschaftliche Flächen
- Bodenrichtwert 1,9 €/m<sup>2</sup> für Ackerflächen und 1,1 €/m<sup>2</sup> für Grünland
- Verfügbare Flächen
  - Ackerflächen 932 ha
  - Grünland 14 ha
- Wärmeleitfähigkeit [W/m\*K]
  - extrem gering < 0,4
  - sehr gering 0,41 - 0,90
  - gering 0,91 - 1,40
  - mittel 1,41 - 1,90
  - hoch 1,91 - 2,40
  - sehr hoch 2,41 - 2,90



# Oberflächennahe bis mitteltiefe Geothermie (Erdsonden)

## Ergebnisse: Anzahl Sonden und Wärmeleistung

- Mittlere Untergrundtemperaturen
  - 17,6 °C bei - 200 m NHN
  - 37,5 °C bei - 800 m NHN
- Durchschnittlich Entzugsleistung des Erdbodens
  - 30 W/m
  - Gesamtbohrlänge 33.333 m/MW
- Mindestens Abstand zwischen die Sonden
  - 10 m
- Anzahl an Sonden pro MW
  - 167 Sonden (- 200 m NHN)
  - 42 Sonden (-800 m NHN)
- Wärmeleistung pro Hektar (nur Wärmequelle)
  - 0,6 MW/ha (- 200 m NHN)
  - 2,4 MW/ha (- 800 m NHN)



Quelle: Agemar, T. (2022) 3D Subsurface Temperature Model of Germany and Upper Austria

# Oberflächennahe bis mitteltiefe Geothermie (Erdsonden)

## Ergebnisse: Wirtschaftlichkeit (Auszug)

- Annahmen:
  - Bohrkosten 50 €/m
  - Betrachtungszeitraum 30 Jahren
  - Kalkulatorischer Zinssatz 3%
  - $\Delta T$  Produktions- und Injektionstemperatur 10°C
  - Stromkosten 150 €/MWh
- Potentielle Wärmeleistung zwischen 17,3\* MW und 59,1\*\* MW
- Durchschnittliche Wärmegestehungskosten zwischen 71\* €/MWh und 52\*\* €/MWh
- **Anmerkung:** Über 2.100 Volllaststunde kann der Entzugsleistung bei dichter Erdwärmennutzung ohne Regeneration signifikant sinken

\* -200 m NHN; 2% Landnutzungsfaktor; 6.100 Volllaststunden

\*\* -800 m NHN; 2% Landnutzungsfaktor; 6.100 Volllaststunden

Wärmepumpen Eingeschaften	-200 m NHN	-800 m NHN	Einheit
Fernwärme Vorlauftemperaturen	80	80	°C
Fernwärme Rücklauftemperaturen	60	60	°C
Quelle Vorlauftemperaturen	18	38	°C
Quelle Rücklauftemperaturen	8	28	°C
Lorentz COP	5,61	8,27	
Jahresarbeitszahl (bei 52% Effizienz)	3,12	4,80	

# Potentiale lokaler Wärmequellen

Abwasserabwärme (Kläranlage an der Wittstocker Allee / Am Eichenhain)



# Abwasser Großwärmepumpe

## Projektbeispiele

- Ausgewählte Projekten mit Entzugsleistung von über 100 kW
- Erste Anlage wird 1982 gebaut
- Mittlerweile gibt es in Europa über 90 Anlagen
- Eine Abkühlung von 4 K ist möglich, ohne die Funktionsweise der Kläranlagen zu beeinträchtigen

Anlage	Heizleistung Wärmepumpen [kW]	Entzugsleistung [kW]	Betriebsnahme	Temperatur Nahwärmenetz	Temperatur-entnahme
Waiblingen	560 kW		1986		
Leverkusen "Gesundheitshaus"	242 kW		2003	Heizzentrale für ein Gebäude	2 K
Singen "Gewerbehau SINTEC"	234 kW		2003	Heizzentrale für ein Gebäude	1 K
Bretten	Deckungsanteil Wärmepumpe bei 43 % von 1,84 GWh		2009	85 °C	2,5 K
Kornwestheim "Wohnanlage"		110 kW	2010		
Kornwestheim	145 kW		2010		4 K
Straubing "Wohnsiedlung"	260 kW (55 kW + 210 kW)	210 kW	2010		
Mannheim "Pumpwerk Ochsenferch"	110 kW		2011	Heizzentrale für ein Gebäude	4 K
Konstanz "Wohnpark Petershausen"		240 kW	2012		
Stuttgart "Ministeriumsneubau"		420 kW	2012		
Konstanz Nahwärmenetz "Neue Mitte Petershausen"			2012		
Köln-Mühlheim "Hölderlin Gymnasium"		100 kW	2013		
Kirchheim unter Teck "Schlossgymnasium"		140 kW	2013		
Köln-Porz "Otto-Lilienthal Realschule"		160 kW	2013		
Berlin "Flexim"		225 kW	2014		
Frankfurt "Europaviertel"		300 kW	2014		
Mannheim "Käfertaler Straße"		108 kW	2015		
Lübeck "Ratzeburger "Allee"		110 kW	2015		
Oldenburg "Stadthafen"		270 kW	2015		
Stuttgart "Wilhelmpalais"		164 kW	2016		
Göppingen		470 kW	2016		
Dinslaken "Klärwerke Emschermündung"		108 kW	2017		
Mannheim "Stadtarchiv"		150 kW	2017		
Oldenburg "Stadthafen 2"		210 kW	2017		
Oldenburg "Wohnpark Wechloyer-Tor"		55 kW	2017		
Wiesbaden "Rhein-Main-Congress-Center"		290 kW	2017		
Aachen "Stadtteil Wiesental"	2 mal je 238 kW		2017	55°C	5 K
Regensburg "Museum der Bayerischen Geschichte"		280 kW	2018		
"Stuttgart" Stadtquartier Neckarpark			in Bau	30°C	

Quelle: Fritz S., Pehnt M. – Kommunale Abwässer als Potenzial für die Wärmewende?, 2018

# Abwasser (Kläranlage an der Wittstocker Allee / Am Eichenhain)

## Zusammenfassung

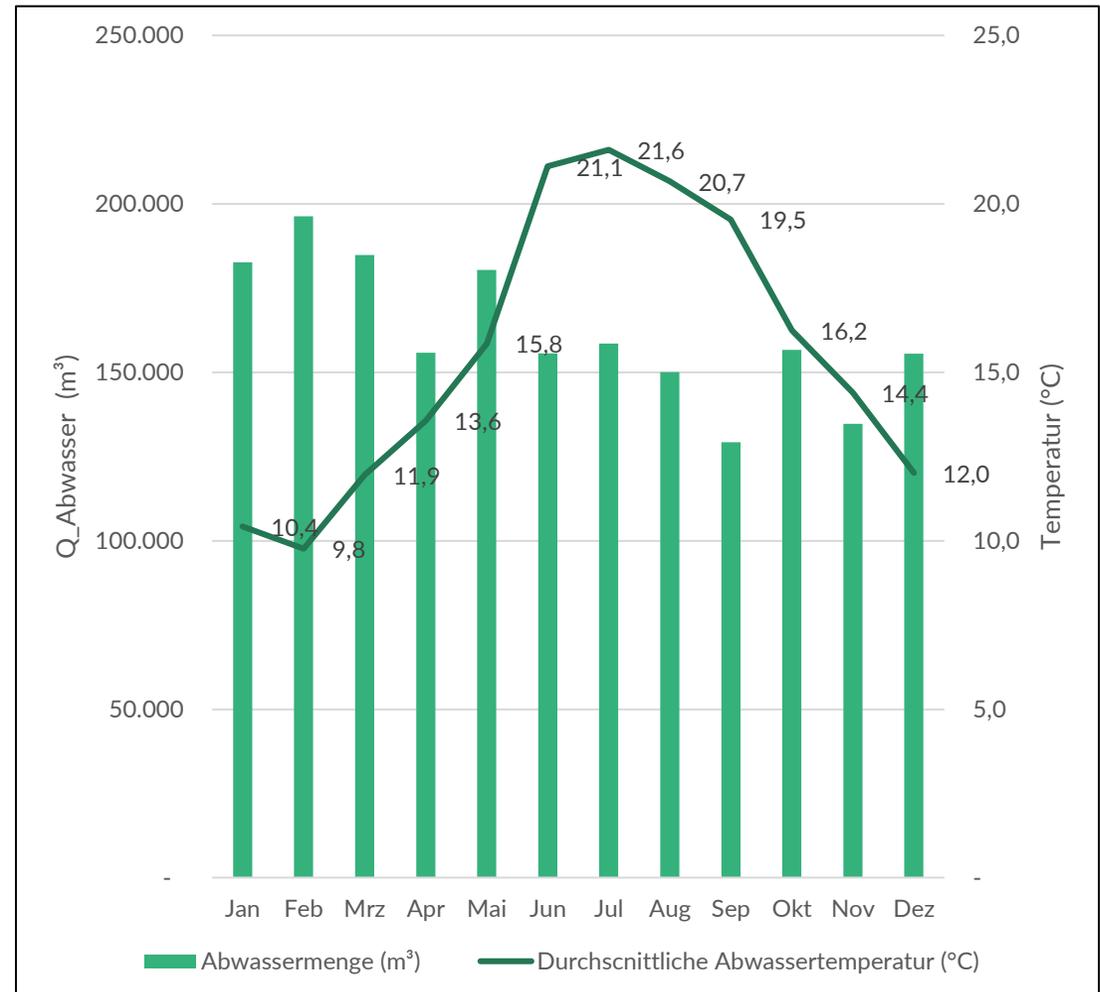
### Ergebnisse

- Technisches Potential\*: 9,0 GWh/a
- Max. Heizleistung: 2,2 MW

### Vorgehen

- Berechnung anhand der durchschnittliche monatlicher Abwasser Menge und Temperatur
  - Abwasser 2018: 1.940.227 m<sup>3</sup>/Jahr
- Wärmepumpe Berechnung anhand vorliegende Netztemperaturdaten

\* 6.100 Volllaststunden;



# Abwasser (Kläranlage an der Wittstocker Allee / Am Eichenhain)

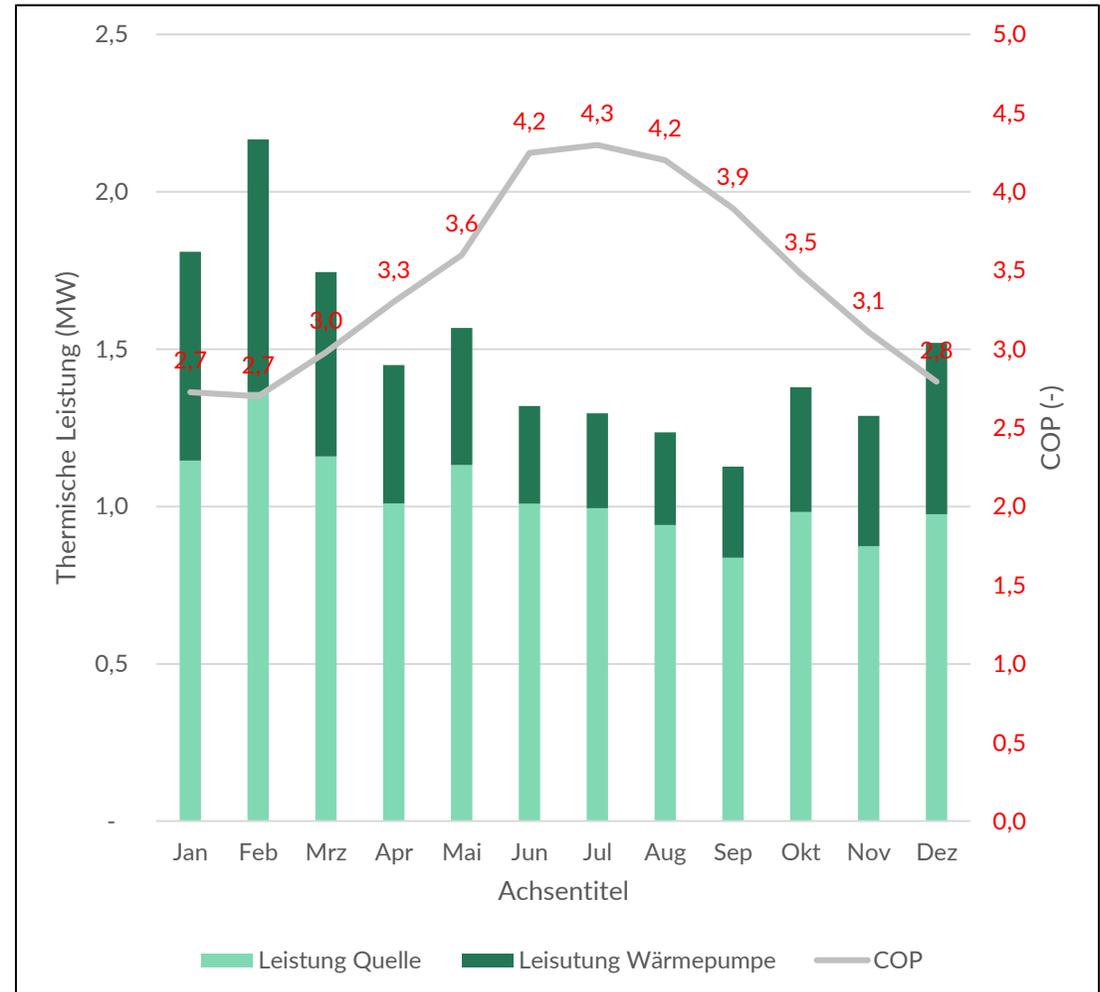
## Datenquellen für die Analyse

- Abwasser Temperatur und Menge
  - EU-Kommunalabwasserrichtlinie (<https://kommunales-abwasser.de/> )
  - Monatliche Aufteilung und Abwassertemperatur (Eigene IREES Quelle)
- Energetische Verwertung
  - Stadtwerke Neuruppin - Wärmenetze Vor- und Rücklauftemperaturen
  - Danish Technological Institute – Heat Pump First Assessment Tool, 2018
  - Fritz S., Pehnt M. – Kommunale Abwässer als Potenzial für die Wärmewende?, 2018

# Abwasser (Kläranlage an der Wittstocker Allee / Am Eichenhain)

## Ergebnisse: Großwärmepumpe – Eigenschaften

- Jahresarbeitszahl von 3,09
- Durchschnittliche Thermische Leistung von 1,5 MW
- Wärmeerzeugung zwischen 3,4 GWh/a und 9,0 GWh/a je nach Wärmepumpe Volllaststunden
- Abwasser Temperaturentnahme von 4 °C
- Netztemperaturen
  - Vorlauf (Winter) = 90°C
  - Rücklauf (Winter) = 60°C
  - Vorlauf (Sommer) = 70°C
  - Rücklauf (Sommer) = 50°C



# Abwasser (Kläranlage an der Wittstocker Allee / Am Eichenhain)

## Ergebnisse: Wirtschaftlichkeit (Auszug)

- Annahmen:
  - Betrachtungszeitraum = 30 Jahren
  - Kalkulatorischer Zinssatz = 3%
  - Stromkosten = 150 €/MWh
  - Betriebskosten (variable) = 1,5 €/MWh
  - Betriebskosten (fix) = 12.000 €/MWth/a
- Gesamtinvestitionen von ca. 3,63 M€
  - Großwärmepumpen: 1,96 M€
  - Gebäude: 0,26 M€
  - Übergabestationen: 0,37 M€
  - Nebenkosten (Fachplaner, etc.): 0,36 M€
  - Netzanbindung (DN 100; 0,75 km): 0,70 M€
- Jährliche verbrauchsgebundene Kosten von ca. 0,2 M€/a
  - Betriebskosten (fix und variable): 0,03 M€
  - Stromkosten: 0,17 M€/a
- 65,5 €/MWh Wärmegestehungskosten (bei ca. 6.100 Vollaststunden)

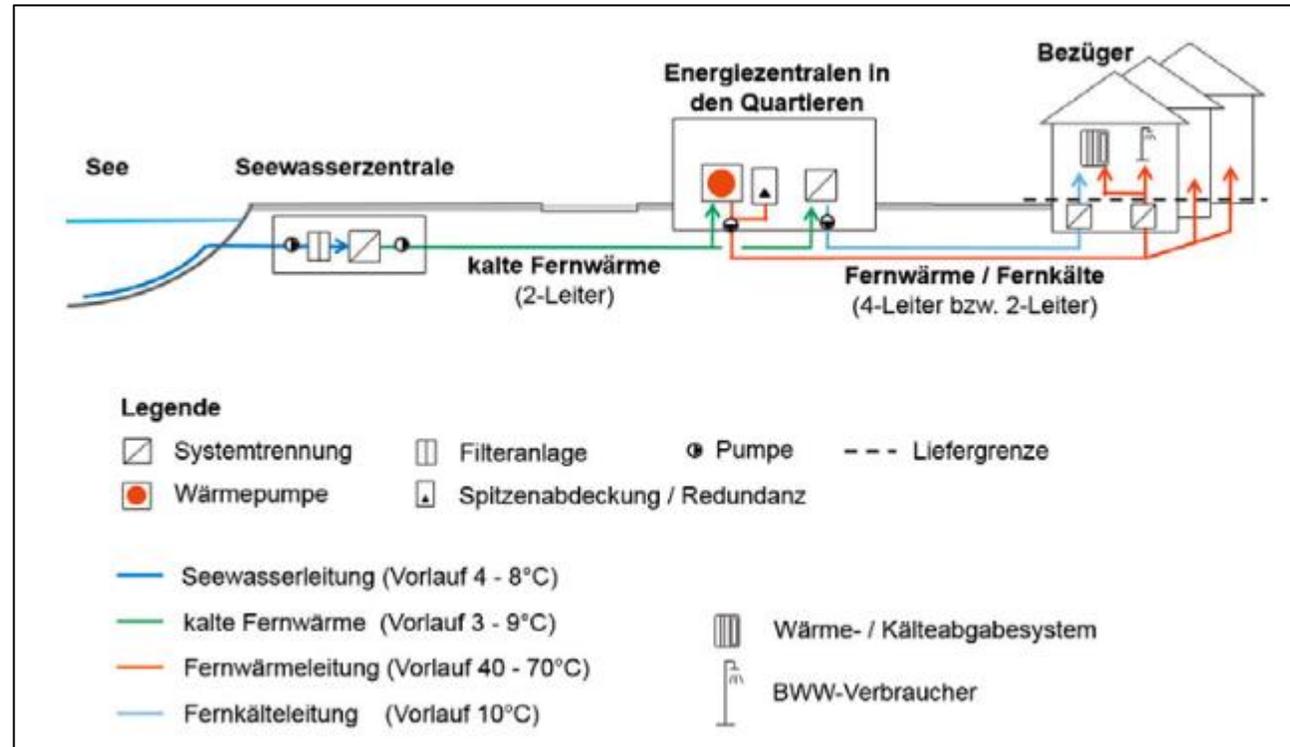
# Potentiale lokaler Wärmequellen

Umweltwärme (Oberflächengewässer)

# Abwasser Großwärmepumpe

## Grundlagen und Projektbeispiel (geplant)

- 1,0 bis 1,5 MW Wärmeleistung
- 70 °C Vorlauftemperaturen
- 104 M€ Investitionen
- Fernwärme- und Fernkälteleitung



Quelle: Tschan T., Watts R., CIRCULAGO, Wärme und Kälte aus dem Zugersee

# Oberflächengewässer (Ruppiner See)

## Zusammenfassung

### Ergebnisse

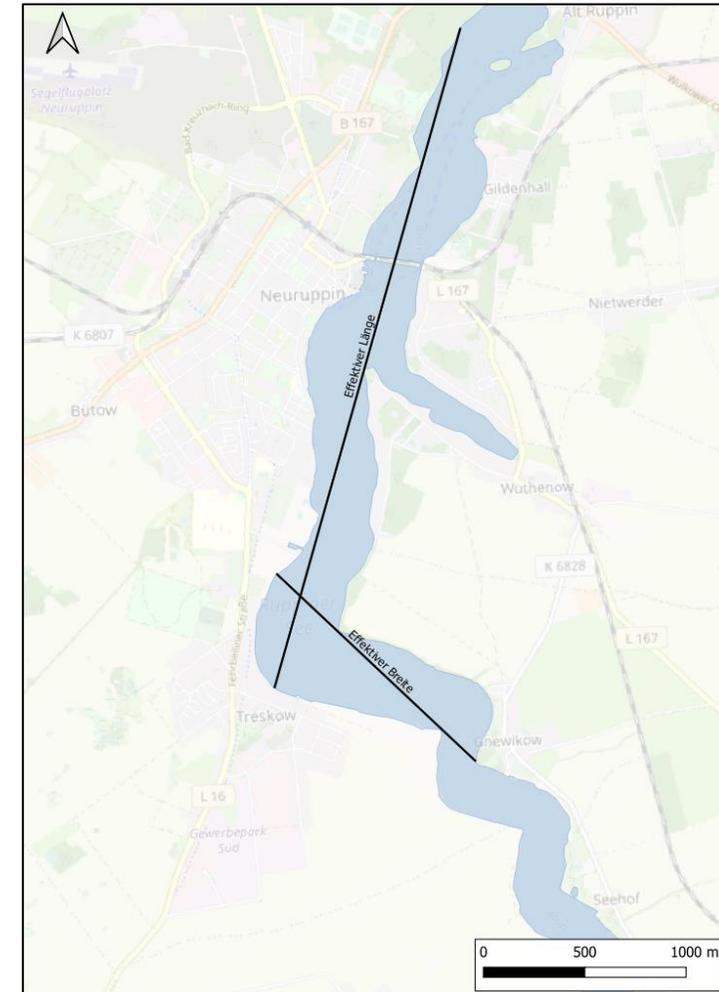
- Theoretisches Potential\*: 45 GWh/a
- Zur Nutzung in Wärmenetzen\*\*: 20,7 GWh/a

### Vorgehen

- Berechnung anhand angenommenen entnahmemenge des Seevolumens
- Temperatur abgeleitet von Zwenkauer See (Leipzig) Studie
- Wärmepumpe Berechnung anhand vorliegende Netztemperaturdaten

\* 0,1% Entnahmemenge des Seevolumens;

\*\* 0,0158% Entnahmemenge des Seevolumens (Zwenkauer See)



# Oberflächengewässer (Ruppiner See)

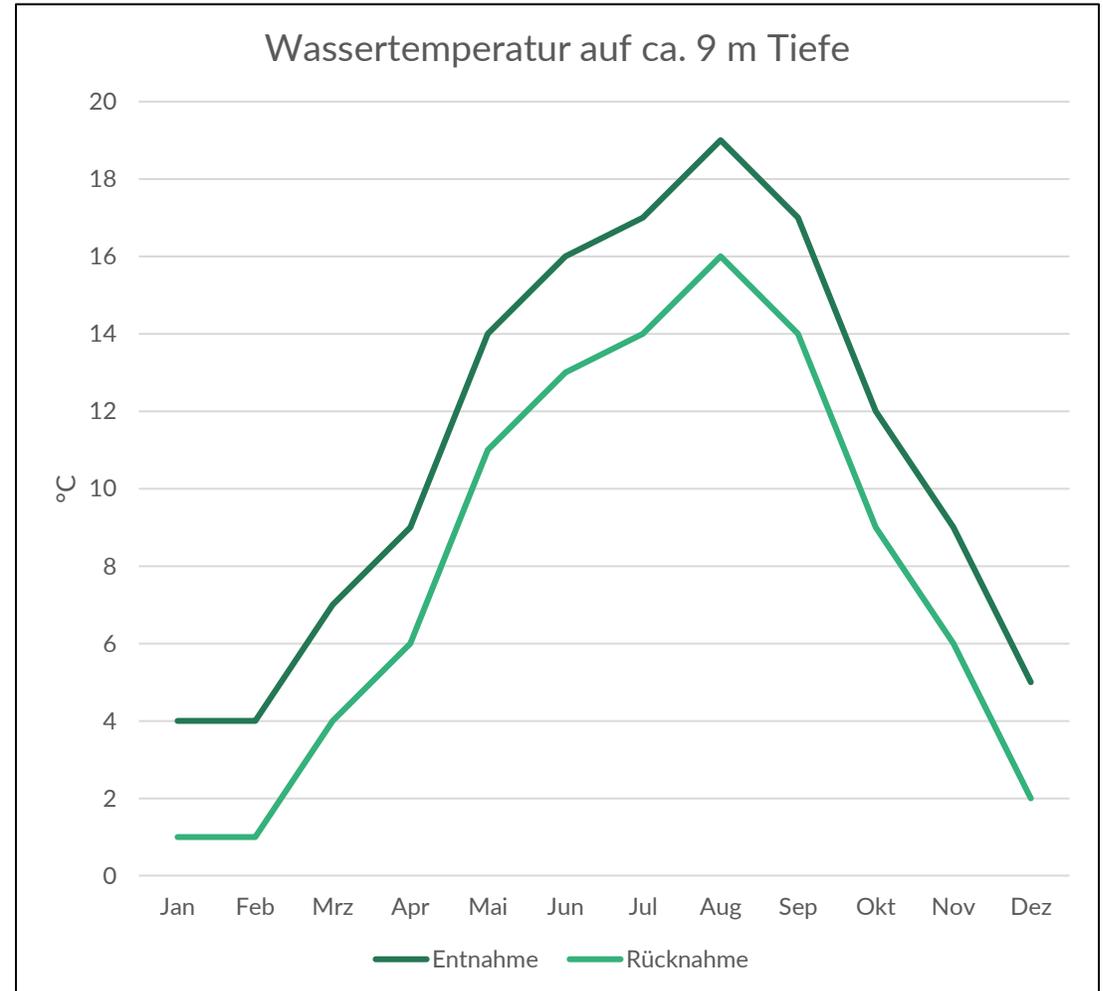
## Datenquellen für die Analyse

- Wasser Temperatur und Menge
  - Böttger, S. et al., Seethermie - Innovative Wärmeversorgung aus Tagebaurestseen, 2021 (Temperaturprofil Zwenkauer See)
  - BfG-Bundesanstalt für Gewässerkunde – Wasserkörper DE, (Wassermenge Ruppiner See)
- Energetische Verwertung
  - Stadtwerke Neuruppin - Wärmenetze Vor- und Rücklauftemperaturen
  - Böttger, S. et al., Seethermie - Innovative Wärmeversorgung aus Tagebaurestseen, 2021 (Temperaturprofil Zwenkauer See)
  - Danish Technological Institute – Heat Pump First Assessment Tool, 2018

# Oberflächengewässer (Ruppiner See)

## Ergebnisse: Großwärmepumpe – Eigenschaften

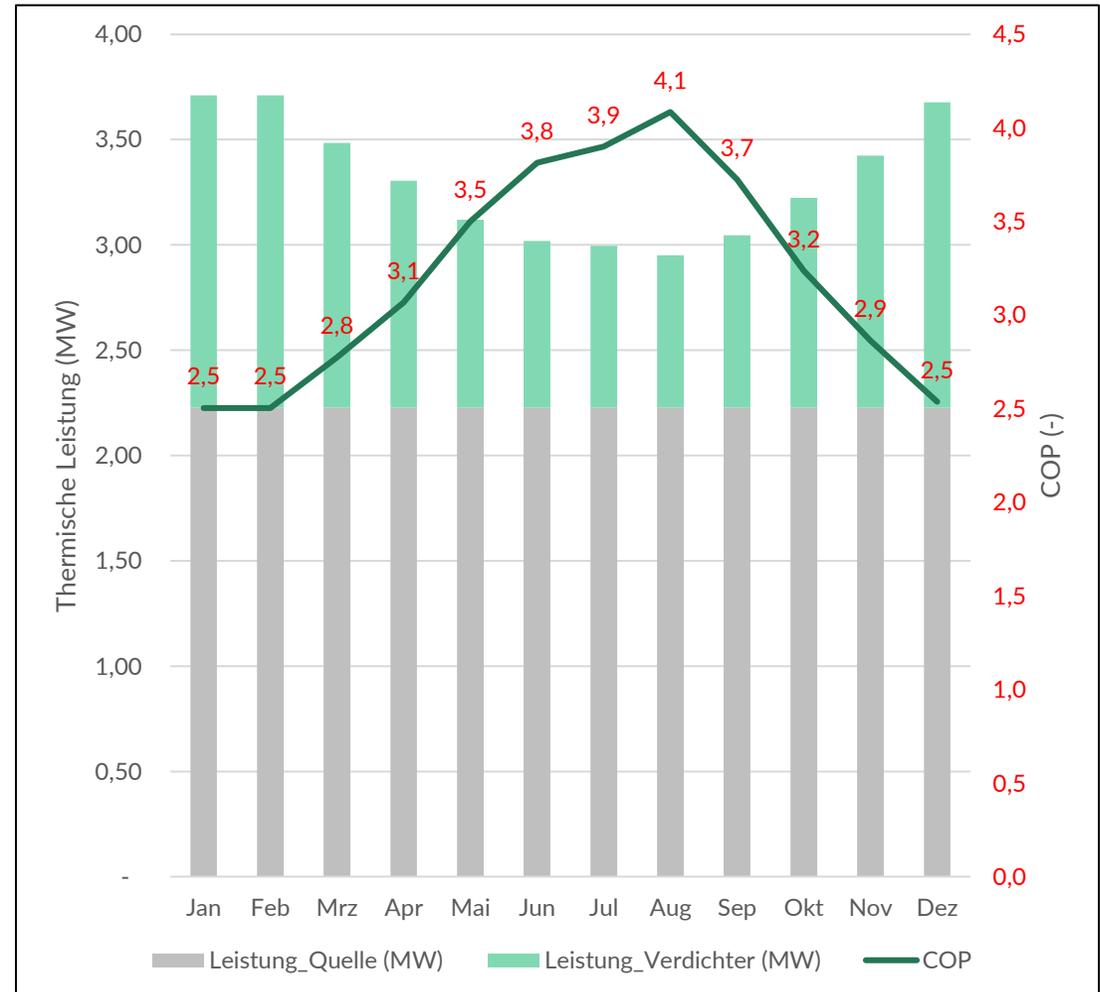
- Wassertemperatur basierend auf der Hydrologisches Modellierung im Zwenkauer See
- Abwasser Temperaturentnahme von 3 °C
- Maximal zulässigen Geschwindigkeit am Ansaugpunkt von 0,5 m/s
- Entnahmemenge des Seevolumens von 0,0158% am Tag (637 m<sup>3</sup>/h)
- Theoretische Epilimnion Tiefe: 8,71 m
  - Effektiver Breite: 2,41 km
  - Effektiver Länge: 6,09 km



# Oberflächengewässer (Ruppiner See)

## Ergebnisse: Großwärmepumpe – Eigenschaften

- Jahresarbeitszahl von 2,89
- Durchschnittliche Thermische Leistung von 3,39 MW
- Wärmeerzeugung von 7,1 GWh/a bis 20,7 GWh/a je nach Wärmepumpe Volllaststunden
- Netztemperaturen
  - Vorlauf (Winter) = 90°C
  - Rücklauf (Winter) = 60°C
  - Vorlauf (Sommer) = 70°C
  - Rücklauf (Sommer) = 50°C



# Abwasser (Ruppiner See)

## Ergebnisse: Wirtschaftlichkeit (Auszug)

- Annahmen:
  - Betrachtungszeitraum= 30 Jahren
  - Kalkulatorischer Zinssatz = 3%
  - Stromkosten = 150 €/MWh
  - Betriebskosten (variable) = 1,5 €/MWh
  - Betriebskosten (fix) = 12.000 €/MWth/a
- Gesamtinvestitionen von ca. 5,04 M€
  - Großwärmepumpen: 2,72 M€
  - Gebäude: 0,66 M€
  - Übergabestationen: 0,57M€
  - Nebenkosten (Fachplaner, etc.): 0,46 M€
  - Netzanbindung (DN 125; 1,0 km): 0,39 M€
  - Entnahmeleitung, DN 600, 0,2 km): 0,25 M€
- Jährliche verbrauchsgebundene Kosten von ca. 0,39 M€/a
  - Betriebskosten (fix und variable): 0,02 M€
  - Stromverbrauchskosten: 0,37 M€/a
- 69,8 €/MWh Wärmegestehungskosten (bei ca. 6.100 Vollaststunden)