

*Wärmewendeforum Hessen*  
*Marburg, 06.06.2024*



U N I K A S S E L  
V E R S I T Ä T

# Potenziale zur Abwasserwärmenutzung aus Kläranlagen in Hessen

Universität Kassel, Fachgebiete

- Solar- und Anlagentechnik
- Siedlungswasserwirtschaft

U. Jordan, T. Morck, N. Siebert, V. Liese, B. Schäfer, O. Kusyy, L. Höft



**KlärWP.Hessen**

Laufzeit: 08/23 - 03/24



## Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik

**Fernwärme & kommunale  
Wärmeplanung**

**Bereich Prozesswärme**

**Fehlerdiagnose**

**Sorptionsprozesse**

- Angewandte Forschung und Entwicklung zu thermischen Energiesystemen
- ca. 25 Mitarbeiter:innen, dazu Studierende
- Koordinierung Masterstudiengang „Regenerative Energien und Energieeffizienz“
- Beteiligung an Arbeitsgruppen der internationalen Energieagentur, VDI-Gremien, Beratung von BMWK, Bafa & KfW

# Forschung und Entwicklung

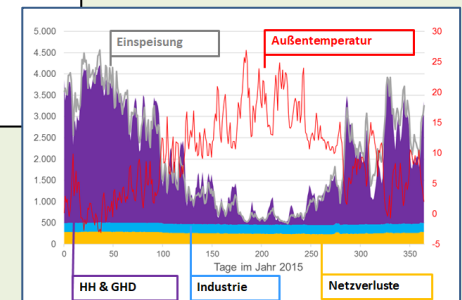
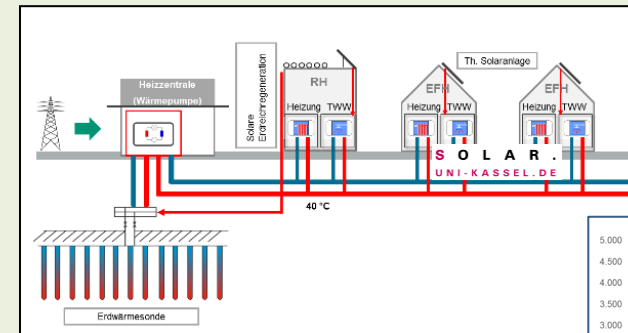
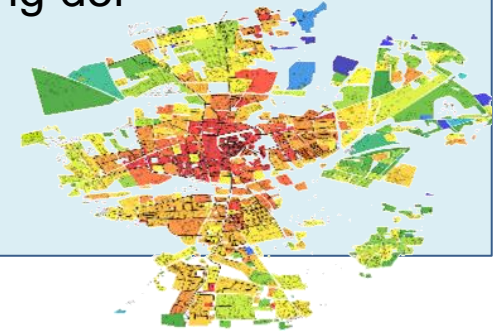
- Wärmeversorgung: Fernwärme & Quartiere
- Industrielle Prozesswärme



- Potentiale zur Einbindung reg. Energien
- Wärmeversorgungskonzepte



Strategische Entwicklung der Fernwärme Kassel / Wärmeleitplanung



- Quartierslösungen
- Wärmeatlas
- Wärmenetze

# Potenziale zur Abwasserwärmenutzung aus Kläranlagen in Hessen

## 1. Überblick

Kläranlagen - Ergebnisse - Abhängigkeiten

## 2. Abwasser-Potenzial

saisonale Verteilungen

## 3. Verbrauch

Wärmenetze - Verbrauchsprofil

## 4. Bereitstellungspotenzial

Deckungsraten



# 1.1 Untersuchungsgegenstand

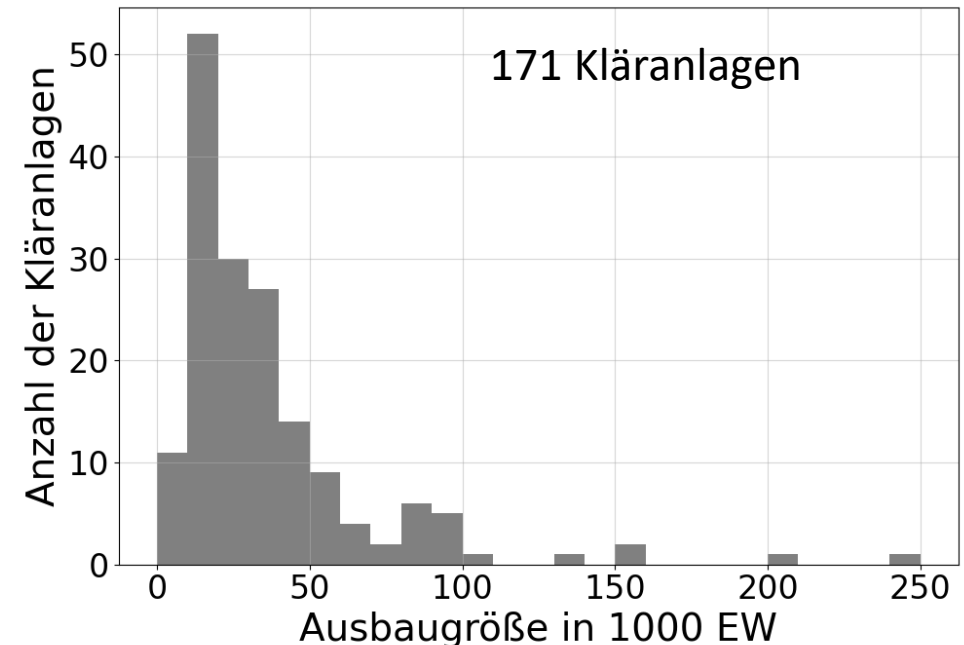
- **171 hessische Kläranlagen** ab 9.500 EW
- Detailuntersuchungen an **4 Kläranlagen**
  - **saisonale Verteilung** von Temp. & Abfluss



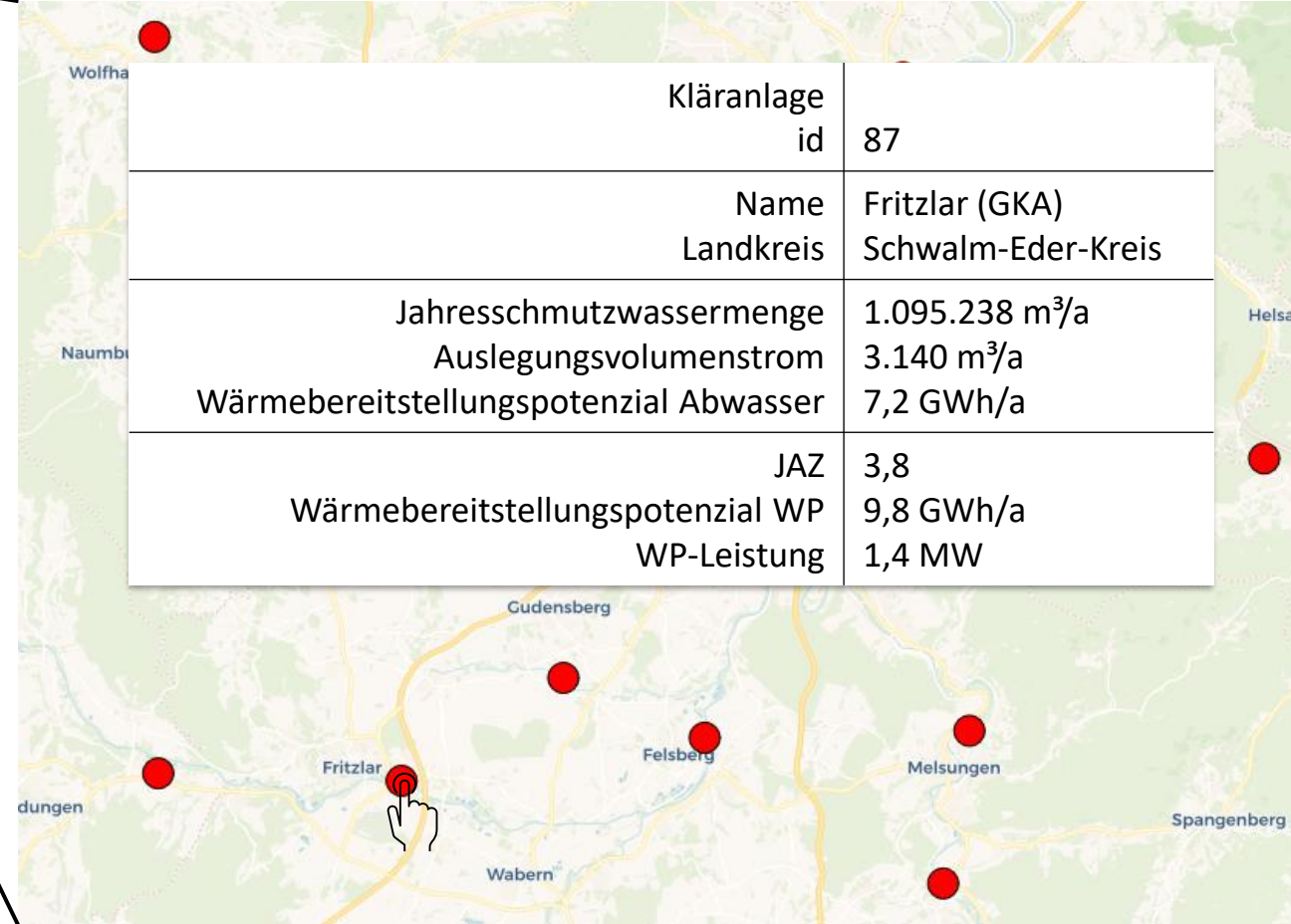
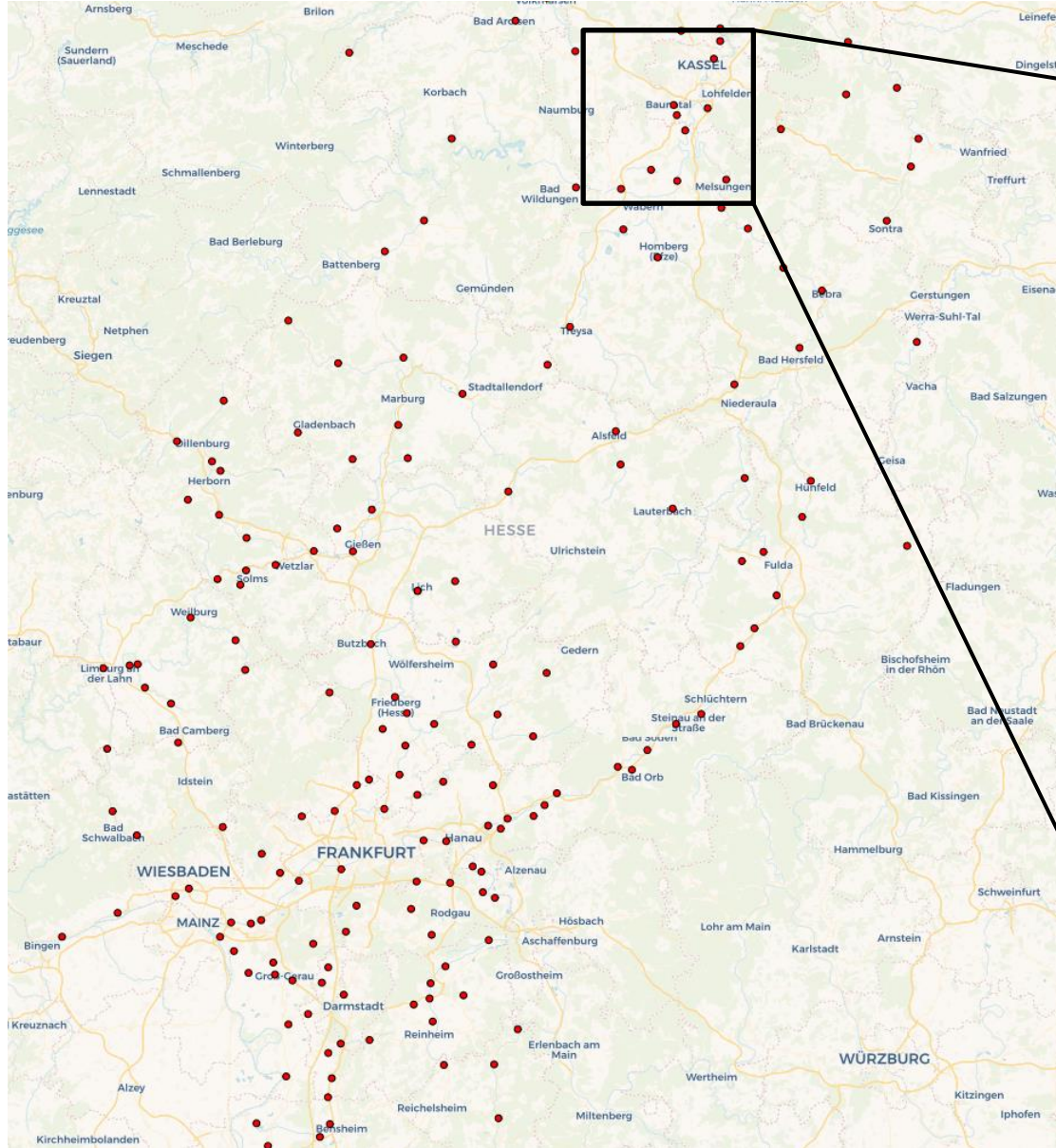
<https://www.kasselwasser.de/abwasser/klaerwerk>

## Evaluationen

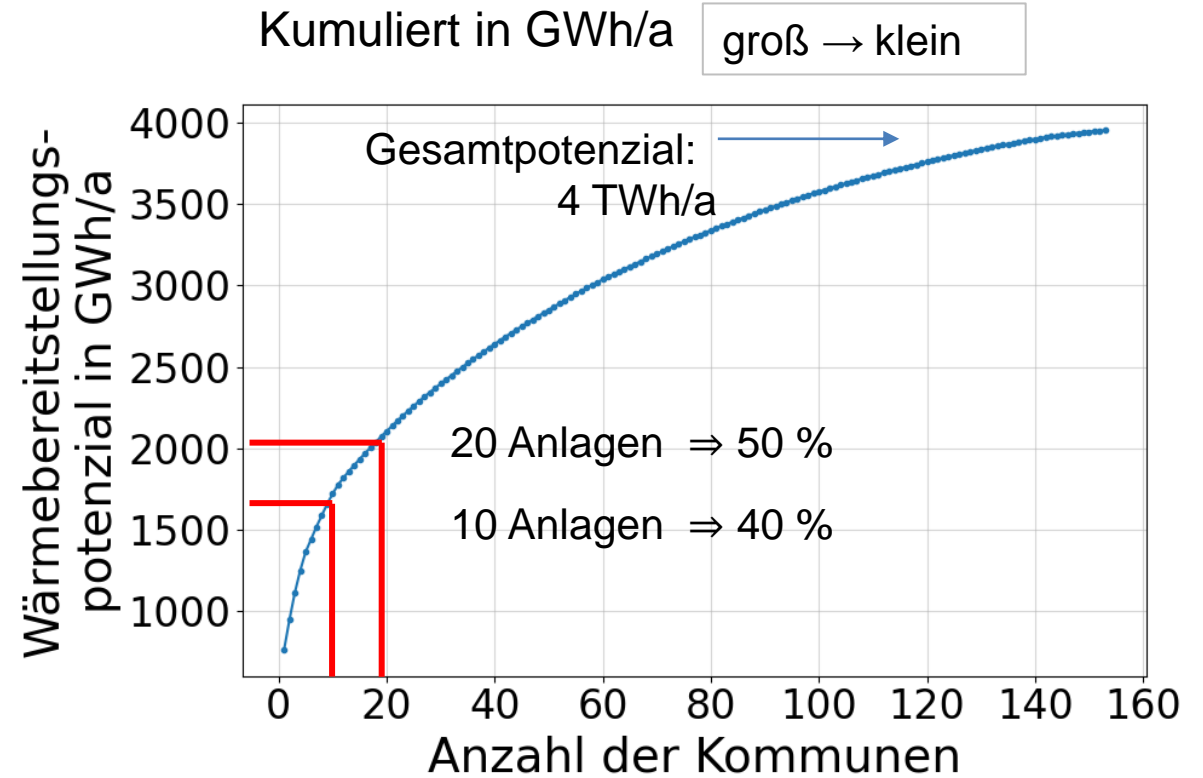
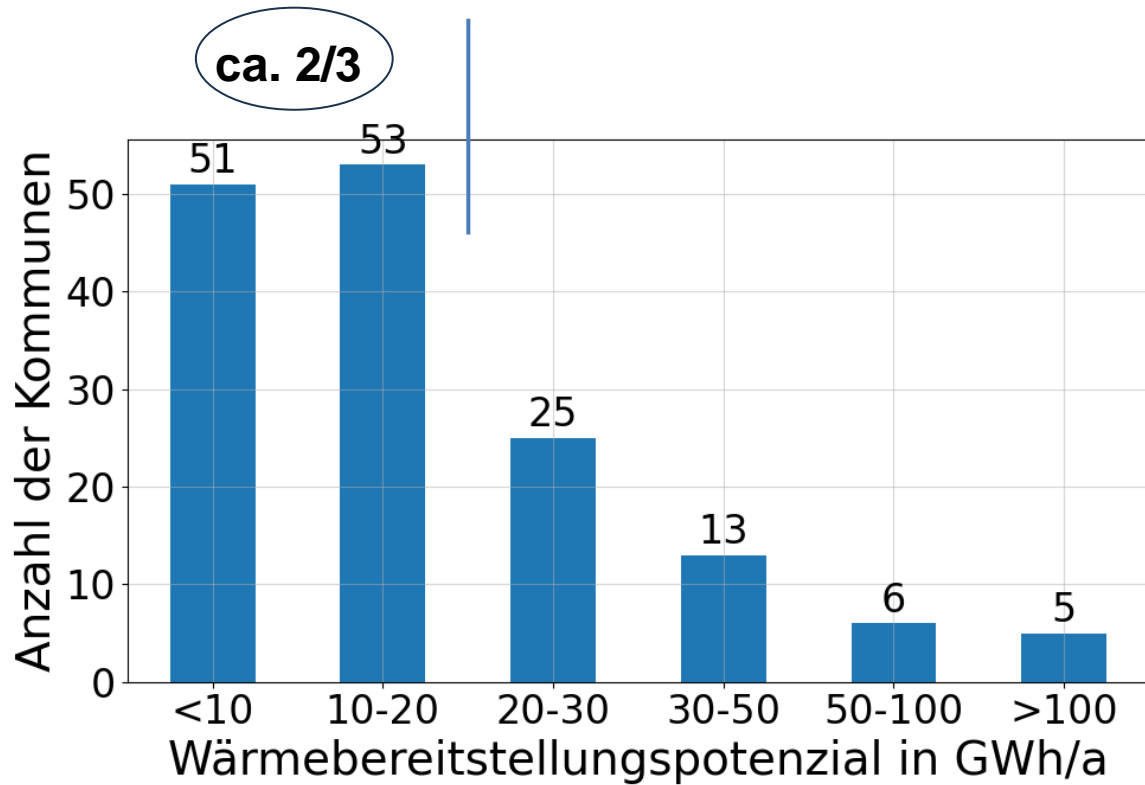
- Abwasserpotential
- Wärmeverbrauch, Wärmenetzgebiete
  - **Wärmebereitstellungspotential**



# 1.2 Hessischer Wärmeatlas



# 1.3 Ergebnisse: Wärmebereitstellungspotentiale



## Unter welchen Bedingungen?

- Wie stark wurde das Abwasser abgekühlt?
- Wie groß wurden die Wärmepumpen ausgelegt?
- Ist das Netz überhaupt wirtschaftlich?

} Annahmen:  
Randbedingungen & Plausibilität



# 1.4 Randbedingungen

## Saisonale Verteilungen!

### A) Abwasser

- Abkühlung:  $\Delta T_{Abw,max}$
- Abfluss:  $\dot{V}_{Abw}$   
(Jahres-Schmutzwassermenge)

### B) Wärmepumpe

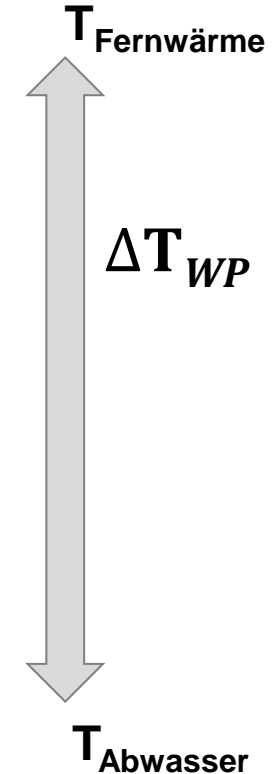
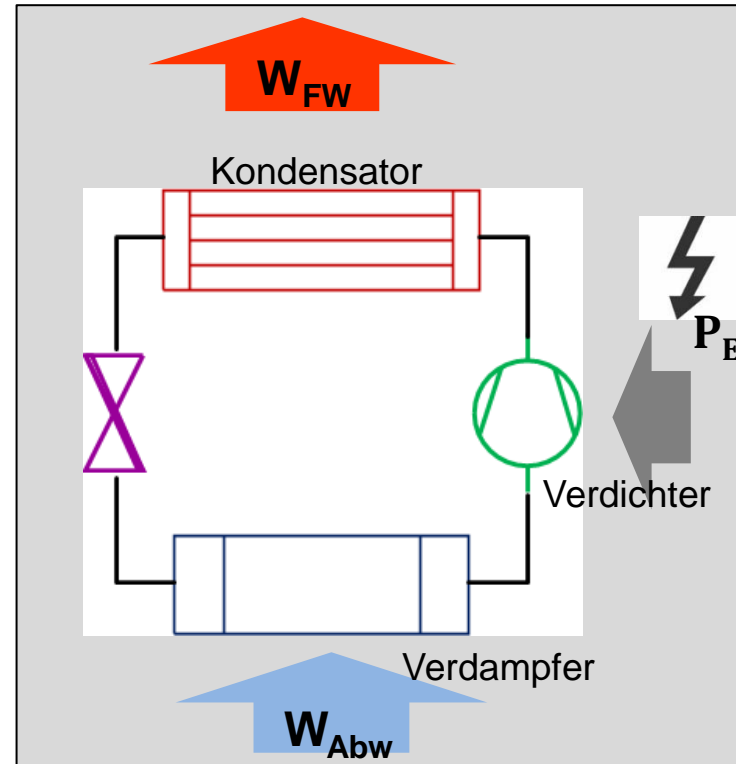
- Temperaturhub:  $\Delta T_{WP}$
- Jahresarbeitszahl: **JAZ**

### C) Verbrauch

- Auslegung Wärmenetz
- Deckungsanteil

Fernwärme

$$W_{FW} = W_{Abw} + P_{el}$$



Abwasserwärme

Abfluss Abkühlung spez. Wärmekapazität

$$W_{Abw} = \dot{V}_{Abw} \cdot \Delta T_{Abw} \cdot 1,16 \frac{kWh}{m^3K}$$

4 .. 7°C (max)

$$\begin{aligned} T_{Abw,mittel} &= 12^\circ C \\ T_{Abw,min} &= 4^\circ C \\ \Delta T_{Abw,max} &= 7^\circ C \end{aligned}$$



# Potentiale zur Abwasserwärmenutzung aus Kläranlagen in Hessen

## 1. Überblick

Kläranlagen - Ergebnisse - Abhängigkeiten

## 2. Abwasser-Potenzial

saisonale Verteilungen

## 3. Verbrauch

Wärmenetze - Verbrauchsprofil

## 4. Bereitstellungspotenzial

Deckungsraten

# 2.1 Saisonale Verteilungen

Schmutzwasser

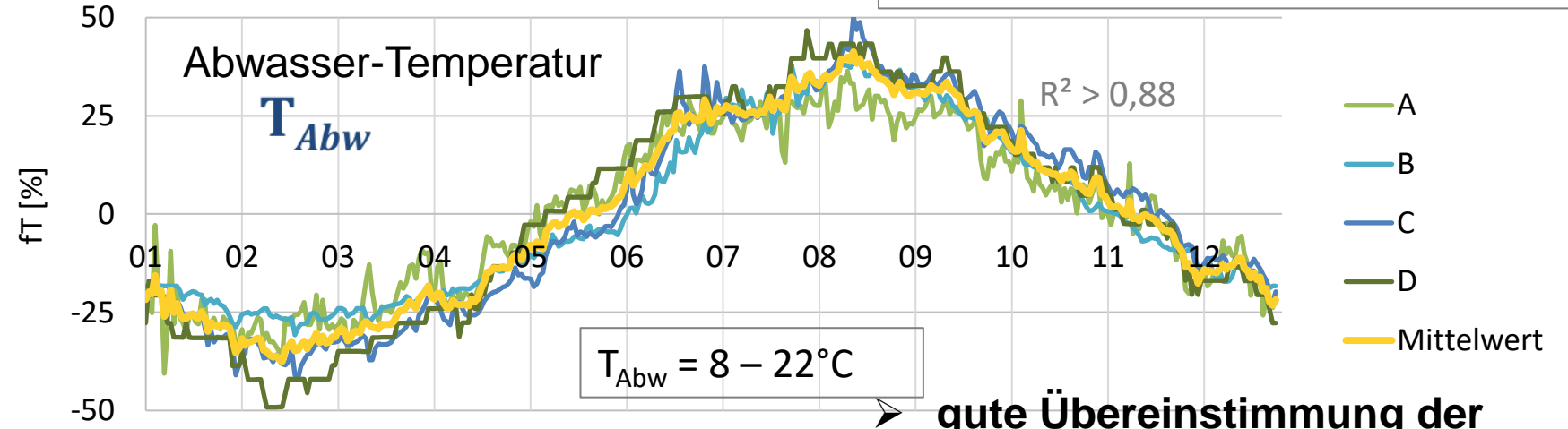
Gleitendes  
7-Tagemittel

Zeitreihenanalyse

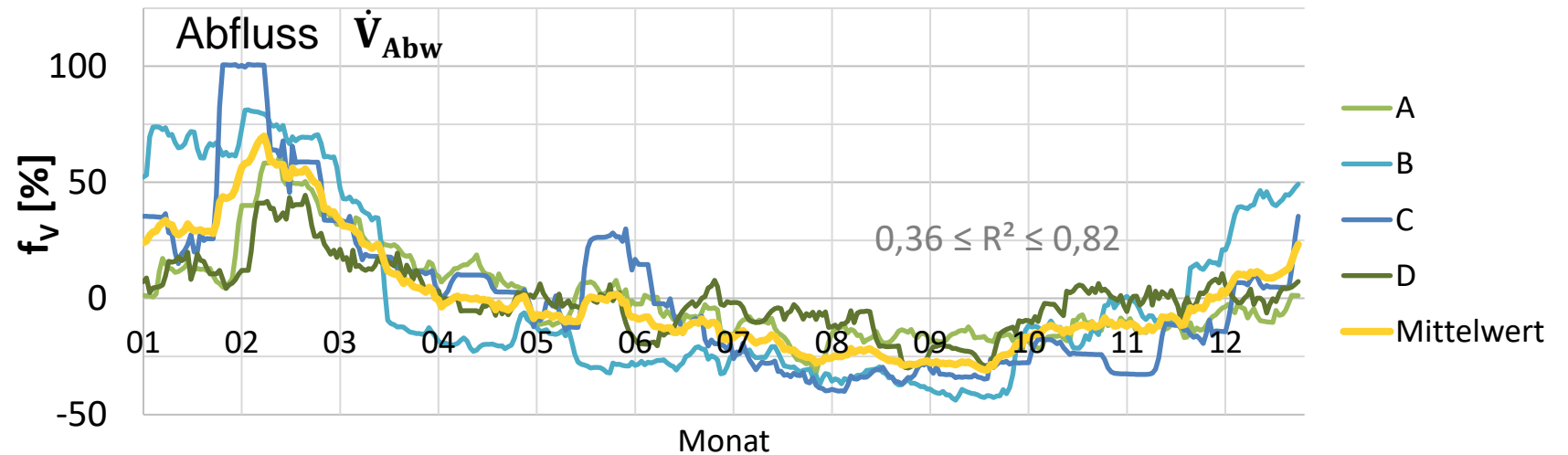
Tagesfaktoren  
 $f_T$  und  $f_V$

Standardfaktoren  
 $f_{T,St}$  &  $f_{V,St}$

Tageswerte  $\Rightarrow$  Standardfaktoren



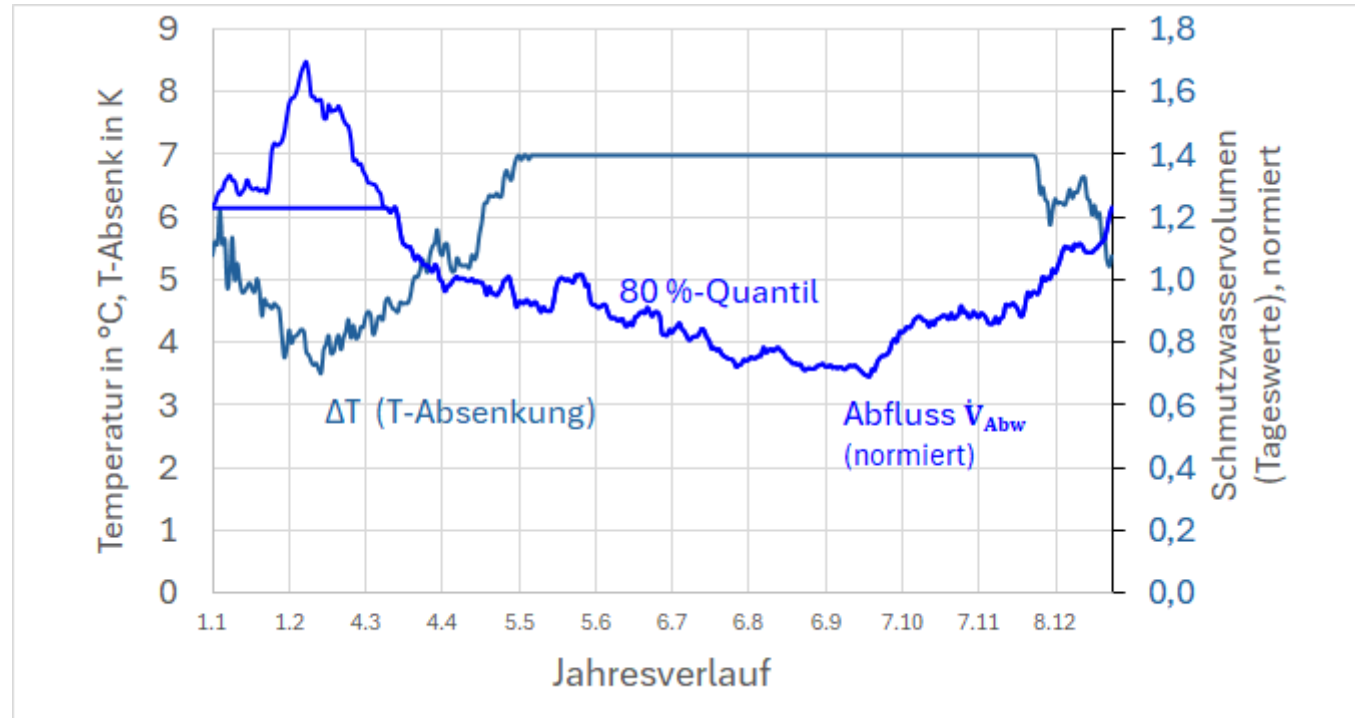
$\Rightarrow$  gute Übereinstimmung der Jahres-Verläufe



$\Rightarrow$  Fremdwasseranteil z.T. hoch

# 2.2 Berechnung der Wärme

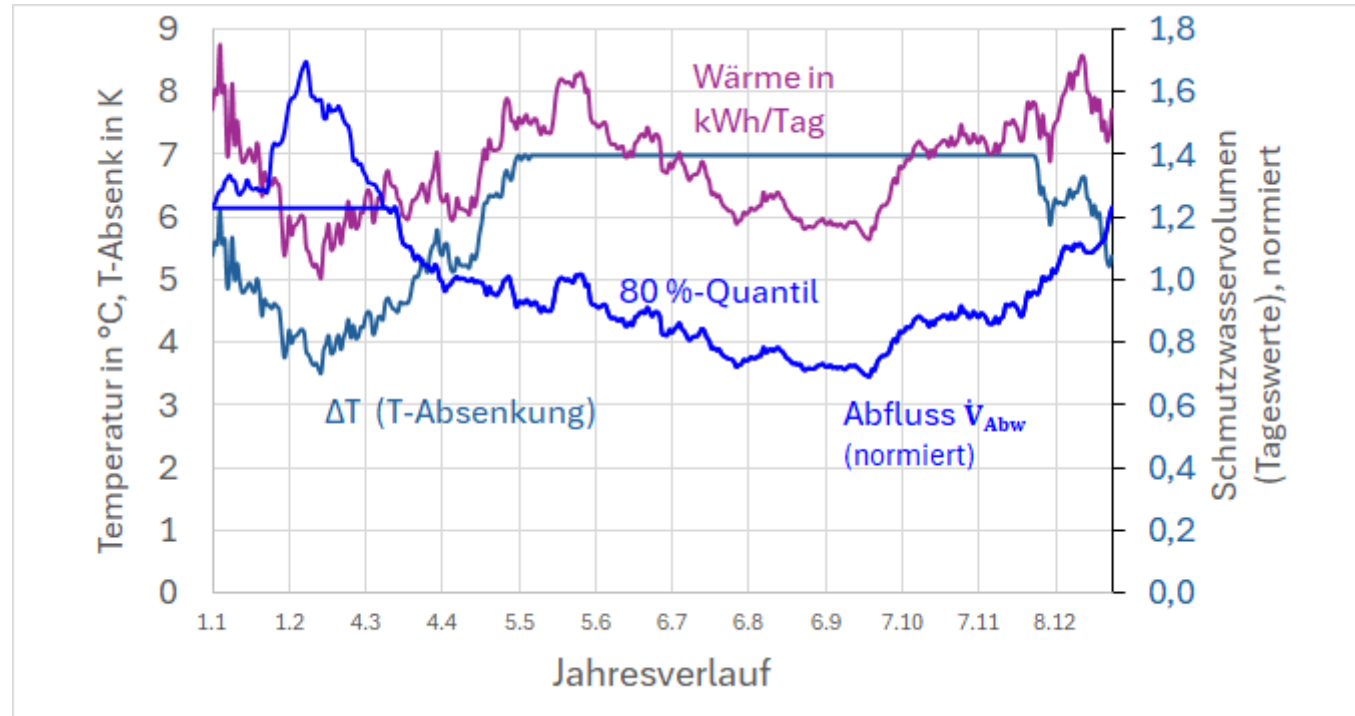
$$W_{Abw} = \dot{V}_{Abw} \cdot \Delta T_{Abw} \cdot 1,16 \frac{kWh}{m^3 K}$$



- Hohe Werte Jan-März (statt Mittelwert)
- Annahme: 80 %-Quantil

# 2.2 Berechnung der Wärme

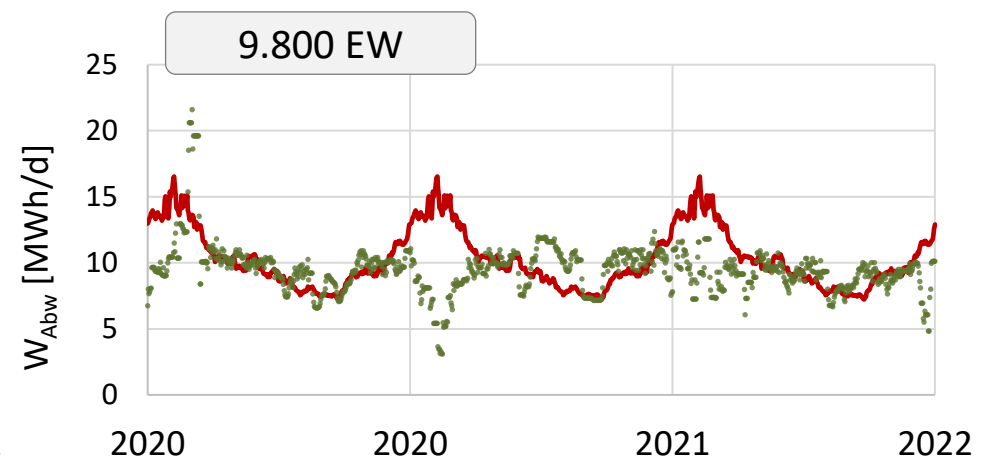
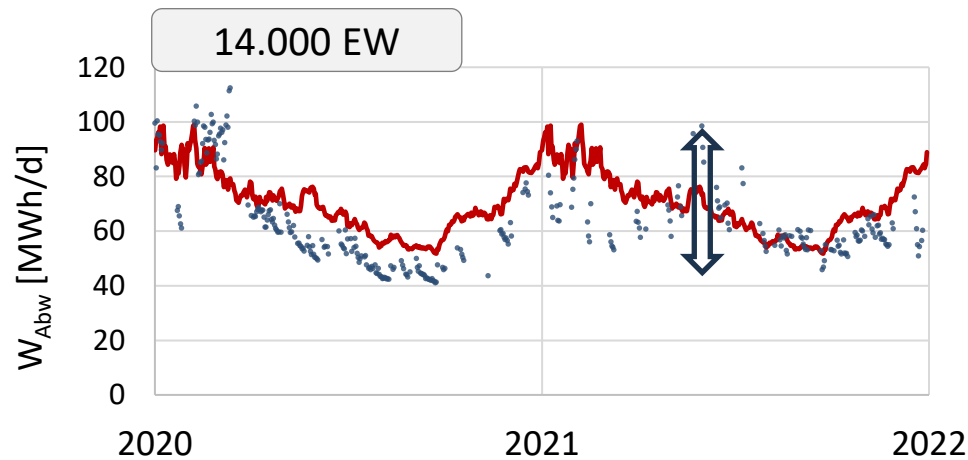
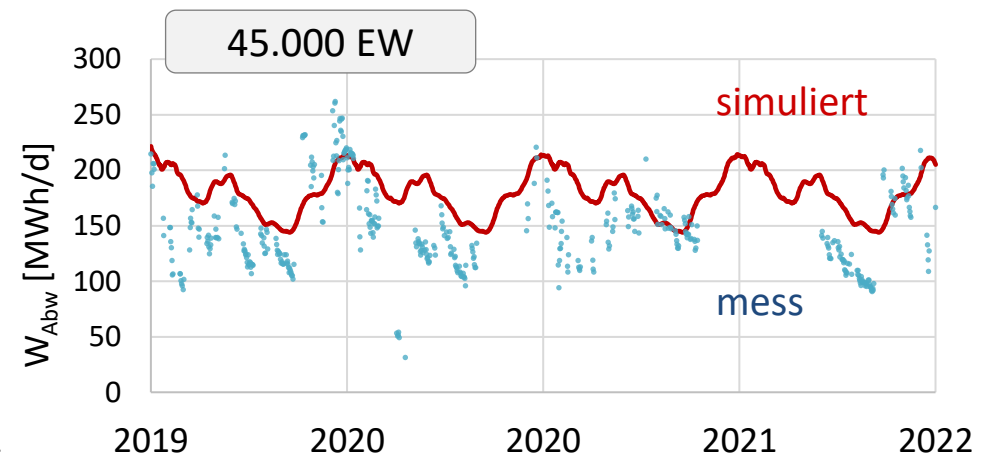
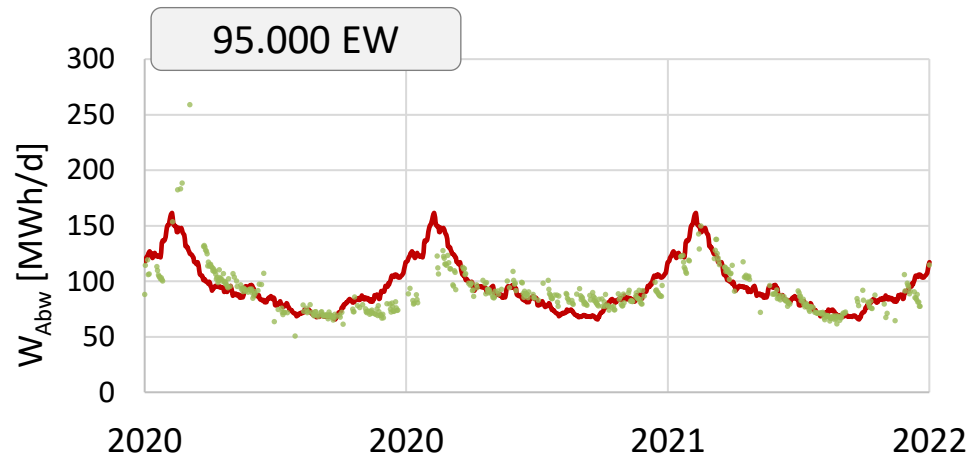
$$W_{Abw} = \dot{V}_{Abw} \cdot \Delta T_{Abw} \cdot 1,16 \frac{kWh}{m^3 K}$$



- Hohe Werte Jan-März (statt Mittelwert)
- Annahme: 80 %-Quantil

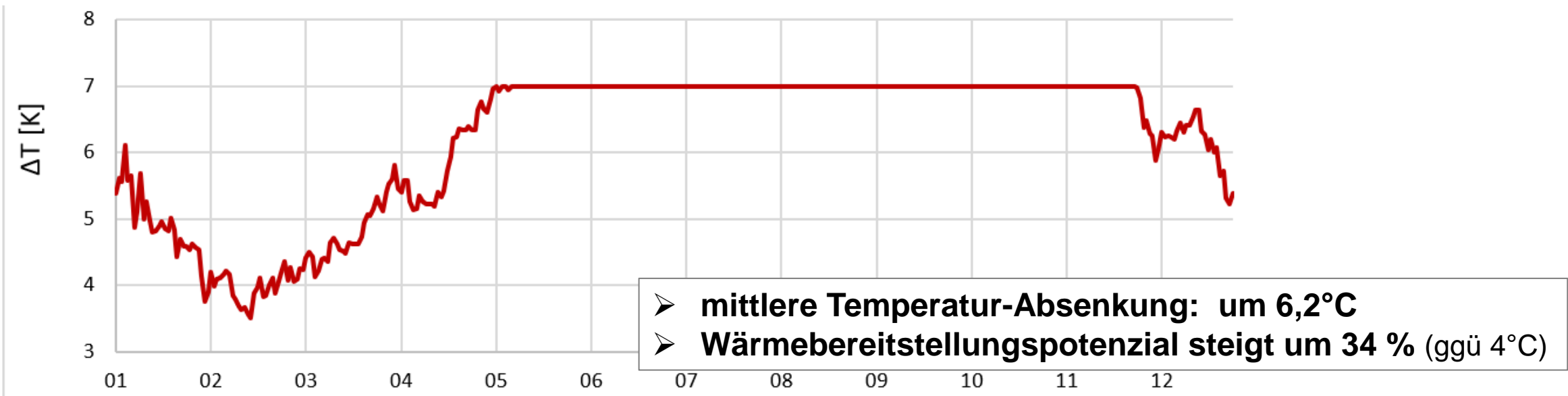
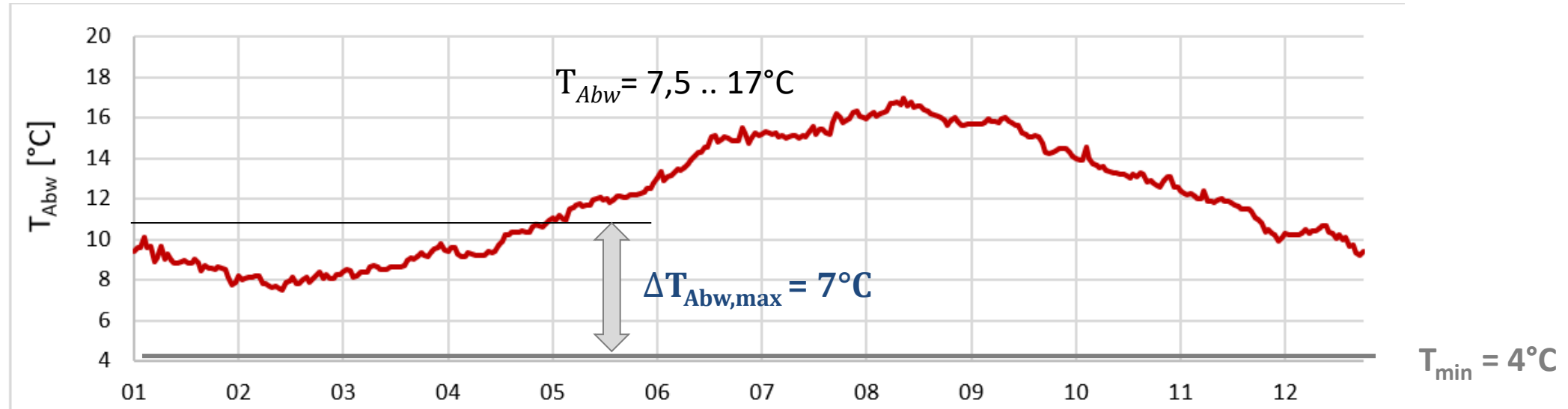


# 2.3 Abwasserwärmepotenzial Beispielanlagen



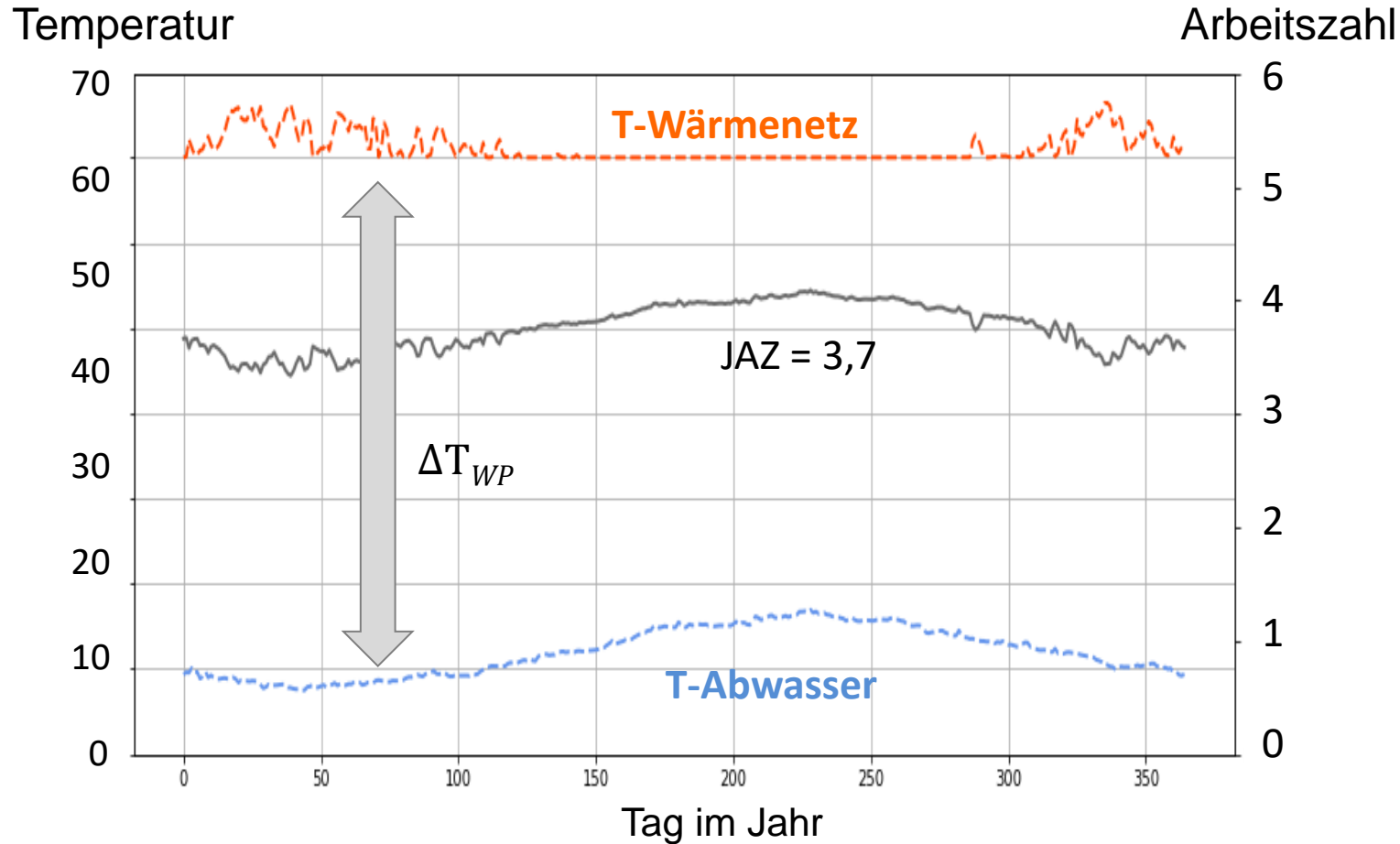
➤ Erzeugte Profile weichen stark voneinander ab

## 2.4 Minimale Abwassertemperatur: $T_{\min} = 4^{\circ}\text{C}$

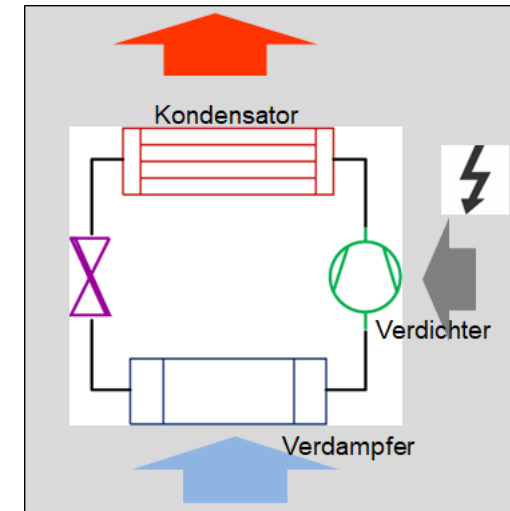


# 2.5 Jahresarbeitszahl

## Zweistufige Ammoniak-Wärmepumpe



$$JAZ = \frac{W_{Nutz}}{P_{el}}$$



# Potentiale zur Abwasserwärmenutzung aus Kläranlagen in Hessen

## 1. Überblick

Kläranlagen - Ergebnisse - Abhängigkeiten

## 2. Abwasser-Potenzial

saisonale Verteilungen

## 3. Verbrauch

Wärmenetze - Verbrauchsprofil

## 4. Bereitstellungspotenzial

Deckungsraten



# 3.1 Wärmeverbrauch

- Trassenverlauf: FW-Gebiete

Indikator (Wirtschaftlichkeit):

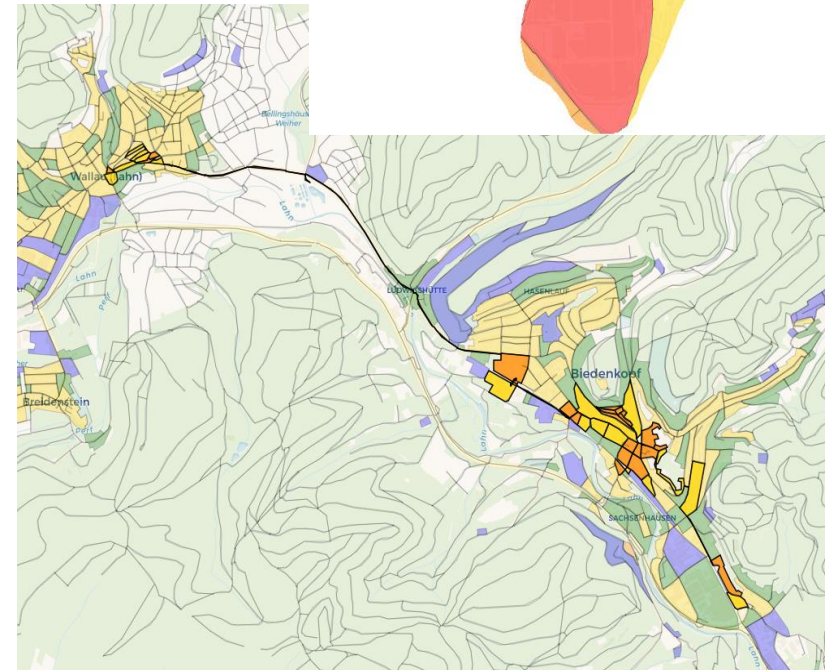
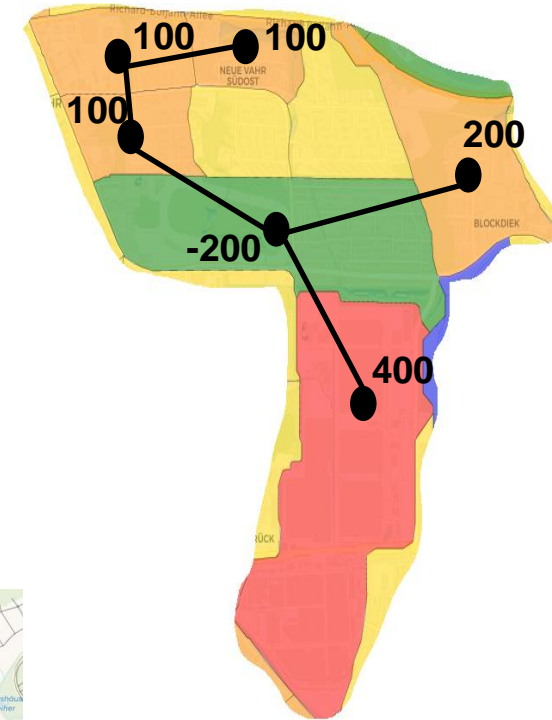
Wärmeliniendichte:  $400 \frac{kWh}{m_{TR} \cdot a}$  ..  $1000 \frac{kWh}{m_{TR} \cdot a}$

- Netzauslegung auf Straßenzugsebene

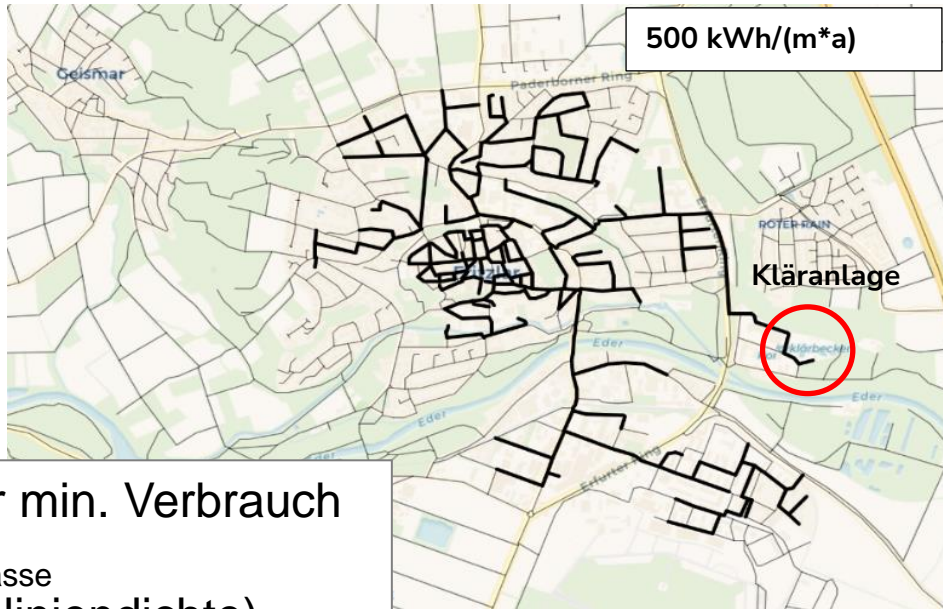
(nicht: Baublock oder Rasterebene)

- Berücksichtigung der **Hausanschlussleitungen!** (anstelle der Straßenzüge) (+ ≈40 %)
- Startpunkt: Kläranlage
- Anschlussquote = 60 %

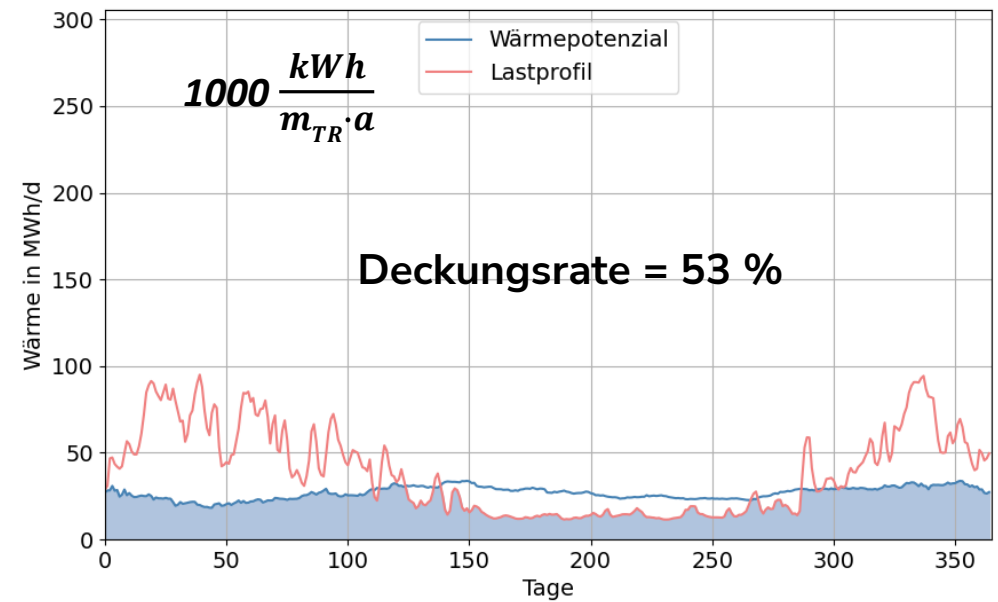
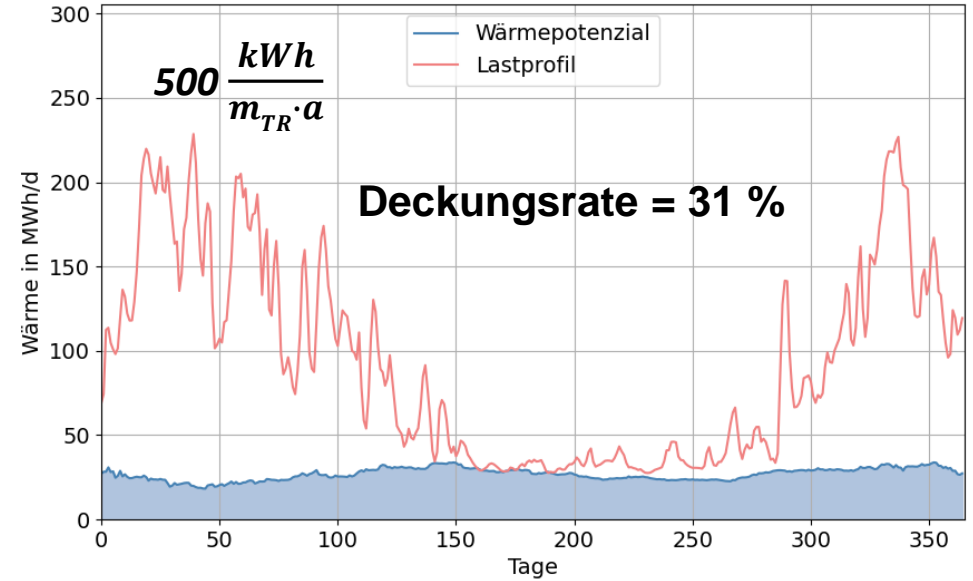
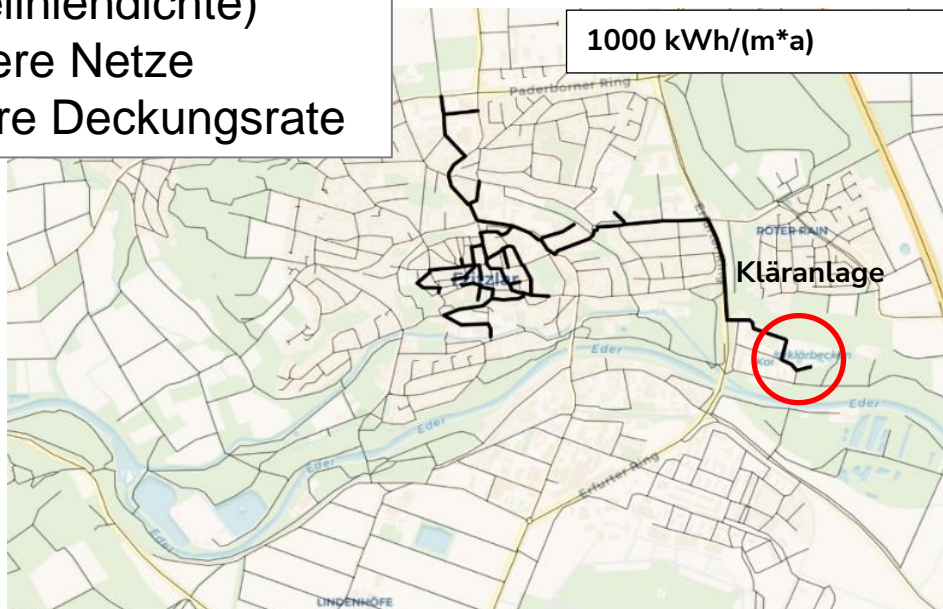
- Automatisierung



# 3.2 Wärmenetze



Höherer min. Verbrauch  
pro  $m_{Trasse}$   
(Wärmeliniedichte)  
⇒ kleinere Netze  
⇒ höhere Deckungsrate



# Potentiale zur Abwasserwärmenutzung aus Kläranlagen in Hessen

## 1. Überblick

Kläranlagen - Ergebnisse - Abhängigkeiten

## 2. Abwasser-Potenzial

saisonale Verteilungen

## 3. Verbrauch

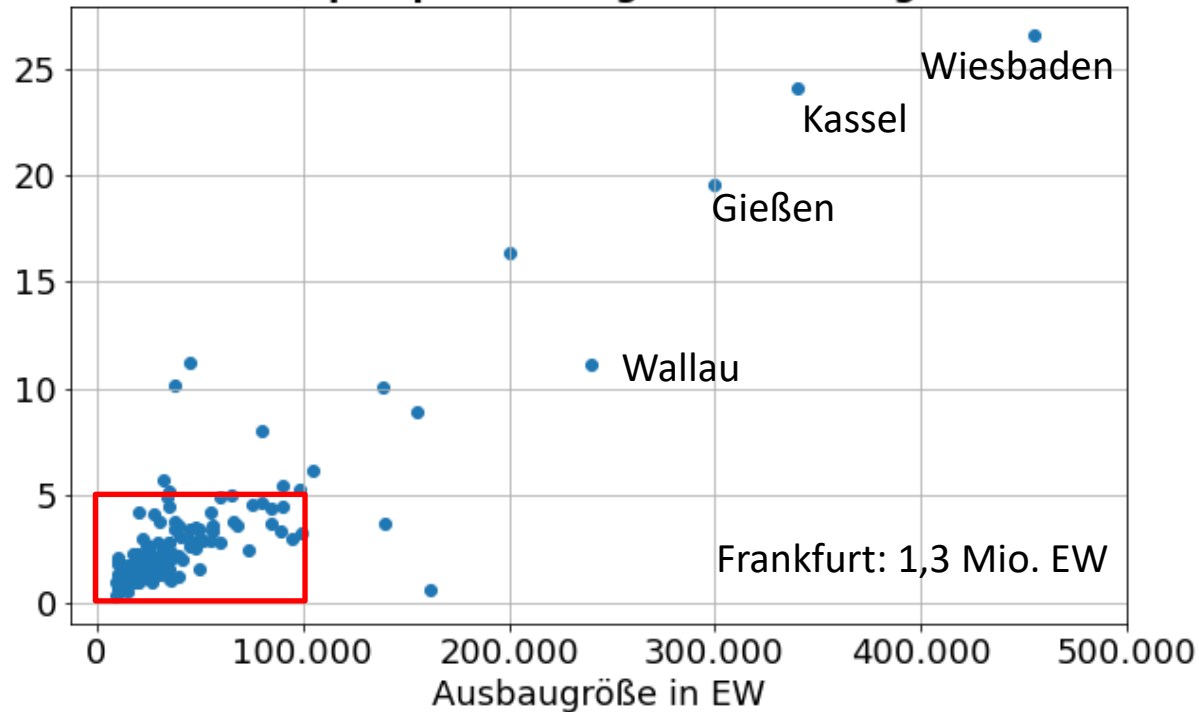
Wärmenetze - Verbrauchsprofil

## 4. Bereitstellungspotenzial

Deckungsraten

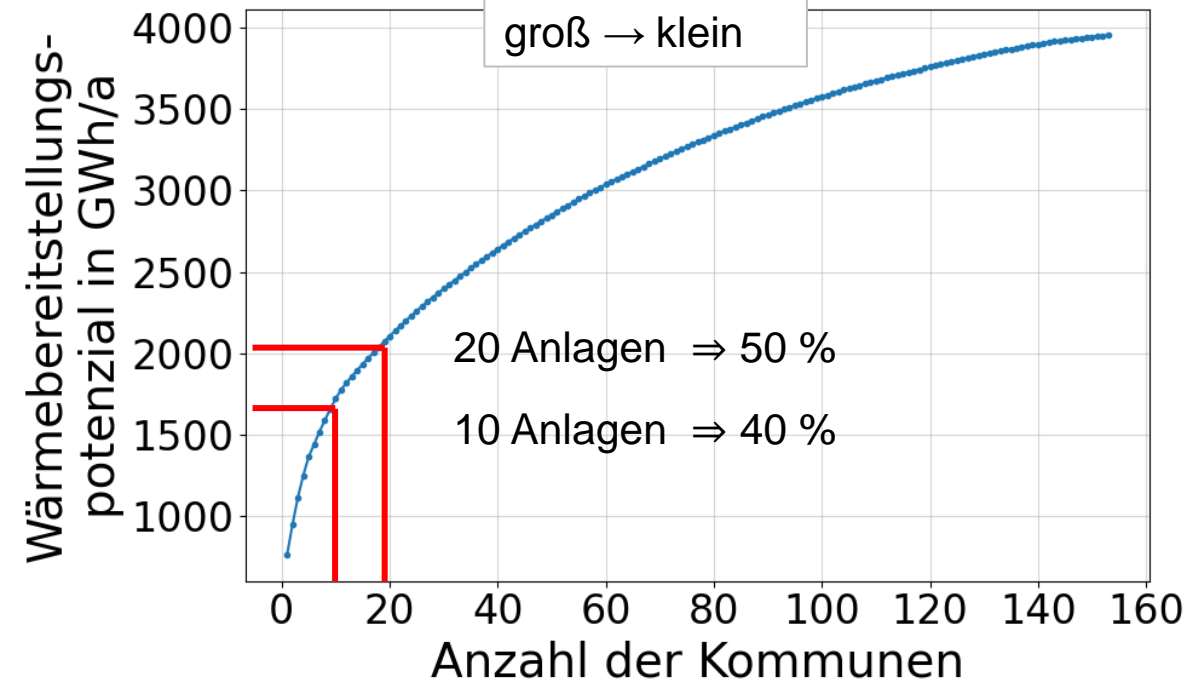
# 4.1 Wärmepumpenleistungen

in MW



## Wärmebereitstellungspotenzial

Kumuliert in GWh/a



➤ Gesamtpotenzial: 4 TWh/a

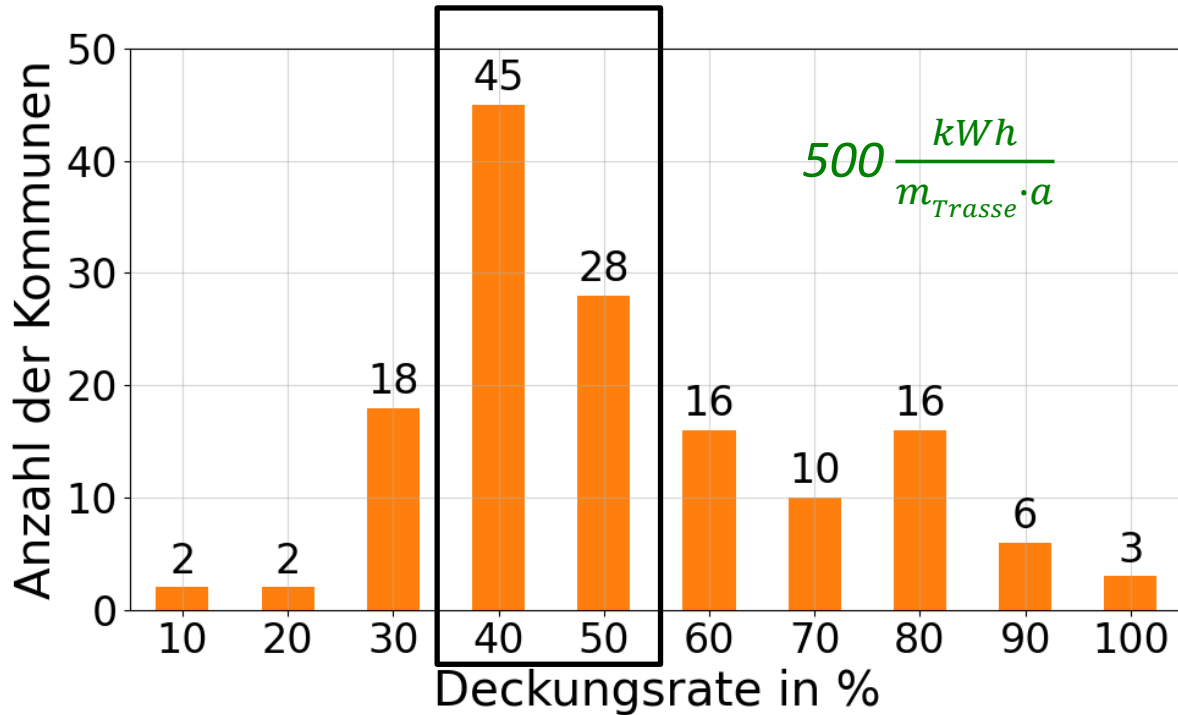
➤ WP-Leistungen (therm.): 0,3 MW ... 84 MW



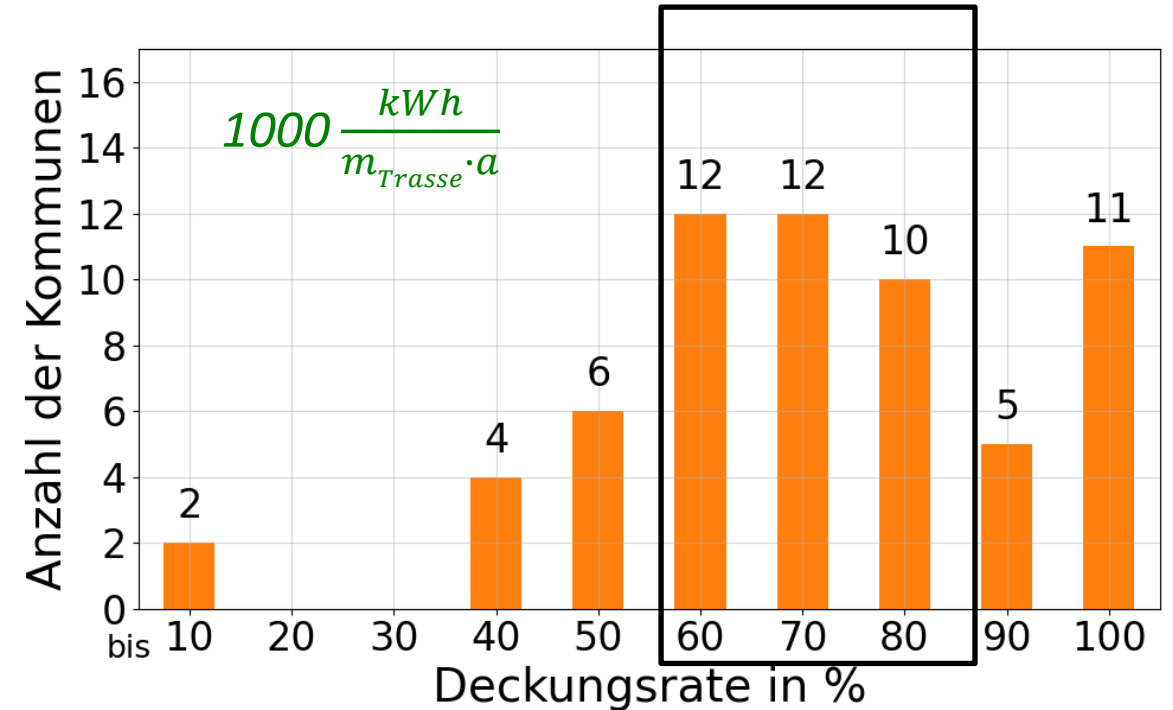
# 4.2 Deckungsraten

gesamt: 153 Kommunen

⇒ 146 Kommunen (95 %)



⇒ 62 Kommunen (42 %)



- Deckungsraten & Anzahl Netze abhängig von Wärmeliniendichte (WLD)
- Verschiebung zu etwas höheren Deckungsraten bei hoher WLD

## Evaluation der saisonalen Verteilung

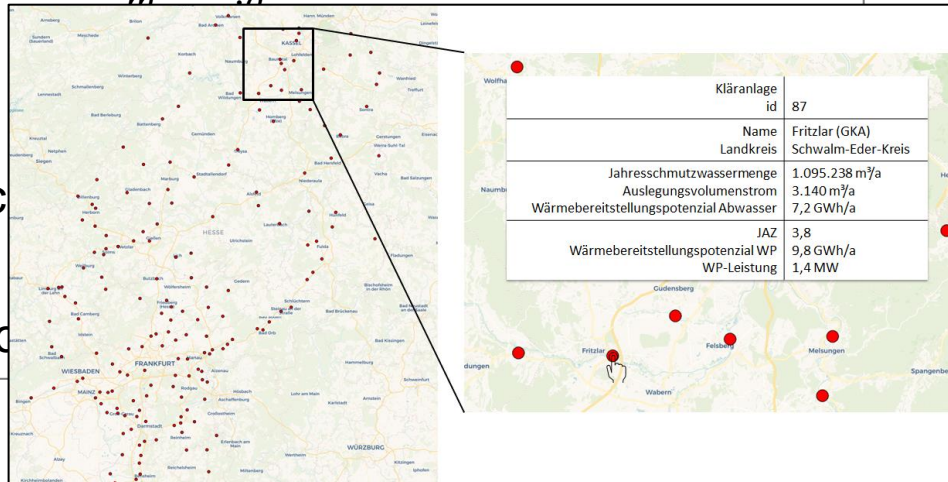
- **Standardfaktoren** definiert für  $T_{Abw}$ ,  $T_{FW}$ ,  $\dot{V}_{Abw}$
- Abfluss in Jan-März meist deutlich erhöht
- Steigerung vom **Jahres-Wärmebereitstellungspotenzial** um **34 %**  
( $\Delta T = 6,2 \text{ K}$  ggü  $\Delta T = 4 \text{ K}$ , konstanter Abfluss)

## Wärmenetze

Eignung von Wärmenetzen in untersuchten Kommunen:

- Bei  $500 \frac{kWh}{m^2 \cdot a} \Rightarrow 95 \%$

- Bei
- Dec
- Auto



## Wärmebereitstellungspotenzial

- Gesamt in Hessen: ca. **4 TWh/Jahr**  
 $\cong 7 \%$  des Raumwärmeverbrauchs in Hessen (\*)  
[Wärmeverbrauch gemäß hess. Wärmeatlas]
- Wärmebereitstellungsleistung **bis 5 MW<sub>th</sub>** für 90% der Kommunen

**$\Rightarrow$  nützliche Planungsgrundlage für Kommunen**

\*Monitoringbericht 2022 E-Wende Hessen 71 TWh